

GAX 응용 H₂O / NH₃ 흡수식 열펌프

GAX Application on H₂O / NH₃ Absorption Heat Pump

오 명 도

M. D. Oh

생산기술연구원
기계·소재 개발센터



- 1956년생
- 2상유동/열전달 전공으로 HVAC & R 시스템 및 환경제어에 관련된 연구 및 개발에 관심을 가지고 있다.

김 광 진

K. J. Kim

미국 메릴랜드 주립대학
환경에너지 연구소



- 1962년생
- 다중효과 리튬브로마이드/암모니아 흡수식 냉난방기, Heat Transfer Additives, Advanced Cycles, DAHP, 열물질 전달, 新흡수액 개발 및 불성측정에 관심을 가지고 있다.

1. 서론

현재 우리나라는 석유에너지의 불안정한 공급과 가격상승, 지구온난화 문제등의 환경문제가 대두됨에 따라 에너지 절약의식이 고조되고 있으나, 한편으로 생활수준 향상으로 쾌적한 생활공간을 추구함에 따라 하절기 냉방기의 설치가 급격하게 증가하고 있다. 특히 여름철 냉방용 소비전력이 급증함에 따라 국가적으로 전력예비율 확보를 위한 방안이 구체화되고 있으며, 이에따라 냉방에너지원을 전기로부터 가스로 전환할 수 있는 흡수식 냉방시스템의 보급이 활발한 편이다. 일반적으로 흡수식 열펌프(absorption heat pump)의

경우 아래와 같은 장점으로 최근 그 보급 및 관련 기술개발이 확대되고 있다.

(1) Non-CFC를 작동유체로 사용함으로 지구 오존층 파괴방지를 위한 CFC규제와 근본적으로 무관하다.

(2) 천연가스, 석유류, 태양열, 폐열 등 다양한 열원(heat sources)에 따라 사용가능하다. 즉, 다양한 온도범위에서 작동이 가능함으로 cogeneration이란 측면에서 더욱 중요시되고 있다.

(3) 전기를 사용하지 않으므로 여름철 냉방 수요기에 나타나는 전력첨두부하(electric peak load)를 해결해 나가는 한 방편으로 중요성을 더해가고 있으며, 나아가 환경보호면

에서는 지구온난화방지, 화력/원자력발전소의 건설요인억제, 이산화탄소 발생요소억제, SOx에 의한 산성비 발생요인 감소효과에 기여한다.

(4) 여름철엔 천연가스 공급에 비해 소비가 급감하므로 수급조절 방안으로 가스이용 냉방이 유리하다. 실제로 미국에선 전체 천연가스 사용량중 단지 3%만이 냉방부분에서 소요됨으로 가스업계에선 냉방부분 소비증진의 일환으로 중요성이 더해가고 있다.

(5) 가스구동을 전제로 한 운영면에선 냉방용 전력요금 인상 및 하절기 가스요금 인하등 각종 정책지원으로 상당한 경제성이 있는 것으로 판단된다.

(6) 국가안보 차원에서 에너지원의 다양화를 기할 수 있고, 기술선진국의 신제품개발에 신속한 대응으로 국내시장을 보호할 수 있다.

그러나 현재 보급되고 있는 흡수식 냉방시스템은 100RT이상의 수냉형 시스템으로 주로 중대형 건물의 냉방을 위해 설치되고 있으며, 개별냉방을 위한 종래의 패키지 에어컨이나 가정용 에어컨을 대체할 수 있는 공냉형 소형 흡수식 냉방기의 개발 보급은 미흡한 편이다. 선진국 특별히 일본에서는 산요, 히타치, 에바라 등의 회사들이 개별냉방 유닛을 대체할 수 있는 공냉형 흡수식 열펌프의 개발에 많은 노력을 기울이고 있으나 아직 만족할 만한 성능과 경제성을 갖춘 제품의 상품화에는 어려움을 겪고 있다. 최근 우리나라에서도 삼성, 금성, 경원세기, 린나이 코리아 등의 회사가 비슷한 용도의 공냉형 흡수식 냉방기의 개발에 착수하였으나 일본의 연구개발 수준을 답습하고 있는 실정이다. 현재 일본에서는 흡수식 시스템의 작동 유체로 종래의 LiBr/H₂O(리튬브로마이드/물)를 기본으로 하여 공냉화로 인한 시스템의 작동제한 조건을 극복해 보려고 노력하고 있으며 일부 개선된 결과가 발표되기도 하였으나 아직은 확고한 전망을 제시하고 있지는 못하다.

현재 흡수식 열펌프에서 가장 많이 사용되는 흡수액/냉매로는 LiBr/H₂O(리튬브로마이드/물)과 H₂O/NH₃(물/암모니아)가 있

다. LiBr/H₂O 이용 시스템은 이미 수냉형의 경우 실용화되어 비교적 안정되게 사용되고 있고, 공냉형의 경우는 앞서 설명한 바와 같이 일본을 중심으로 집중적인 실용화 연구가 진행되어 왔다. 한편, H₂O/NH₃ 이용 시스템은 공냉형의 경우에 효율이 낮기는 하지만 미국에서는 이미 실용화되어 보급되고 있으며, 효율만 향상되면 경쟁력이 있다고 판단되어 최근에 미국을 중심으로 고효율 시스템에 대한 연구개발이 본격적으로 착수되고 있다. 한편 국내에서는 일본의 영향으로 LiBr/H₂O 흡수식 시스템의 공냉화에 대한 논의가 비교적 활발한 편이나 H₂O/NH₃ 흡수식 시스템에 대한 논의는 미비하였다. 따라서 본고에서는 고효율 공냉형 소형시스템으로 실용화 가능성이 클 것으로 판단되는 H₂O/NH₃ 흡수식 시스템에 대한 기본기술과 개발현황을 설명하고자 하며, 특히 GAX(Generator-Absorber Heat Exchange) 및 그 응용사이클을 사용하는 흡수식 열펌프 시스템에 관해 간단히 기술하고자 한다.

