

## 제올라이트가 도포된 실리카세라믹 제습제의 특성

정석용, 이수출, 채호진, 이수재, 박정제, 안영수<sup>†</sup>, 김홍수<sup>†</sup>, 김재창\*

경북대학교 화학공학과

702-701 대구시 북구 산격동 1370번지

<sup>†</sup>한국에너지기술연구원 미래원천기술연구본부

305-343 대전시 유성구 가정로 102번지

(2008년 2월 22일 접수 2008년 3월 11일 채택)

### A Study on the Characterizations of Silica-Ceramic Paper Dehumidifiers Impregnated with Zeolites

Suk-Yong Jung, Soo-Chool Lee, Ho-Jin Chae, Soo-Jae Lee, Jung-Je Park,  
Young-Soo Ahn<sup>†</sup>, Hong-Su Kim<sup>†</sup>, and Jae-Chang Kim\*

Department of Chemical Engineering, Kyungpook National University  
1370, Sankyuk-dong, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea

<sup>†</sup>Future Fundamental Technology Research Department, Korea Institute of Energy Research  
102, Gajeong-ro, Yuseong-gu, Deajeon, 305-343, Korea

(Received for review February 22, 2008; Revision accepted March 11, 2008)

#### 요 약

MCM 48, USY, beta 등과 같은 제올라이트를 세라믹종이에 실리카와 함께 도포하여 제습소자를 제조하였고, H<sub>2</sub>O 흡수 및 재생에 대한 평가를 고정층반응기에서 실시하였다. 제올라이트가 도포된 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력은 제올라이트가 도포되지 않은 제습소자보다 약 1.5~2배 가량 높은 것을 볼 수 있었다. 특히 콜로이드 실리카와 MCM 48을 도포한 제습소자는 약 42.1 g H<sub>2</sub>O/g absorbent의 매우 우수한 제습 능력을 보여 주었다. 이러한 결과는 넓은 비표면적과 큰 기공부피를 가지고 있는 제올라이트에 의해 H<sub>2</sub>O를 흡수할 수 있는 실리카 겔이 함침될 수 있는 공간이 증가하고 이에 따른 H<sub>2</sub>O의 흡수량도 증가하는 것으로 판단된다. 또한 제올라이트가 도포된 제습소자는 80℃의 재생 온도에서도 쉽게 H<sub>2</sub>O가 탈착되고, 이 때 탈착된 H<sub>2</sub>O의 양은 제습소자가 흡수한 H<sub>2</sub>O의 양과 동일하였다. 반복순환실험을 통한 H<sub>2</sub>O의 흡수력 감소는 발견되지 않았고 초기 흡수력이 유지되었다.

**주제어** : 제습소자, 제올라이트, H<sub>2</sub>O 흡수력

**Abstract** : The dehumidifiers were prepared by the impregnation of the zeolites such as MCM 48, USY, beta on the silica ceramic paper. Their capacities for H<sub>2</sub>O absorption and regeneration of the bed were tested in a fixed bed reactor system. The H<sub>2</sub>O absorption capacities of the dehumidifiers impregnated with the zeolites were 1.5 ~ 2 times higher than those without the zeolites. Especially, the humidifier using MCM 48 and colloidal silica showed an excellent capacity (42.1 g H<sub>2</sub>O/ g absorbent). It was found that the H<sub>2</sub>O absorption capacities of the dehumidifiers were improved because the amount of silica gel, the main component in absorbing H<sub>2</sub>O, increased due to the large surface area and pore volume of the zeolites. In addition, H<sub>2</sub>O was easily desorbed from the dehumidifiers with zeolites at 80℃ of regeneration temperature and the desorption amount of H<sub>2</sub>O was the same as that absorbed. It was confirmed that the H<sub>2</sub>O absorption capacities of the dehumidifiers impregnated with zeolite were maintained without deactivation through the repeated cyclic experiments.

**Key words** : Dehumidification device, Zeolite, H<sub>2</sub>O absorption capacity

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail : kjchang@knu.ac.kr

### 1. 서 론

오존층 파괴의 주범인 CFC를 대체하기 위해 청정분리기술인 허니컴식 제습 회전자와 회전자식 현열교환기로 구성된 흡착식 제습냉난방시스템이 개발되었으며, 이를 이용한 여러 가지 연구가 진행 중에 있다. 제습 냉난방 시스템은 하니컴 형태의 세라믹종이에 함침된 제습제를 이용하여 공기중의 수분을 흡수하고, 이 때 수분이 가지고 있는 열이 방출되면서 공기의 온도를 상승시킨다. 건조해진 공기는 증발현상을 이용한 냉각이나 일반적인 에어컨의 냉각 코일을 이용하여 냉각된다. 제습제에 흡착되어 있던 수분은 폐열 및 태양열 등을 이용하여 제거되면서 제습제는 다시 건조한 상태로 되돌아간다. 제습냉난방시스템은 기존의 냉난방시스템에서 사용되고 있는 압축기 및 오존층파괴 물질인 CFC를 사용하지 않기 때문에 청정분리기술이라 할 수 있고, 에너지 측면에서 효율적이고 비용면에서 매우 경제적이다. 특히 여름철의 냉방으로 인한 전력과부하를 줄일 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 식품의 신선도 유지와 제품의 부식 방지 등을 위해서도 보관창고나 생산시설에서의 온도와 습도조절 필요성이 증대하고 있다. 박물관, 도서관, 미술관 등과 같은 장소에서는 특히나 습도조절이 중요하다. 특히 하절기 장마철일 경우 상대습도가 90% 근처로 매우 높기 때문에 제습에 대한 중요성은 더욱 높아진다[1-8].

