흡착식 히트 펌프의 성능 특성

오후규 · 윤정인

A Performance Charateristics of a Solid Adsorption Heat Pump

Hu-Gyu Oh · Jung-In Yun

● 오후규(부산수산대 냉동공학과)
● 1947년생
● 열공학, 냉동공학을 전공하였으며, 압축식 및 흡수식 냉동장치의 성능향상과 고성능 열교환기 등에 관심을 가지고 있다.

● 윤정인(동경농공대학 시스템공학과)
● 1962년생
● 냉동공학, 열공학을 전공하였으며, 흡수식 냉동장치와 냉매의 열전달에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

기체에서 고체로의 흡착현상은 원래 기체의 분리나 정제에 널리 사용되어 왔으며, 오늘날 이 분야에 대한 기초 응용연구가 활발히 이루어지고 있다. 기체의 흡착현상은 기상과 흡착상 사이의 상변화이므로 흡착할 때에는 발열이, 탈착할 때에는 흡열이 동반된다. 흡착질(냉매)의 물질이동에 따른 흡착열 형태로의 열 이동에 착안하여, 이를 적극적으로 이용하고자 하는 것이 흡착식 히트펌프이다. 흡착식 히트펌프는 흡착제와 흡착질을 사용한 열기관으로 비프레온화와 폐열 이용이라는 관점에서 주목받고 있다. 또, 흡착식 히트펌프는 저온 열원으로 구동할 수 있으므로 엑서지효과가 크다

흡착계의 선택은 냉동기의 본질적인 성능을 결정하기 때문에 사용하는 열교환기의 전열특성, 시스템의 구성 등과 함께 중요한 위치를 차지하고 있다. 따라서 사용목적에 맞는 흡착계의 선택이 중요하다. 여기서는 흡착식 히트펌프의 성능특성과 실용화를 위한 연구 개발 요점 등을 정리하였다.

2. 흡착제 및 흡착질의 기본적인 성질

2.1 흡착현상

흡착은 고체-액체, 고체-기체 및 기체-액체, 액체-액체 계면에 있어서 기체 혹은 액체의 특정성분이 농축되는 현상이며, 탈착은 그 반대의 현상이다. 이러한 현상을 이용하여 고체입자로 기체 혹은 액체 혼합물의 분리·정제, 불필요한 성분의 제거, 그리고 유용성분의 회수 등을 행하는 조작을 일반적으로 흡착조작이라 한다. 이때, 고체 입자에 흡착되는 특정 성분을 흡착질이라 하며, 흡착제-흡착질의 조합을 흡착계라 한다. 흡착제는 그 조성이나 제조 공정 등에 따라 미세한 구멍을 가진 다공체와 그렇지 않은 비다공체로 분류된다. 비다공체에는 표면에너지 분포가 불균일하여 활성이 다른 흡착점에 피흡착 분자가 보충된다. 그러므로 흡착점이 전부 점거되어도 그림 1에 나타낸 것과 같이 기상에서 피흡착 분자의 분압 및 온도 등이

조건에 따라 흡착분자 위에 다시 흡착이 일어나 다분자층이 형성된다. 따라서 이 때의 조건에 따라 포화상태에 이르게 되고, 이와 같이 표면상에 흡착된 분자는 흡착에너지보다 큰 에너지를 주어야 탈착된다.

다공체는 특유의 다공성 구조가 발달되어 있으므로 비표면적이 상당히 크고, 외부 표면적은 전체 표면적의 일부에 지나지 않는다. 그러므로 흡착성능은 주로 표면 및 세공즉, 미세한 구멍의 구조에 따라 지배되며, 세공을 충진하는 형태로 흡착이 이루어진다. 세공내부에서는 포화증기압이 작게 되는 모세 응축이 발생되므로 흡착분자는 액화된다. 따라서 흡착등온선과 탈착등온선이 일치하지 않는 현상이 발생된다. 한편 흡착 상태가 화학결합이라고 봐도 좋은 경우와 단지 물리적으로 보충되어 있는 경우로 볼 수 있다. 전자를 화학흡착, 후자를 물리흡착이라 한다. 화학흡착은 흡착물질과 고체물질과의 특정한 조합에 의해서만 발생하지만, 물리흡착은 이

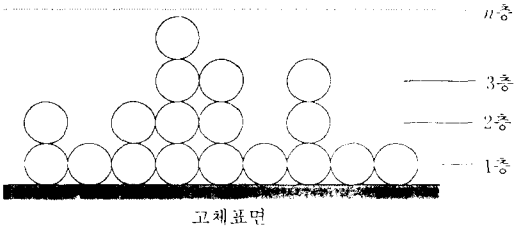


그림 1 고체표면의 흡착모델

와 같은 선택성이 없다. 물리흡착에서는 흡착열의 크기가 흡착물질의 액화열, 승화열 정도인데 비해, 화학흡착에서는 화학 결합열 정도이다. 또, 물리흡착은 흡착속도에 활성화 에너지가 동반되지 않기 때문에 빨리 평형에 도달하여 단분자층 흡착에 지나지 않는다. 이러한 각종 현상적 특징으로부터 화학흡착을 활성화 흡착, 물리흡착을 반델발스(Van der waals)흡착이라고도 한다. 이들의 비교를 표 1에 나타낸다.

