

# 다공성 원료와 수열합성으로 제조한 건축 내장용 패널의 흡방습 특성

## Hygroscopic Characteristic of Hydrothermal reacted Panels using Porous Materials

권 춘 우\*                      추 용 식\*\*                      송 훈\*\*                      이 종 규\*\*\*  
Kwon, Choon Woo              Chu, Yong Sik                      Song, Hun                      Lee, Jong Kyu

### ABSTRACT

Diatomite, bentonite and zeolite were used as porous materials for fabricating hygroscopic panels. Moisture adsorption and desorption of porous materials were investigated and hydrothermal method was applied to fabricate panels. Cheolwon diatomite and Pohang zeolite showed excellent characteristics of moisture adsorption and desorption. These characteristics were caused by higher surface area and pore volume of porous materials. Moisture adsorption contents were influenced by surface area and pore volume of panels, and surface area more effected on moisture adsorption. Moisture adsorption content of panel with 10% Pohang zeolite was  $180\text{g/m}^2$  and that of 10% Cheolwon diatomite was  $170\text{g/m}^2$ . Moisture desorption content of panel with 10% Pohang zeolite was  $105\text{g/m}^2$ . Moisture adsorption contents of panel with porous materials were higher than that of panel without porous materials.

### 요 약

본 연구에서는 규조토, 벤토나이트, 제올라이트를 사용하여 건축내장용 조습패널을 제조하였으며, 패널 제조에 사용된 원료의 특성에 따른 조습 성능 등을 평가해 보고자 하였다.

철원 규조토는 형태와 구조가 와해·변질된 상태로 존재하였으며, 포항 벤토나이트는 입자 표면이 만곡 현상(彎曲 現狀)과 많은 기공을 관찰할 수 있었다. 제올라이트는 타원형 또는 구형의 형태를 가지고 있으며, 다수의 판상 입자들이 한개의 거대 입자( $15\mu\text{m}$  전후)를 형성하는 특징이 있었다. 또한 대부분의 원료들은 판상이거나 침상으로 다공질의 미세구조를 관찰할 수 있었다.

각 원료를 사용해 제조한 조습패널은 다공성 원료의 첨가로 인해 다공성 원료를 혼합하지 않은 패널 보다 수분의 흡방습 특성은 크게 개선되어, 포항 제올라이트 10% 패널의 경우에는 흡습량  $180\text{g/m}^2$ , 방습량  $105\text{g/m}^2$  수준이었다. 또한 패널의 비표면적 및 기공 부피와 수분 흡방습량과의 높은 상관성이 있음을 확인하였다. 또한 다공성 원료의 종류에 따라서도 패널의 수분 흡방습량은 차이가 있었으며, 이는 다공성 원료의 영향으로 판단되었다. 이때 철원 규조토를 10% 첨가한 패널의 수분 흡습량은  $170\text{g/m}^2$  정도 였으며, 포항 제올라이트를 10% 첨가한 패널의 수분 흡습량은  $180\text{g/m}^2$ , 방습량은  $105\text{g/m}^2$  로 다공성 원료를 혼합하지 않은 패널(흡/방습량:80/40 $\text{g/m}^2$ ) 보다 매우 우수한 흡방습 성능을 나타내었다.

\* 정회원, 요업기술원, 시멘트·콘크리트팀, 연구원

\*\* 정회원, 요업기술원, 시멘트·콘크리트팀, 선임연구원

\*\*\* 정회원, 요업기술원, 시멘트·콘크리트팀, 책임연구원

## 1. 서 론

대부분의 현대인은 하루 시간의 80~90% 이상을 실내에서 생활하고 있으며, 주거환경에서의 적당한 환경 습도는 40~70% 범위로, 이보다 높으면 곰팡이나 진드기의 번식에 따라 이들의 배설물이나 유해 미분말에 의해 천식, 아토피성 피부염 등과 같은 알레르기성 질환이 증가하게 된다.<sup>1) 2)</sup> 이보다 낮은 경우에는 감기 등의 바이러스 증식, 정전기의 축적으로 인한 정밀기기의 오동작, 발화 및 미술품/기타 제품 등의 열화가 발생하게 된다. 그러므로 적당한 습도를 유지하기 위해 제습기나 가습기가 사용되고 있으며, 이 경우 에너지 소비가 크고 장기간 사용시 제습기/가습기 내부에 곰팡이나 진드기 또는 각종 세균이 번식하게 되며, 결국에는 이들 세균들이 환경을 오염시켜 인체 건강을 위협하게 된다. 따라서 기기의 도움 없이도 실내 환경에 적합한 습도를 유지할 수 있는 조습패널의 개발이 필요하다. 조습패널은 패널 자체가 갖는 고유의 기공 특성으로 습도 조절뿐만 아니라 탈취, VOC 제거 등 기존 기능성 제품의 역할도 동시에 수행할 수 있는 장점을 나타낸다.<sup>2)</sup>

