

흡착식 냉동기

Absorption Chiller

김 중 남*, 홍 형 구**, 박 준 택*, 조 순 행*
J. N. Kim, H.K.Hong, J. T. Park, S. H. Cho

1. 서 론

흡착제를 이용한 냉동시스템은 1848년 Faraday에 의하여 최초로 제안되었으며, 1920년대에는 가스연료로 가열하여 냉방과 난방을 겸용으로 한 시스템이 개발되었으나 이후 전력공급이 급속히 늘어나고 기계식 압축기의 출현으로 흡착식 냉동시스템은 활용되지 않다가 1970년 중반 이후부터 저온폐열회수 및 태양에너지 이용 냉동, 냉방시스템으로 다시 연구가 시작되었다.

프랑스 CNRS의 Meunier 등은 1976년 이래 태양에너지를 이용한 냉장고를 개발하는데 흡착제와 냉매로서 활성탄과 물을 사용하는 시스템을 연구하여 상업화하였으며, 200°C 이상의 고온 열원을 사용하여 난방 및 냉방을 겸용으로 하는 시스템으로 제올라이트-물 사이클과 활성탄-메탄올 사이클을 결합한 cascade 시스템을 연구하였다.^{1,2)} 일본에서는 저온열원을 이용하여 냉방에 활용할 수 있는 장치로 실리카겔-물 사이클을 이용한 흡착식 냉동기가 연구되어 상품화가 시도되고 있다.^{3,5)} 이 밖에도 태양열을 이용한 얼음제조, 심야전력 저장, 냉장차의 냉열기 등으로 흡착식 냉동시스템을 이용하는 연구가 진행되고 있다.

흡착식 냉동시스템은 냉동기 내부에 구동장치가 필요없으므로 소음, 진동이 없고, 열원 온도가 60~70°C로 내려가더라도 냉열을 발생시킬 수가 있으며 열원에 변동이 많더라도 성능에 지장이 많지 않다. 그리고 근래에 CFC에 의한 환경파괴 문제 때문에 CFC를 사용하지 않는 대체기술이 시급히 요구되고 있는 실정인데, 흡착식 냉동기는 냉매로서 물이나 메탄올을 사용하므로 장래의 환경문제에 대한 대안이 될 수 있을 것이다.

본고에서는 산업체의 저온 폐열원을 회수하여 7~9°C의 공정용 냉수나 냉방용 냉수를 생산하는 흡착식 냉동기를 소개하고, 경제성을 평가하였으며 관련된 기기의 연구개발 사례에 대하여 조사하였다.

2. 흡착식 냉동기의 개요

2.1 원 리

흡착식 냉동기는 흡착제와 냉매의 가역 흡착반응에 따르는 발열, 흡열현상을 이용하는 시스템으로서 산업폐열이나 태양열을 열원으로 하여 냉열을 발생시키는 냉동 열기관이다. 이 시스템은 전열관을 내장하고 있는 흡착탑, 응축기, 증발기로 구성되는 밀폐계의 진공용 기로서 시스템내부에는 흡착제와 냉매만이 존

* 한국동력자원연구소 산업연구실

** 한국에너지산업

재한다. 기본 사이클은 그림 1에 나타난 바와 같이 흡착공정과 재생공정으로 이루어져 있다. 그림 2에 흡착탑에서의 온도, 압력변화를 Clapeyron diagram에 도시하였다.

냉매의 흡착이 끝난 흡착탑을 온수로 가열함에 따라 탑의 압력이 증가하여(ab) 응축기에서의 냉매압력(P_c)과 같아지면 흡착탑과 응축기 사이의 밸브가 열리어 냉매는 탈착되어서 응축기로 이동하여 응축된다(bc). 흡착탑의 온도가 고온 열원의 온도에 근접하면(T_{max}) 재생공정이 끝난다. 이 때 응축되는 냉매의 응축열을 제거하기 위하여 응축기로 냉각수를 공급한다. 재생이 끝난 흡착탑에 냉각수를 공급하여 탑의 온도를 내림에 따라 탑의 압력이 떨어지며(cd), 탑의 압력이 증발기의 냉매 압력(P_{ev})과 같아지면 탑과 증발기를 연결하여 냉매가 증발하여 흡착제에 흡착되도록 한다(da). 이 때 냉매가 증발기에서 증발하면서 빼앗아가는 증발잠열로 인하여 증발기를 통과하는 냉수를 냉각하게 된다. 흡착탑의 온도가 냉각수의 온도에 근접하면(T_{ads}) 흡착공정이 끝난다. 냉매가 흡착제에 흡착하면서 발산하는 흡착열 때문에 흡착제의 온도가 상승하게 되어 흡착능력이 떨어지므로 흡착탑에 냉각수를 공급하

여 흡착열을 제거한다.