2.2 흡착열

흡착은 발열현상이며 발생열량의 크기는 흡착제·흡착질에 의한 것으로 흡착의 세기 또는 친화력의 세기를 나타낸다. 기체나 용질이 고체계면에 접촉하여 흡착되는 경우, 피흡착 분자측에서 보면 흡착전까지 3차원 공간을 자유로이 운동하고 있는 상태에서 2차원의 평면상 또는 좁은 공간내로 흡착된다. 이것을 열역학적으로 표현하면, 엔트로피(S1)가 큰 상태에서 엔트로피(S2)가 작은 상태로 변화한 것이 된다. 흡착이 정압하에서 점차 평형상태로 되는 경우, 자유에너지 변화량을 ΔG, 엔탈피 변화량을 ΔH, 그리고 엔트로피 변화량을 ΔS, 절대온도를 T라고 하면, 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다.

표 1 물리흡착과 화학흡착과의 비교

	물리흡착	화학흡착
온도	저온에서 흡착량이 크다	비교적 높은 온도에서 일어난다
피흡착질	비선택성	선택성
흡착열	크다 : 10[kcal/mol] 이하 (=41.8[KJ/mol] 응축열과 같은 정도	크다 : 10~30[kcal/mol] 141.8~125.4[KJ/mol] 반응열과 같은 정도
가역성	가역성	비가역인 경우가 있음
흡착속도	크다	작다(활성화 에너지가 필요)

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

$$\Delta S = S2 - S1 < 0 \quad (2)$$

흡착이 일어나기 위해서는 ΔG는 항상 음의 값이어야 한다. 따라서 $\Delta H < 0$이 되어 발열현상이 된다.

아무것도 흡착하고 있지 않은 흡착제에 흡착질이 흡착되어 있을 때 흡착열은 최대로 되며, 표면이 피복됨에 따라 흡착열은 차차 감소한다. 이것은 흡착제 표면이 에너지적으로 불균일하여 흡착 포텐셜이 높은 곳에서부터 점차 흡착되어 가기 때문이다. 이것은 Clausius-clapeyron의 식으로부터 식 (3)과 같이 구할 수 있다. (단, T_3, T_4, P_1, P_2는 그림 7참조)

$$\Delta H = \frac{R\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_4}} \quad (3)$$

2.3 흡착계의 선택

흡착제 및 흡착질을 결정할 때에는 조작상황을 고려하는 것이 중요하다. 일반적인 제약(유효성, 가격, 독성의 유무, 부식성, 조작시의 손실, 설계)및 다음 세 가지 문제를 생각할 수 있다.

2.3.1 친화력

흡착방법은 기상의 흡착과 액상의 흡착으로 크게 나눌 수 있다. 활성탄 등 소수성 흡착제는 수분에 대한 친화력이 매우 작기 때문에 기상·액상 모두에 사용할 수 있다. 그러나 실리카겔이나 합성제오라이트 등의 친수성 흡착제는 물에 대한 친화력이 크기 때문에 주로 기상의 흡착에 사용된다. 활성탄은 어느 정도의 표면극성을 가지고 있으나, 실리카겔이나 합성제오라이트에 비하면 극히 적다. 대표적인 흡착제에 관한 흡착선택성은 그림 2에 나타낸 것과 같이 분자의 크기, 불포화도 및 극성기의 종류 등에 따라 영향을 받는다. 활성탄은 분자량이 큰 포화화합물을 흡착하는 경향이 있으며, 실리카겔 등의 극성물질을 선택적으로 흡착한다. 가격, 독성, 연소성, 증발잠열, 흡착제에 대한 친화력 등을 생각하면, 물이 흡착질로서 가장 적합하다고 말할 수 있다. 물의 결점에는 증기압이 작은 것, 비용적이 큰 것 등을 들 수 있으며, 특히 0℃ 이하로 냉각시킬 경우에는 메탄올(메탄올의 압력이 물보다 높고, 부식의 염려도 없으며, 제오라이트나 활성탄에 대해 친화력이 있다)이 적합하다.

