

실리카겔 함침 세라믹 로터의 정적 흡·탈착 거동

김홍수, 유윤중, 조철희, 안영수, 한문화, 주국택*, 박민규

한국에너지기술연구원 기능소재연구센터, 한국에너지기술연구원 에너지저장연구센터*

Static Adsorption / Desorption Characteristics of Humidity on Silica Gel Impregnated Ceramic Rotor

Hong-Soo Kim, Yoon-Jong Yoo, Churi-Hee Cho, Young-Soo Ahn, Moon-Hee Han,

Kuck-Tack Chu* and Min-Kyu Park

Korea Institute of Energy Research, Functional Materials Research Team

Korea Institute of Energy Research, Separation Process Research Team*

1. 서론

냉방과 습기제거에 제습제를 이용하는 것은 효과적이며, 경제적이며 환경 친화적인 방법이다. 제습제를 사용한 공기조화시스템은 학교, 극장, 슈퍼마켓, 병원과 음식점 등 모든 건물에 신선한 공기를 제공함으로써 실내공기의 품질을 향상시킨다.^{1)~4)}

수분을 포함하는 다량의 공기를 제습하기 위해서는 제습제와 공기의 접촉을 늘려주어야 하고, 이를 위하여 허니컴 형태의 제습제를 사용하는 것이 바람직하다. 미국과 일본 등에서는 세라믹 화이버와 같은 무기질 섬유를 이용한 세라믹 종이를 제조하고, 이 세라믹 종이를 소재로 세라믹 종이 허니컴을 만든 후, 세라믹 종이 허니컴에 실리카겔, 금속 실리케이트 등의 제습제를 함침시켜 제습용 소재로 사용하고 있다. 또한 이 제습용 소재는 보통 원통형 rotor로 만들어 흡착 영역과 탈착 영역으로 구분한 후, 회전시키면서 흡착과 탈착을 동시에 구현하고 있다.

본 연구에서는 제습 소재의 하나인 실리카겔을 세라믹 종이에 담지 한 실험 결과를 토대로 세라믹 종이 허니컴에 실리카겔을 함침 시켰다. 국내에서는 세라믹 종이 제조기술이 개발되지 않아 아직까지 세라믹 종이 허니컴에 실리카겔 함침 하는 연구가 수행된 바 없다.

세라믹 종이에 실리카겔을 함침 하는 방법은 세라믹 종이에 물유리를 함침하고 건조시킨 후, 황산과 반응시켜 hydrogel을 만들고, 묽은 황산에 담가 숙성한 후, 물로 세척하여 부산물인 Na_2SO_4 를 제거하며, 최종적으로 건조하여 실리카겔로 만든다.

실리카겔의 함성조건중 실리카겔의 제습특성에 영향을 미치는 인자는 반응황산의 농도 및 온도, 반응시간, 숙성 황산의 농도 및 온도와 시간, 세척수의 온도 및 세척시간, 건조 온도 및 건조시간 등이다.

2. 실험 방법

2-1. 세라믹 종이 및 세라믹 종이 허니컴의 제조

세라믹화이버와 글라스화이버를 주성분으로 한 두께 0.25mm의 세라믹종이를 slurry casting 방법으로 제조하였다. 세라믹 종이의 인장강도는 100 kg/cm^2 였으며, 평량은 100 g/m^2 였다. 세라믹 종이에 대한 실리카겔 함성 연구에서는 세라믹 종이를 가로 세로 5cm의 정사각형으로 재단하여 사용하였으며, 세라믹 종이 허니컴에 대한 실리카겔 함성 연구에서는 세라믹 종이를 소재로 높이 2mm, 피치 4mm의 v형 골을 가지는 직경 10cm의 허니컴을 제작하여 함성실험을 실시하였다. 세라믹 종이와 세라믹 종이 허니컴은 모두 550°C 에서 3시간 열처리하여 종이에 포함되어 있는 유기질 성분을 태워서 무기질 화이버 사이에 물유리가 함침될 수 있는 공간을 확보하도록 하였다.