2. 작동유체로서의 H₂O/ NH₃

2.1 암모니아(NH₃)

암모니아는 일반온도와 압력에서 무색의 가스로 화학적으로 한개의 질소와 세개의 수소로 구성되어 있다. 공기보다 가볍고 아주 강한 쉰 듯한 악취를 갖고 있음으로 암모니아의 존재를 인지함이 무척 용이하다. 사실 암모니아는 상대적 인 독극물이나 축적성 독극물은 아니며, 물에 용해되기가 용이하고 물에 녹을 경우에는 암모니움 하이드록사이드(ammonium hydroxide, NH₃OH)를 형성한다. 암모니아는 Harber-Bosch 방법이라 일컬어지는 제조방법으로 주로 생산된다. 물이 없는 순수 암모니아(anhydrous ammonia)는 현재 유럽이나 미국 등지에서 냉동·냉장시설의 냉매로 상당한 부분을 차지하고 있으며 실제 냉동분야에서 광범위하게 사용 및 응용되고 있다. 암모니아 냉매의 사용현황에 관한 통계를

에 관한 통계를 살펴보면 전체 사용냉매중 암모니아 냉매가 차지하는 비율이 미국 80%, 유럽 50%, 일본 20%로 나타나고 있다. 암모니아 냉매의 가장 기본적인 물성치들은 표1과 같다. 미국의 교통부(U.S. Department of Transportation)에서는 암모니아를 비발화성(non-flammable)가스로 규정하고 있으며, 165파운드(약 80kg) 미만일 경우엔 고압 방지장치(over-pressure protection devices)의 부착을 의무화하고 있지 않다. 이러한 암모니아는 전세계 곳곳의 공업용 냉동프로세스에서 가장 경제적이며 풍부한 열유동 작동유체(heat transfer medium)로 사용되어 오고 있다. 또한 암모니아의 강한 악취는 사실상 누설이 있을 때 자체경보(self-alariming) 특성을 보유함으로써 그 사용에 유리한 점이 있다.

표1 순수 암모니아(NH₃)의 물성치

Thermophysical Property	Value
Chemical symbol	NH ₃
Molecular weight	17.03
Boiling point at 1 atm	-33.33°C
Freezing point at 1 atm	-77.72°C
Heat of vaporization	1181.9 J/g
Liquid density at 21.1°C	0.6093 g/cm ³

2.2 흡수액/ 냉매로서의 H₂O/ NH₃

H₂O/NH₃ 시스템은 LiBr/H₂O 시스템과 비교하면 다음과 같은 장단점을 지니고 있다. 먼저 H₂O/NH₃ 시스템의 단점은 다음과 같다.

(1) 용액재생시에 흡수액으로서의 물이 약간 기화됨으로 재생기(generator)에서 분리되어 나오는 냉매인 암모니아 증기중에 존재하는 물을 제거해야하는 필요성이 있다. 즉 정류과정(rectification process)이 필요하다.

(2) 높은 응축압력과 다소의 독극성 및 가연성을 지니고 있으므로 취급에 주의를 요한다.

반면에 H₂O/NH₃ 시스템의 장점은 다음과 같다.

(1) 증발기 온도범위가 넓으므로 에어컨영역(low temperature lift)부터 냉동영역까지(high temperature lift)까지 응용이 가능하다.

(2) 좋은 화학적 안정성을 갖고 오존층 파괴와 무관하다.

(3) 냉매인 암모니아의 가격이 저렴하여 R-22와 비교하면 중량대비 1/5, 체적대비 1/11정도로 유리하다.

(4) 시스템의 제작비가 저렴하다.

(5) 상대적으로 큰 물질전달능력(mass transfer driving potential)을 가지므로 소형 흡수기의 제작이 용이하다.

(6) 응축기와 증발기 간의 압력차이가 작을 경우(에어콘의 경우, low temperature lift)에 재생기와 흡수기 사이의 온도구간이 겹치게 되는데 이 경우 GAX 사이클 적용이 가능함으로 시스템의 효율증가를 도모할 수 있다.

또한 관심있는 현상으로는, 응축기와 증발기에서 기체상태인 암모니아 냉매에 다소의 물이 존재함으로 사실상 혼합냉매라 생각할 수 있다. 그러므로 등압상태에서 온도변화(temperature glide)가 생기는 특성을 지닌다. 따라서 이 경우 약간의 물이라도 증발과정에서 증발온도의 상승현상을 초래하며, 이러한 물의 존재로 인한 증발온동 상승이 H₂O/NH₃시스템에서 중요한 문제점으로 부각되고 있다.

H₂O/NH₃ 흡수식 시스템의 사이클 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 먼저 H₂O/NH₃의 엔탈피/증기압력(enthalpy/vapor pressure) 데이터가 필요하다. 그림 1과 그림 2는 저자가 Ziegler와 Klein의 열역학적 계산치를 간략히 도형화시킨 것으로 독자들이 다소 쉽게 사용할 수 있게 하였고, 또한 사용범위를 다소 높은 온도 및 압력까지 확장시킴으로써 보다 광역의 온도 및 압력에서 시스템의 설계가 가능하게 한 것이다.