2.3.2 흡착등온선도

대표적인 흡착제에 관한 흡착등온선도를 그림 3에 나타낸다. 단, 흡착량은 다음 식으로 정의하였다.

$$\text{흡착량[kg/kg]} = \frac{\text{흡착제에 포함되는 흡착질의 질량[kg]}}{\text{건조 실리카겔의 질량[kg]}} \quad (4)$$

일반적으로 흡착제의 흡착성능에는 흡착용량과 흡착강도라는 두 가지 표시가 사용된다. 흡착용량은 흡착제가 어떠한 조건에서 건조 단위 중량당 흡착하는 포화흡착량을 나타내며, 흡착강도는 흡착제의 흡착질에 대한 친화력의 강도, 즉, 어느 정도까지 동반유체 중 잔류흡착질을 작게 할 수 있는가를 나타내는 것이다. 실리카겔 및 활성탄은 최대 흡착용량이 크지만, 관계습도에 의존한다. 이 중 실리카겔은 가격이 싼 장점은 있으나, 내열성에 약한면을 보인다. 또, 활성탄은 물보다 유기화합물이 적합하다. 이에 비해 합성

	비극성 ⟷ 극성 포화결합 ⟷ 불포화결합	
크다 ↑ 분자직경 ↓ 작다	활성탄	실리카겔 알루미늄계
	molecular sieve 카본	합성 제오라이트

그림 2 각종 흡착제의 선택성

제오라이트(13X, 4A, 5A)는 특히 관계습도가 적을 때 흡착강도가 크고, 내열성에도 우수하지만 가격이 비싼 결점이 있다.

2.3.3 흡착열

열에너지는 현열, 혹은 잠열로써 저장된다. 현열에 의한 축열이 가장 가격이 싼 것처럼 생각되나, 대량의 열에너지가 필요한 경우에는 한계가 있어 잠열을 이용한 축열시스템의 개발이 필요하다.

흡착질이 물인 경우의 흡착제를 합성제오라이트, 천연제오라이트, 실리카겔, 활성 염화알루미늄(alumina)이라 하면 흡착열은 각각 4.2, 3.3, 2.8, 3.0[MJ/kg]이 된다. 여기서, 흡착열만을 생각하면, 흡착제는 열량이 가장 큰 합성제오라이트 계가 가장 적합하나, 이것은 목적이 난방일 때이고, 흡착공정에서의 흡착제 냉각시에 있어서 흡착열이 필요 이상으로 커서 열교환기가 비효율적으로 되지만, 냉방일 경우에는 그렇지 않다.

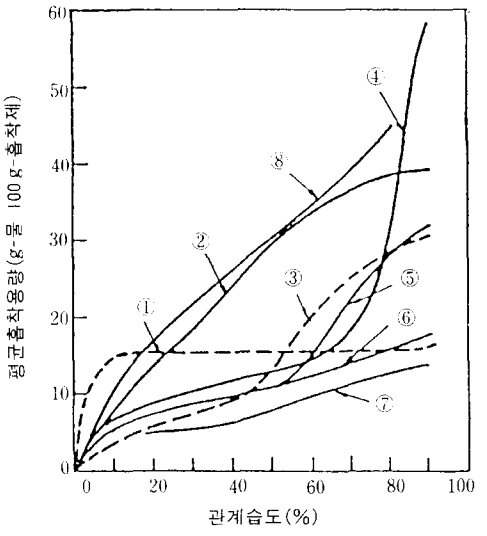


그림 3 각종 흡착제의 흡착 등 압선도
① 합성제오라이트, ② 실리카겔 N, ③ 실리카겔 W, ④ 알루미나겔 D, P, ⑤ ALCOA H-151, ⑥ ALCOA F-1, ⑦ Florite, ⑧ 세카드 K

이것은 다음에 설명할 흡착식 냉동기의 작동원리에서도 알 수 있다.

2.3.4 흡착계의 종합적 검토

축열을 목적으로 하는 흡착계의 조합은 위에서 본 바와 같이 친화력, 흡착등온선도, 흡착열 이외에도 재생온도가 고온인 경우(약 200℃)와 저온인 경우로 크게 나눌 수 있다. 이를 정리하면 그림 4와 같이 된다. 고온에서 재생하는 경우는 제오라이트-물에 거의 한정된다. 또, 저온에서 재생하는 경우에는 실리카겔-물, 실리카겔-메탄올, 활성탄-메탄올 등의 조합이 가능한 것을 알 수 있다. 그러나 실리카겔에 대해서는 물이 적당하며, 활성탄-메탄올계는 물이 동결하는 0℃ 이하의 경우 적합하다.

여기서 정리한 것은 어디까지나 기존의 흡착제를 사용하고 있는 최근의 연구예로부터 정리한 것이다. 흡착제의 평가에 있어서는 흡착질과의 흡착평형 관계나 안정성이 중요한 것은 말할 필요도 없지만, 이외에도 열용량과 열전도율, 기계적 강도 등이 중요한 인자가 될 경우가 많다. 그림 4의 불가능을 가능하게 하는 흡착제나, 아주 큰 열전도율을 가진 흡착제 등 히트펌프 전용 흡착제의 개발이 앞으로의 흡착식 개발 방향의 하나가 되리라 생각된다.