제습제로는 실리카 겔, 알루미늄 겔, 합성 제올라이트 등이 있으며 제습제의 성능은 저온에서 많은 양의 수분을 흡수할 수 있어야 하고 온도가 상승하면서 쉽게 탈착이 가능해야 한다. 또한 저온 흡수와 고온 재생과정이 반복되므로 열적 안정성도 우수해야 한다. 제올라이트 종류는 낮은 온도에서 쉽게 수분을 흡수하지만, 흡수된 수분을 탈착시키기 위해서는 200°C 이상의 높은 온도를 필요로 한다. 따라서 최근에는 합성 제올라이트의 기공을 20-100 Å의 크기로 확대시킨 다공성물질을 제조하고 이들의 수분에 대한 흡착과 탈착특성에 대한 연구가 진행되고 있다[9-12].

허니컴 형 회전자식 제습제로는 실리카 겔을 세라믹종이에 함침하여 이용한다. 실리카 겔은 하니컴 형태의 세라믹종이에 다양한 함침방법으로 제조되고 있고, 이렇게 제조된 제습제들의 특성이 H<sub>2</sub>O 등온선 등의 비교평가를 통해 보고된 바 있다[13-17]. 그러나 이 경우 세라믹종이에 함침되는 실리카 겔의 양이 한정되어 있고 흐름공정에서 제습제의 수분흡수효율이 제한되어 있다. 또한 흐름공정에서의 제습제에 대한 평가역시 미비한 상태이다. 이러한 이유로 장마철과 같은 날씨에 많은 양의 수분을 제거해야 하는 연속공정에서는 이 기술을 적용하기 어렵게 된다. 따라서 보다 많은 양의 수분을 흡수할 수 있는 제습제가 필요하고, 또한 흡수와 재생의 반복공정에서 장기적인 안정성이 요구되는 제습장치가 필요하다. 본 연구는 세라믹종이를 이용하여 제습용 공기정기기에 사용되고 있는 제습제의 수분 흡수력의 향상 및 장기 안정성을 위해 세라믹종이에 제올라이트를 실리카 겔과 함께 도포하였고, 그 특성을 고정층 흐름반응기에서 평가하였다. 또한 세라믹종이에

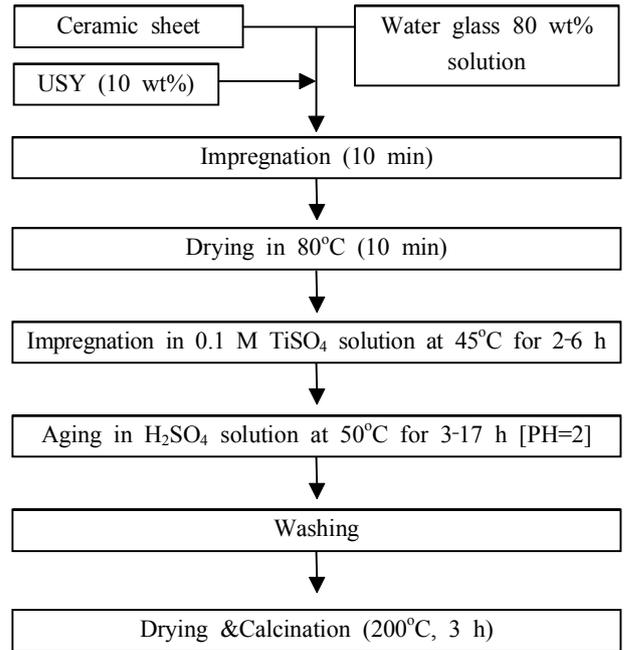


Figure 1. Scheme for the preparation of silica-ceramic dehumidifier using water glass.

실리카 겔 및 제올라이트를 도포하는 방법에 따라서도 흡수력을 비교, 평가하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1. 제습소자의 제조

##### 2.1.1. 물유리를 이용한 제습소자의 제조

Figure 1에서 보는 바와 같이 물유리를 이용한 제습소자의 경우 물유리 80 wt%의 수용액에 가로 3 cm, 세로 3 cm의 세라믹종이를 10분간 함침한 후 80°C에서 10분간 건조시켰다. 45°C를 유지하면서 Junsei 제품의 TiSO<sub>4</sub> 0.1 M 농도 용액에 6시간 정도 함침하여 수화 실리카 겔을 생성시켰으며 pH 2 정도의 황산용액에 17시간 동안 50°C에서 숙성시켰다. 수화 실리카 겔 형성시 불순물인 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 제거하기 위해 증류수로 세척한 후, 200°C에서 3시간 동안 열처리하여 실리카 겔이 담기된 제습소자를 제조하였다. 또한 물유리를 이용한 제습소자에 제올라이트 종류 중 하나인 USY(Ultra Stable Y zeolite) 10 wt%를 첨가하기 위해 80 wt%의 물유리 수용액에 혼합시킨 후 세라믹종이를 함침시켰으며, 이후의 공정은 앞서 제조된 제습소자와 동일하게 실시하여 제조하였다. 물유리를 이용한 제습소자를 WG으로 명명하고 10 wt%의 USY가 첨가된 소자는 WGU로 명명하였다.

