

폐열이용 흡수식 냉동기 및 히트펌프

Absorption Chiller and Heat Pump Utilizing Waste Heat Source

김 광 제
K. J. Kim
(주)경원세기



- 1959년생
- 냉동기기류 연구개발을 담당하고 있으며, 각종 열펌프 응용시스템에 관심이 있다.

1. 서론

여름철 피크전력 감소 및 에너지수급의 균형에 기여하고, 오존층을 파괴하는 일부 프레온 냉매 사용 냉동기의 역할을 대체하며, 냉난방을 1대의 기기로 해결할 수 있는 등의 장점들로 인하여 LiBr-H₂O 흡수식 시스템은 급속한 성장과 발전을 거듭하고 있다. 이제 거의 대부분의 냉동공조분야 종사자들은 흡수식 시스템에 대하여 잘 이해하고 있다고 판단된다. 그러면, 이제부터는 단순한 냉방전용이나 냉난방 겸용의 일반 흡수식 시스템들이 아닌, 좀 더 특수하고 기술을 요구하는 흡수식 시스템의 실용화에도 투자를 강화하여야 한다.

흡수식 시스템을 응용하는 특수용도는, 폐열 또는 태양열을 이용하는 냉방전용 및 냉난방 시스템과, 폐열을 회수하여 이용가치를 가지는 고온의 운수 또는 수증기를 생산하는 히트펌프 시스템으로 대별될 수 있다. 따라서 본 원고에서는 이들 시스템들에 대한 관심을 환기시키는 의미에서 여러 시스템의 개요를

정리하고자 한다.

2. 폐열이용 흡수식 냉동기

현재 널리 보급되고 있는 흡수식 냉동기 및 냉온수기는, 보일러에서 발생시킨 수증기를 이용하여 구동하거나, 연료 연소용 버너를 직접 부착하여 구동하는 등으로, 냉난방을 위하여 고온의 에너지를 별도로 준비하여 사용하는 시스템이다.

이에 비하여, 폐열이용 흡수식 시스템은 동일한 원리와 제조기술의 제품이지만, 타용도에 사용되고 폐기되는 에너지를 이용하는 시스템이므로, 에너지 사용 효율을 향상시키는 제품이다. 구동에 이용되는 폐기 에너지가 다양한 성질들을 가지고 있으므로, 기기를 효과적, 경제적, 장기적으로 이용하기 위하여는, 적절한 대응기술의 개발이 반드시 필요한 것이다. 즉, 폐열과 직접 접촉하면서 에너지를 흡수하는 부분에 대한 실용기술의 개발과, 불안정적이기 쉬운 폐열을 최대한 이용하면서 안정적으로 냉난방 열량을 공급할 수 있도록

하는 시스템의 기술개발이 주안점이다.

흡수식 냉동기는 재생기를 가열하는 열원의 온도가 출구온도 기준으로 최소치 이상으로 유지되어야, 사이클을 구성하면서 성능을 발휘할 수 있다. 일중효용의 경우는 가열열원의 최소출구온도가 75℃이고, 이중효용의 경우는 140℃이다. 따라서 우리가 생활하고 있는 주변에서 버려지고 있는 폐열의 온도가 상기의 75℃이상이라면, 이를 이용하여 흡수식 냉동기를 운전시켜 냉방을 할 수 있다. 그리고 그 폐열의 온도가 높으면 높을 수록, 폐열의 질이 양질이면 양질일수록, 적은 투자비로 흡수식 냉동기를 이용한 냉방을 시설할 수 있다. 현재 선진국에서는 이미 이용되고 있으며, 국내에서도 충분히 적용가능한 폐열들과 그들을 이용하는 흡수식냉동기 시스템들에 대하여 다음과 같이 정리한다.

(1) 열병합 발전 등의 발전기 배기가스 이용
배기가스의 온도는 400~600℃ 정도이다

① 배기가스-온수 열교환기 설치

85~95℃ 이상의 온수를 제조하여 일중효용 흡수식 냉동기를 구동할 수 있다.

- 성적계수 0.5~0.75확보가 가능하다.
- 온수온도가 85℃ 이하로 떨어지면, 성적계수가 급격히 저하하므로, 경제성을 상실하게 된다.

② 배기가스-수증기 열교환기 설치

8kg/cm²의 수증기를 제조하여 이중효용 흡수식 냉동기 구동할 수 있다.

- 성적계수 1.0~1.15 확보가 가능하다.
- 수증기 압력을 낮추면, 흡수식 시스템의 초기 투자비가 상승한다.

