

공냉식 방사형 열교환기를 갖는 흡착식 히트펌프의 성능

Performance of adsorption heat pump with radial shape adsorber heat exchanger for air cooling

백 남 춘*, 양 윤 섭*, 윤 응 상**, 이 진 국*, 주 문 창**
 N. C. Baek, Y. S. Yang, E. S. yoon, J. K. Lee, M. C. Joo

Key words: Adsorption heat pump(흡착식 히트펌프), Adsorption refrigerator(흡착식 냉동기), Adsorption(흡착), Desorption(탈착), Heat exchanger(열교환기)

Abstract

In this experimental study, the air cooling radial shape heat exchanger which influences on the COP and the cooling capacity by heat and mass transfer rate in the adsorbent bed was designed and applied to test its performance for adsorption heat pump(AHP). Zeolite-water was used for the adsorbent-adsorbat pair. As a result, the cooling COP and a cycle period of this adsorption heat pump are 0.28 and 2 hours, respectively, on the condition of none heat recovery from the adsorption reactor(absorber). The other results and recommendations are mainly related to improving the heat and mass transfer inside the absorber to reduce a cycle period.

1. 서 론

열에너지에 의해서 작동되는 흡착식 히트펌프(Adsorption Heat Pump : AHP)는 아직은 개발 단계에 있으나 작동온도 범위가 “흡착제/냉매” 쌍에 따라 다양하고 축열(냉)기능이 우수하며 또한 폐열이용이 가능할 뿐만 아니라 환경오염을 전혀 유발하지 않기 때문에 지속적인 연구가 수행되고 있다. 특히 이 시스템은 구동장치가 없기 때문에 소음이 없고 진공유지가 용이하다. ‘70년대말부터 태양열을 이용한 냉동장치로 연구가 본격화된 이후

프랑스, 일본 등 선진국에서 “제오라이트-물”, “활성탄-메탄올”, “활성탄-물” 및 “실리카겔-물” 쌍을 이용한 흡착식 히트펌프의 개발 및 상용화에 역점을 기울여 왔다. 현재까지 개발된 흡착식 히트펌프의 성능은 열에너지를 구동열원으로 하는 기존의 흡수식에는 못 미치고 있지만 상당히 근접하고 있는 것으로 발표되고 있다^[4~6, 9~11].

현재 흡착식 히트펌프에서 연구에 역점을 두고 있는 분야 중에 하나는 흡착제 층에서의 열 및 물질전달 향상이다. 흡착제 층에서의 열 및 물질전달 향상은 곧 히트펌프의 COP와 흡착제 단위무게당 용량 증가와 직결된다. 따라서 본 연구에서는 흡착 층에서의 열 및 물질전달을 촉진시키고 콤팩트(compact)화를 위한 방안의 일환으로 설계체작된

* 정회원, 한국에너지 기술연구소

** 한국에너지 기술연구소

공냉식 방사형의 흡착탑열교환기를 이용한 흡착식 히트펌프의 성능에 대해 실험적으로 고찰하였다.

2. 흡착식 히트펌프의 작동원리 및 성능

흡착식 히트펌프는 고체 흡착제(adsorbent)가 기체분자를 흡착 또는 탈착하는 현상을 이용한 것이다. 흡착제는 온도와 압력에 따라 평형흡착량이 변한다. 온도 T 의 흡착제가 압력 P 상태하에서 냉매증기와 접촉하고 있을 때 흡착가능한 냉매의 양 m 은 거의 액체상태로 흡착제의 세공(micro-pores)내부에 흡착된다. 이 흡착가능한 냉매의 양 m 은 P 와 T 의 함수로서 다음과 같은 평형(equilibrium)상태를 유지한다.

$$m = f(P, T) \quad (1)$$

흡착량, m 은 온도(T)에 반비례하고, 압력(P)에 비례한다. 이것이 $P_c = P_s(T_c)$ 과 $P_e = P_s(T_e)$ 에 일치하는 각각의 T_c (응축온도)와 T_e (증발온도)에 의해 결정되는 일정압력 P_c 와 P_e 에서 응축과 증발이 일어나게 된다. 이 원리를 이용하여 흡착탑에 충진된 흡착제를 가열-냉각을 반복함으로서 증발기 또는 응축기에서 발생되는 냉열 또는 온열을 이용하는 것이 흡착식 히트펌프이다. 이 흡착식 히트펌프의 냉방(동) COP는 다음과 같이 정의된다.

$$COP = \frac{\text{증발기에서 생산된 냉열량}(Q_c)}{\text{흡착탑에 공급된 열량}(Q_{sup})} \quad (2)$$