##### 2.1.2. 콜로이드 실리카를 이용한 제습소자의 제조

Figure 2에서 보는 바와 같이 콜로이드 실리카를 이용한 제습소자의 제조의 경우 10 wt%의 콜로이드 실리카 용액에 세라믹종이를 20분 동안 함침시킨 후 100°C에서 60분간 건

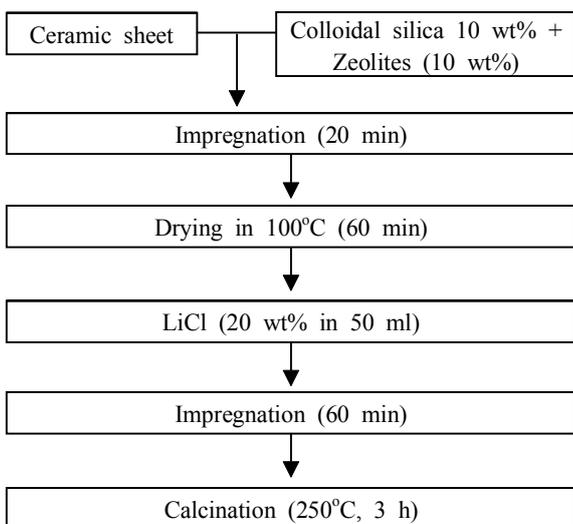
**Table 1. Information of the samples prepared by the colloidal silica**

Sample	LiCl (wt%)	Zeolites (wt%)		
		MCM-48	USY	beta
SL	20	-	-	-
SLM-10	20	10	-	-
SLU-10	20	-	10	-
SLBeta-10	20	-	-	10

조시켰다. 이렇게 제조된 소자를 다시 LiCl 20 wt%의 조성으로 제조된 50 mL 용액에 60분 동안 함침하여 수화 실리카 겔을 생성시켰고, 250°C에서 3시간 동안 열처리하여 실리카 겔이 담지된 제습소자를 제조하였다. 또한 MCM48, USY, beta와 같은 여러 가지 제올라이트를 첨가하기 위해 10 wt%의 콜로이드 실리카용액에 10 wt%의 무게비로 제올라이트를 혼합하여 함침시켰고, 이후의 공정은 앞서 제시된 공정과 동일하게 실시하여 제조하였다. Table 1은 콜로이드 실리카를 이용한 제습소자의 약칭을 나타낸 표이다. 표에서 보는 바와 같이 SL은 콜로이드 실리카와 LiCl를 이용하여 제조된 제습소자이고, MCM-48, USY, H-beta 등과 같은 여러 가지 제올라이트가 도포된 제습소자는 각각 SLM, SLU, SLBeta로 표기하였고, 소자이름 다음에 오는 숫자는 각 제올라이트의 첨가량을 나타낸 것이다. Table 2는 본 연구에 사용된 MCM-48, USY, beta 등의 비표면적, 기공 부피, 주 기공 크기를 나타내었다. 실험에 사용된 MCM-48, USY, beta 등은 총 수분 흡수력이 본 실험조건에서 각각 7.04, 5.29, 6.42 g H<sub>2</sub>O/ g sorbent인 제올라이트들이 이용되었다.

2.2. 실험장치

본 연구에서 사용한 흡수장치는 고정층 미분형 흐름반응기를

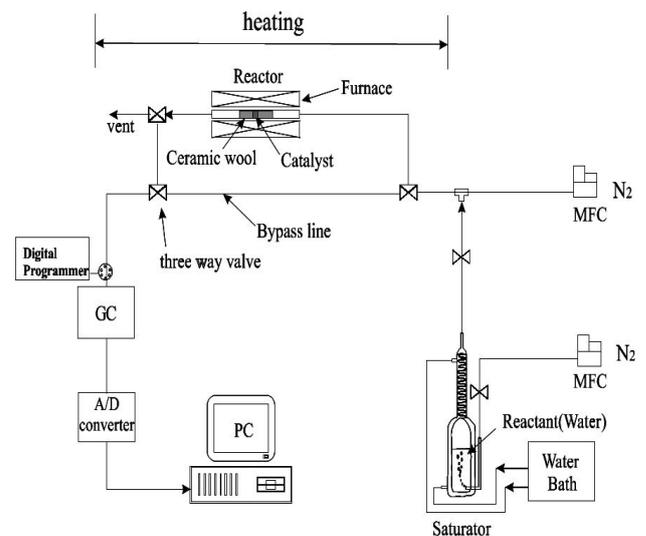


**Figure 2. Scheme for the preparation of silica-ceramic dehumidifier using colloidal silica.**

**Table 2. Physical properties of the various zeolites**

	Surface area (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	Pore volume (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	Main pore size (Å)
MCM-48	899.0	1.2	40.2
USY	615.9	0.9	38.7
Zeolite-β	724.6	1.0	45.0