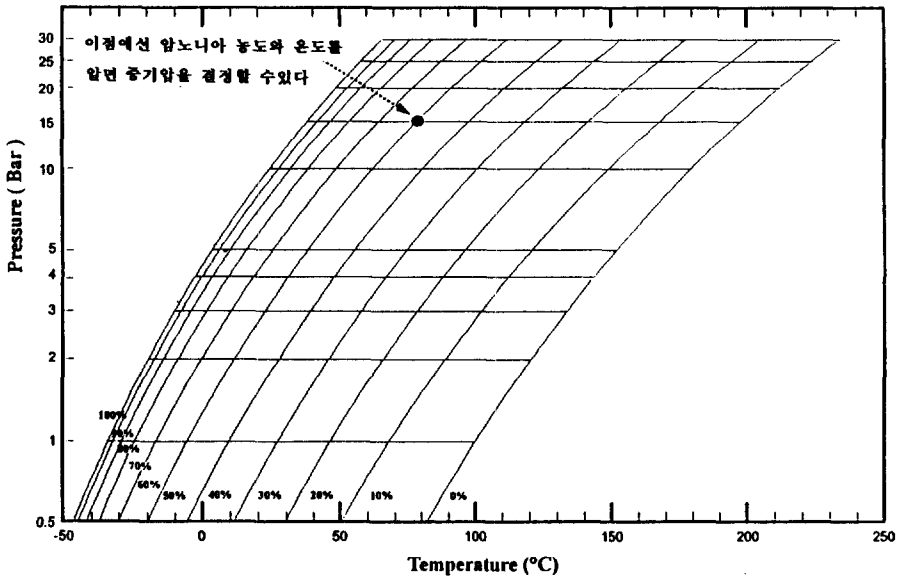


그림 1 H₂O/ NH₃의 증기압 선도

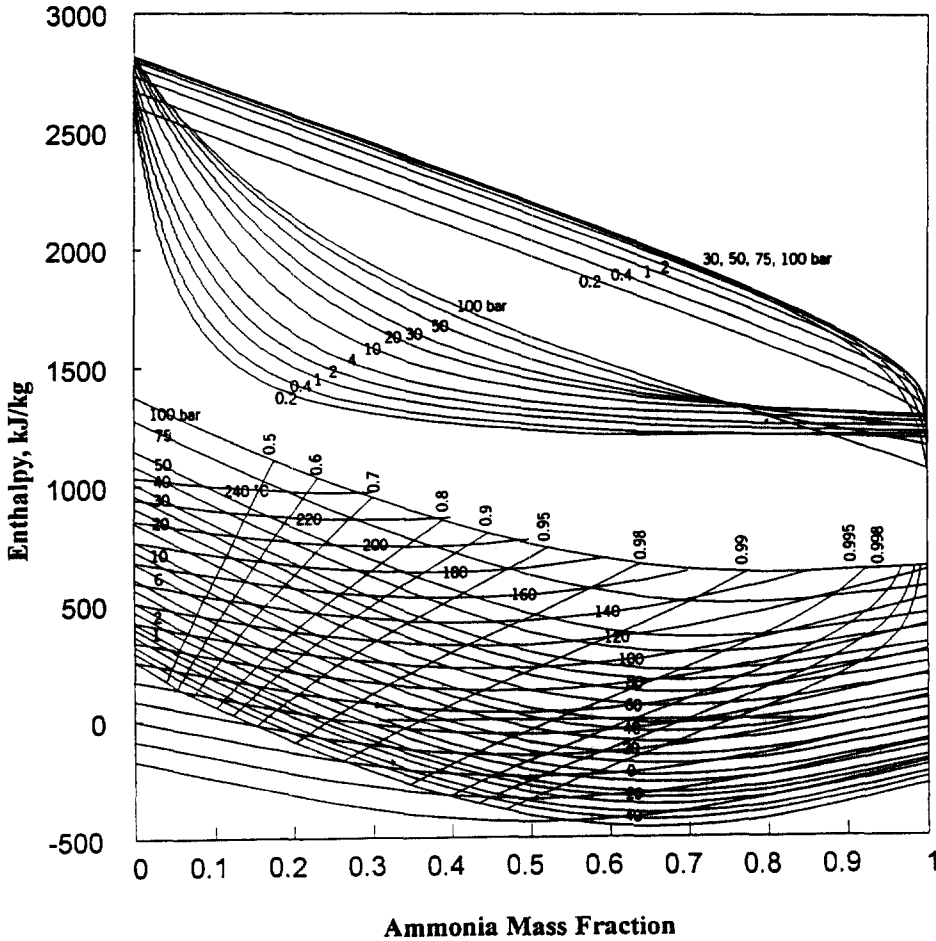


그림 2 H₂O/ NH₃의 엔탈피 선도(Ponchon Diagram)

3. H₂O/ NH₃ 흡수식 열펌프 사이클

3.1 일중효용 열펌프

H₂O/NH₃ 일중효용 흡수식 열펌프의 경우 0.5 정도의 비교적 낮은 성적계수(Coefficient of Performance)를 갖고 있으나 보다 진보된 응용사이클들을 이해하는데 기본이 됨으로 먼저 설명하고자 한다. 그림 3은 가장 기본적인 일중효용 흡수식 열펌프를 보여주고 있다. 사이클은 일곱개의 열교환기(응축기, 증발기, 흡수기, 재생기, 정류기(rectifier), 흡입라인(suction line) 열교환기, 용액열교환기)와 펌프 한개, 그리고 두개의 압력강화장치(pressure reducing device)로 구성되어 있다. 여기서 정류기와 흡입라인열교환기는 LiBr/H₂O 흡수식 시스템에서는 볼 수 없는 열교환기기에 해당한다. 이중 일곱개의 열교환기기를 간단히 설명하면 다음과 같다.

(1) 응축기

응축기는 15bar 정도의 높은 압력과 온도를 가지게 되며, 냉매인 암모니아는 응축기를 지나가면서 응축되어 응축열을 냉각유체(cooling fluid : 공기, 물 또는 기타 열유동매체)에 전달해 준다. 암모니아는 응축기의 출구부분에선 과냉(subcooled) 상태의 냉매가 된다. 또한 앞서 설명하였듯이 약간 양의 물이 냉매인 암모니아에 존재함으로써 응축시 온도변화가 생김에 유의해야 한다.

(2) 증발기

증발기에서도 냉매인 암모니아에 존재하는 약간의 물의 영향으로 인하여 냉매가 설정 증발온도보다 높은 온도에서 증발이 일어나게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 정류기(rectifier)와 흡입라인열교환기(suction line heat exchanger)를 설치하는 방법들이 사용되고 있다.

(3) 흡수기

흡수기는 열과 물질전달이 동시에 일어나는 기구로서, 증발기에서 증기상태로 온 냉매인 암모니아가 흡수용액인 물에 흡수된다. 따라서 흡수기 출구의 흡수용액은 상대적으로 높은 냉매온도를 갖고 재생기로 보내진다.

(4) 재생기

재생기도 또한 열과 물질전달이 동시에 일어나는 기구로서, 흡수기에서 냉매농도가 높아져 보내진 흡수용액을 외부열원으로 가열하여 흡수되어 있는 냉매인 암모니아를 증기상태로 분리하게 된다.

(5) 정류기

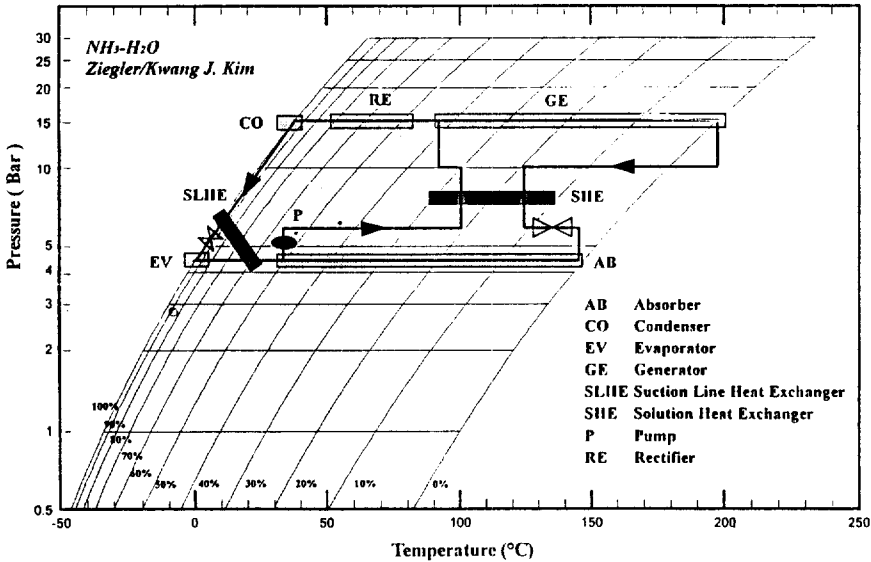
정류기는 재생기로부터 분리되어 나온 암모니아 증기에 존재하는 소량의 물을 제거하는 또 하나의 열/물질교환 기기이다. 이는 증기상태의 암모니아 일부를 응축시킴으로써 reflux를 만들어 기/액 평형상태를 이루게 하여 자연적으로 기체상의 물을 액상으로 흡수시킨다. 이러한 정류기는 Panchon Diagram으로부터 간단히 설계될 수 있으며 화학공학 분야에선 기본공정 중의 하나로 알려져있다.