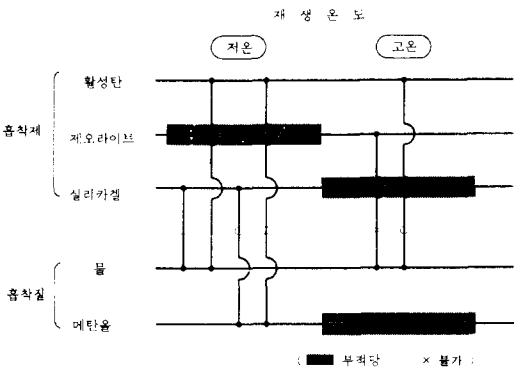
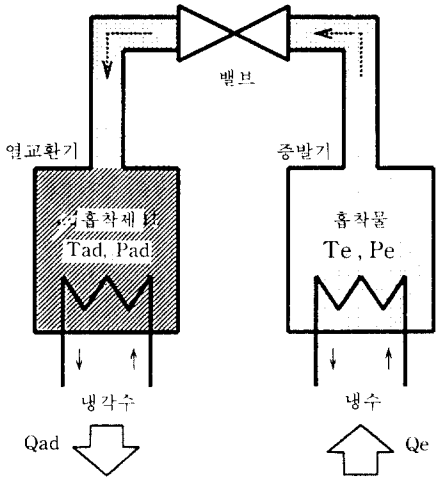


그림 4 흡착계의 조합

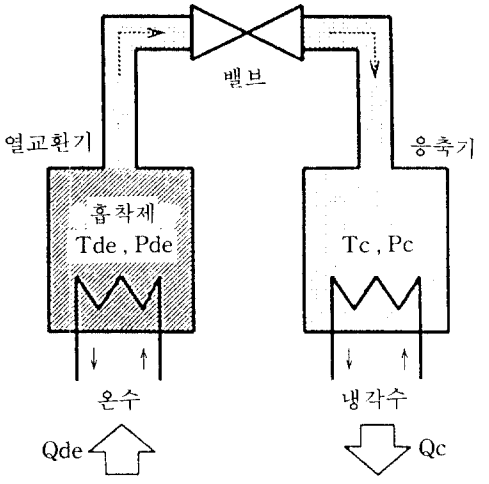
3. 흡착식 히트펌프의 개요 및 성능특성

3.1 작동원리 및 기본 사이클

흡착식 냉동기는 흡착할 때 발생하는 흡착열에 착안하여, 중·저온 열원을 투입함으로써 냉열을 발생시키는 기기로, 한 사이클은 흡착과정과 탈착과정으로 크게 나눌 수 있다.



(a) 흡착공정



(b) 탈착공정

그림 5 흡착식 냉동기의 작동원리

흡착과정의 작동원리를 그림 5(a)에 나타낸다. 계내는 진공상태이며, 흡착제와 흡착질만이 존재한다. 먼저, 증기밸브를 열고, 냉각수로 흡착제의 온도를 낮추면, 포화 흡착량이 증가하기 때문에 증발기내에서의 흡착질이 냉수로부터 잠열 Qe를 얻고, 기화하여 흡착제에 흡착된다. 열교환기내에서는 흡착열이 생기지만 냉각수가 흡착제로부터 열량 Qad를 빼앗기 때문에 다시 흡착이 일어난다. 또 계내의 압력은 증발기 내의 압력 Pe와 거의 동일하다.

탈착과정은 그림 5(b)에 나타낸 것과 같이 온수에 의해 흡착제의 온도가 상승하여, 포화흡착량이 감소한다. 이에 따라 탈착이 생기며, 응축기에 있어서 냉각수에 잠열 Qc를 줌으로써 탈착질은 응축된다. 따라서 흡착량은 감소한다. 그리고 열교환기내에서 흡착제가 온수로부터 열량 Qde를 얻어 다시 탈착한다. 탈착과정에서와 같이 압력은 응축기내의 압력 Pc와 거의 같다. 그러나 이와 같은 경우에는 탈착과정에서 냉열이 얻어지지 않아 실용적이지 못하다. 따라서 2개의 열교환기를 1조로 하여, 한쪽이 흡착과정일 때 다른 한쪽은 탈착과정이 되게 하여 2개의 과정을 주기적으로 변화시키면 연속적으로 냉열을 얻을 수 있다.