## 2. 실험 방법 및 사용재료

### 2.1 사용재료

본 연구에서는 수열합성을 위해 SiO<sub>2</sub> source로 규석을, CaO source로 소석회와 백시멘트를 사용하였다. 또한 다공성 원료로 규조토, 벤토나이트, 제올라이트 등을 사용하였으며, 규조토는 철원 규조토(Gray(G), Pink(P) color) 2종, 중국산 수입 규조토(White(W), Pink(P) color) 2종 등 총 4종을, 벤토나이트는 포항 및 화순 지역의 벤토나이트 2종, 제올라이트는 경주 및 포항 제올라이트 2종을 사용하였다. 이들 다공성 원료는 화학조성 분석, 주사전자현미경(SM-300, TopCon Co., Japan)을 사용한 미세구조 분석 하였다.

### 2.2 실험 방법

다공성 원료를 제외한 규석, 소석회 및 백시멘트를 사용하여, CaO/SiO<sub>2</sub> 비를 0.5, 0.7, 0.9 및 1.1로 패널을 제조하였으며, 다공성 원료는 CaO/SiO<sub>2</sub> 비 0.7 조건에서 10%, 20%, 30% 외할 첨가하였다. 특히 패널 제조를 위해 사용한 다공성 원료는 '3.1 다공성 원료의 분석'에서와 같이 원료 자체의 수분 흡방습능이 우수한 철원 규조토, 포항 벤토나이트 및 포항 제올라이트 등을 선정하였다. 배합이 완료된 혼합원료는 10%(혼합수/혼합원료)의 혼합수와 혼합 후 가압 성형하였다. 가압은 100kgf/cm<sup>2</sup>로 1분 동안 가압한 후 탈형하여 수열합성 하였다. 수열합성은 180℃에서 7시간 동안 유지하였으며, 이후 패널의 수분 흡방습 및 기공 특성을 분석하였다.

수분 흡방습을 측정하기 위해, 패널을 23℃-45% 조건에서 항량이 될 때까지 안정화 시킨 후 무게(m<sub>0</sub>)를 측정하였다. 이후 상대습도를 70% 상승시켜 24시간 동안 유지하여 무게(m<sub>a</sub>)를 측정하였다. 24시간이 경과된 시점에서 상대습도를 다시 45% 낮추고 추가로 24시간(총 48시간) 동안 유지하였다. 최종 48시간이 종료되는 시점에서 무게(m<sub>d</sub>)를 측정하여 기록하였다. 최초 24시간을 흡습과정, 이후 24시간을 방습과정으로 하며, 흡습량 및 방습량은 g/m<sup>2</sup>를 기준으로 환산·계산하였다. 또한 패널의 기공 및 비표면적 특성을 평가하기 위해 BET (Model TriStar 3000 V6.02A, Micromeritics Co., USA)를 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 다공성 원료의 분석

규조토, 벤토나이트 및 제올라이트 등의 다공성 원료에 대한 화학분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 규조토의 주성분인 SiO<sub>2</sub> 함량은 66.60~91.15%이었으며, 강열감량은 0.22~9.53%이었다. 화순 및 포항 벤토나이트의 SiO<sub>2</sub> 함량은 각각 75.0%, 60.6%이었으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량은 14.8% 및 16.3%이었다. 제올라이트의 SiO<sub>2</sub> 함량은 70.3% 및 63.2%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량은 13.6% 및 15.73%이었다.

Table 1. Chemical composition of porous materials

(unit : wt.%)

Materials		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	LOI
Diatomite	CW-G	66.60	15.40	3.64	0.36	2.15	0.78	9.53
	CW-P	86.70	6.11	2.07	0.09	1.12	0.17	3.17
	CH-W	88.01	4.20	1.37	0.23	1.85	1.25	0.22
	CH-P	91.15	2.96	1.48	0.25	0.70	0.40	0.24
Bentonite	Hwasoon	75.00	14.80	1.51	0.03	4.94	0.23	3.14
	Pohang	60.60	16.30	5.24	2.62	1.99	1.71	8.00
Zeolite	Kyungjoo	70.30	13.60	1.29	2.51	3.17	1.93	5.76
	Pohang	63.20	15.70	3.72	2.54	2.15	2.18	7.64