(6) 용액 열교환기

흡수기로부터의 strong solution (고농도의 암모니아용액)은 재생기로 펌핑되어 갈 때에 과냉상태의 액체이며, 온도는 사실상 재생기 온도에 비할 때 포화온도보다 상당히 낮다. 따라서 과냉상태로 부터 포화상태로 만들어줄 열이 필요하다. 또한 weak solution (저농도의 암모니아용액)은 냉각이 되지않은 상태로 흡수기에 들어갈 경우엔 flashing이 먼저 일어나게 된다. 이러한 이유로 용액열교환기를 설치하게 되면 strong solution은 가열시키며 weak solution은 냉각시키게 된다. 이렇게 함으로써 재생기에서의 필요가열량을 줄여주고, 흡수기에서의 냉각열량을 감소시키며 flashing 또한 줄어들게 된다. 결국 시스템의 열적 성능을 향상 시켜준다.

(7) 흡입라인 열교환기

흡입라인열교환기는 그림 3에서와 같이 한 쪽으로는 응축기를 떠난 액상냉매가 흐르고 다른 한쪽으로는 증발기를 떠난 2상(two-phase)냉매가 흐르게 하여 열교환을 하게되는 열교환기이다. 이는 압력강화장치 전의 냉매를 과냉상태로 만들어 줌으로써 flashing을 방지시키며, 증발기 출구에 함유된 물은 증발시켜 흡수기에 단상의 냉매증기를 보내게 되어 결국엔 보다 큰 용량을 가질 수 있게 한다.



H₂O/NH₃ 흡수식 시스템의 사이클을 설명하면 다음과 같다.

- ① 흡수기의 저온부분과 응축기의 온도는 대략 비슷하다. 즉 흡수기와 응축기에서의 냉각조건이 이를 결정한다.
- ② 파이프에서의 압력손실을 무시할 경우엔 오직 두개의 압력레벨만이 존재한다.
- ③ 응축기 출구의 냉매나 재생기 및 흡수기 출구의 용액은 대개의 경우 포화상태이다.
- ④ 시스템의 고압측은 응축기의 출구 온도와 암모니아 농도에 의하여 결정된다.

⑤ 이외에도 adiabatic reversible pumping이나 isenthalpic throttling등이 가정될 수 있다.

⑥ 만약 주어진 조건이 35°C의 응축기 출구온도, 3°C의 증발기 출구온도, 100%내지 99.8%의 암모니아 농도 범위이면, 대략 0.5의 냉방성적계수(cooling COP) 및 1.5의 난방성적계수(heating COP)를 갖게 된다. 이때 시스템 주요 부분에서의 상태를 표 2에 기술하였다.

표2 일중효용 H₂O/ NH₃ 흡수식 열펌프 사이클에서의 기기 조건

State	Press.(bar)	Temp.(°C)	Comp.(%)
Condenser outlet	13.5	35.0	99.8
Evaporator inlet	4.6	2.0	99.8
Evaporator outlet	4.6	3.0	99.8
Absorber liquid outlet	4.6	35.0	51.0
Absorber liquid inlet	4.6	145.0	1.0
Generator inlet	13.5	56.0	51.0
Generator outlet to absorber	13.5	190.0	1.0
Condenser inlet(=rectifier outlet)	13.5	52.0	99.8
Rectifier inlet(liquid)	13.5	74.0	51.0
Rectifier inlet(liquid)	13.5	74.0	98.9

3.2 GAX 사이클

3.2.1 GAX 사이클의 기본개념 및 개발현황

일중효용 흡수식 열펌프에서는 용액열교환기를 사용하여 재생기측의 열을 재사용함으로써 효율을 증대시켰다. 그렇지만 이러한 열교환기의 사용은 weak solution측의 열용량이 strong solution측의 열용량에 비하여 작으며, 각각의 온도차가 크므로 많은 문제점을 지니고 있다.

그동안 일중효용 암모니아 흡수식 열펌프의 성적계수를 향상시키기 위한 방법들이 고안되어왔는데 이를 간단히 설명하면 다음과 같다. 그중의 하나는 흡수기열교환기(absorber heat exchanger)와 재생기열교환기(generator heat exchanger)를 사용하는 방법이며, 다른 하나는 바로 GAX를 사용하는 방법이다. 특히 H₂O/NH₃ 흡수식 열펌프의 경우엔 농도차이로 인하여 흡수기와 재생기 입출구에서의 온도차가 상당히 크다. 또한 흡수기와 재생기 사이의 온도차가 작을 경우(에어콘의 경우, low temperature lift), 흡수기의 고온측 온도가 재생기의 저온측 온도보다 크게 된다. 이를 "온도중첩(temperature overlap)"이라 일컬으며, 이런 유용한 열을 이용함이 바로 GAX의 기본 원리이다.

이러한 GAX 열펌프에 대한 연구개발은 현재 세계 여러곳에서 행해지고 있다. 선두주자인 미국은 에너지성(Department of Energy)의 Advanced Cycle Program를 통하여 prototype를 1985년에 시범제작함으로써 실용화 개발에 착수하였다. 개발목표는 주택의 냉난방용 가스구동 공냉형 시스템의 개발로 개략적으로 냉방성적계수 0.7 (95°F) 과 난방성적계수 1.6 (47°F)를 설정하였고, 영하 10°F에서 보조열원이 필요없이 구동될 수 있으며, 고온인 400~410°F에서도 부식이 없는 것을 목표로 하였다. 그간 10여년의 줄기찬 노력으로 인하여 2~3년 이내로 최초의 실용화된 GAX제품의 생산이 시작될 것으로 예측되고 있다. 최근에는 앞서의 연구개발을 근간으로 하여 2단계로 미국 가스연구소(Gas Research

Institute)와 에너지성이 보다 효과적인 개발 연구 정책의 일환으로 National GAX Program을 만들어 투자를 일원화하여 향상된 사이클 및 기기의 연구개발에 박차를 가하고 있다. 2단계 개발목표는 GAX 사이클을 적용하여 1단계와 같은 조건으로 냉방성적계수 1.0, 난방성적계수 1.9를 목표로 하고 있다. 한편 미국의 관련 산업계에서는 보다 적극적으로 대량생산을 위한 콘소시움조직까지 고려하고 있는 실정이다.