여기서 Q_{sup} 는 흡착제의 온도를 적정 재생온도 까지 높이는데 필요한 혼열과 탈착에 필요한 증발잠열이다. 그러므로 COP를 증가시키기 위해서는 Q_{sup} 는 가능한 한 줄이고 Q_c 는 크게 하여야 하는데 이를 위해서는 흡착제와 같이 가열과 냉각이 반복되는 흡착탑열교환기, 흡착탑 등의 열용량을 최소화하면서 냉방용량이 커질 수 있도록 흡착제층에서의 열 및 물질전달 성능이 좋아야 한다. 열 및 물질전달 성능은 COP 측면보다는 용량증가 측면에서 대단히 중요하다. 즉 열 및 물질전달 성능이 좋았지게 되면 주기가 짧아지게 되어 결국 단위시간 내에 발생되는 냉열량은 증가되어 그만큼 용량이 증가하게 된다.

3. 흡착탑 및 흡착탑열교환기

3.1 흡착제층에서의 열 및 물질전달^(1~3, 7, 8.)

흡착제층에서의 열 및 물질전달은 흡착 및 탈착 속도를 결정짓는 중요한 요소이다. 흡착제층은 비결합된 다공⁽⁷⁾층으로 입자 상호간의 접촉면이 적은데다가, 흡착탑 내부의 압력이 낮고 이 층에서의 열전달은 작동압력, 흡착량 등 여러가지 인자에 의해 영향을 받으나 흡착탑의 압력이 대단히 낮기 때문에 흡착층에서의 열전달은 주로 유효열전도도에 의존한다. 이 유효열전도도는 고체흡착제 자체만의 열전도도와 냉매증기의 유동에 의한 열전달의 합으로 흡착량에 따라 큰 차이를 보이고있다. 그 값은 제오라이트의 경우 $0.13\sim0.22(W/m \cdot ^\circ C)$ 정도로 큰 값이 흡착량이 많을 때의 열전도도 값이다⁽⁷⁾

흡착층에서의 열전달을 좋게하기 위해서

- 1) 금속가루를 흡착제 사이에 충진,
- 2) 다공성 니켈구조물에 흡착제를 충진,
- 3) 금속망을 흡착층내에 삽입,
- 4) 흡착탑 내의 전열관에 수직으로 좁게 구리판 열교환핀을 설치

하는 방법 등이 연구되었으나 이들 물질 자체의 큰 열용량으로 인해 오히려 COP는 낮아지게 되었다.

물질전달은 흡착제 결정입자내에 분포되어 있는 micro pore와 결정입자 간에 분포되어 있는 macro pore에서의 확산에 의한 것으로 제오라이트 알갱이의 크기가 커지면 커질수록 macro pore내의 확산이 흡착속도를 결정하는 중요한 인자가 되다고 알려져 있다. 제오라이트의 경우 직경이 2mm까지는 1분 이하지만 직경이 4mm이면 5분 정도로 길어지게 되며 결국 확산시간은 직경이 커짐에 따라 대략 제곱배로 늘어난다고 보고된 바 있다. 그러나 알갱이 내에서의 유동보다는 제오라이트 층 내에서의 유동이 흡착식 히트펌프를 설계하는데 중요한 요소이다. 제오라이트 층 내에서 낮은 압력의 냉매증기가 흡착되는 과정은 Marcon^(1, 2, 3)에 의하면 제오라이트 층 내에서의 흡착은 균일하게 진행되지 않으며, 거리에 반비례하는 속도로 진행하는 반응면이 존재한다고 한다. 그는 또한 임의의 증발압력하에서 제오라이트 층을 통과하는데 소

요되는 시간은 알갱이의 직경에 반비례한다는 것을 밝혔다^(1, 2, 8).

3.2 흡착탑열교환기^(6, 9~11)