③ 배기가스 직접이용

배기가스를 직접 이용하여 이중효용 흡수식 냉운수기를 구동한다.

- 배기가스의 출구온도는 200℃ 정도로 설정하는 것이 편리하며, 그 온도를 더 낮추고자 하면 흡수식 시스템의 초기 투자비가 증가한다.

(2) 발전기의 엔진 냉각수 이용

- 엔진 냉각수의 온도는 일반적으로 85~95℃ 정도이며, 특수한 엔진의 경우는 120~130℃ 정도의 것도 있다.

① 엔진 냉각수 직접이용

온수이용 일중효용 흡수식 냉동기를 구동한다.

- 성적계수는 일반적으로 0.5~0.7 정도이다.
- 온수온도가 85℃ 이하로 되면 성적계수가 급격히 저하하므로, 이에 대한 기술개발들이 진행중이다.

② 수증기 제조 이용

0.8~1.0kg/cm² 압력의 증기이용 일중효용 흡수식 냉동기를 구동한다.

- 성적계수는 일반적으로 0.65~0.75 정도이다.
- 흡수식 시스템의 성능 및 경제성 향상을 위하여 온도가 높아지게 된다. 상대적으로 약화되는 엔진의 성능유지에 대한 기술의 개발이 필요하다.

(3) 발전기 배열 복합이용(I)

엔진 냉각수는 저온재생기에 투입하고, 배기가스열은 고온재생기에 투입하여 일중효용과 이중효용 복합형 흡수식 냉동기 구동.

- 성적계수는 0.65~0.85 정도이다.
- 흡수식 시스템의 용량이 엔진부하에 의하여 좌우된다.

(4) 발전기 배열 복합이용(II)

- 엔진 냉각수는 저온재생기에 투입하고, 보조의 직화식 열원은 고온재생기에 투입하여, 일중효용과 이중효용 복합형 흡수식 냉운수기를 구동한다.
- 엔진부하가 큰 경우는 엔진냉각수만을 이용하여 냉방한다.
- 엔진부하가 감소한 경우는, 보조의 직화식 열원을 가동하여 이중효용 사이클로 운전한다.

- 성적계수는 0.65~0.85 정도이다.
- 보조연료는 LNG, 도시가스, 경유 등이 사용된다.

- (5) 스틱터빈 배열회수 수증기 이용
증기 이중효용 흡수식 냉동기를 구동한다.
 - 증기압력은 8~9kg/cm² 정도이다.
 - 성적계수는 1.0~1.15 정도이다.

(6) 각종 소각로 연소열 이용

- ① 배기가스-온수 열교환기 이용
 - 온수 이용 일중효용 흡수식 냉동기를 구동한다.
- ② 배기가스-수증기 열교환기 이용
 - 증기 이용 이중효용 흡수식 냉동기를 구동한다.

폐열이용 흡수식 냉동기 구성시 유의할 사항은

- 폐열의 양이 작고 불안정할 경우에도 필요한 냉방능력을 확보하기 위하여서는, 보조의 열원으로 냉방능력을 유지하는 것에 대하여 충분히 검토
- 폐열의 질에 따라서, 폐열과 접촉하는 부분의 재질에 대하여 충분히 검토한다. 그리고 폐열 접촉하는 열교환기는 수명이 짧을 수 있기 때문에, 추후 교체를 준비
- 폐열중에서 냉방능력에 필요한 양만큼을 제어 공급하는 시스템에 대하여 충분한 검토 등을 할 수 있다.

3. 태양열 온수 이용 흡수식 시스템

태양열을 이용하여 얻을 수 있는 온수의 온도는 85~90℃ 정도로 낮은 편이다. 따라서 흡수식 시스템은 구조가 간단하고, 설치비가 적은 일중효용 사이클이 적용된다. 그리고 태양열은 기상조건에 따라 수시로 변하는 불안

정한 에너지원이므로 보조열원을 추가하는 경우가 많은데, 이 경우는 복합형의 사이클이 채택된다.

(1) 온수직접이용

온수이용 일중효용 흡수식 냉동기를 구동하며, 보조열원으로 보일러를 이용하여 온수를 가열하는 경우도 있다.

성적계수는 0.5~0.75 정도로서 1중효용 사이클이므로 보조열원을 많이 사용하게 되면 경제성이 크게 떨어진다.