두개의 흡착탑을 사용하여 서로 틀리게 흡착공정과 재생공정을 되풀이 하도록 시스템을 구성함에 의해 연속적으로 냉열을 얻을 수 있다. 증발기에서 얻어지는 냉열의 양은 다음 식으로 표시된다.

$$Q = \Delta q \times L \times W_s / t$$

여기에서,

$$Q = \text{냉동능력(kcal/h)}$$

$$\Delta q = \text{흡착제의 흡탈착 능력(kg/kg)}$$

$$= q_{ad} - q_{de}$$

$$L = \text{냉매의 증발잠열(kcal/kg)}$$

$$W_s = \text{흡착제 중량(kg)}$$

$$t = \text{사이클 타임(흡착시간+재생시간)}$$

따라서 흡착식 냉동기의 성능을 향상시키기 위해서는 흡착제의 흡탈착 능력 Δq 가 커야하고 사이클 타임, t 가 짧아야 한다. 이렇게 하기 위해서는 적절한 냉매 및 흡착제가 선정되어야 하고 흡착제 자체의 성능을 향상시켜야 하며 흡착제로의 열전달이 잘 되도록 흡착탑내의 열교환기를 설계하여야 한다.

2.2 흡착제와 냉매의 선정

흡착제와 냉매의 선정시 제일 먼저 고려하여야 할 것은 흡착제를 재생하기 위하여 사용 가능한 열원의 온도와 흡착식 냉동시스템의 이용 목적이다. 흡착제의 종류에 따라 재생온도가 다르며 냉매의 종류에 따라 얻을 수 있는 냉열의 온도가 틀려진다. 대상으로 하는 흡착제로는 실리카겔, 활성탄, 활성알루미늄, 제올라이트 등이 있으며 냉매로는 물, 메탄올, NH_3 등이 있다. 재생온도가 가장 낮은 흡착제는 실리카겔이고 물을 냉매로 사용할 경우에는 $0^\circ C$ 이하의 냉열을 얻을 수 없다.

흡착식 냉동기는 냉매가 증발하면서 빼앗아가는 증발잠열에 의해 냉열이 생산되므로 흡착제에 흡탈착하는 냉매의 양(Δq)이 크고 냉매의 증발잠열(L)이 큰 흡착제와 냉매를 선정하여야 한다. 그리고 냉매가 흡착제에 흡탈착을 반복하도록 흡착탑을 흡착온도에서부터 탈착온도까지 반복하여 가열, 냉각시켜야 하

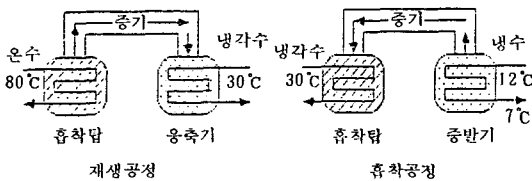


그림 1. 흡착식 냉동기의 원리

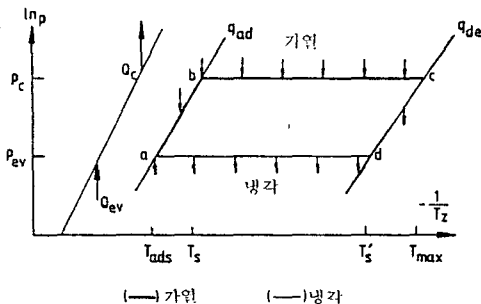


그림 2. 흡착식 냉동 사이클

는데, 이 때에 필요한 열량을 줄이기 위하여 흡착제의 비열이 낮고 흡착열(ΔH_a)이 작은 흡착제가 좋다.

상기와 같은 선정 조건에 따라 현재 많이 연구되고 있는 흡착제와 냉매조합은 다음과 같다.

- 실리카겔-물

저온폐열을(열원온도 65~100℃) 회수하여 공정용 냉수나 냉방에 필요한 냉열을(5~10℃) 얻는데 사용한다.

- 활성탄-메탄올

태양열(열원온도 80~150℃)을 이용한 태양열 냉장고(-15~0℃)나 얼음제조에 사용된다.

- 제올라이트-물

심야전력(열원온도 200~230℃)을 이용한 냉난방시스템(냉열 0~10℃, 온열 60~80℃)으로 연구되고 있다.

2.3 냉동 사이클 흐름

앞에서 설명한 바와 같은 흡착식 냉동시스템의 원리를 이용한 냉동 시스템은 그 사용 목적이나 열원에 따라 약간씩 다른 시스템을 구성할 수가 있다. 여기에서는 85℃의 저온 열수를 열원으로 하고 일반적인 산업체의 냉각수를 사용하여 공조용이나 산업용 냉수를 얻는 것을 목적으로 하는 냉동시스템을 예로 하여 설명하고자 한다.

이 시스템은 2기의 흡착제 열교환기, 응축기, 증발기로 구성되며, 냉매증기밸브와 온수와 냉각수의 흐름을 조절하기 위한 솔레노이드밸브들로 구성된다(그림3).