2-2. 물유리의 함침 및 실리카겔 합성

본 연구에 사용한 물유리는 신홍규산에서 제조한 물유리 3종을 사용하였다. 물유리 3종 원액은 점도가 높아 허니컴의 구멍을 막히게 하는 역할을 하므로 제공받은 신홍규산 물유리 3종을 80%로 희석한 수용액을 사용하였다. 물유리를 세라믹 종이에 함침 하는 시간은 5분으로 고정하였으며 물유리의 함침량을 늘이기 위하여 물유리를 2회 함침 하는 실험도 실시하였다. 물유리를 함침한 세라믹 종지와 허니컴은 80℃로 유지되는 건조기에 넣어 건조시켰다. 건조된 물유리 함침 세라믹 종지와 허니컴은 40℃로 유지되는 5% 농도의 황산에 3시간 동안 반응시켜 hydrogel을 형성시켰다. 생성된 hydrogel의 비표면적을 증가시키기 위한 숙성은 50℃로 유지되는 pH 2.8인 황산에 hydrogel을 담지한 종이를 담가 실시하였다. Hydrogel과 함께 생성된 반응생성물 Na₂SO₄를 제거하기 위하여 40℃의 물로 2시간 동안 세척하였다. 이와 같이 생성된 hydrogel은 200℃에서 건조하여 최종 실험용 소재를 완성하였다.

2-3. 흡습량 측정

제조된 실리카겔 함침 세라믹 종지와 허니컴의 흡습량은 200℃에서 완전히 재생한 후 35℃, 상대습도 50%로 유지되는 항온흡습장치에 실리카겔 함침 시킨 세라믹 종지와 허니컴을 넣고 24시간 동안 유지시킨 후 꺼내어 무게변화를 측정하였다. 비표면적은 시편을 degassing한 후 비표면적 측정장치 (Micromeritics ASAP 2400)로 비표면적을 측정하였다.

2-4. 정적흡탈착 실험

최적 조건으로 형성시킨 실리카겔을 담지하고 있는 세라믹 종지 허니컴을 그림 1에 보인 정적흡탈착장치에 넣고 정적흡탈착실험을 실시하였다. 정적흡탈착실험에서는 직경 10cm, 길이 20cm 크기의 원통형 실리카겔 함침 재습 로터를 110, 120, 130℃에서 재생시킨 후 실온의 공기를 200, 370, 440 l/min의 유량으로 상대습도를 30 ~ 60% 사이로 공급하여 공급 측과 반대편에서의 상대습도를 측정하였다. 5시간 동안 공급공기를 공급하여 흡착로터를 충분히 포화시킨 후 다시 110, 120, 130℃로 가열한 공기를 200, 370, 440 l/min의 유속으로 불어 넣어 흡착된 수분을 탈착 시켰다. 표 1에 정적흡탈착 실험 조건을 나타내었다.

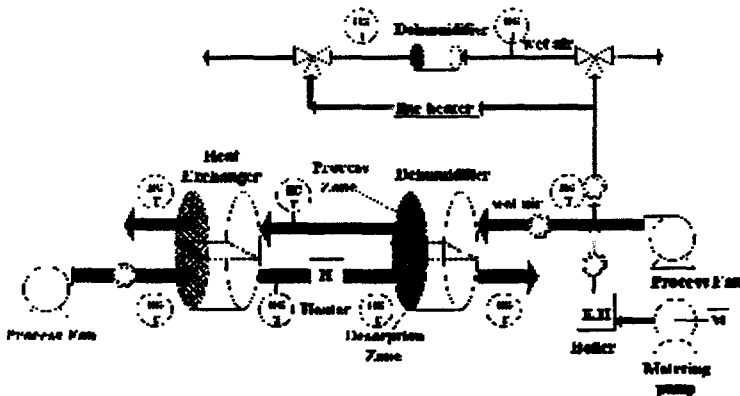


그림 1. 정적 흡탈착 측정장치

표 1. 정적흡탈착 실험조건

공급공기 온도(°C)	공급공기 상대습도(%)	공급공기 유량 (l/min)	탈착공기 온도(°C)	탈착공기 절대습도 (g/kg)
21	34.2	200	110	5.18
22	57.0	200	120	9.41
21	58.3	200	130	9.12
22	34.2	370	110	6.06
23	34.2	440	110	8.18