전술한 바와 같이 흡착제총에서의 열 및 물질전달은 흡착 및 탈착 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 흡착식 냉동기에서 시스템의 구동력인 흡착제의 가열 및 냉각 성능을 좋게 하고 COP를 크게 하기 위해서는 흡착제 층의 깊이(증기의 확산 거리)가 크지 않아야 하고, 흡착제 간의 열전달 거리가 짧아야 하며 열용량을 최소화하여야 한다. Fig. 1은 장치의 단순화와 콤팩트화를 위해서 가열 및 냉각장치가 흡착탑 중앙부에 일체형으로 장착되어 있으면서 열 및 물질전달 향상을 감안 특별히 설계·제작된 흡착탑열교환기이다. 지금까지 대부분의 저자들에 의해서 시도되었던 흡착식 히트펌프는 열매체(주로 오일종류)에 의해서 흡착탑내부의 열을 외부로 수송하여 별도의 냉각장치(냉각탑)에 의해서 냉각되도록 하는 연구가 대부분이었으며, 열수송 장치없이 흡착탑과 일체형으로 된 방열기는 거의 찾아보기 어려울 정도이다. 단지 태양열로 구동되는 흡착식 냉동기에서 흡착탑으로 사용되는 접열기 뒷부분에 방열판이 부착되어 외기와의 자연대류에 의한 열교환에 의해서 냉각되도록 시도된 바는 있다⁽⁴⁾.

일반적으로 흡착탑열교환기가 흡착제총 내에 있을 때 총괄열전달계수 U_t 는 흡착제의 온도가 균일하다고 가정하면 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{h_s A_s} + \frac{d_m}{\lambda_m A_{mean}} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (3)$$

여기서

h_s : 흡착제 층의 열전달계수

h_o : 냉각 열매체측의 열전달계수

λ_m : 열교환기의 열전도도

d_m : 열교환기의 상당두께

A_s : 흡착제 층의 열교환 면적

A_o : 냉각 열매체측의 열교환 면적

$$A_{mean} = (A_s + A_o)/2$$

식 (3)에서 U_t 값은 우측의 3 항중 가장 값이 큰 항에 지배적이다. 열전도도가 좋은 전열관을 사용

하는 경우에 U_t 값은 첫째항과 셋째항중에 값이 큰 항에 의해서 좌우되는데, 진공상태에 있는 흡착제 층의 열전달계수 h_s 가 외기측의 열전달계수 h_o 에 비하여 많이 작기 때문에 상대적으로 흡착제 층의 전열면적, A_s 를 크게 하여야 한다. 히터가 가열/냉각판(Fig.1)에 삽입되기 때문에 흡착제를 가열할 때는 외기측의 열교환판은 무용지물이 된다. 따라서 식(3)에서 우측 마지막 항은 무시된다. 이 때는 U_t 값은 전적으로 $(h_s \cdot A_s)$ 값에 의해 좌우된다고 볼 수 있다. 그런데 $(h_s \cdot A_s)$ 값이 크다고 하더라도 흡착제총 내부에서의 열전달이 느리기 때문에 흡착제총 내에서의 열교환판의 간격이 일정하고 좁아야 빠른 시간내에 흡착제 전체를 원하는 온도까지 가열 또는 냉각시킬 수가 있다.

Fig.1의 흡착탑열교환기는 열전도가 좋고 열용량이 적은 Al으로 만든 것으로 그림과 같이 열교환판이 방사형으로 부착되었다. 따라서 외통인 흡착탑은 진공에 안정한 구조인 원통형으로 제작이 가능하다. 판의 갯수는 총 45개이며, 판의 두께는 1mm, 폭은 58mm, 길이는 600mm이다. 이를 열교환판이 인접된 중앙부는 가열 및 냉각부로 4개

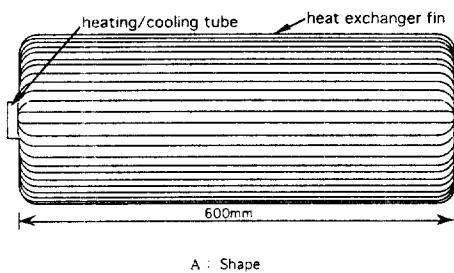


Fig.1 Adsorber heat exchanger(made of Aluminum)

의 전기히터와 냉각시 냉각효과를 크게 해주기 위한 방열판이 부착되었다.

이 흡착탑열교환기에 제오라이트가 충진될 유효체적은 약 0.01m^3 으로 6.5kg 의 제오라이트가 들어간다. 그러므로 흡착제 단위 무게당 열교환 면적은 흡착제 측이 $0.4237\text{m}^3/\text{kg}$, 공기 측이 $0.0711\text{m}^3/\text{kg}$ 이다. 흡착제를 제외한 흡착탑열교환기의 무게는 흡착탑의 Flange 무게 0.78kg 을 포함하여 6.155kg 이 되며, 열용량은 $5.5(\text{kJ}/^\circ\text{C})$ 이 된다.