(2) 태양열 온수+보조증기 이용

태양열 온수는 저온재생기에 투입하고, 보조증기는 고온재생기에 투입하여, 일중효용과 이중효용 복합형 흡수식 냉동기를 구동한다.

성적계수는 0.65~0.85 정도로서 안정적인 냉방성능을 얻는다.

(3) 태양열 온수+보조 연료 이용

태양열 온수는 저온재생기에 투입하고, 보조의 직화식 열원은 고온재생기에 투입하여, 일중효용과 이중효용 복합형 흡수식 냉동기를 구동한다.

성적계수는 0.65~0.85 정도로서 안정적인 냉방성능을 얻는다.

4. 폐열이용 흡수식 열펌프의 종류

흡수식 히트펌프를 크게 나누면 아래의 표1에 있는 바와 같이 제1종 및 제2종 흡수식 히트펌프로 된다. 서로 전혀 다른 운전특성을 보이므로 사용목적에 맞추어 적절히 선택하여야 한다.

또한, 도식적으로 비교하면 그림 1의 제1종 흡수식 히트펌프, 그림 2의 제2종 흡수식 히트펌프와 같다. 그림 1은 흡수식 냉동기와 동일한 구성에서, 온도레벨만 전체적으로 높아져 있다는 것을 알 수 있다.

표 1. 흡수식 히트펌프의 응용

명 칭	기 능	구 동 열 원	회 수 폐 열 원 종류	사이클
제1종 흡수식 히트펌프	<ul style="list-style-type: none"> 고효율로 운전되며, 100℃ 이하의 온수를 제조한다. 온수제조를 위하여 필요한 에너지의 40~45%를 절약할 수 있다. 	수증기식 고온수식 연료 직화식 배기가스식 • 제조되는 온수의 출구보다 40~70℃ 높은 출구온도를 필요로 한다.	공장배출온수 온천수 우물물 태양열 온수 하천수 • 15℃ 이상의 온도를 가진 온수이면 가능하다.	일중효용 사이클 이중효용 사이클
제2종 흡수식 히트펌프	<ul style="list-style-type: none"> 150℃ 이하의 온수·증기 등을 만든다. 배출되는 폐열원의 에너지중에서 40~48%를 회수할 수 있다. 	배출되는 폐열원의 50%를 구동열원으로, 나머지를 폐열원으로 이용하므로, 별도의 구동열원이 필요없다. 공장의 배운수 주정공장 알콜증기 지역난방용 온수		일중효용 사이클

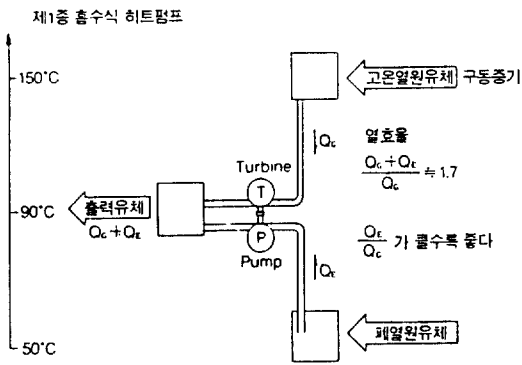


그림1 제1종 흡수식 히트펌프의 작동 개요도

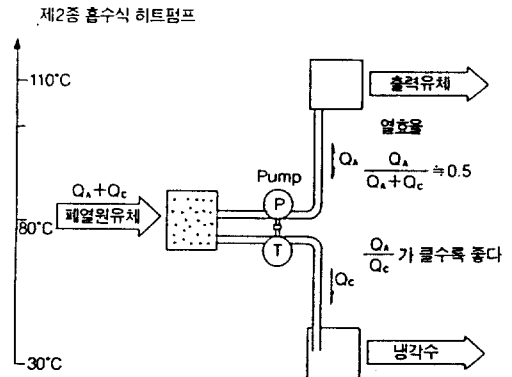


그림2 제2종 흡수식 히트펌프의 작동 개요도

4.1 제1종 흡수식 히트펌프

제1종 흡수식 히트펌프는, 20~60℃ 정도의 폐열원에서 열을 회수하여, 50~95℃인 온수를 얻게 할 수 있다. 따라서 50~95℃ 정도의 온수를 대량으로 사용하면서, 20~60℃ 정도의 폐온수를 방류하는 시스템을 가지고 있는 섬유 염색 공장, 제지공장, 식품제조업체, 수영장 등의 레포츠시설, 대중 사우나 및 목욕탕 또는 온천장 등에서 매우 유용하게 사용할 수 있다.