3. 결과 및 고찰

3-1. 상대습도 변화에 따른 흡착특성

그림 2에 공급공기의 상대습도 변화에 따른 세라믹 제습 로터의 흡착특성 변화를 나타내었다. 유량이 200 l/min이고 온도가 22°C인 공급공기의 상대습도가 34.2, 57.0, 58.4%로 증가함에 따라 흡착제 입구측 절대습도와 흡착제 출구측 절대습도의 간격으로 표시되는 제습량은 증가하고 있음을 보여주고 있다. 특히 상대습도가 증가함에 따라 제습 초기에 출구측의 절대습도 값이 최저로 떨어지는 시간이 각각 110, 100, 90초로 점점 짧아져서 상대습도가 높아질수록 흡착제에 빠른 속도로 수분이 흡착되고 있음을 알 수 있다. 또한, 상대습도가 증가할수록 출구측의 절대습도가 빠른 속도로 입구측의 절대습도에 도달하고 있으며, 이것은 낮은 습도에서는 제올라이트를 이용한 제습이 바람직하고 높은 습도에서는 실리카겔을 이용한 제습이 바람직하다는 보고와 잘 일치하는 것이다. 상대습도별 제습율은 상대습도가 34.2, 57.0, 58.4%일 때 각각 7.1, 10.3, 10.4 wt%이었고 흡착량은 각각 22.13, 32.08, 32.29g으로 상대습도가 높을수록 제습율과 제습량 역시 증가하는 것으로 나타났다.

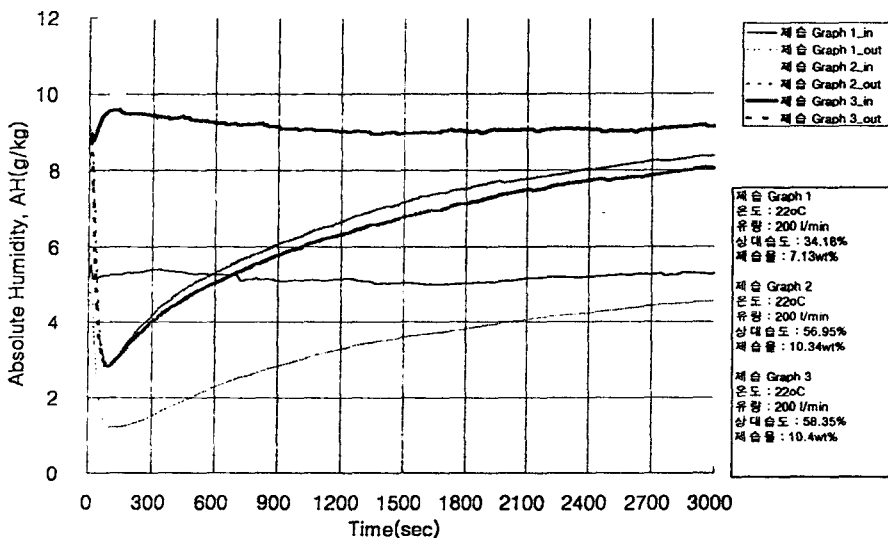


그림 2 상대습도 변화에 따른 세라믹 제습 로터의 흡착특성 변화

3-2. 재생온도 변화에 따른 흡착특성

그림 3에 공급공기의 상대습도 변화에 따른 세라믹 제습 로터의 탈착특성 변화를 나타내었다. 그림 2에서 사용한 Graph 1, 2, 3의 흡착조건은 그림 1에서 사용한 Graph 1, 2, 3의 제습조건과 같으나 재생온도가 110, 120, 130°C로 높인 것이다. 재생온도가 높아짐에 따라