사용하였으며, 장치에 대한 개략도는 Figure 3과 같다. 반응기 재료는 반응에 전혀 영향을 주지 않는 석영 유리를 사용하였으며, 반응기 지름은 1 cm인 것을 사용하였다. 반응기 내의 온도조절은 PID 제어를 사용하였으며, 센서로는 Chromel-Alumel 열전쌍을 사용하였다. 모든 가스의 조절은 질량흐름조절기를 사용하였다. 실험에 사용된 제습소자의 양은 0.5 g을 사용하였으며, 모든 제습소자는 세라믹을 이용하여 고정시켰다. 제습소자의 길이는 3 cm를 유지하였고 가스유속은 제습 및 재생 반응 모두 60 mL min<sup>-1</sup> 를 유지하였으며, 모든 제습소자에 일정하게 적용하였다. 또한 공간속도를 약 1500 h<sup>-1</sup>로 유지하여 가스와 제습소자의 접촉을 최대 하였다. 반응기 입구와 출구의 배관은 수증기의 응축을 방지하기 위하여 120°C로 유지하였고 반응기 출구에서 배출되어 나오는 가스는 열전도도검출기가 장착된 기체크로마토그래프를 사용하여 매 8분 마다 자동 분석하도록 하였다. 이때 분석에 사용된 칼럼은 1/8" 테프론튜브를 사용하였고 Porapak T를 충전하여 흡수 후 나오는 수분가스에 대하여 농도를 분석하였다. 본 실험의 조건은 Table 3 에 나타내었고, 표에서 보는 바와 같이 제습실험의 흡수온도는 35°C, 재생반응온도는 80°C로 유지하였으며, 제습흡수공정은 H<sub>2</sub>O 농도를 3 vol%로 고정하였고, 반응 후 반응기 출구의 H<sub>2</sub>O 농도가 3 vol%일 때 중단하였다. H<sub>2</sub>O의 양은 포화기를 장착하여 항온조로 일정온도를 유지하였고 재생반응공정은 비 활성화가스인 질소를 흘려서 재생

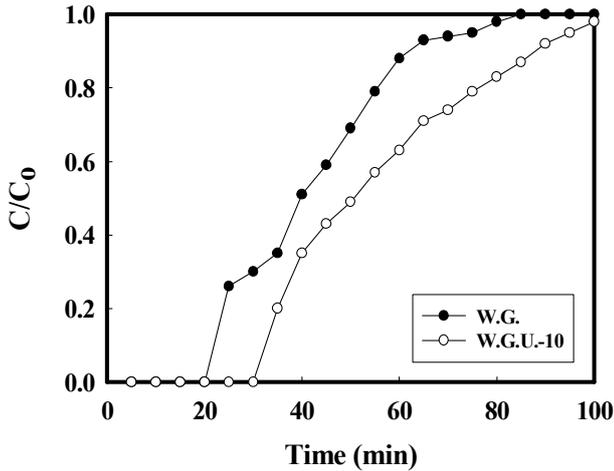


**Figure 3. Schematic of the apparatus used in this work.**

**Table 3. Experimental conditions**

	Absorption process	Desorption process
Ceramic sheet	0.5 g	N/A
Flow rate (mL min <sup>-1</sup> )	60	60
Composition (vol%)	H <sub>2</sub> O 3 vol% (R.H.*: 56%) N <sub>2</sub> Balance	N <sub>2</sub> Balance
Temperature (°C)	35	80

\*R.H.; Relative Humidity



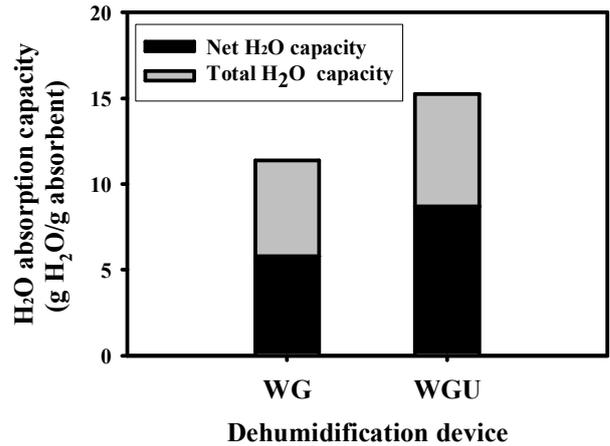
**Figure 4. Breakthrough curves for H<sub>2</sub>O absorption on WG and WGU adsorbents.**

반응온도를 승온하면서 탈착되는 수분의 양을 측정하였다.