제1종 흡수식 히트펌프는 이미 잘 알려져 있는 LiBr-H₂O 이용 흡수식 냉동기와 동일한 원리를 가지고 작동된다. 흡수식 냉동기가 냉수를 만드는 목적에 사용되는 것에 비하여, 제1종 흡수식 열펌프는 냉각수(히트펌프에서는 온수라고 한다)가 얻은 열을 이용하기 위하여, 냉수(히트펌프에서는 열원수라고 한다)를 증발기에 투입하고, 재생기에 구동열원을 투입한다. 즉 동일한 원리를 가진 기계에서 냉수를 얻고자 하면 냉동기가 되고, 온수를

얻고자 하면 히트펌프가 되는 것이다.

흡수식 냉동기는 현재 일중효용 사이클 방식과 이중효용 사이클 방식이 실용화되어, 제품으로 보급되고 있다. 이와 마찬가지로 제1종 흡수식 히트펌프도 일중효용 사이클 방식과 이중효용 사이클 방식이 있다. 이중효용 사이클 흡수식 히트펌프는 성적계수가 이 정도로 높아 효율적이다. 그러나, 제조 가능한 온수의 온도상한이 40℃ 정도로 낮기 때문에, 적용용도가 다양하지 못하다. 이에 비하여 성적계수는 1.6~1.7 정도로서 상대적으로 낮지만, 높은 온도의 온수를 만들 수 있어 훨씬 다양한 용도에 사용될 수 있어, 범용적으로 널리 사용되는 것이 일중효용 사이클 흡수식 히트펌프이다.

(1) 응용가능 분야

① 폐열원의 종류

제1종 흡수식 히트펌프는, 그 실시 예를 보면 응용분야는 매우 다양하다. 회수열원으로서 폐열원의 종류를 나누어 보면 다음과 같다.

- 냉방에 의해서 얻어지는 폐열(냉각수열)
- 우물물, 온천수, 하천수
- 공장 잡폐수
- 공장의 공정냉각수, 폐수
- 사우나, 목욕탕, 샤워실 등의 폐온수
- 탈취탑, 탈취로의 폐열
- 보일러 배연탈황, 배가스처리에 의한 열 회수
- 공기압축기 냉각수
- 화학공장반응열 등

② 제조온수 이용분야

제조한 온수의 이용분야는 다음과 같다.

- 난방(급탕을 포함한 지역난방)
- 사우나, 수영장 등의 급탕
- 공정 세정용 온수
- 공정 가열용 온수
- 보일러 급수의 가열 등

(2) 열원수, 온수의 조건

제1종 흡수식 히트펌프는 대기압이하(진공하)에서 운전되므로, 기본적으로는 기내의 흡수액, 냉매가 외부수계에 누출되는 일은 없지

만, 만일을 대비해서 보조열교환기를 설치하는 등의 처리를 하기도 한다. 또 제1종 흡수식 히트펌프에서는 열원수, 온수의 유량은 모두 정유량을 원칙으로 하나, 유량변동이 일어나는 경우도 있다. 이러한 경우에도 정격유량의 50%이상은 확보될 수 있도록 한다. 온도의 변동에 대해서는 폐열원수 입구온도가 온수입구온도보다도 40℃ 이상 낮게 되는 경우에는, 온수측의 열이 열원수측으로 역방열되는 경우도 있으므로, 이것에 대응하는 처리도 고려해 둘 필요가 있다. 또 온수입구온도가 제1종 흡수식 히트펌프 운전 중에 급격히 저하하는 경우에는, 흡수액의 결정의 우려가 있어 주의할 필요가 있다. 제1종 흡수식 히트펌프는 흡수식 냉동기와 달리 폐열원수 및 온수의 온도조건과 수질 등이 업체에 따라 크게 다르다. 그러므로 업체의 설치제반조건에 따라서 특별히 설계할 부분도 있기 때문에, 표준사양은 무의미하며 사양결정에 있어서는 시스템 전반의 운전상황에 대한 충분한 검토가 요구된다.

(3) 성적계수(COP)와 승온특성

제1종 흡수식 히트펌프의 성적계수는 온수 출력(열량)을 구동열원입력(열량)으로 나눈 것이다. 냉매에는 물, 흡수제에는 LiBr 수용액을 이용하는 제1종 흡수식 히트펌프의 성적계수는 온수의 승온폭(폐열의 온도가 이용온수온도와와의 차)에 따라 다르므로 1.6~1.8 정도를 얻을 수 있지만, 1.65~1.7 정도가 일반적이다. 즉 개략수치로서, 구동열원열량 6에 의해, 폐열원에서 4의 열량을 회수하여, 이용온수로서 10의 열량을 얻을 수 있는 것이다. 일반적인 보일러와 비교하여 40%의 열량을 절약할 수 있다.