-CW-G:Cheolwon Gray, CW-P:Cheolwon Pink, CH-W:China White, CH-P:China Pink

Fig. 1에서와 같이 중국 구조토는 전형적인 구조의 형태를 유지하고 있었으나, 국내 철원 구조토는 구조의 형태를 관찰할 수 없는 변질 형태이었다. 이는 철원 구조토의 경우, 일부 구조가 포함되어 있으나, 구조 자체의 형태와 구조가 대부분 와해·변질된 상태로 존재하기 때문이다. 포항 벤토나이트는 입자 표면이 만곡 현상(彎曲 現狀)을 이루고 있었으며, 또한 많은 기공도 관찰할 수 있었다. 그러나 화순 벤토나이트는 각이 진 입자 형태 및 표면이 매끄러운 상태로 관찰되었다. 특히  $\times 50,000$ 로 관찰한 주사전자현미경 사진에서도 기공이 관찰되지 않는 특징을 나타내었다. 이는 수분의 흡착은 다공성 원료의 기공을 채울 뿐만 아니라 표면에도 다량 흡착되어, 수분의 흡착량을 증가시키는 것으로 판단되었다.

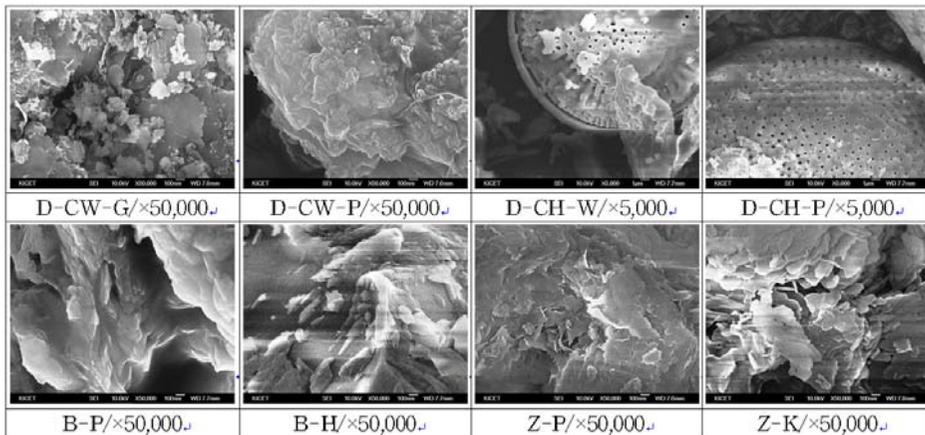


Fig. 1. SEM micrographs of porous materials

(D-CW : Diatomite-Cheolwon, D-CH : Diatomite-China, B-P : Bentonite-Pohang, B-H : Bentonite-Hwasoon, Z-P : Zeolite-Pohang, Z-K : Zeolite-Kyungjoo)

### 3.2 다공성 원료를 사용한 패널의 특성

일반적으로 석회, 시멘트, 규석 등을 사용하여 수열합성 반응을 진행할 경우, 토베모라이트 생성을 위해 반응에 참여한 규석 원료는 약 50% 수준이며, 나머지 50%는 반응에 참여하지 않고 미반응 상태로 남아있게 된다. 따라서 비표면적이 넓고, 활성이 우수한 다공성 원료를 적정량 첨가할 경우, 토베모라이트 결정 생성을 위한 반응이 용이하게 진행될 수 있다.

원료 자체의 수분 흡방습 특성이 우수한 철원 구조토(P), 포항 벤토나이트 및 포항 제올라이트 등을 사용하여 제조한 패널의 수분 흡방습 특성을 Fig. 2 (a), (b), (c)에 나타내었다. Fig. 2 (a), (b), (c)와 같이 다공성 원료의 사용에 따라 수분의 흡방습성이 크게 향상됨을 확인할 수 있었으며, 특히 포항 제올라이트 및 철원 구조토 등의 흡습 및 방습 특성이 우수하였다. 포항 제올라이트 10% 패널의 흡습량은 약  $180\text{g/m}^2$  수준이었으며, 철원 구조토 (P) 10% 패널의 흡습량은 약  $170\text{g/m}^2$  이었다. 또한 포항 제올라이트의 방습량은 약  $105\text{g/m}^2$ 이었다.