3.3 흡착제와 냉매

사용된 흡착제는 제오라이트13X로 프랑스의 CECA에서 제조한 SILIPORTE G5으로 pellet type 보다 강도가 높은 bead type으로 본 히트펌프의 냉매로 사용되는 물에 대한 흡착은 Fig.2와 같다. 이 그림으로부터 제오라이트의 수분흡착은 특히 250°C 의 고온에서는 압력이 증가해도 평형흡착량의 변화가 적음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 25°C 의 저온에서도 유사한 현상을 보이고 있어 히트펌프로 이용하기에 적합한 성질중에 하나라고 볼 수 있다.

3.4 히터 및 흡착탑

흡착탑열교환기에 사용된 히터는 6.5kg 을 50분 동안에 재생할 수 있는 용량인 $3\text{kW}(0.75\text{kW} \times 4\text{개})$ 를 사용하였다. 흡착탑 외통은 열전도도가 좋지 않고, 열용량이 적으며, 구조적으로 강하고 부식이 없는 스테인레스 스틸을 사용하였다. 외통과 열교

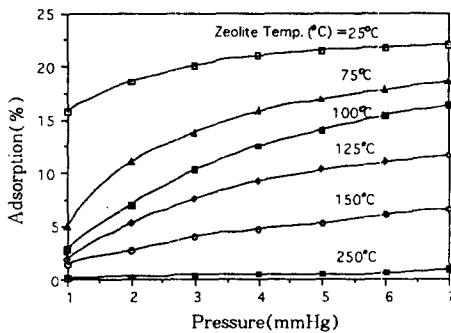


Fig.2 Water vapor adsorption characteristics of zeolite 13X

환기 외부의 금속망과는 약 10mm 정도의 빈공간이 있어 응축기로 가거나 증발기로부터 오는 냉매증기가 압력손실 없이 자유롭게 이동할 수 있도록 하였다(Fig.3).

3.5 증발기 및 응축기

흡착탑에서 흡착 또는 탈착할 때 증발기나 응축기의 영향을 최소화하도록 충분히 큰 용량의 것을 사용하였다. 두가지 모두 성능이 좋은 Thermoexcel-C형으로 표면이 가공된 동관을 사용하였다. 증발기는 일종의 막식으로 증발관이 냉매(약 12kg 의 물)속에 잠겨있되 수압을 최소화하도록 거의 표면에 가깝게 위치되도록 특별히 제작된 것을 사용하였다.

응축기도 막식에서 사용되고 있는 2중관형을 사용하였다.

4. 흡착식 히트펌프 실험장치

흡착식 히트펌프 실험장치는 Fig.4와 같이 2개의 흡착탑과 각각 1개의 응축기, 증발기, 냉매 저장통, 2개의 항온조 및 불용축가스 제거장치 등으로 구성되어 있다. 계측장치로는 시스템 내의 진동도를 측정하기 위해 정도가 높은 2개의 진공계(Edwards High Vacuum Transducers)와 흡착탑