단단형 흡착식 냉동기는 그림 6과 같이 증발기, 응축기, 열교환기 1, 2(탈·흡착기) 및 증기밸브로 구성되어 있으며, 흡착제에는 실리카겔을, 흡착질에는 물을 사용한다. 밸브의 개폐 및 2개의 열교환기에 흐르는 온수, 냉각수의 선택은 표 2의 타임챠트에 따라 시간제어를 한다. 한 사이클을 크게 4가지로 나누어 각각의 사이클을 A, B, C, D라 하면, 사이클 A는 우선 벨브 2, 3을 열고, 열교환기 1에 냉각수를 흘려 충진되어 있는 실리카겔의 온도를 내려 흡착과정을 진행한다. 이 과정에서 증발기내의 물이 기화

하여 냉열 Qe를 얻는다. 그리고 흡착됨에 따라 냉각수가 열량 Qad를 얻는다. 또, 열교환기 2에는 가동 열원인 온수를 흘려, 열량 Qde로 충진되어 있는 실리카겔을 가열하여 탈착과정을 진행한다. 이 과정에서 탈착한 증기가 응축기에서 응축하여, 냉각수에 응축열 Qc를 주게 된다.

표 2 단단형 흡착식 냉동기 타임차트

사이클		A	B	C	D
시간(sec)		420	30	420	30
밸브	1	×	×	○	×
	2	○	×	×	×
	3	○	×	×	×
	4	×	×	○	×
열교환기	1	Cw	Hw	Hw	Cw
	2	Hw	Cw	Cw	Hw

○ : 열림, × : 닫힘, Hw : 온수, Cw : 냉수

사이클 B는, 열교환기 1이 흡착과정에서 탈착과정으로, 열교환기 2가 탈착과정에서 흡착과정으로 이동하기 위한 준비과정이다. 우선 모든 밸브를 닫아 탈·흡착에 의한 열 및 물질 이동을 정지시킨 다음 열교환기 1에는 온수를 흘려 내부를 가열하고, 열교환기 2에는 냉각수를 흘려 내부온도를 낮춘다. 따라서 사이클 C로 이동하기 전에 실리카겔의 온도를 약간 조절할 수 있게 되어 다음 과정으로의 시작이 부드럽게 된다. 사이클 C, D

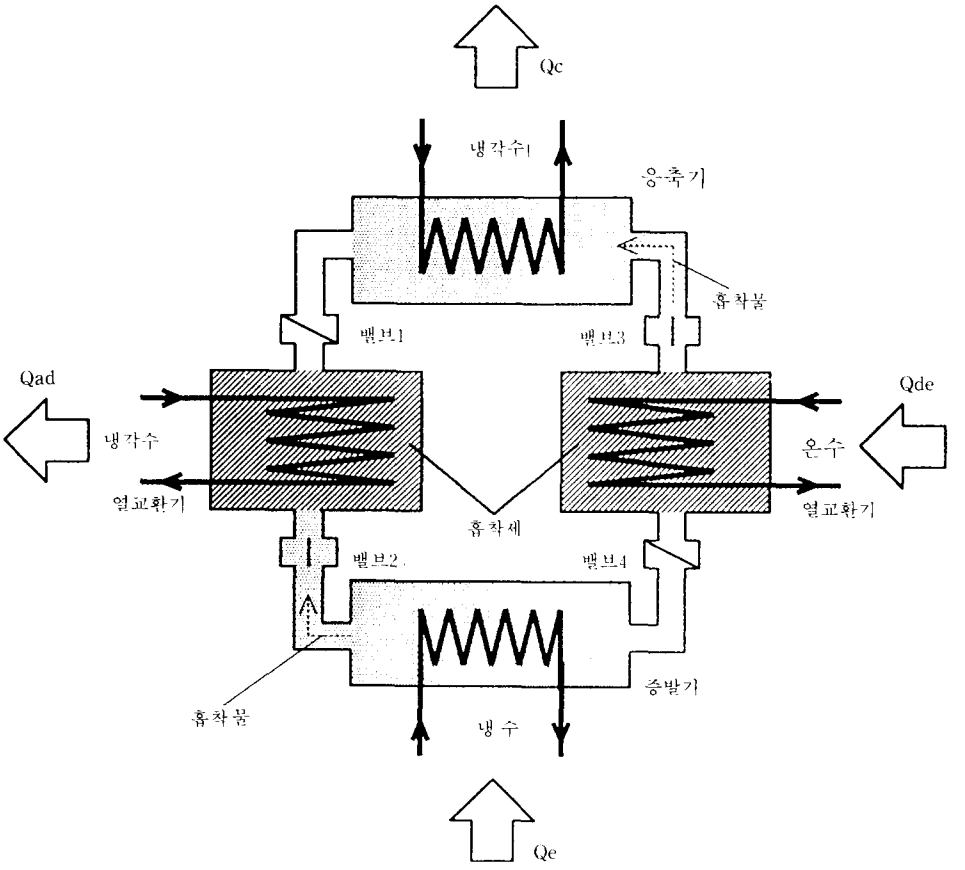


그림 6 단단형 흡착식 냉동기 개량도(사이클 A)

는 각각 사이클 A, B의 역과정이다. 사이클 C에서는 밸브 1, 4를 열고, 열교환기 1에 온수를 흘려 탈착과정으로, 열교환기 2에는 냉각수를 흘려 흡착과정으로 한다. 사이클 D는 열교환기 1이 탈착과정에서 흡착과정으로, 열교환기 2가 흡착과정에서 탈착과정으로 이행하는 준비과정이며, 사이클 D의 종료 후에는 다시 사이클 A가 이루어진다.