### 3. 결과 및 검토

#### 3.1. 물유리를 이용한 제습소자의 제습특성

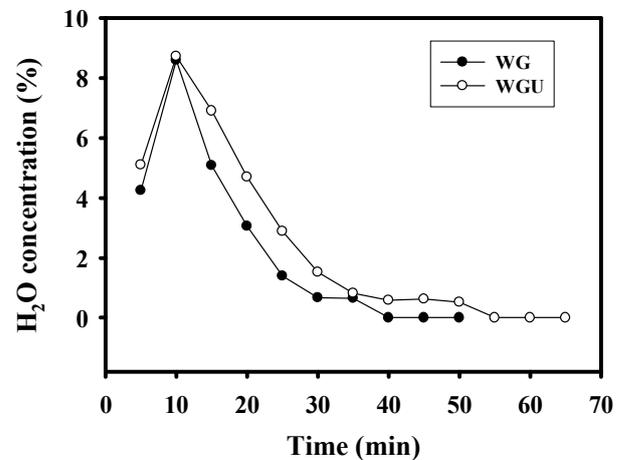
Figure 4는 USY 첨가에 따른 물유리를 이용한 제습소자의 수분흡수에 대한 전형적인 파과곡선이다. X축은 반응시간을 나타내는 것이며, Y축은 반응기로 배출되는 H<sub>2</sub>O의 양을 반응기로 주입되는 H<sub>2</sub>O의 초기농도(C<sub>0</sub>)로 나눈 값을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 WG와 WGU 제습소자의 파과점 시간은 각각 20분과 30분이었다. USY를 도포한 제습소자의 파과점 시간은 USY를 도포하지 않은 소자의 파과점 시간보다 증가되어 있는 것을 볼 수 있었다. 이러한 파과곡선의 파과점을 기준으로 제습소자 1 g당 흡수된 H<sub>2</sub>O의 흡수량을 계산하였고, 그 결과를 Figure 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 WG와 WGU 제습소자의 파과점까지의 흡수력(Net H<sub>2</sub>O absorption capacity)은 각각 5.8과 8.7 gH<sub>2</sub>O/g sorbent를 나타내었다. 또한 반응기 출구에서 H<sub>2</sub>O의 입구 농도와 같은 농도로 배출될 때까지의 H<sub>2</sub>O흡수력(Total H<sub>2</sub>O absorption capacity)은 각각 11.4와 15.3 gH<sub>2</sub>O/g sorbent를 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 제습소자에 제올라이트



**Figure 5. H<sub>2</sub>O absorption capacities of WG and WGU adsorbents.**

종류 중 하나인 USY를 첨가한 제습소자의 H<sub>2</sub>O흡수력이 첨가하지 않은 제습소자의 H<sub>2</sub>O흡수력보다 높은 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같이 USY가 넓은 비표면적과 큰 기공 부피를 가지고 있고, 따라서 H<sub>2</sub>O를 흡수할 수 있는 실리카 겔이 USY의 표면 및 기공 안까지 함침되어 있기 때문에 WG 제습소자보다 WGU 제습소자의 H<sub>2</sub>O흡수력이 약 1.5배 가량 높게 나타난 것으로 생각된다.

Figure 6은 H<sub>2</sub>O를 흡수한 WG와 WGU 제습소자의 재생시 탈착되는 H<sub>2</sub>O의 양을 나타낸 그림이다. 재생공정은 80°C로 승온하면서 질소를 반응기로 흘려 보내서 제습소자에 흡수되어 있는 H<sub>2</sub>O의 탈착량을 측정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 WG와 WGU 제습소자에 대한 H<sub>2</sub>O의 탈착량은 초기 9%의 농도로 나타내다가 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 제습소자에 USY가 첨가되어도 H<sub>2</sub>O를 탈착시켜 제습소자를 재생시키는 반응에 영향이 없는 것을 알 수 있었다. 이러한 H<sub>2</sub>O의 흡수와 탈착을 반복하여



**Figure 6. Breakthrough curves for H<sub>2</sub>O desorption on WG and WGU adsorbents.**

제습소자의 장기안정성을 살펴보고, 그 결과를 Figure 7에 나타내었다. X 축은 제습소자에 대한 H<sub>2</sub>O의 흡수와 재생을 하나의 공정으로 정의하였고, 이를 반복한 횟수를 나타낸 것이다. Y축은 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 반복회수가 증가하여도 WG와 WGU의 제습소자들에 대한 H<sub>2</sub>O 흡수능력은 초기 흡수력인 5.8과 8.7 gH<sub>2</sub>O/ g sorbent를 각각 유지하였다.

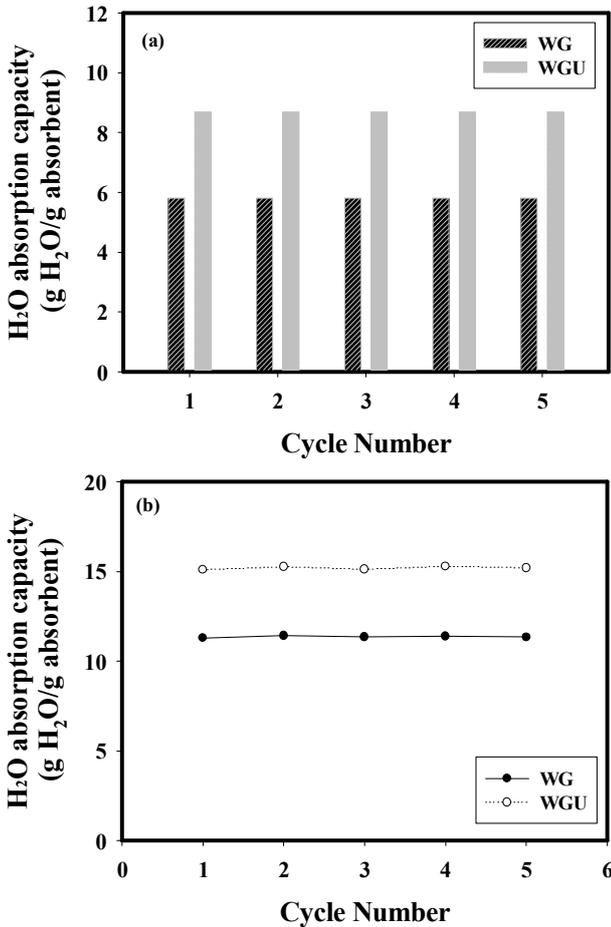


Figure 7. (a) Net and (b) total H<sub>2</sub>O absorption capacities on WG and WGU adsorbents with multiple cycles.