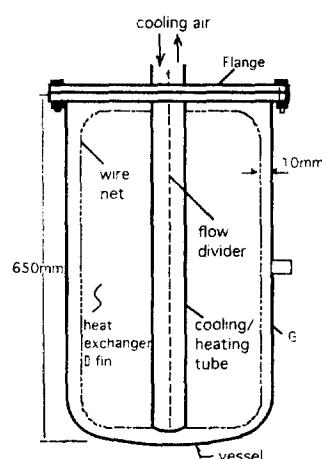


Fig.3 Adsorber assembly

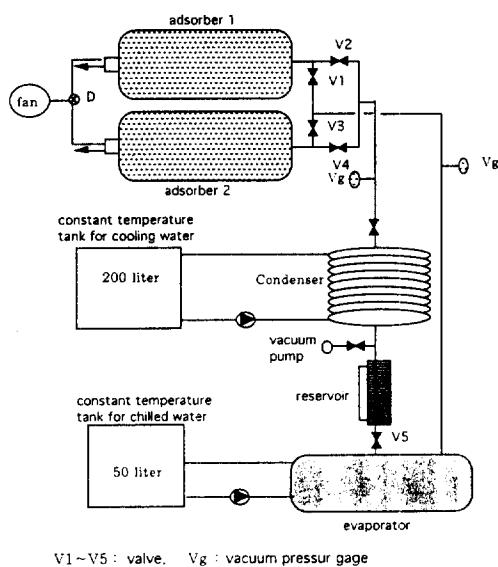


Fig.4 Experimental set-up of adsorption heat pump

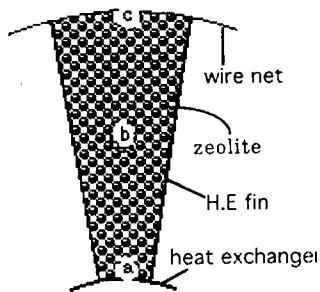


Fig.5 Thermocouple positions in adsorber

내의 열교환기와 세오라이트 층의 온도분포를 알기 위해서 흡착제 층에 K-type 열전대(정확도는 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 임)를 Fig.5와 같이 가열냉각부 외표면(a), 흡착제층 중간(b), 흡착제층 외곽(c)에 각각 1개씩과 가열/냉각관 출구, 증발기, 응축기, 및 항온조에 각각 1개씩 설치하였다. 이들 센서는 모두 HP3852와 연결되어 1분 간격으로 데이터가 PC에 기록된다.

냉각시 사용되는 송풍기는 원심식 송풍기로 설계 유량(ΔP 가 45mmAq 일 때)이 약 4.0(m^3/min)으로 가열/냉각관내에서의 평균 유속은 약 20m/

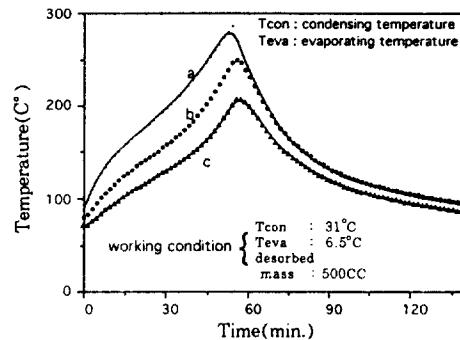


Fig.6 Variation of zeolite temperature in several position of adsorber(reference Fig.5)

sec 전후가 된다.

2개의 항온조는 각각 응축기와 증발기에 원하는 온도($\pm 1^{\circ}\text{C}$ 이내)의 물을 공급해주기 위한 장치이다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 흡착탑의 가열 및 냉각특성

흡착탑열교환기는 흡착제 측의 열교환 표면적이 2.7m^2 , 공기측이 0.19m^3 으로 총괄열전달계수 U_g 는 가열시가 $31\sim39(\text{W}/^{\circ}\text{C})$, 냉각시가 $17\sim21(\text{W}/^{\circ}\text{C})$ 로 나타났다.

Fig.6은 1 cycle 동안 흡착탑 내의 열교환판과 펀사이의 세오라이트의 온도분포를 나타낸 그림이다. 탈착과정이 흡착과정에 있을 때보다도 온도 구배가 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 히터로부터 열교환기를 통하여 흡착제로 전달되어야 할 열유속(약 3kW)에 비하여 흡착제층에서의 열전달 속도가 느리기 때문에 나타나는 현상이다. 이것은 결국 열교환판과 펀 사이의 흡착제 층이 열교환기 외곽 측으로 갈수록 두껍고 내부 측으로 갈수록 좁아지는데 비하여 열교환판의 온도는 큰 차이는 없을지라도 내부 측으로 갈수록 높아지는 데 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 이것을 해결하기 위해서 2가지의 방안이 있을 수 있다. 하나는 열교환판의 갯수를 줄이고 단면형상을 "Y"로 하여서 흡착층의 두께가 두꺼운 외곽측에 펀의 분기점이 위치되도록

할 경우 동일한 열교환 면적을 갖더라도 주기는 짧아지게 된다. 또 다른 하는 가열/냉각관의 직경을 약간 크게 할 경우 동일한 내부용적을 갖더라도 열교환판의 길이는 짧아지게 되어(이 경우 열교환판의 간격을 더 조밀하게 할 수 있음) 펀과 펀 사이의 흡착제 두께가 줄어들고 또한 내측과 외측간의 두께차를 줄일 수 있게 되어 결국 흡·탈착속도를 증가시킬 수가 있게 된다.

냉각과정에는 열교환기의 냉각부와 공기간의 열교환 능력이 가열과정(히터에 의해 직접가열)보다는 떨어지기 때문에 흡착제 층의 온도구배가 적게 나타났다. 이 결과에서도 알 수 있는 바와 같이 가열과정 보다는 냉각과정이 많은 시간을 요한다. 특히 흡착이 일어나는 냉각과정 후반기에는 열교환매체인 외기와 제오라이트 간의 온도차가 적은 데다가 흡착열의 발생으로 온도곡선이 완만하여 제오라이트 위치에 따른 온도차가 비교적 적다. 그러므로 본 흡착탑열교환기는 사이클 주기를 짧게 하기 위해서 공기측의 열교환판의 면적이 더욱 커져야 한다는 것을 알 수가 있다.