기본사이클을 그림 7에 나타내었다. ③→④→⑤→⑥은 흡착제에 관한 사이클, ①→②(①←②)는 흡착질에 관한 사이클을 각각 나타내고 있다. ⑥→③은 흡착과정, ④→⑤는 탈착과정, ③→④, ⑤→⑥은 준비과정이다. 위에서도 언급한 바와 같이 열교환기 1은 ⑥→③→④→⑤, 열교환기 2는 ④→⑤→⑥→③의 순으로 이루어진다. 여기서, T_3은 냉각수 입구온도, T_5는 온수 입구온도와 거의 같다.

흡착·재생사이클에서의 흡착제의 온도와 흡착량의 변화를 흡착등압선에 나타낸 것이 그림 8이다. 여기서, 흡착질이 증발하는 온도(증발온도)를 T_{ev}, 흡착시의 흡착제의 온도(흡착온도)를 T_{ad}, 구동열원으로부터 가열승온된 탈착시의 흡착제의 온도(재생온도)를 T_{de}, 탈착한 흡착질을 응축시는 온도(응축온도)를 T_c, 또한 온도 T에 있어서 포화증기압은 $P_s(T)$로 나타내고 있다. 증발온도는 냉방·냉동을 목적으로 하는 경우의 이용 냉열온도에, 흡착온도는 난방을 목적으로 하는 경우의 이용 열온도에, 재생온도는 열원으로부터 얻어진 온도에, 응축온도는 응축열을 이용하는 경우의 이용온도에 각각 대응한다. 1회의 흡착사이클에 있어서 열이동량은 그림 8의 Δq 크기로 결정되기 때문에 이용가능한 열원의 온도와 이용 목적온도에 대응하여, 가장 효과적인 흡착계의 선택이 중요하다. 흡착시 히트펌프의 용도와 목적온도 범위를 표 3에 나타내었다.

냉방과 난방은 각각 어느 한 쪽을 목적으로 하는 경우와 밸브조절에 의해 양쪽을 모두 목적으로 하는 경우가 있다. 이와 같이 냉열을 얻고자 해도 필요로 하는 목적온도에 따라 냉방, 제빙, 냉동으로 구반하기도 한다.

냉방, 제빙, 냉동을 목적으로 하는 경우의 성적계수(cooling COP)와 난방을 목적으로 하는 경우의 성적계수(heating COP)는 각각 다음식과 같이 정의된다.

$$COP_{cooling} = \frac{\text{흡착할 때 증발기에서의 흡열량}}{\text{탈착할 때 흡착기에의 공급열량}}$$

$$COP_{Heating} = \text{탈착할 때 응축기에서의 방열량} + \frac{\text{흡착할 때 흡착기로부터의 방열량}}{\text{탈착할 때 흡착기에의 공급열량}}$$

목적으로 하는 온도범위, 이용가능 또는 이용하려고 하는 열원의 온도가 주어진 경우, COP를 최대로 하기 위한 연구개발이

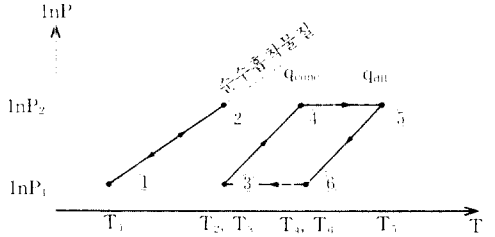


그림 7 기본 사이클(단단형)

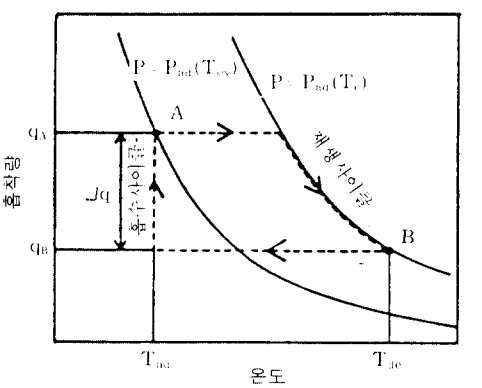


그림 8 흡착 등압선도에서의 흡착·재생사이클

진행중이다.