3.2. 콜로이드 실리카를 이용한 제습소자의 제습특성

Figure 8은 콜로이드 실리카를 이용하여 제조된 제습소자 (SL)와 MCM-48 (SLM-10), USY (SLU-10), beta (SLBeta-10)를 각각 10 wt%씩 첨가한 제습소자에 대한 H<sub>2</sub>O의 파과곡선을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 SL의 제습소자의 파과점 시간은 75분을 나타내었고 점차 H<sub>2</sub>O의 농도가 증가함을 볼 수 있었다. 반면 여러 가지 제올라이트가 첨가된 SLM-10, SLU-10, SLBeta-10 제습소자들의 파과점 시간은 각각 95, 105, 145분을 나타내었다. 이러한 파과점 시간을 볼 때 SLM-10 제습소자가 다른 제습소자들에 비해 H<sub>2</sub>O를 더 많이 흡수하고 있음을 볼 수 있었다. Figure 9는

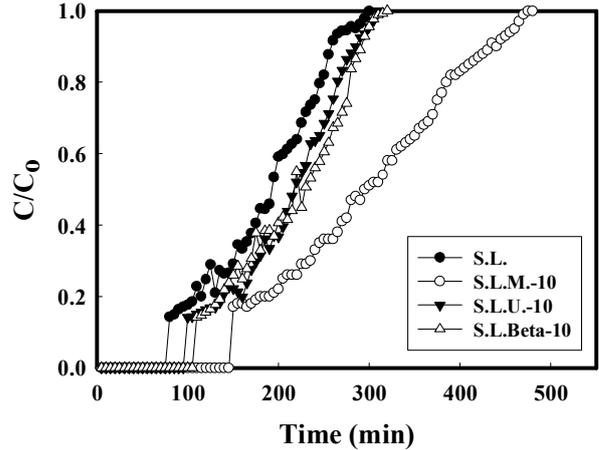


Figure 8. Breakthrough curves for H<sub>2</sub>O absorption on SL, SLM-10, SLU-10 and SLBeta-10 adsorbents.

각 제습소자에 대한 H<sub>2</sub>O 흡수력(net 및 total H<sub>2</sub>O 흡수력)을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 것처럼 SL, SLM-10, SLU-10, SLBeta-10등의 제습소자에 대한 파과점까지의 H<sub>2</sub>O 흡수력은 각각 21.8, 42.1, 27.6, 30.5 gH<sub>2</sub>O/ g sorbent를 나타내었다. 각 제습소자들의 총 H<sub>2</sub>O 흡수력은 각각 51.3, 84.5, 58.7, 60.1 gH<sub>2</sub>O /g sorbent를 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 각각의 제습소자 중 MCM-48이 첨가된 SLM-10 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력이 제올라이트를 첨가하지 않은 SL 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력보다 2배 가량 증가하였다. 또한 다른 제올라이트가 첨가된 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력보다 뛰어났다. 이러한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같이 MCM-48의 비표면적과 기공부피 등의 물리적 특성이 다른 제올라이트보다 매우 뛰어난 것에 기인한다 할 수 있다. 각 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력과 각 제올라이트의 비표면적 및 기공부피를 비교해 보면 제올라이트의 비표면적과 기공 부피가 증가할수록 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력이 증가하고 있음을 알 수 있었다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이 H<sub>2</sub>O를 흡수할 수 있는 실리카

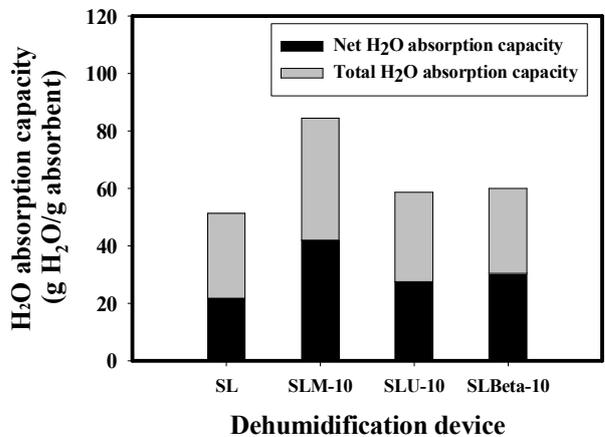


Figure 9. H<sub>2</sub>O absorption capacities of SL, SLM-10, SLU-10 and SLBeta-10 adsorbents.

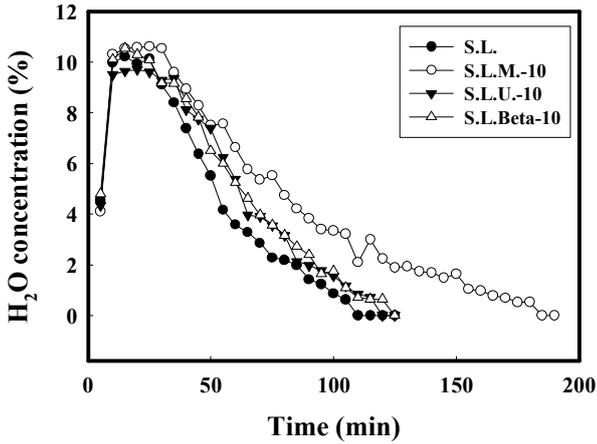


Figure 10. Breakthrough curves for H<sub>2</sub>O desorption of SL, SLM-10, SLU-10 and SLBeta-10 absorbents.