5.2 시스템 작동 및 성능

본 흡착식 냉동기를 3가지 서로 다른 증발온도 하에서 작동시켰을 경우에 대해서의 P-T 선도를 Fig.7에 도시하였다. 이 때 응축온도는 30°C이고, 흡착제의 가열 및 냉각온도는 각각 250°C, 90°C이다. 이 P-T선도의 형상은 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 증발온도와 응축온도, 가열온도와 냉각온도 등에 따라서 좌우로 이동되거나 또는 그 선도 면적이 다를 수는 있어도 거의 그 형태는 동일하다. 단지 밸브이 ON-OFF시기에 따라 달라지게 된다. 밸브의 ON-OFF시기는 여러개의 흡착탑을 갖는 히트펌프에서는 대단히 중요하나 본 연구에서는 다루지 않았으며 단지 냉매 증기의 흐름이 원하는 방향으로 흐를 수 있을 때 ON하고 흡착 또는 탈착이 끝났을 때 OFF 하였다.

측정결과 이 흡착식 히트펌프의 성능은 Table 1에 있는 바와 같으며 COP가 약 0.28, 1cycle에 소요된 전력량은 대략 2.4~2.7kWh로 냉각온도와 흡·탈착량에 따라서 차이를 보이고 있다. 이 수치는 냉각 초기에 버려지는 배열 회수를 고려하지 않

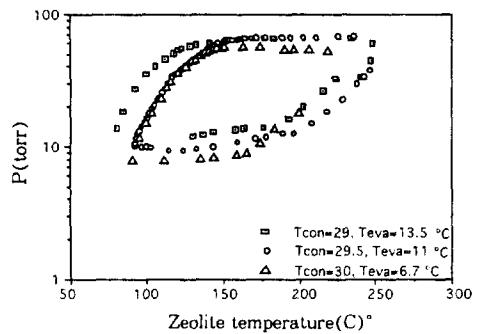


Fig.7 Pressure vs temperature of reaction in a Clapeyron diagram

Table 1 Cooling COP of AHP

Energy consumption (kWh)	COP	Remarks
2.71	0.29	Chilled water temperature : 5°C
2.39	0.28	Cooling water temperature : 35°C
2.50	0.27	

은 상태의 COP이기 때문에 낮게 나타났다. 또한 외통 및 Flange도 기존 제품을 사용하였기 때문에 필요이상으로 두꺼워져서 불필요한 열용량이 증가되었고, 가열/냉각관과 외통과의 연결방법도 열손실을 증가시켜 성능을 저하시키는 요인이 되었다.

5.3 흡착 및 탈착속도

Fig.8에 임의 조건하에서 1개의 흡착탑이 흡착시간 경과에 따른 흡착량 변화를 나타내었다. 흡착속도가 처음에는 빠르게 진행되다가 점차 속도가 늦어지면서 상당히 긴 시간 진행되며, 특히 증발온도가 낮을 때일수록 흡착속도는 더욱 느림을 알 수 있다. 이것은 크게 2가지 측면에서 설명될 수 있다. 하나는 흡착열의 발생이 저전공 하에서 일어나므로 펀과 펀사이의 흡착제 층에서 열교환판 쪽으로의 열전달이 느리기 때문이다. 그러한 현상은 증발온도가 낮으면 낮을수록 더욱 심하다. 다른 하나는 냉매증기가 흡착제 층을 통과하는 확산거리에 의한 것으로 판단된다. 그러므로 낮은 온도의 냉연

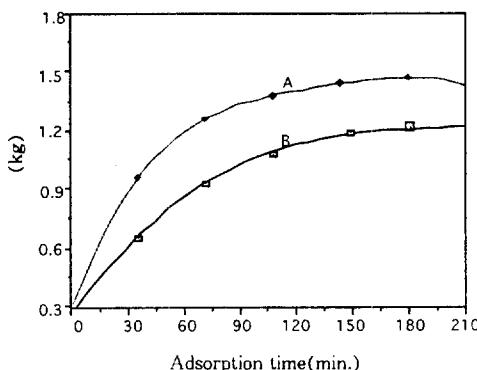


Fig.8 Influence of adsorption period on the adsorbed mass with 2 different evaporation temperature(A : 35°C, B : 5°C)