증발기의 전열관에는 냉수가 흐르고 응축기의 전열관 내에는 냉각수가 흐른다. 흡착탑내의 전열관으로는 경우에 따라 온수, 냉각수가 교대적으로 흐른다. 증발기에서 증발된 냉매증기는 나비밸브를 통하여 흡착탑으로 들어가서 흡착이 되고, 탈착공정에서 탈착이 된 냉매증기는 다시 응축기와 흡착탑 사이에 있는 나비밸브를 통하여 응축기로 흘러가서 응축이 되며 응축된 냉매는 관을 통하여 증발기로 되 돌아 오게 된다.

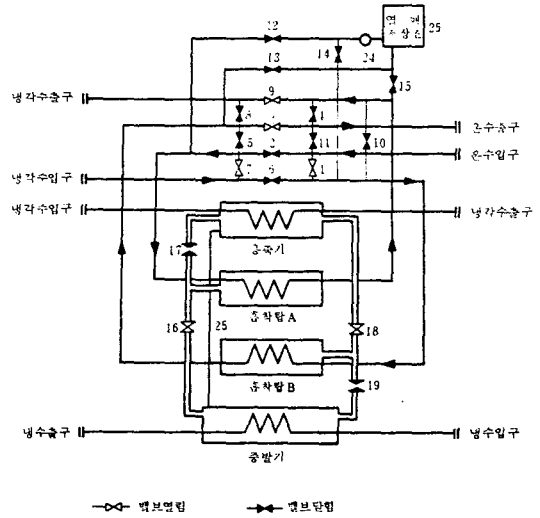


그림3. 흡착식 냉동시스템 계통도

밸브운전조작을 각 운전단계에 따라 설명하면 다음과 같다.

흡착탑 A에서 흡착이 종료되고 흡착탑 B가 탈착이 종료되는 시점까지는 밸브 (1), (3)이 열리어 흡착탑 B가 탈착이 되고, 밸브 (7), (9)가 열리어 흡착탑 A에 냉각수가 흐르며 흡착이 진행된다. 이때 나비밸브 (16)을 통과하여 냉매증기가 증발기로부터 흡착탑 A에 도달하여 흡착되고 나비밸브 (18)을 통하여 흡착탑 B에서 탈착된 증기가 응축기로 흘러서 응축이 된다.

흡착탑 A의 흡착이 끝나면 밸브 (1), (3), (7)이 닫기는 동시에 밸브 (5), (6)이 열리어 탈착이 끝난 흡착탑 B에 냉각수가 흘러 들어가게 되고 흡착탑 B에 들어있던 온수는 흡착탑 A로 밀려가서 온도가 낮은 상태에 있는 흡착탑 A를 가열하는데 사용된다. 온수가 흡착탑 A의 출구에 나올 때에는 다시 밸브 (5)가 닫히고 밸브 (8)이 열리어 흡착탑 B로는 냉각수만 순환이 되어 흡착탑 B를 냉각시키며 동시에 밸브 (2), (4)가 열리어 흡착탑 A로 온수가 순환하여 흡착탑 A를 가열하여 탈착을 시킴으로써 재생 사이클로 들어간다.

흡착탑 A의 압력이 응축기의 압력과 같아지게 되면 나비밸브(17)을 열어 탈착된 증기가 응축기로 흘러들어가서 응축이 되도록 한다.

흡착탑 B에서는 냉각이 계속됨에 따라서 흡착탑내의 압력이 점차로 낮아져서 증발기내의 압력과 같아지게 되면 나비밸브 (10)가 열리어 증발기내의 증기가 흡착탑내에 흘러들어가 흡착이 진행된다.

이와 같은 조작으로 흡착탑 B에서 흡착이 종료되고, 흡착탑 A에서 탈착이 종료되면 다시 마찬가지로 방법으로 밸브 개폐만 바꾸어 흡착탑 A에서는 흡착공정으로 들어가고 흡착탑 B는 탈착공정으로 들어가게 된다.

이러한 조작을 기본으로 하여 약간의 변형이 있을 수가 있는데 예를 들면 흡착탑 A가 흡착이 종료되고, 흡착탑 B가 탈착이 종료되었을 때에 흡착탑 B의 온수를 흡착탑 A로 흘러보내어 빠져 나오기 전 얼마동안 일체의 흐름을 정지시켜 온수가 가지고 있던 열을 흡착탑에서 가능한 한 많이 회수할 수 있도록 한다든가 또는 중간에 열매순환시스템을 구성하여 흡착탑 B가 보유하고 있던 잔열을 흡착탑 A에 공급해주고, 흡착탑 A에 체류하던 냉각수로는 흡착탑 B를 예냉시키는 방법으로 열효율을 증대시키고, 또 온수가 냉각탑으로 들어가는 것을 방지하는 것이다.

이러한 조작을 반복하는 동안에 증발기에서는 냉매의 증발잠열을 이용하여 냉수를 얻게 되는 것이다.