더 많은 수분이 흡착제로부터 탈착 되어 배출되고 있다. 재생온도가 높아짐에 따라 260, 270, 240초만에 상대습도가 100%에 도달하여 더 이상 절대습도가 증가하지 않는 현상을 보여준다. 재생온도가 110℃인 경우는 흡착시 제습율이 7.13 wt%이고 제습량이 22.13g으로 재생온도가 120, 130℃인 경우보다 적은 수분을 흡착하고 있었으므로 탈착 개시 후 420초만에 상대습도 100% 상태를 거쳐 정상상태로 되돌아 왔다. 재생온도가 120℃인 경우는 탈착 개시 후 770초만에 재생온도가 130℃인 경우는 840초만에 상대습도 100% 상태를 거쳐 정상적인 상태로 되돌아 왔다. 이것은 재생온도가 높아질수록 실험 전 흡착 로터에 흡착되어 있던 수분이 많이 탈착 되어 탈착량이 많아지기 때문이다. 재생온도가 110, 120, 130℃인 경우 탈착량은 각각 46.82, 67.60, 68.78g으로 재생온도의 증가에 따른 탈착량의 증가를 보여주고 있다.

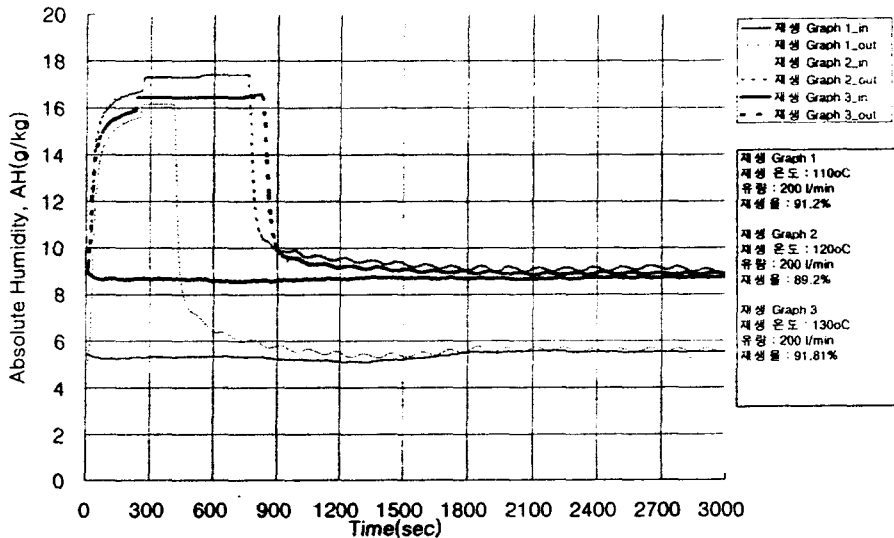


그림 3 재생온도 변화에 따른 세라믹 제습 로터의 탈착특성 변화

3-3. 공급공기 유량 변화에 따른 흡착특성

그림 4에 공급공기 유량 변화에 따른 세라믹 제습 로터의 흡착특성 변화를 나타내었다. 유량변화에 따른 수분 흡착 특성을 보면 공급 공기의 유량이 증가할수록 흡착량이 커지는 것을 볼 수 있다. 본 실험조건에서는 공급공기 유량이 증가함에 따라 제습 초기에 출구측의 절대습도 값이 최저로 떨어지는 시간이 각각 110, 80, 60초로 급격히 짧아져서 공급공기 유량이 증가할수록 흡착제에 빠른 속도로 수분이 흡착되고 있으며, 공급공기의 상대습도보다는 공급공기의 유량이 제습량에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 공급공기의 유량이 200, 370, 440 l/min로 증가함에 따라 제습 로터에 흡착된 수분의 양은 22.13, 30.23, 37.48g으로 크게 증가하였다. 또한, 공급공기 유량이 증가함에 따라 출구측의 절대습도가 빠른 속도로 입구측의 절대습도에 도달하고 있으며, 이것은 본 연구에서 제조한 실리카겔 함침 세라믹 허니컴의 경우 공급공기의 유량을 적어도 440 l/min 이상으로 유지해야 한다는 것을 보여주고 있다.