제1종 흡수식 히트펌프의 취출온수 도달온도는 구동열원온도, 폐열원온도 및 취출온수 입구온도에 따라서 좌우되지만, 구동열원온도가 충분한 경우에는 폐열원온도가 높을 수록, 또 온수입구온도가 낮을 수록 높게 되는 특징을 가지고 있다(그림 3 참조). 이 승온특성은 또한 제1종 흡수식 히트펌프의 구성요소(증발기, 흡수기, 응축기, 재생기 등)의 크기와 비율 등에 따라서 달라진다.

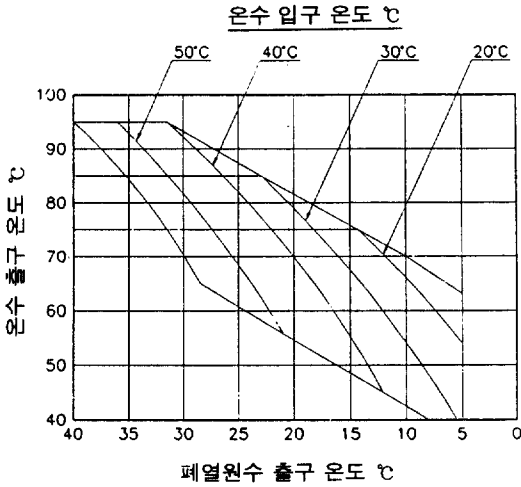


그림3. 제1종 흡수식 히트펌프 승온특성 예

4.2 제2종 흡수식 히트펌프

각종 공장에서 발생하는 고온의 폐열 (60~80°C의 온수 또는 증기)을 회수하여, 자체 공정 또는 다른 공정의 열원으로 이용이 가능한 고온수 또는 증기(100~150°C)를 경제적으로 공급할 수 있도록 하는 것이 제2종 흡수식 히트펌프이다.

(1) 폐열 유효 이용 효율(COP)

$$COP = \frac{QA}{QA + QA} \approx 0.5 \text{ (이론최대값)}$$

현재 외국에서 가동되고 있는 기계들의 폐열 유효 이용 효율은 증발기, 흡수기, 재생기, 응축기, 용액열교환기의 기기 구성에서는 유효이용효율이 0.48~0.485정도이며, 응축기에서 증발기로 보내는 냉매의 현열손실을 막기 위해 열교환기를 설치하여 유효 이용 효율을 0.49~0.495정도까지 얻고 있다.

(2) 승온 특성(昇溫 特性)

폐열에서 승온될 수 있는 온수온도는 폐열원 출구 온도와 냉각수 출구온도에 따라 좌우되며, 폐열원 출구온도가 높을수록 냉각수 출구 온도가 낮을수록 흡수기에서의 온수온도는 높아진다 그림4는 일반적인 승온특성의 한 예이다.

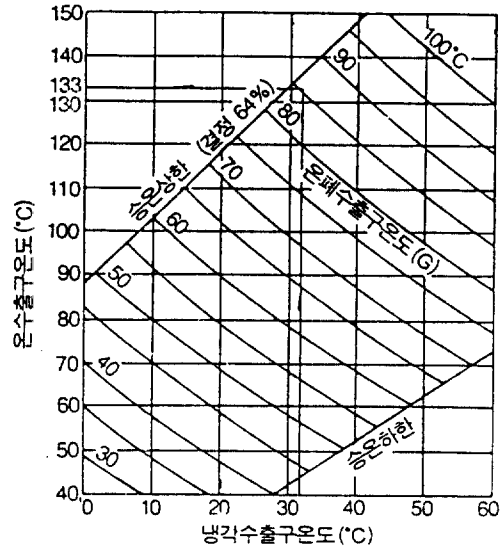


그림4. 제2종 흡수식 히트펌프 승온특성 예

(3) 운전 가능 범위

물+LiBr를 사용하는 제2종에서는 용액온도가 160°C를 넘게되면 급격한 부식이 진행되므로 용액의 운전온도에 제한을 받게 되며, 이에 따라서 우리가 얻을 수 있는 고온수 및 증기의 온도는 최고 150°C 정도로 제한을 받게 된다. 또한 용액의 특성상 결정발생의 우려에 의한 제한과 흡수사이클의 형성을 위하여 필요한 제한도 받게되므로 제2종의 적용검토시 사용온도범위를 기본적으로 고려해야 한다.