3. 흡착식 냉동기의 성능 및 경제성 평가

저온 폐열을 회수하여 냉열을 발생시키는 흡착식 냉동기는 전열계수가 높은 열교환기, 증발 응축 겸용의 고성능 전열관, 고체 흡착제의 연구 개발에 의해서 최근(1988년)에 일본에서 상품화된 새로운 시스템의 냉동기로서 현재 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 항에서는 현재 흡착식 냉동기를 제작하여 판매하고 있는 西淀空調機(株)의 기술자료를 토대로 하여 흡착식 냉동기의 성능과 경제성 평가를 하였다.^{4~9)}

3.1 흡착식 냉동기의 성능 및 특성

흡착식 냉동기는 공장내에서 대량으로 버

려지는 65℃ 이상의 저온배열을 이용하여 냉방이나 생산공정용의 냉수(6~20℃)를 생산하는데 적합한 장치로서, 이 시스템의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 공장내에서 최고로 많이 발생하는 65~100℃의 저온열원을 사용하여 냉열을 발생한다.

- 배열 이용시 발생하는 온수의 온도와 유량변동이 있어도 안정적인 냉동능력을 발휘한다.

- 본체 내에 구동부분이 없어서 고장의 염려가 없으며, 진동소음이 없다.

- 내식성, 안정성이 우수하여 반영구적으로 안정한 능력을 발휘한다.

- 운전시 정상상태에 도달하는 시간이 짧아 수분내로(약 6분) 냉수를 생산할 수 있다.

- 냉매로서 물이나 메탄올을 사용하기 때문에 환경파괴의 염려가 없다.

- 장치가 간단하기 때문에 유지, 관리가 용이하고 취급에 자격자가 필요없다.

- 에너지 절약형으로서 타형식 냉동시스템과 비교하여 매우 경제적이다.

- 단점으로는 초기투자비가 다른 형식에 비해 높고 설치공간이 크다는 점이 지적되고 있다.

공장폐열이나 엔진배열을 이용하여 냉수를 생산하는 배열회수기기로는 흡수식 냉동기가 일반화되어 있으나 열원조건(온도, 유량), 냉각수의 온도, 유량변동에 대한 추종성에 많은 문제점이 발생되고 있다.

그림 4에 흡수식 냉동기와 흡착식 냉동기의 냉동능력을 비교하였다.⁷⁾ 흡수식은 열원입구 온도가 80℃ 이하로 되면 냉동능력이 거의 0으로 되지만 흡착식의 경우는 70℃ 이하에서도 안정적인 능력을 얻을 수 있다. 또 흡착식 냉동기는 열원수량이 변화해도 흡수식에서와 같은 출력변동의 문제점이 보완되어 안정적인 운전이 가능하고 80℃ 이하에서도 정상운전이 가능한 것이 가장 큰 특징이다. 그림 5에 온수 입구온도와 냉각수온도에 따른 흡착식 냉동기의 성능을 도시하였다.⁴⁾ 흡착식의 성능은 온수온도와 냉수온도가 높을수록, 그리고 냉각수온도가 낮을수록 냉동능력과 성적계수는 높아

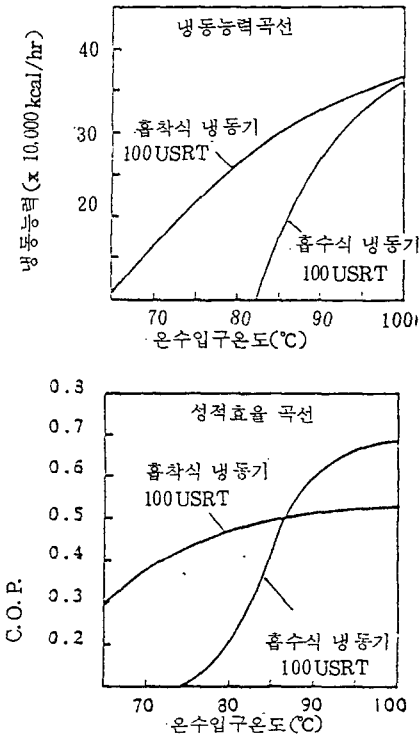


그림 4. 흡착식과 흡수식 냉동기의 성능비교

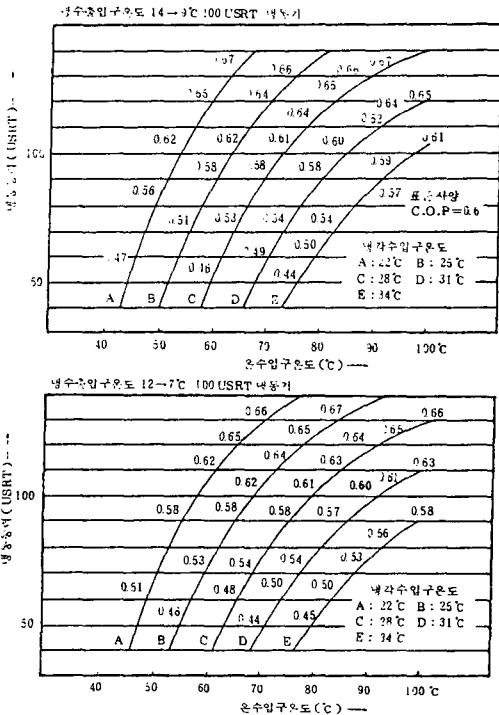


그림 5. 흡착식 냉동기의 성적효율 곡선

진다. 흡착식과 흡수식에서의 성적계수(COP)는 다음과 같이 정의한다.