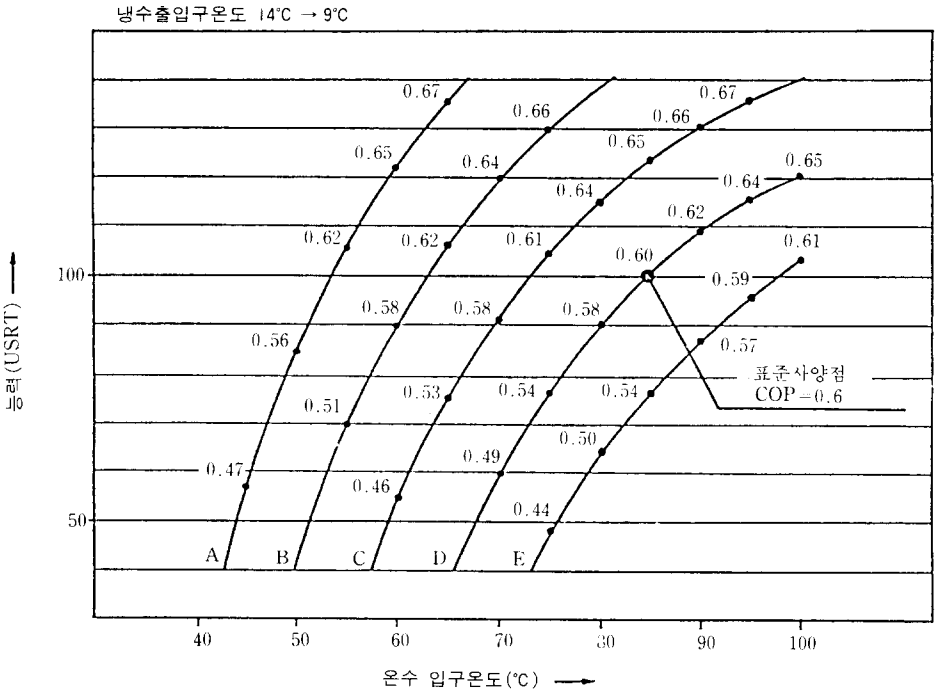
3.2 흡착식 냉동기의 성능특성

흡착식 냉동기의 성능특성의 한 예를 그림 9에 나타내었다. 이것은 냉동능력 및 성적계수가 냉각수 입구 온도를 파라메타로 한 온수 입구 온도와의 관계이다.

그림에서와 같이 온수 온도가 높을수록, 냉각수 온도가 낮을수록 냉동능력 및 효율이 좋아진다. 이것은 흡수식 냉동기에 있어서도 같은 경향이지만, 흡착식 냉동기는 열원이 65℃ 이하에서도 경제적인 냉방운전이 가능한 것과 입력온도 변동에 따른 출력 변동비율이 작은 것이 큰 특징이다. 또 성적계수는 표준 사양점(온수 입구온도 85℃, 냉각수 입구온도 31℃)에서 0.6으로 흡수식 냉동기보다 약간 낮으나, 열원 입구온도가 70~100℃ 범위에서 0.5~0.65로 변동폭이 작기 때문에 입력온도 변동이 심한 폐열 이용에는 전체적으로 생각해 유리하다.

열교환기 효율 및 준비운전 시간에서의 회수 효율향상, 작동온도 범위내에서 흡·탈착 냉매량차를 크게 할 수 있는 흡착제의 개발 등에 따라 저온열원에서도 COP 0.7~0.8 정도의 냉동기 실현가능성은 충분히 있었다. 이외에도 다음과 같은 특징이 있다.

(1) 그림 10에서 알 수 있듯이 냉동출력을 결정하는 파라메타는 재생·흡착종료시의 흡착제 온도이다. 따라서 온수유량이 설정량의 50%라도 재생시간내에 흡착제 온도를 평형상태까지 가깝게 할 수 있어 냉동출력은 크게 저하되지 않는다.



A : 냉각수 입구 온도 22℃, B : 냉각수 입구 온도 25℃, C : 냉각수 입구 온도 28℃,
D : 냉각수 입구 온도 31℃, E : 냉각수 입구 온도 34℃