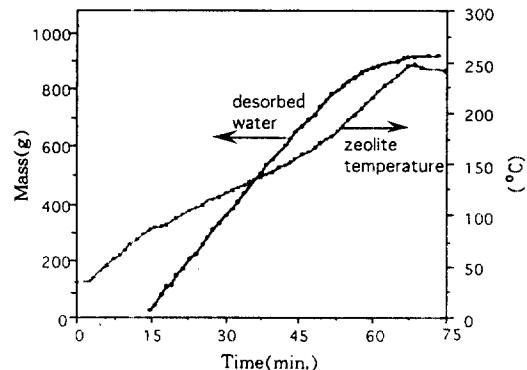


Fig.9 Variation of desorption water and zeolite temperature during the desorption period (condenser inlet air temperature : 27°C)

을 얻고자 하는 흡착식 히트펌프의 흡착탑열교환기의 설계는 흡착제 총이 두꺼우면 두거울 수록 흡착 시간을 길게 하여야 한다. 증발온도가 35°C일 때 (곡선 A)가 5°C일 때(곡선 B)에 비하여 흡착속도가 빠르다. 따라서 증발온도가 낮을 경우 흡착시간이 충분히 길어야 함을 알 수 있다.

한편 탈착온도 변화에 따른 냉매의 흡탈착량 변화를 보면 Fig.9에 있는 바와 같다. 탈착이 시작되면서 제오라이트의 온도 상승은 크게 문화되는 현상을 볼 수 있다. 그러다가 흡착제의 온도가 220°C 이상이 되면서 다시 온도상승이 조금씩 빨라진다. 이것은 제오라이트로 부터 냉매의 탈착이 220°C 이하에서 주로 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 탈착현상은 응축온도에 따라서 조금씩 변한다. Fig.10은 2가지 서로 다른 응축온도에 대한 탈착온도를 비교한 것이다. 응축온도가 낮은 곡선 A는 초기에 탈착이 끝나나 응축온도가 높은 곡선 B는 약 300°C 까지도 탈착량이 계속 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 이 탈착온도의 결정은 응축온도에 따라서 대략 250°C 전후로 하는 것이 바람직하다.

Fig.11은 제오라이트 온도를 약 10°C 까지 냉각시켰다가 증발기 밸브를 열고 난 후의 제오라이트의 온도변화를 나타낸 그림이다. 흡착과정시 흡착탑의 냉각은 하지 않았다. 밸브를 개방한 후 약 7~8분 정도 급격한 온도상승(10°C→110°C)이 있었으며, 그 후로는 온도상승이 없었다. 이것은 흡

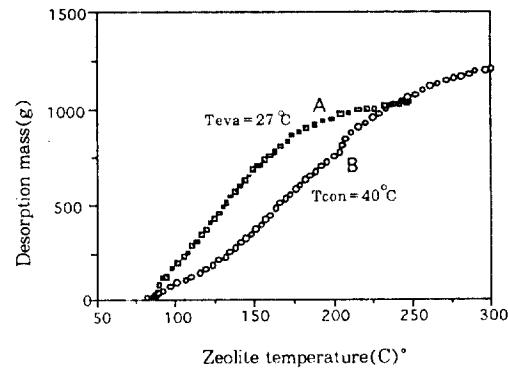


Fig.10 Variation of desorption mass and zeolite temperature with 2 different evaporation temperatures

착초기에 제오라이트의 온도가 낮아 냉매증기를 빠른 속도로 흡착하였기 때문이며 이후로는 이 온도 하에서 거의 평형흡착상태에 놓였음을 의미한다. 따라서 이러한 급격한 흡착특성으로 말미암아 흡착식 히트펌프시스템은 축열식 기능을 갖게되며 또한 적은 용량으로도 짧은 시간 동안에 큰 부하를 감당할 수가 있다.

6. 결 론

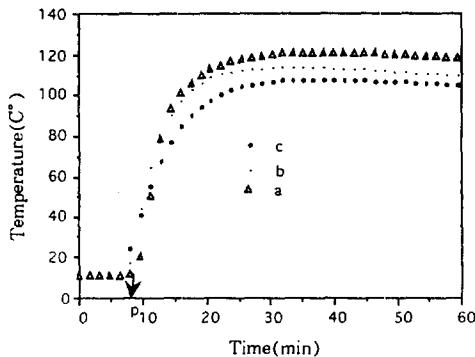


Fig.11 Variation of zeolite temperature by adsorption heat after opening the evaporator valve in AHP

흡착탑의 단순화 및 콤팩트화와 시스템 성능에 중요한 영향을 미치는 흡착제 층에서의 열 및 물질전달을 고려해서 설계된 공냉식 방사형 흡착탑 열교환기를 이용한 소형 흡착식 히트펌프를 제작하여 성능측정을 실시하였다. 이 흡착탑 열교환기는 시스템 성능에 중요한 영향을 미치는 흡착제 층에서의 열 및 물질전달을 고려하여 특별히 설계·제작되었으며, 성능측정은 주로 흡착탑열교환기 및 시스템 성능을 파악하기 위해서 수행되었다. 측정결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 냉각시 공기측 열교환판의 면적이 적어 흡착제의 냉각속도가 느린 것으로 나타나 보다 큰 열교환판 면적이 요구된다. 그러나 공기측 열교환판의 역할이 필요 없는 가열과정에는 냉각과정보다 크게 좋은 것으로 나타났다.