이러한 미국의 연구에 따라 일본에서도 MITI(Ministry of International Trade and Industry)가 중심이 되어 1992년부터 GAX 열펌프를 가정용 및 산업용으로 개발하기 위한 Research /Development Program을 만들어 활발히 연구중인 것으로 알려져 있다.

현재의 상황을 보면 미국이 GAX에 대한 연구개발을 주도하고 있으며 일본 및 유럽 또한 이에 가세하여 박차를 가하고 있는 실정이다. 만약 전체적인 개발 및 제품생산이 대량화 되는 시점을 21세기초라고 가정한다면, 우리나라에서도 이에 대비하여 이러한 분야의 연구 및 개발을 착수하는 것이 시급히 요구된다. 따라서 본고에서는 이러한 GAX 사이클의 기본원리 및 몇몇 개량된 사이클들을 소개하고 동시에 기본적인 문헌들을 소개함으로써 이러한 분야의 연구개발 시작에 도움이 되고자 한다.

3.2.2 흡수기열교환기/ 재생기열교환기

흡수기열교환기는 흡수기에서 암모니아 냉매를 흡수하고 나온 strong solution을 예열해 주는 장치이다. 마찬가지로, 재생기열교환기는 weak solution을 미리 냉각시켜주는 장치이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 이러한 흡수기/재생기열교환기의 적용은 용액온도를 필요선까지 변화시켜 줌으로써 용액열교환기를 제거할 수 있다(특히 low temperature lift의 경우).

이런 흡수기/재생기열교환기의 장점을 기술해보면 다음과 같다. 우선 고온의 weak solution이 재생기열교환기를 지나가는 동안

에 일부의 열을 재생기로 전달시킴으로써 재생에 필요한 열량을 절약할 수 있다. 마찬가지로 strong solution이 흡수기열교환기를 지나가는 동안에 흡수기의 열을 받아 온도가 높아지므로 결국 용액 재생시에 필요한 열량을 절약할 수 있다. 또한 흡수기를 냉각시킨 후 외부로 방출해야 할 열량 또한 절감시키는 효과가 있다. 이런 흡수기/재생기열교환기의 적용은 일중효용 열펌프의 효율을 간단히 개선 시키는데 매우 효과적인 것으로 알려져 있

다. 대략적으로 일중효용열펌프에 비하여 대략 15%내지 20%정도의 성적계수 향상을 가져오고 있는 것으로 알려져 있다. 대략 표1의 조건을 기준으로 할 때 냉방성적계수는 대략 0.6이 되고 난방성적계수는 대략 1.63이 된다. 하지만 여전히 흡수기의 고온부분이 재생기의 저온측보다 높으므로 온도중첩으로 인한 열의 재사용(regenerative heat transfer)이 가능하여 GAX의 적용으로 성능을 개선할 여지가 있다.

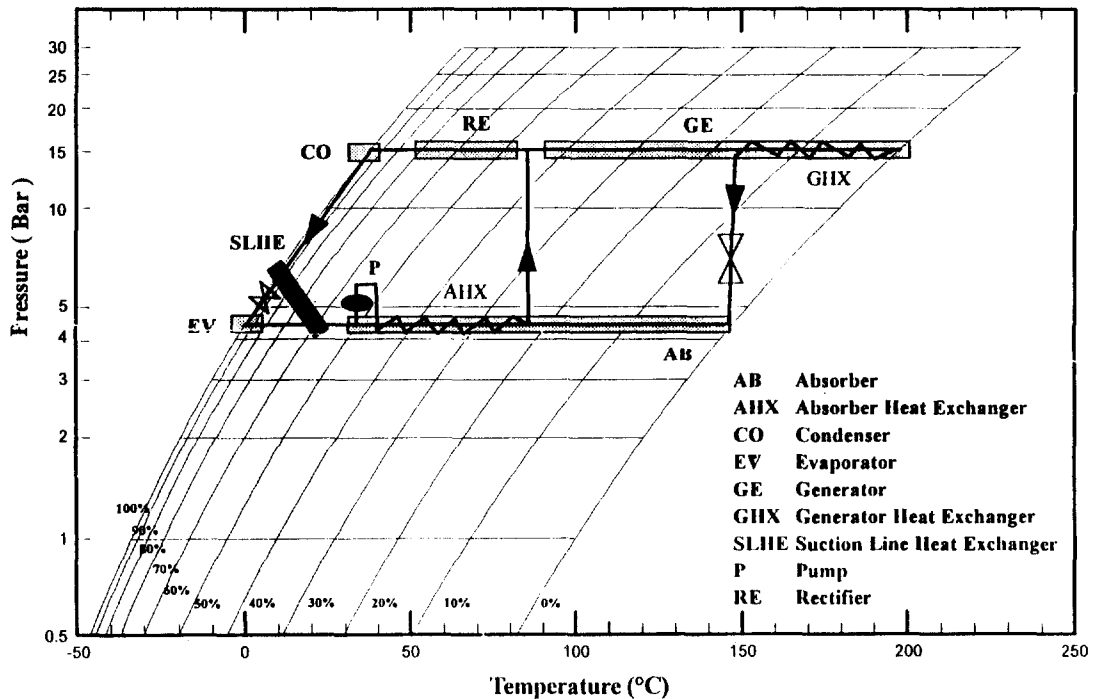


그림 4 흡수기/ 재생기열교환기(Absorber/ Generator Heat Exchanger)

3.2.3 GAX 사이클 작동

H₂O/NH₃ 흡수식 사이클을 에어컨으로 응용할 경우(low temperature lift)에 온도중첩이 생긴다. 이런 온도중첩에서의 열을 재사용하기 위하여 그림 5와 같은 GAX 사이클이 고안되었다. 이러한 GAX 사이클은 GAX 흡수기와 GAX 재생기 사이의 열전달의 필요성으로 인하여 열유동 작동유체를 순환시킬 펌프가 하나 더 필요하다. 이러한 GAX 사이클

은 이론적으로 그다지 복잡하진 않지만, 실제적인 기기(components) 제작면에선 그다지 용이하지는 않을 것 같다. 현재 고려되고 있는 두가지 방식을 소개하면 다음과 같다.