그림 9 흡착식 냉동기의 성능곡선

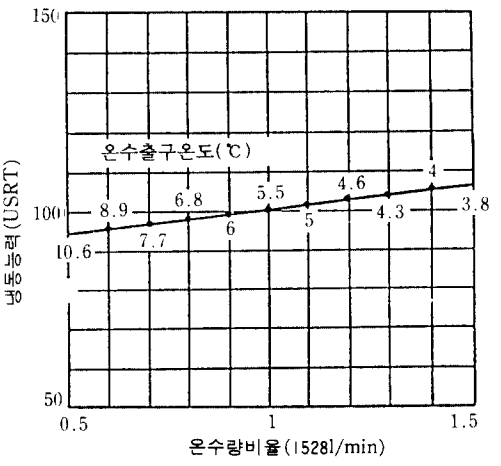


그림 10 혼수유량에 따른 냉동출력의 변화 온수입구 차도 85℃, 냉각수 입구온도 31℃ 냉수 입출구 온도 14℃ → 9℃

(2) 구동부분이 적어 일상 관리 및 유지가 용이하다.
(3) 깨끗한 고진공계 내에서의 흡·탈착현상을 이용하기 때문에 흡착제의 열화가 없이 항상 안정된 출력을 얻을 수 있다.
(4) 태양열, 공장폐열 등의 유효이용이 가능하다.
(5) 냉열과 온열을 동시에 얻을 수 있다. 즉, 냉방과 난방을 계절에 따라 나누어 쓸 수 있다.

3.3 흡착식 냉동기의 제어

일반적으로 이와 같은 냉동기의 용량제어는 열매체 공급유량의 조절로 이루어진다. 그러나 이 방법은 냉동기 외부에 유량조절밸브를 필요로 하며, 그림 10에 나타낸 것과 같이 흡착식 냉동기의 경우 냉동능력을 반으로 줄이기 위해서는 상당한 수량을 줄일 필요가 있으며, 제어시의 성적계수는 그다지 향상되지 않는다는 등의 이유 때문에 반드시 제어가 유효하다고는 할 수 없다. 따라서 보통 냉수 입구온도를 센서로 감지하여 냉동부하 상태에 맞춰 냉동기의 단위 시간당의 흡·탈착 사이클수를 변화시키는 제어 기능을 내장하고 있다. 따라서 흡·탈착의 교환 횟수를 줄이므로 제어중 성적계수 향상에도 효과가 있다.

4. 맺음말

흡착식에 의한 냉동의 원리는 오래전부터 알려져 왔으나, 최근까지 상품화된 예가 적은 것은 고체흡착제로 인한 전열성능이나 유동성의 문제가 원인이라 생각된다. 그리고 실용적인 장치의 개발기술에 대한 노하우의 축적 부족으로 인해 첫 단계부터 연구개발이 필요한 것 등도 원인이라 생각한다.

실용화 및 시장의 확대에 대한 기술적인 포인트는 전용흡착제의 개발과 흡착제의 충진방법, 그리고 유지방법 등의 개발이라 생각된다. 흡착식 히트펌프는 비프레온화, 무공해성, 안전성 등의 요소를 모두 갖추고 있기 때문에 매력적인 시스템으로 재인식될 때가 되지 않았나 생각된다.

현재 상품화되어 있는 흡착 시스템은 흡착제 충진층과 계외의 열교환 매체와의 열교환 촉진에 관해서는 각각 독특한 연구가 진행중이며, 노하우 기술도 많으리라 추측된다. 그리고 이미 시판되고 있는 범용흡착제를 사용하지 않고, 독자적인 전용흡착제를 개발하여 사용하는 예도 있다.

흡착식 히트펌프의 성능은 흡착제의 열물성에 크게 좌우되며, 현재 사용되고 있는 실리카겔이나 제오라이트 이외에 흡착량이 크고, 낮은 온도에서 재생할 수 있으며, 흡착성능이 뛰어나고 가격이 싼 흡착제의 개발이 요망되며, 최근의 지구환경보호와 미이용에너지 활용에 대한 세계적인 흐름속에 앞으로 흡착식에 대한 연구가 활발히 이루어지리라 생각된다.

참고문헌

(1) Raldow, W. M., Wentworth, W. E., 1979, "Chemical Heat Pumps-A Basic Thermodynamic Analysis," *Solar Energy*, Vol. 23, pp. 75~79.

(2) Worsose-Schmidt, P., 1983, "Sloar Refrigeration for Developing Countries using a Solid Absornption Cycle." *Int. J. of Ambient Energy,* Vol. 4, pp. 115~123.

(3) Pons, M., Gilleminot, J. J., 1986, "Design of an Experimental, Solar Powered, Solid Adsorption Ice Maker," *J. Solar Energy Engineering,* Vol. 108, pp. 332~337.

(4) Karagiorgas, M., Meunier, F., 1987, "The Dynamics of a Solid Adsorption Heat Pump Connected with Outside Heat Sources of Finite Capacity," *Heat Recovery Systems & CHP*. Vol. 7, pp. 285~299.

(5) Guilleminot, J. J., Meunier, F., "Thermodynamic and Economic Optimization of Solar Powered Solid Adsorbent Refrigerating Units," *Int. J. Solar Energy,* Vol. 7, pp. 11~25.

(6) 柏木孝夫, 龍山秀雄, 迫田章義, 1991, "高性能ケミカルヒートポンプ應用事例," Science Forum, 東京.