$$\text{성적계수(COP)} =$$

$$\frac{\text{냉동발생능력(증발기)}}{\text{흡착제(흡수액) 재생에 사용되는 열량}}$$

흡착식 냉동기의 냉동용량 제어는 냉온수출구온도를 비례적으로 유지하기 위해 열매의 공급유량을 3way 또는 2way 밸브로 조정한다. 보호장치로서는 온수입구온도정지(100 °C 이상), 냉수출구온도장치(3°C 이하), 밸브의 이상정지 등의 장치를 장비하고 있지만, 기타 온도, 유량 및 어떠한 요인에 의해서도 악영향을 받지 않으므로 특별한 보호는 하지 않는다. 흡착식은 흡수식과 같이 진공계 내에서 응축, 증발조작을 하지만, 가동부분이 없고 수소가스 발생의 염려가 없기 때문에 추가조작이나 진공계 내의 관리(흡수식의 경우, 흡수액 관리)가 필요없다. 또한 밸브류도 120,000회 이상의 내구성이 확인되어 있으므로 특별한 보수관리와 유자격자의 필요성이 없다. 단 통상적인 열교환기와 같이 수질은 냉동성능 및 내구성에 큰 영향을 주기 때문에 충분한 관리가 필요하다.

흡수식의 경우는 성능곡선상의 냉동능력을 얻기 위해서 흡수액의 온도상승과 냉매의 온도저하 등 본체 자체가 상당히 큰 열용량을 갖고 있으므로 기동성이 좋지 않지만, 흡착식의 경우는 수분간에 흡착제의 가열, 냉각이 수행되고 보유냉매량도 일회 흡탈착에 필요한 정도의 적은 양이 충전되어 있어서 운전개시 후 수분내(최초의 재생시간)에 성능곡선상의 냉동용량 출력을 얻게 된다.

3.2 각종 냉동기의 운전비 비교

표 1에 흡착식, 흡수식, 터보 냉동기에 대해 냉동능력 100USRT인 경우의 운전비를 나타내었다. 연료(가스, 유류)를 사용하는 흡수식에 비교하면 전력사용량은 거의 같은 수준이지만, 흡착식의 경우는 저온폐열을 이용하는 시스템이므로 흡수식에서 필요한 재생 열원만큼의 운전비 절약이 가능하게 된다. 표

표 1. 각종 냉동기의 운전비 비교

	흡착식냉동기	가스흡수식 냉 동 기		등유흡수식냉동기		수 냉 chiller	공 냉 chiller
	전 력 kW	전 력 kW	도시가스 Nm ³ /h	전 력 kW	등 유 kg/h	전 력 kW	전 력 kW
냉 동 기 본 체	0.2	7.7	27.3	7.7	26.2	91.8	129.4
Cooling tower	3.6	3.3	—	3.3	—	3.3	—
냉 각 수 펌 프	7.5	3.7	—	3.7	—	2.2	—
온 수 펌 프	3.7	—	—	—	—	—	—
냉 수 펌 프	2.2	2.2	—	2.2	—	2.2	2.2
합 계	17.2	16.9	27.3	16.9	26.2	99.5	131.6

	흡착식냉동기	가스흡수식 냉 동 기	등유흡수식 냉 동 기	수 냉 chiller	공 냉 chiller
전력기본요금	2,820원×18kW×12월 =609,120원	2,820원×17kW×12월 =575,280원	2,820원×17kW×12월 =575,280원	2,820원×100kW×12월 =3,384,000원	2,820원×132kW×12월 =4,466,880원
전력량요금	38.35원×17.2kW×24h×365일=5,773,271원	38.35원×16.9kW×24h×365일=5,677,487원	38.35원×16.9kW×24h×365일=5,677,487원	38.35원×99.5kW×24h×365일=33,426,627원	38.35원×13.1kW×365일=44,210,494원
가스기본요금	—	4,873,700원×12월=53,484,400원	—	—	—
사용량요금	—	(19,656—15,000m ³)×302.84원×12월=16,902,276원	—	—	—
등유요금	—	—	26.2kg/h/0.8×24h×365일×170.3원/ℓ = 48,863,105원	—	—
1년간운전비	6,387,391원	81,639,443원	55,115,872원	36,810,627원	48,677,374원
5년간운전비	31,936,955원	408,197,215원	275,579,360원	184,053,135원	243,386,870원
10년간운전비	63,873,910원	816,394,430원	551,158,720원	368,106,270원	486,773,740원
1개월운전비	532,282원	6,803,287원	4,592,989원	3,067,552원	4,056,447원
1일운전비	17,742원	226,776원	153,100원	102,251원	135,214원
1시간운전비	739원	9,449원	6,379원	4,260원	5,634원
비 교	1	12.8	8.6	5.8	7.6
1년간차액	0	75,252,052원	48,728,481원	30,423,236원	42,289,983원