(1) 직렬방식

그림 6(a)에서와 같이 흡수기와 재생기 각이 기본 기기이며 GAX 열전달을 위한 열유동 작동매체로는 물이 사용될 수 있다. 이 방식에서는 물이 흡수기를 지나면서 흡수열

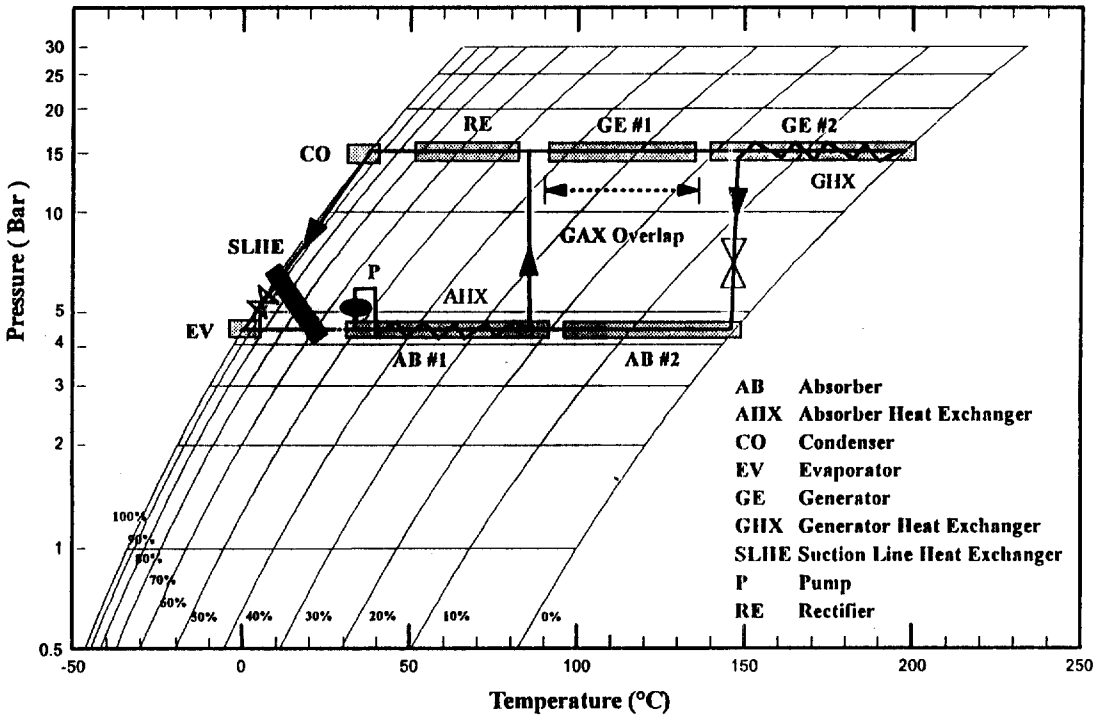


그림 5 H₂O/ NH₃ 흡수식 열펌프의 GAX 사이클

(heat of absorption) 및 잠열(latent heat)을 흡수한다. 이 물은 재생기를 지나면서 strong solution에 열을 전달하여 냉매분리가 일어나게 한다. 이런 직렬방식의 단점은 열유동 작동매체의 비가역성(irreversibility)로 인한 열손실이다.

(2) 혼합방식

이 방식은 흡수기와 재생기를 마치 shell and tube 방식으로 설계하는 경우에 해당한다. 그림 6(b)에서와 같이, 흡수기를 tube 쪽으로, 재생기를 shell 쪽으로 하나의 열교환기로 설계하는 경우인데 열유동 작동매체의 사용이 필요하지 않게 될 뿐만 아니라, GAX 기기 간의 온도차 또한 최저치로 만들 수 있기 때문이다. 사실상 weak solution이 흡수기의 상부로부터 안쪽으로 흘러 내려오면서 냉매인 암모니아를 흡수하게 된다. 이때에 흡수기측으로부터 재생기측으로의 열이동으로 재생기

측에서 strong solution속의 암모니아가 기화된다. 그러나 각 GAX기기의 저온측이 아래 부분이 되고, 또한 재생기의 고온측, 즉 윗부분에서 대부분의 물질전달이 일어나는 이유로 정류기(rectifier)의 설계가 어려워지는 단점이 있다.

이러한 GAX에 대한 이론적 연구를 대략 종합해보면 앞에서 설명한 일중효용 흡수식 열펌프와 유사한 조건을 가진 경우에 이론상으로 대략 냉방성적계수 1.3 및 난방성적계수 2.3 까지 가능한 것으로 알려져있다. 이는 사실상 이러한 GAX사이클이 실용화되면 현재보다 두배 이상으로 열효율을 증가시킬 수 있다는 가능성을 시사해 주고 있다.