(4) 운전의 안정성

제2종은 동일한 공정내에서 재순환 사용되므로 일종의 밀폐회로로 이루어진다. 그러므로, 공정의 부하변동에 대해서도, 그대로 제2종의 운전조건 변동으로 되므로, 다른 공정에 전혀 영향을 미치지 않는 것이 큰 특징이다. 그러나, 기기의 안전 운전을 위해서 응축기의 냉각수온도를 안전시키는 것이 필요하다. 따라서 설치를 검토할 때, 반드시 냉각수 온도를 안정적으로 유지시키는 것을 확보하여야 한다.

(5) 구성기기의 재료

제2종에 적용하는 재료는 폐열원의 구성,

공급되는 냉각수의 종류, 이용되는 온수 온도 및 용도에 따라서 달라진다. 그러므로, 제2종의 사용재료의 표준은 없다.

폐열원측인 증발기 및 재생기는, 폐열원이 가지고 있는 부식성, 공정상의 특성이나 스케일 부착성을 고려하여, 재질로는 스테인레스관, 티타늄관, 보일러 및 열교환기용 강관 등을 사용하며, 셀측에는 탄소강 강관과 강관을 사용한다. 전열관의 오염에 대한 대응으로서의 전열관 세정대책을 수립하여야 하는 경우가 많은데, 최근에는 여러가지 자동세정장치들이 개발되어 있으므로, 이들의 특성을 고려한 적용이 필요하다.

이용하고자 제조되는 온수계통인 흡수기에는, 스테인레스관, 보일러 및 열교환기용 강관 등이 전열관으로 사용된다. 그리고 셀측은 탄소강 강관과 강관으로 구성된다.

냉각수 계통인 응축기는 냉각수의 종류에 따라서 스테인레스관, 티타늄관, 백동관 및 동관이 사용된다. 그리고 셀측은 탄소강 강관과 강관으로 구성된다.

(6) 적용 대상

① 회수 폐열원의 종류 : 탐정유기증기, 프로세스유기액, 엔진폐열, 지역난방 온수 등

② 승온 손수의 적용 : 공정가열용 저압증기, 공정 가열용 온수

③ 적용 가능 업종 : 화학공업, 정유, 섬유, 식품, 제철, 방직, 주류 주정, 제지, 합판, 타이어 등

5. 결 언

현재 국내에서 실제 운전되고 있는 폐열이 용 흡수식 냉동기 또는 히트펌프 시스템은 몇 종류가 있으나, 용량이 작으며 그 보급실적은

미미한 실정이다. 따라서 국내 도입 활성화를 위하여서는 시범기 설치사업이 매우 중요하다. 국내 최초의 시범기를 산업체에 설치하여 그 효과를 파악한 후 홍보하기 위한 사업을 추진한다면, 특수형들의 보급도 크게 촉진될 수 있다고 판단된다. 필자가 소속된 경원세기에서는 제1종 흡수식 열펌프의 시범기 사업을 추진하고 있다. 에너지자원기술개발지원센터에서 지원하는 에너지절약기술개발과제를 한국과학기술연구원과 공동으로 현재 2차년도 수행중에 있다. 연구 수행중에 제작되는 시범기를 인천에 있는 화학공장에 설치하는 작업이 진행되고 있다. 금년도 10월 경이면, 실제 산업체에 적용 운전되어 결과를 파악할 수 있게 된다. 시범기의 운전상태와 그 효과를 파악하고 나면, 제1종 흡수식 열펌프를 적용하고자 하는 수요가들에게 실질적인 참고자료를 제공하게 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 이춘식 외, 1986, "고온용 흡수식 열펌프 개발", 한국과학기술원, 과학기술처 연구보고서, N110-2480-2
2. 원승호 외, 1994, 2, "태양열을 이용한 흡수식 냉난방 시스템 개발 연구(I)", 한국동력자원연구소, 동력자원부 연구보고서 89-A502-103DG.
3. 김광제, 1994 "폐열 회수용 제1종 흡수식 열펌프", 냉동공조기술 Vol.11, No.5, pp. 90~100.
4. Takada, S., 1987, "배열회수와 그 이용", Refrigeration, Japanese Association of Refrigeration, Vol.62, No.712, pp.38-57.