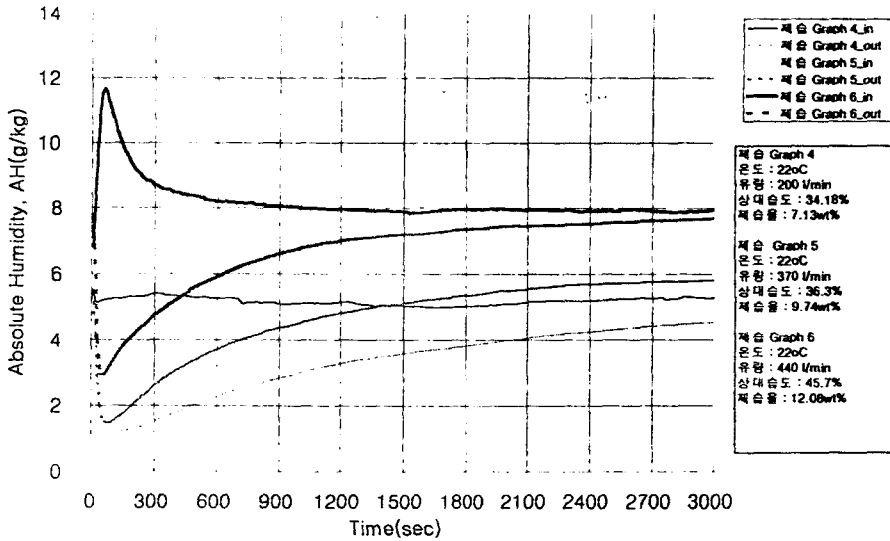


그림 4 공급공기 유량 변화에 따른 세라믹 제습 로터의 흡착특성 변화

3-4. 공급공기 유량 변화에 따른 흡착특성

그림 5에 공급공기 유량 변화에 따른 세라믹 제습 로터의 탈착특성 변화를 나타내었다. 그림 5에서 Graph 4, 5, 6의 흡착조건은 그림 4에서 사용한 Graph 4, 5, 6의 제습조건과 같으며 공급공기의 유량이 증가할수록 더 많은 수분이 제습 로터로부터 탈착되고 있다. 공급공기 유량이 증가함에 따라 260, 250, 200초 만에 상대습도가 100%에 도달하여 더 이상 절대습도가 증가하지 않는 현상을 보여준다. 공급공기 유량이 200 l/min인 경우에는 흡착시 제습율이 7.13 wt%이고 제습량이 22.13g으로 공급공기 유량이 370, 440 l/min인 경우보다 적은 수분을 흡착하고 있었음에도 불구하고 탈착 개시 후 410초 만에 상대습도 100% 상태를 거쳐 정상상태로 되돌아 와 가장 탈착에 걸리는 시간이 가장 오래 걸리는 것을 보여준다. 공급공기 유량이 370 l/min인 경우는 탈착개시 후 260초만에 공급공기 유량이 440 l/min인 경우는 250초만에 상대습도 100% 상태를 거쳐 정상적인 상태로 되돌아 왔다. 이것은 공급공기 유량이 증가할수록 빨리 탈착이 일어나기 때문이다. 공급공기 유량이 각각 200, 370, 440 l/min인 경우 탈착량은 각각 46.82, 49.27, 56.73g으로 공급공기 유량 증가에 따라 급격히 증가하고 있다.