겔이 제습소자에 도포된 제올라이트의 넓은 비표면적과 많이 분포된 기공에 함침되어 있어서 제올라이트가 도포되지 않고 제조된 제습소자보다 더 많은 양의 H<sub>2</sub>O를 흡수할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 앞의 실험에서 WG 제습소자와 SL 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력을 비교하면 SL 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력이 2배 정도 증가한 것을 볼 수 있었다. 따라서 콜로이드 실리카를 이용하여 제습소자를 제조하는 방법이 물유리를 이용하여 제습소자를 제조하는 방법보다 더 좋을 것임을 알 수 있었다.

Figure 10은 80°C의 재생 공정에서 각 SL, SLM-10, SLU-10, SLBeta-10 제습소자들의 H<sub>2</sub>O 탈착량을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 각 제습소자들의 H<sub>2</sub>O 탈착량은 초기 약 10%의 농도로 배출되다가 점차적으로 감소함을 볼 수 있었다. 또한 각 제습소자들의 재생이 완료되는 시간은 비록 다르지만 H<sub>2</sub>O 농도의 탈착속도로 판단되는 기울기가 유사한 점을 고려해 보면 각 제습제의 탈착 속도는 크게 차이가 없음을 보여주고 있다. 재생시 탈착된 H<sub>2</sub>O의 양을 계산해 보면 제습소자가 H<sub>2</sub>O를 흡수한 양과 동일함을 알 수 있었다. 일반적으로 제올라이트의 기공에 함침되어 있는 H<sub>2</sub>O의 탈착 온도는 250°C 이상인 것으로 알려져 있는데 본 연구에서 사용된 제습소자들은 모두 80°C의 온도에서도 H<sub>2</sub>O 탈착이 매우 잘 이루어지고 있었다. 이는 H<sub>2</sub>O의 흡착 및 탈착에 관여되는 물질이 제올라이트이기 보다는 제올라이트 내에 분산된 실리카 겔에 기인함을 보여 주고 있다.

Figure 11은 각 제습소자들의 반복 회수에 따른 H<sub>2</sub>O 흡수력을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 모든 제습소자들은 반복회수가 증가하여도 초기 H<sub>2</sub>O 흡수력을 유지하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 제습소자에 제올라이트를 첨가하더라도 제습소자의 H<sub>2</sub>O 흡수력이 감소하지 않고 오히려 더 높은 H<sub>2</sub>O 흡수력을 유지하면서 장기적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 결과들을 종합해 볼 때 제습소자에 제올라이트의 첨가는 H<sub>2</sub>O 흡수력에 크게 기여하고 있음을 알 수 있었다.

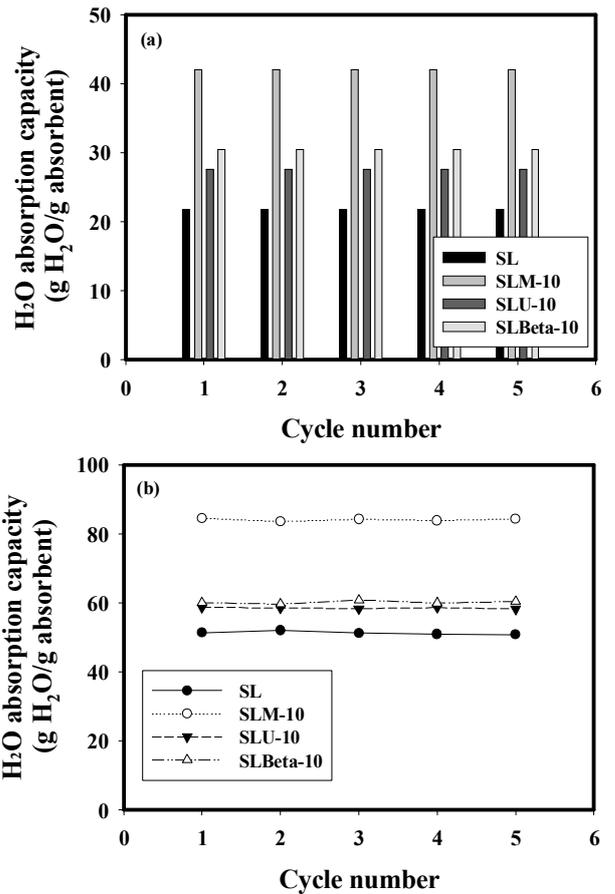


Figure 11. (a) Net and (b) total H<sub>2</sub>O absorption capacities of SL, SLM-10, SLU-10 and SLBeta-10 absorbents with multiple cycles.