1에서와 같이 흡수식 대비 1/8~1/12 정도의 운전비로, 터보식 대비 1/5~1/8 수준의 운전비로서 요구 냉열을 얻을 수 있다.

3.3 흡착식 냉동기의 투자 경제성(일본의 경우)⁹⁾

흡착식 냉동기에 의해 저온폐열을 회수하여 7℃의 냉수를 87.9 RT 생산한다고 할 경우, 이 용량에 해당하는 각종 냉동기의 투자비와 연간경비를 일본의 단가에 기준하여 표 2에 나타내었다. 냉동회수량을 편의상 가장 투자비가 적은 터보식 수냉 Chiller를 기준으로 하여 금액으로 환산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{냉열환산금액} &= (87.9 \text{ RT})(8,640 \text{ hr/Yr}) \\ & (\text{kWh/RT})(\text{¥}18/\text{kWh}) \\ & = \text{¥}13,671,000/\text{Yr} \end{aligned}$$

기준 :

- 터보식 수냉 Chiller의 경우 kWh/RT의 전력이가 요구됨
- 전력단가 : ¥18/kWh

흡착식 냉동기의 연간경비가 ¥2,878,000이 소요되므로 연간 이익은 ¥10,793,000이 되며, 투자회수기간은 1.4년이 된다.

흡수식 또는 터보방식에 비교하여 흡착식의 투자비가 높지만, 투자비 차액과 절감액을 고려한 투자회수기간은 산업공정용의 경우 약 1년, 냉방공조용의 경우 가동율이 낮으므로 2~5년으로 나타나 있다.

표 2. 냉동기 형식별 투자비

구 분	투 자 비 (10 ³ ¥)	연간경비 (10 ³ ¥)
흡 착 식	14,849	2,878
흡 수 식(GAS)	12,917	29,282
터 보 식(수냉)	8,712	16,313
터 보 식(공냉)	11,524	20,066

4. 흡탈착 현상을 이용하는 열사이클 시스템의 연구개발 사례

기체가 고체흡착제에 물리흡착하는 현상은 발열반응으로서 흡착시에는 열을 방출하고 탈

착시에는 열을 흡수한다. 이와 같은 흡탈착현상을 이용하면 히트펌프, 냉각, 축열 등의 열 사이클을 구성하는 것이 가능하므로 최근에 여러 시스템이 제안되어 연구되고 있다.

4.1 냉동 및 냉방

(1) 흡착식 냉동기

공장에서 대량으로 버려지는 저온(65~85℃) 폐열을 이용하여 5~10℃의 냉수를 생산하여 냉방이나 프로세스 냉수로 사용하는 시스템으로서 1988년에 일본의 Nishiyodo Kuchiki Co.에서 개발하여 실용화하였다.

흡착식 냉동기는 흡수식 냉동기의 적용 범위는 물론이고, 열원이 간헐적, 주기적 변동이 있는 저질의 열원에도 적용될 수 있는 시스템으로서 화학, 제철, 섬유, 식품, 인쇄공장 등의 폐열을 이용하여 공정용 냉수를 생산하거나 냉방을 하는데 사용되고 있으며, 엔진배열을 이용한 Co-generation 시스템의 냉동기 선박용 냉동기로도 사용되고 있다. 이 외에도 보일러 소각로, 연료전지의 폐열, 태양열, 지열이용 등의 분야에도 적용될 수 있다.

(2) 태양열 냉장고

그림 6과 같은 모양의 냉장고로서 밤에 흡착제에 냉매(흡착질)를 흡착시켜서 냉매의 증발잠열을 냉장고 냉각에 사용하고, 낮에 태양열을 이용하여 흡착된 냉매를 탈착시켜 흡착제를 재생한다. 프랑스에서는 BLM Brissonneau & Lotz Marine Co.와 국립연구소인 CNRS, AFME가 공동으로 연구, 개발하여 상품화하였으며 흡착제와 냉매로 황성탄과 메탄올을 사용한다.¹⁰⁾ 미국에서는 MIT의 Tchernev¹¹⁾에 의해 개발되어 Zeopower Co.에서 실용화하였으며, 흡착제로서 천연제올라이트, 냉매로서 물을 사용한다.