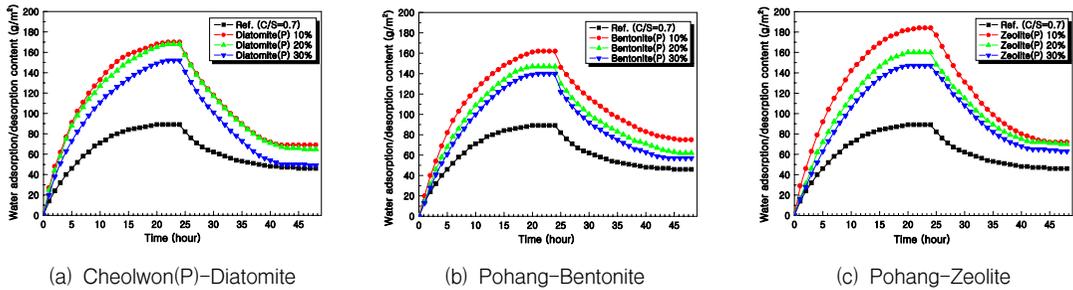


Fig. 2. Moisture adsorption and desorption of panels with porous materials

Table 2는 다공성 원료의 종류 및 함량별 패널의 비표면적과 기공 부피를 나타낸 것이다. 포항 제올라이트 10% 패널에서 비표면적  $30\text{m}^2/\text{g}$ , 기공 부피  $0.14\text{cm}^3/\text{g}$ 이었으며, 제올라이트의 함량 증가에 따라 비표면적 및 기공 부피가 감소하였다. 철원 규조토(P)는 10% 첨가량 조건에서 비표면적  $29\text{m}^2/\text{g}$ , 기공 부피  $0.11\text{cm}^3/\text{g}$ 이었으나, 30%에서는 이보다 감소하였다. 포항 벤토나이트는 첨가량 변화에 따라 큰 차이가 도출되지 않았으나, 비표면적이 미미하게 감소하였다. 즉 다공성 원료의 첨가량 증가에 따라 비표면적과 기공 부피가 감소하는 특징을 나타내었으며, 이러한 비표면적과 기공 부피 감소는 최종적으로 수분의 흡습 및 방습 능력을 낮출 것으로 판단되었다.

Table 2. Specific surface area and pore characteristics of panels

Classification	C/S = 0.7	Diatomite-CW (P)			Bentonite-Pohang			Zeolite-Pohang		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Specific surface area( $\text{m}^2/\text{g}$ )	8	29	29	17	28	28	26	30	24	24
Pore Vol. ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	0.06	0.11	0.12	0.06	0.13	0.12	0.11	0.14	0.10	0.09

#### 4. 결론

다공성 원료의 미세구조 중 중국 규조토는 구조의 형태를 유지하였으나, 국내 철원 규조토는 변질의 형태를 나타내었다. 포항 벤토나이트는 표면이 만공구조를 이루었으며, 또한 많은 기공도 관찰되었다. 제올라이트는 타원형 또는 구형의 입자들로 관찰되었으며, 이들 입자는 판상의 미립자로 구성되어 있었다. 또한 대부분의 원료들은 판상이거나 침상으로 다공질의 미세구조를 관찰할 수 있었다.

제조 패널의 흡방습 특성은 C/S 비 0.7 조건에서 흡습량 약  $80\text{g}/\text{m}^2$  수준이었으며, 방습량은 약  $40\text{g}/\text{m}^2$  수준이었다. 그러나 다공성 원료의 혼합에 따라 수분의 흡방습 특성은 크게 개선되어, 포항 제올라이트 10% 패널의 경우에는 흡습량  $180\text{g}/\text{m}^2$ , 방습량  $105\text{g}/\text{m}^2$  수준이었다. 또한 패널의 비표면적 및 기공 부피와 수분 흡방습량의 높은 상관성이 있음을 확인하였다. 또한 다공성 원료의 종류에 따라서도 패널의 수분 흡방습량은 차이가 있었으며, 이는 다공성 원료의 영향으로 판단되었다.

#### 참고문헌

1. J. S. Yang, C. H. Kwak, T. S. Suh and C. S. Choi, "Preparation and Characterization of the Humidity Self-control Materials," *J. Korean Ind. Eng. Chem*, 11 [8] 944-951 (2000)
2. C. H. Kwak, J. S. Yang, T. S. Suh H. J. Kim and C. S. Choi, "Development of Humidity Self-control Materials using Sol-Gel Process," *J. Korean Ind. Eng. Chem*, 11 [4] 402-407 (2000)
3. K. P. Yu, S. H. Yang, "The correlation between photocatalytic oxidation performance and chemical/physical properties of indoor volatile organic compounds," *Atmosphere Environment*, 40 375-385 (2006)
4. Ssang-Yong Cement Co., Introduction to autoclaved lightweight concrete , 103-113 (1992)