4. 결론

세라믹화이버를 주원료로 제조한 세라믹 중이로 원통형 허니컴 소재를 만들고 이 소재에 물유리를 함침 시키고 황산과 반응시키는 방법으로 흡습성이 우수한 실리카겔 흡착제를 제조하였다. 이 실리카겔 흡착제를 대상으로 상대습도, 공급공기 유량, 재생온도를 변화시키며 정적흡탈착실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 온도 35℃, 상대습도 50%로 유지되는 항온항습장치에 이 흡착제를 넣고 평형흡착량을 측정 한 결과 13.4 wt%의 흡수율을 보였다.
- 2) 상대습도가 증가함에 따라 수분흡착량이 증가하였으며, 재생온도에 관계없이 탈착효율은 일정하였다.

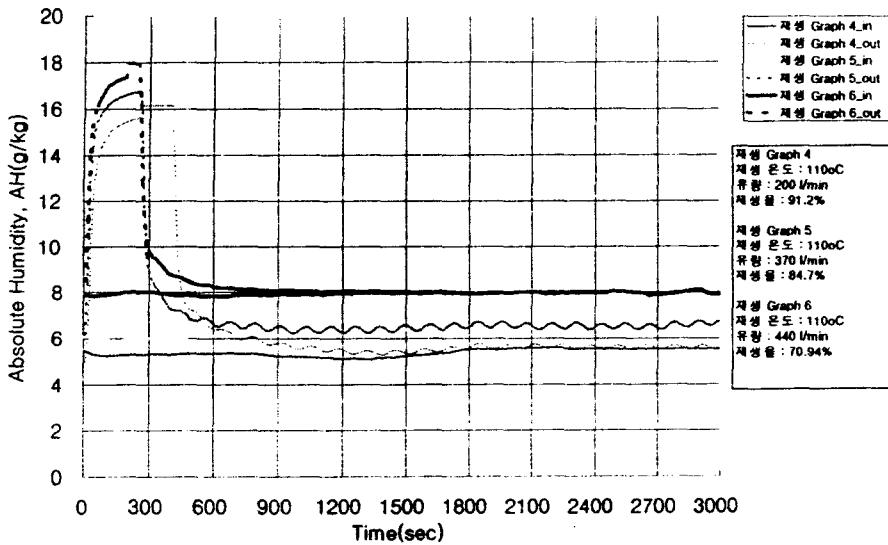


그림 5 공급공기 유량 변화에 따른 세라믹 제습 로터의 탈착특성 변화

- 3) 공기공급량이 증가함에 따라 수분흡착량과 탈착량이 증가하였다.
- 4) 공급 공기의 유량이 작을 때, 충분한 흡착이 이루어지지 않았으며, 경제적인 제습을 위해서는 440 l/min 이상의 유량이 필요하였다.
- 5) 상대습도 45.7%, 공급 공기온도 22°C, 유량 440 l/min에서의 제습율은 12.08%로서 항온항습장치에서 측정한 결과와 유사하였다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 과학기술부에서 지원한 국가지정연구실사업의 수행 결과이며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. R. K. Collier, Jr., D. Novosel W. M. Worek, "Performance analysis of open-cycle desiccant cooling systems", ASHRAE Trans., 1990년 pp. 1262-1268
2. W. M. Worek, W. Zheng, W. A. Belding, D. Novosel, W. D. Holeman, "Simulation of advanced gas-fired desiccant cooling system", ASHRAE Trans., 1991년 pp. 609-614
3. R. H. Turner, J. D. Kleise, R. F. Chen, N. Domingo, F. Chen, "Assessment of thermally activated heat pumps with desiccant cooling", ASHRAE Trans., 1988년 pp. 552-562
4. T. J. Marciniak, R. N. Koopman, D. Kosar, "Gas-fired dehumidification system in a quick-service restaurant", ASHRAE Trans., 1991년 pp. 657-666