3.2.4 GAX 사이클 흡수식 열펌프의 한계

가장 이상적인 GAX 열교환기를 설계하기 위해서는, GAX 열교환기 길이방향의 온도차이를 동일하게 해야한다. 그렇게 함으로써 온

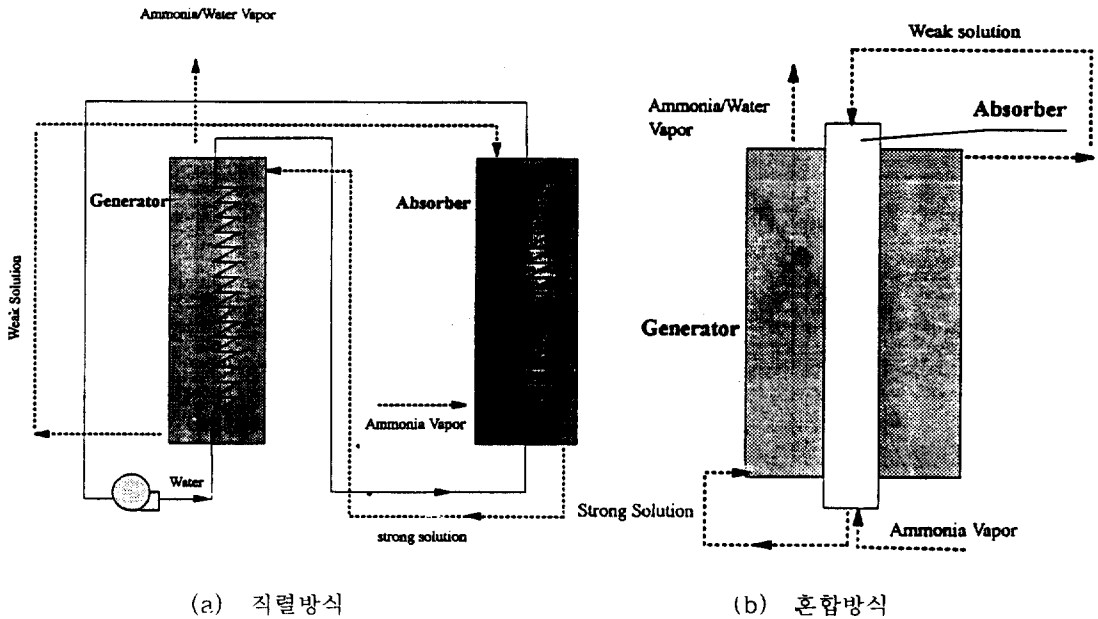


그림 6 GAX 사이클 작동방식

도차로 인한 비가역성을 최소화시킬 수 있다. 이를 보다 정밀하게 분석을 해보면, GAX 온도차 (GAX 흡수기 온도-GAX 재생기온도)가 대략 저온측에선 약 5°C, 고온측에선 약 30°C에 이르게 된다. 이는 GAX 흡수기로부터 공급되는 열량이, GAX 재생기에 필요한 열량에 충분치 못하기 때문이다. 즉 소위 말하는 “온도불일치(temperature mismatch)”로 인함이다. 이런 온도불일치가 일어나는 이유는 첫째, 같은 온도에서 GAX 흡수기와 GAX 재생기가 서로 다른 암모니아 농도를 갖고 있으며, 둘째, 양측이 서로 다른 물질전달속도(mass transfer rates)를 갖고 있음이다 (Phillips, 1990 : Scharfe, 1986).

4. GAX사이클 성능향상

앞서 설명하였듯이 GAX에 대한 연구는 현재 미국을 비롯한 세계 각국에서 상당히 활발한 것으로 알려져 있다. 이러한 GAX 사이클은 1913년 Altenkirch에 의하여 처음으로 고

안되었고, 이후 H₂O /HN₃를 사용하는 많은 진보된 사이클들이 고안되어 왔다(Phillips Engineering, Trane, Energy Concepts, RA Technology /LBL, etc.). 이렇게 고안된 새로운 사이클 중에는 약 30% 정도 향상된 냉방성적계수를 보여주는 것들도 있다. 특히 미국의 경우를 설명하면, 에너지성 산하의 Oak Ridge National Laboratory(ORNL)의 Building Equipment Research Program에서 주동이 되어 연구개발에 박차를 가해왔으며, 현재는 이렇게 연구개발된 각종의 진보된 사이클중 특정한 사이클을 선택하여 보다 효율이 좋은 주택용 물/암모니아 흡수식 냉방기를 개발할 수 있는 결정적인 시점에 있는 것으로 알려져있다.

4.1 사이클 변환에 의한 GAX 성능향상

현재까지 진행된 연구개발을 기준으로 그림 7과 같은 기본 사이클을 변환하여 GAX의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 간단히 소개하면 다음과 같다.

(1) 그림8의 방법은 중간압력레벨(intermediate pressure level)을 설정하여 용액을 재펌핑함으로써 사실상으로 온도중첩을 넓히는 잇점이 있으나 용액펌프가 한개 더 소요되는 단점이 있다(Energy Concepts, RA Technology).

(2) 그림9의 방법은 GAX의 단점인 흡수기 쪽의 모자라는 열공급 능력을 보강하는 방법으로, 한개의 용액펌프를 더 사용하여 흡수기의 중간에서 흡수용액을 분지(branch)하고 다시 흡수기의 고온측으로 통과시켜 흡수기에서 재생기로 갈 수 있는 열공급 능력을 최대한 향상시키는 방법이다. 이와같은 방법으로 재생기에서의 가열량을 줄일 수 있으므로 시스템의 효율을 좀 더 향상시킬 수 있다. 이러한 방식을 일명 Branched GAX 사이클이라 한다. 이 방법 역시 용액펌프가 두개 사용되는 단점이 있다(Phillips Engineering, Trane, Energy Concepts).

(3) 그림10의 방법은 2개의 흡수기와 2개의 응축기를 두개의 다른 일중효용 사이클을 두 겹 씌우되, 외측사이클의 응축기(CO1)온도영역을 내측사이클의 재생기(GE2) 온도영역보다 다소 높게 설계함으로써 사실상 삼중효용 효과를 얻을 수 있다. 이 방법 역시 용액펌프가 2개 필요하며 상대적으로 높은 압력(700psi 가량)으로 인한 고압설계가 난점이라고 여겨진다(ORNL, Ohio State University, Georgia Tech. University).

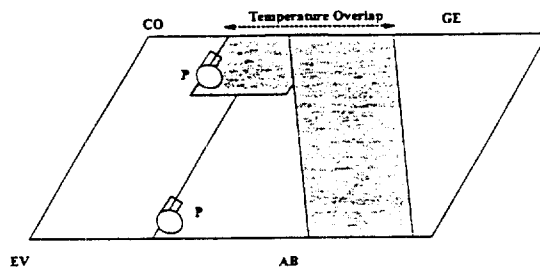


그림 8 GAX + Intermediate Pressure Level 사이클

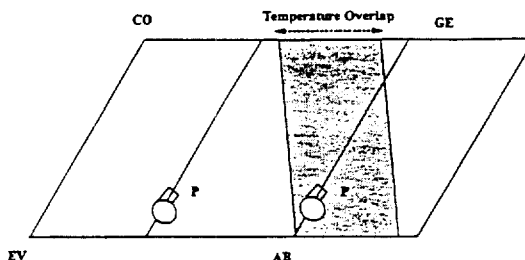


그림 9 GAX + One More Solution Pump 사이클

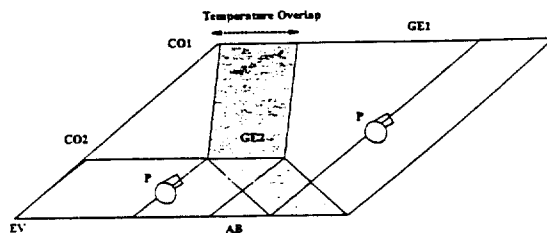


그림 10 GAX 상중효용 사이클(Triple-Effect Cycle)