2) 흡착제측 열교환판의 외곽부와 가열/냉각관 부근과의 판 간격 차이로 인한 흡착제 층에서의 온도구배가 비교적 크게 나타났으며 이로 인해 주기가 길어지게 되었다. 이것을 해소하기 위해 열교환판의 단면을 "I" 형상에서 "Y" 형상으로 바꾸거나 "I" 형상으로 할 경우 가열/냉각관의 지름을 크게 해서 판의 길이를 짧게 하고 갯수를 늘려서 열교환판의 간격을 좁히면서 거의 균일하게 하는 것이 좋다.

3) 배열회수를 하지 않은 상태에서 냉방 COP는 0.28, 주기는 2~2.5hr로 흡착탑의 열용량을 즐일 경우 COP 상승과 주기의 감소로 성능 향상 및 용

량증가가 예상된다.

4) 성능 및 흡착속도는 응축온도 보다는 증발온도에 크게 영향받는다. 특히 증발온도가 낮을 경우 흡착속도는 더 느려지기 때문에 흡착시간이 길어져야 한다.

5) 탈착보다는 흡착이 더 많은 시간을 필요로 하며, 특히 저 진공상태에서 이루어지기 때문에 흡착열을 제거하는데 시간이 걸린다. 따라서 주기를 짧게 하기 위해서는 이 흡착열을 효과적으로 제거될 수 있도록 열교환판의 간격을 더욱더 줄여야 한다.

끝으로 흡착식 히트펌프는 축열기능이 좋기 때문에 폐열 회수 또는 심야전기용 기기로의 사용도 크게 기대가 되며, 특히 이러한 분야에 적용은 주기가 길어도 가능하기 때문에 대단히 효과적인 적용분야로 판단된다.

참 고 문 헌

- 양윤섭 외, 1995, “축열식 비 Freon 히트펌프 시스템 개발”, 한국에너지기술연구소, pp. 41 ~111.
- 조순행 외, 1990, “흡착제를 이용한 에너지 절약 시스템 개발(I)”, 한국에너지기술연구소, pp. 47~59.
- Abdallah K, et al., 1988, Chemical Eng. Sci. 43(10).
- A. Hajji, W. M. Worek and Z. Lavan., 1991, “Dynamic Analysis of a Closed-Cycle Solar Adsorption Refrigerator using Two Adsorbent-Adsorbate”, Pairs, J. of Solar Engineering, vol. 113, pp. 73~79.
- N. Douss., 1988, “ETUDE EXPERIMENTALE DE CYCLES A CASCADES A ADSORPTION SOLIDE”, UNIVESITE DE PARIS 6, pp. 133~139.
- T. Zanife., 1991, “ETUDE D’UNE POMPE A CHALEUR DE 230 kW ET D’UNE MACHINE FRIGORIFIQUE A ADSORPTION SOLIDE”, UNIVESITE DE PARIS 6, pp. 11 ~20.

7. H. Sahnoune et PH. Grenier., 1988, "MEASURE DA LA CONDUCTIVITE THERMIQUE D'UNE ZEOLITE", The Chemical Eng. J., pp 45~54.
8. 정시영 외, 1991, "주기적으로 작동하는 소형흡수식 열펌프 모듈개발(II)", KIST, pp. 64~67.
9. J. L Phelouzat., 1994, "ECLLULE DE REFROIDISSEMENT SOUS VIDE PAR ADSORPTION EAU-ZEOLITHE", ENSAM, pp. 37~46.
10. C. Blaizat et G. Porceda., 1995, "ETUDE D'UN SYSTEM DE REFROIDISSEMENT CONTINUE PAR ADSORPTION ZEOLITHE-EAU", SOCIETE ECOZEO.
11. N. Douss, F. E. Mounier., 1988, "Predictive Model and Experimental Results for a Two-Absorber Solid Adsorption Heat Pump", American Chemical Society, Vol. 27 No. 2, pp. 310~316.