#### 4. 결 론

MCM-48, USY, beta 등과 같은 제올라이트를 세라믹종이에 도포하여 제습소자를 제조하였으며 H<sub>2</sub>O 흡수 및 재생에 대한 평가를 실시하였다. 제습소자를 제조하기 위해 두 가지 제조방법을 선택하였는데, 그 중 하나는 물유리를 이용하여 제습소자를 제조하는 것이고, 다른 하나는 콜로이드 실리카를 이용하여 제습소자를 제조하는 것이었다. 이렇게 제조된 제습소자들 중 H<sub>2</sub>O 흡수력이 가장 높은 제습소자는 콜로이드 실리카를 이용하여 MCM-48을 도포한 SLM-10 제습소자였다. 제올라이트를 도포하지 않고 제조된 제습소자들의 경우 제올라이트를 도포한 제습소자보다 H<sub>2</sub>O 흡수력이 낮은 것을 볼 수 있었고, 제올라이트의 비표면적 및 기공부피가 증가할수록 H<sub>2</sub>O의 흡수력은 증가하였다. 이러한 결과는 넓은 비표면적과 큰 기공부피를 가지고 있는 제올라이트에 의해 H<sub>2</sub>O를 흡수할 수 있는 실리카 겔이 함침될 수 있는 공간이 증가하고 따라서 함침량이 증가함에 따라 H<sub>2</sub>O의 흡수량도 증가한 것으로 보인다. 또한 제올라이트가 도포된 제습소자의 재생특성은 80°C의 재생온도에서도 쉽게 H<sub>2</sub>O가 탈착되고, 탈착된

H<sub>2</sub>O의 양은 제습소자가 흡수한 H<sub>2</sub>O의 양과 동일하였다. 따라서 반복회수에 따른 H<sub>2</sub>O의 흡수력 감소는 관찰되지 않았으며, 초기 흡수력이 유지되었다. 결론적으로 제올라이트의 도포는 제습소자의 성능을 향상시키는데 중요한 역할을 하는 것으로 판단된다.

## 감 사

이 연구는 2007학년도 경북대학교 연구교수 연구비에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Moon, I. H., "Basic Concept and Present Condition of Domestic Market for Dehumidifiers," *Soc. Air-Cond. Refrig. Eng. Korea*, **27**(6), 523-532 (1998).
2. Choi, K. H., "Application for Air Conditioning of Cooling System Using Desiccant," *Soc. Air-Cond. Refrig. Eng. Korea*, **27**(6), 513-522 (1998).
3. Kim, H. S., Yoo, Y. J., Ahn, Y. S., Han, M. H., Chu, K. T., Lee, C. M., and Park, M. K., "Adsorption and Desorption Characteristics of humidity on Silica Gel Impregnated Ceramic Paper," *Korean Soc. Energy Eng.*, **1**, 155-160 (2002).
4. Singh, S., and Singh, P. P., "Regeneration of Silica Gel in Multi-Shelf Regenerator," *Renew. Energy*, **13**(1), 105-119 (1998).
5. Jain, S., Dhar, P. L., and Kaushik, S. C., "Experimental Studies on the Dehumidifier and Regenerator of a Liquid Desiccant Cooling System," *Appl. Therm. Eng.*, **20**, 253-267 (2000).
6. Yin, Y., Zhang, X., and Chen, Z., "Experimental Study on Dehumidifier and Regenerator of Liquid Desiccant Cooling Air Conditioning System," *Build. Environ.*, **42**, 2505-2511 (2007).
7. Kodama, A., Goto, M., and Kuma, T., "Experimental Study of Optimal Operation for a Honeycomb Adsorber Operated with Thermal Swing," *J. Chem. Eng. Japan*, **26**(5), 530-535 (1993).
8. Wiwut, T., and Anawut, P., "New Simple Mathematical Model of a Honeycomb Rotary Absorption-type Dehumidifier," *Chem. Eng. J.*, **3942**, 1-5 (2002).
9. Oh, J. S., Kim, J. H., and Seo, G., "Dehumidifying Property of Zeolites and Mesoporous Materials in Adsorption-Desorption Dehumidification Process," *KICChE Proceedings: Theories and Applications of Chemical Engineering*, **7**(1), 177-180 (2001).
10. Jung, M. H., Kim, J. H., and Seo, G., "Improvement of Hydrothermal and Mechanical Stabilities KIT-1 Mesoporous Material by Silane Modification," *HWAHAK KONGHAK*, **35**(6), 895-899 (1997).
11. Ryoo, R., and Kim, J. M., "Characterization of High-Quality MCM-48 and SBA-1 Mesoporous Silicas," *Chem. Mater.*, **11**, 2568-2572 (1999).
12. Zhao, D., Sun, J., Li, Q., and Stucky, G. D., "Morphological Control of High Ordered Mesoporous Silica SBA-15," *Chem. Mater.*, **12**, 275-279 (2000).
13. Kuma, T., and Okano, H., "Active Gas Adsorbing Element and Method of Manufacturing," US Patent No. 4,886,769 (1989).
14. Sowards, D. M., Hills, A., Claymont, and Stiles, A. B., "Supported Catalysts Composed of Substrate Coated with Colloidal Silica and Catalyst," US Patent No. 3,518,206 (1970).
15. Tseng, P. C., Chuah, Y. K., Hwang, C. U., Chu, S. J., Chang, H. T., Huang, C. S., and Chen, C. C., "Process for Manufacturing Moisture Exchange Element," US Patent No. 5,254,195 (1993).
16. Kuma, T., Shirahama, N., and Izumi, H., "Adsorber for Humidity and Odorous Gas Exchange," US Patent No. 5,753,345 (1998).
17. Kuma, T., and Okano, H., "Method of Manufacturing Dehumidifier Element," US Patent No. 4,911,775 (1990).