4.2 흡수용액에 의한 GAX 성능향상

흡수용액에 의해서 GAX의 열교환능력을 향상시키는 것이 또한 가능하다. 즉 용액 작동범위에서 자연적으로 온도중첩을 증대시켜 주는 방법으로 30% 가량 GAX의 열교환 능력을 향상시킬 수 있으며, 그 방법은 물/암모니아 짝에 염을 첨가하여 3중용액으로 만들어서 증기압을 낮추는 방법이다. 그러나 아직까지는 이러한 3중용액에 의한 부식정도가 매우

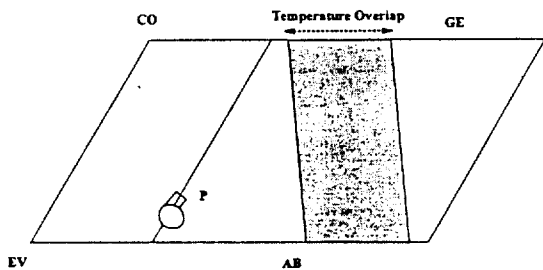


그림 7 기본적인 GAX 사이클

심한 것으로 알려져있다. 따라서 이러한 3중 용액의 부식을 방지함과 동시에 GAX 열교환 능력을 유지시킬 수 있는 특수용액개발(4중용액) 및 물성치 측정이 중점이 된 연구개발이 현재 진행중이다(ORNL, University of Maryland). 이런 신용액의 개발은 사실상 사이클 변환으로 얻어지는 COP의 증가를 단순히 용액만의 변환으로 얻을 수 있는 극적인 장점을 보유하고 있다.

4.3 GAX 성능향상에 따른 문제점

앞서 설명한 바와 같이 H_2O/NH_3 흡수식 시스템에서 GAX 응용에 의한 성능향상은 가능하나 실용화를 위해서는 아래와 같은 문제점을 안고 있다.

- (1) 부수적인 용액펌프가 필요하다.
- (2) 부다 복잡한 용액흐름 설계(stream splitting)가 필요하다.
- (3) 부수적인 압력레벨을 GAX압력 내외로 적용해야 한다.
- (4) 부수적인 열교환 설계가 필요하다.
- (5) 보다 복잡한 제어 방법이 요구된다.
- (6) 높은 온도와 압력 및 여러 압력권 내에서 사용가능한 용액펌프가 필요하다. 특히 내구성이 요구되고 positive displacement 방식이 요구된다.
- (7) 실내용으로 활용할 경우 암모니아의 독성문제를 해결하기 위한 secondary system 방식의 도입이 검토되어야 한다.
- (8) 고온작동시 첨가제(additives)의 불안전성이 해결되어야 한다.
- (9) 적정 inhibitor의 개발이 필요하다.

5. 결 론

지금까지 H_2O/NH_3 흡수식 열펌프 시스템에 적용되고 있는 GAX에 관한 기본원리 및 성능향상 방안에 대하여 주로 외국의 자료를 근거로 하여 기술하였다. 현재 국내의 H_2O/NH_3 흡수식 열펌프 시스템, 특히 GAX 시스템에 대한 연구는 아주 미비한 편이지만, 미

국, 일본 등에서는 이미 국가주도로 관련업체들이 콘소시엄을 구성하여 적극 참여하고 있으므로 2~3년 내로 공냉형 열펌프가 실용화될 전망이다. 이러한 시스템은 현재 일본에서 실용화 연구가 활발히 진행되고 있는 공냉형 이중효용 $LiBr/H_2O$ 흡수식 시스템과 비교할 때 성능과 가격면에서 경쟁할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 분야에 있어 선진국의 기술개발에 대응하여 본 시스템을 효율적으로 국산화시키기 위해서는 기본기술이 취약하고 연구개발 착수 시기도 뒤늦게 된 국내 실정에 비추어, 국가의 정책적 지원 아래 산·학·연의 적극적이고 체계적인 공동연구가 조속히 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Ferol Fish, 1992, Personal Communication, Gas Research Institute.
2. 오명도, 1993, "흡수식 열펌프를 이용한 난방기술," 공기조화·냉동공학, 제22권, 제5호, 348.
3. 오명도, 1994, "흡수식 히트펌프의 기술 및 개발동향," 냉동공조기술, 제11권, 제3호, 34.
4. 김광재, 1993, "흡수식 냉동기의 원리, 응용 및 그 운용법," 공기조화·냉동공학, 제22권, 제1호, 28.
5. 김광진, 1994, "흡수식 냉동기의 첨가제 효과," 공기조화·냉동공학, 제23권, 제1호, 53.
6. Oh, M.D., Kim, S.C., Kim, Y.L., Kim, Y.I., 1993, "Cycle Analysis of Air-cooled, Double-effect Absorption Heat Pump with Parallel Flow Type," Proceedings of the International Absorption Heat Pump Conference, New Orleans, Louisiana, U.S.A., 117.
7. Jung, S.Y., Kang, B.H., Lee, C.S., Karng, S.W., 1993, "Computer Simulation on Dynamic Behavior of a Hot Water Driven, Absorption Chiller,"

- Proceedings of the International Absorption Heat Pump Conference, New Orleans, Louisiana, U.S.A., 333.
8. Kim, K.J., Wood, B.D., and Berman, N. S., 1993, "Experimental Investigation of Enhanced Heat and Mass Transfer Mechanisms Using Additives for Vertical Falling Film Absorber," Proceedings of the International Absorption Heat Pump Conference, New Orleans, Louisiana, U.S.A., 41.
 9. DeVault, R.C., 1994, Personal Communication, Oak Ridge National Laboratory(ORNL).
 10. Proceedings of the International Absorption Heat Pump Conference '91, Tokyo, Japan, Sep.30~Oct.2.
 11. Zigler, B. and Trepp, C., 1984, "Equation of State for Ammonia-Water Mixtures," Int. J. of Refrigeration, Vol. 7, No.2.
 12. Phillips, B.A., 1990, "Development of a High-Efficiency, Gas-Fired, Absorption Heat Pump for Residential and Small-Commercial Applications, Phase I Final Report Analysis of Advanced Cycles and Selection of the Preferred Cycle," ORNL/Sub/86-24610/1, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.
 13. Scharfe, J., Ziegler, F. and Radermacher, R., 1986. "Analysis of Advantages and Limitations of Absorber-Generator Heat Exchanger," Int. J. of Refrigeration, Vol.9.
 14. DeVault, R.C., 1994, "Triple-Effect Absorption Chiller Cycle: A Step Beyond Double-Effect Cycles," IEA Annex XVI Workshop, Susono City, Japan (1990).
 15. Kim, K.J., Chen, J., Shi, Z., Herold, K.E., 1993, "Diffusion-Absorption Heat Pump," GRI Report, #5090-260-2041.