(3) 얼음 제조

황성탄과 메탄올을 사용하여 태양열을 열원으로 해서 얼음을 제조하는 장치(그림 7)가 M. Pons 등에 의해 개발되고 있다.^{12,13)} 이 장치는 흡착제로서 태양열 집열기(1, 2, 3, 4)에 충전되어 있는 황성탄(130kg)을 사용하고, 냉매로 메탄올을 사용하는 시스템으로서 하루에 약 30kg의 얼음을 생산할 수 있다.

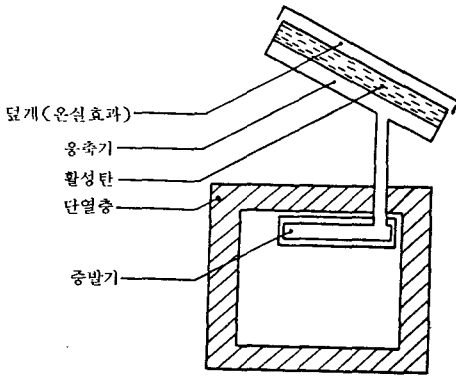


그림 6. 태양열 구동방식의 흡착식 냉장고

(4) 흡착식 건조 냉방시스템

흡착제를 이용하여 공기를 제습한 후, 건조한 공기에 미세한 물방울을 스프레이하면 물방울의 증발에 의해 단열·냉각되어 차가운 공기가 얻어지며, 흡착제의 재생은 태양열이나 저온폐열을 이용하는 흡착식 건조 냉방시스템이 연구되고 있으며,^{14~16)} 곧 실용화될 것으로 기대된다. 그림 8¹⁵⁾에 그 모형을 도시하였다.

이 밖에도 냉장차에 흡착식 냉동기를 장치하여 이동하는 도중에 흡착공정으로 운전하여 냉열을 얻고 목적지에 도착하면 흡착탑을 가열 재생하는 연구도 진행되고 있다.

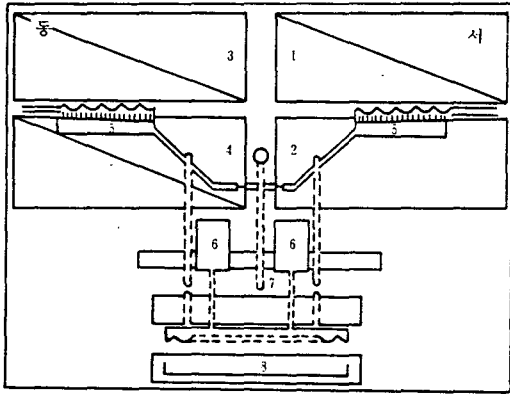


그림 7. 태양열을 이용한 흡착식 얼음제조장치

4.2 축 열

(1) Alefeld et al.¹⁷⁾는 열원이 없는 시간대에 열을 공급하는 흡착식 축열시스템을 연구하고 있다. 심야전력이나 배열을 이용하여 180℃~280℃로 제올라이트 흡착제를 재생하고 이 때 탈착된 수증기의 응축열을 난방에 사용하고(재생공정), 다음에 고온으로 있는 흡착탑을 냉각하면서 탑이 가지고 있는 현열을 회수하여 난방에 이용하며(냉각공정), 탑이 낮은 온도로 되면 수증기를 흡착시키어 이 때의 흡착열을 난방에 이용한다(흡착공정).

(2) R. Jauk et al.¹⁸⁾은 심야전력으로 흡착제를 재생하고(200~230℃), 낮에 냉방(0~10℃)과 난방(60~80℃)을 동시에 하는 시스템을 연구 중이며 Pilot 실험을 거쳐서 실용화를 준비 중에 있다. 그림 9은 Berlin에 있는 EAB GmbH에 설치된 것으로서 8kW의 전기히터를 사용하여 제올라이트 흡착제(200kg)을 재생하면, 10℃의 냉수를 3kW 얻고 60℃의 온수를 3kW 얻는다. 또 Munich의 Schiedel GmbH에는 Cooling Power 24kW(6℃), Heating Power 90kW(60℃)의 시스템을 설치하여 실험하고 있다.

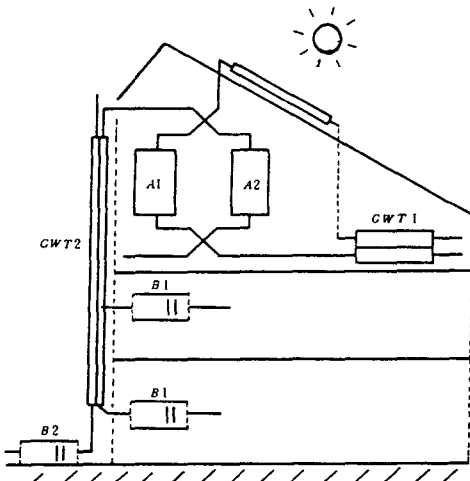


그림 8. 태양열 구동방식의 흡착식 냉방시스템

4.3 승 열

이용가치가 적은 저온 스팀을 제올라이트 흡착탑에 보내어 흡착시킴에 의해 발생하는

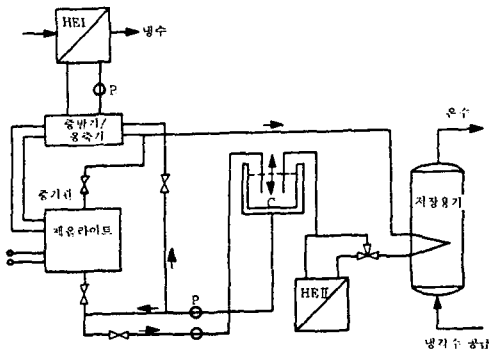


그림 9. 심야전력을 이용한 흡착식 냉난방장치

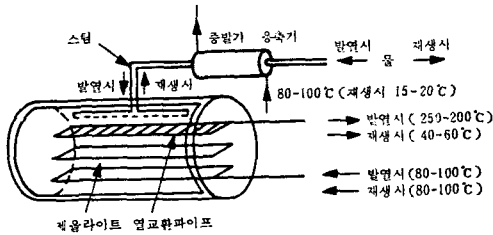


그림 10. 스팀 승열장치

흡착열로 고온의 스팀을 얻는 시스템이 폐열 회수 측면에서 검토되어 실험되고 있으며 그림 10에 그 개념도를 도시하였다.¹⁹⁾

5. 결 론

당 연구실에서는 산업체의 저온폐열을 회수하여 냉동이나 냉방에 활용하기 위한 연구를 파기처 특정과제로 수행하고 있다.²⁰⁾

비교적 고온의 폐열은 회수하여 사용하기가 쉽지만 저온일 경우에는 적당한 회수방법이 적고, 또 회수한다고 하여도 마땅한 사용처가 없을 때에는 버려지는 수가 많다. 이러한 경우에 흡착식 냉동기를 사용하여 냉동이나 냉방에 활용한다면 전기에너지를 절감할 수 있고, 하절기에 냉동, 냉방부하의 증가로 전력부하가 폭증되는 현상을 줄일 수 있을 것이다.

흡착식 냉동기는 폐열을 사용하여 흡착탑을 재생한다고 할 경우, 기계적 구동장치나 기타의 열원이 필요없으므로 압축식 냉동기나 흡수식 냉동기 보다 경제성이 좋은 것으로 나타났다.

흡착식 냉동시스템은 오존층파괴의 원인인 CFC를 사용하지 않고 냉열을 발생하는 대체 기술의 대안으로서 그리고 태양열을 이용하여 냉동이나 냉방을 하는 대체에너지 기술로서 연구할 가치가 충분히 있으며, 심야전력을 이용하여 냉난방을 하는 축열시스템으로도 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Douss, N. and F. Meunier, Heat Recovery Systems & CHP, Vol.8, No.5, pp. 383-392, 1988.
2. Douss, N. et al., Ind. Eng. Chem. Res. Vol.27, No.2, pp.310-316, 1988.
3. Douss, N. and F. Meunier, Chem. Eng. Sci., Vol.44, No.2, pp.225-235, 1989.
4. 西淀空調機(株), 吸着式冷凍機技術資料, 1988年11月.
5. 松下昌生, Refrigeration, Vol.65, No.748, pp.68-74, 1990.
6. 西淀空調機(株), JP 62-216140, JP 62-131725
7. 二見伸明, 化學裝置, pp.138-141, 1987年10月.
8. 西淀空調機(株), 省エネルギー, Vol. 39, No.10, pp.96-100, 1987.
9. 黒田弘毅, 열산업정보, pp.78-84, 1989年10月.
10. France, PATENT N° 4686836, 2530791
11. Tchernev D. L., Natural Zeolites, ed. by L. B. Sand, pp.479, Pergamon Press, 1978.
Po ;, M. and Ph. Grenier, ASME J. of Solar Energy Engineering, Vol.109, pp.303-310, November 1987.

13. Pons, M. and J. J. Guilleminot, ASME J. of Solar Energy Engineering, Vol.108, pp.332-337, November 1986.
14. George, O. G. Löf et al., ASME J. of Solar Energy Engineering, Vol.110, pp. 165-171, August 1988.
15. J. Bassols-Rheinfelder, Solar Energy, Vol. 35, No.1, pp.93-104. 1985.
16. 小坂 外, サンシャインジャーナル, Vol.5, No.1・2, pp.49-55, 1984.
17. Alefeld et al., JP 61-502008
18. Jank R. et al., Proc. Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf., Vol.22, No.3, pp.1324-1327, 1987.
19. 三輪, 化學工學, Vol.46, pp.347-351, 1982.
20. 조순행 외, 흡착제를 이용한 에너지 절약 시스템 개발(I), 과학기술처, 1990년 4월.