

Hygroscopic Characteristic of Hydrothermal Reacted Panels Using Porous Materials

Yong Sik Chu[†], Choon Woo Kwon, Hoon Song, and Jong Kyu Lee

Ceramic & Building Materials Division, Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, Seoul 153-801, Korea
(Received October 6, 2008; Revised November 19, 2008; Accepted November 20, 2008)

다공성 원료를 사용한 수열합성 패널의 흡습 특성

추용식[†] · 권춘우 · 송 훈 · 이종규

요업(세라믹)기술원 세라믹·건재본부

(2008년 10월 6일 접수 ; 2008년 11월 19일 수정 ; 2008년 11월 20일 승인)

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. Correlation coefficient between surface area and moisture adsorption content of porous materials was 0.93. Moisture adsorption contents were influenced by surface area and pore volume of panels, and surface area more effected on moisture adsorption. Correlation coefficient between surface area and moisture adsorption content of panels was 0.86. Moisture adsorption content of panel with 10% Pohang zeolite was 180 g/m² and that of 10% Cheolwon diatomite was 170 g/m². Moisture desorption content of panel with 10% Pohang zeolite was 105 g/m². Moisture adsorption contents of panel with porous materials were higher than that of panel without porous materials.

Key words : Moisture adsorption, Porous materials, Hydrothermal method, Panel

1. 서 론

대부분의 현대인은 하루 시간의 80~90% 이상을 실내에서 생활하고 있으며, 이에 따라 휘발성 유기화합물 및 실내 온습도 등의 중요성이 대두되고 있다.¹⁾ 특히 유기내장재를 사용할 경우, 화재 취약성 및 휘발성 유기화합물의 발생 정도가 더욱 심해져 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있다.^{2,3)}

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.⁴⁾ 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, 결국에

는 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.⁵⁾ 이러한 문제점들을 해결하기 위해 선진국에서는 고온소성 패널, 수열합성 패널 및 도료 등 다양한 형태의 제품을 개발·판매하고 있으며, 이중 소성 제품은 조습기능은 뛰어나지만 제조 온도가 1100°C 이상으로 높으며, 도료 제품은 기능성이 떨어지는 단점이 있다.^{6,7)} 그러나 수열합성 제품은 100~200°C의 저온에서 제조되어 경제성을 확보할 수 있으며, 수열합성 반응으로 생성되는 토베모라이트 결정은 조습특성을 발현할 수 있다. 토베모라이트 결정은 Fig. 1에서와 같이 Ca(OH)₂ 층에 SiO₄ 4면체의 연속적 구조로서, 실리케이트 이온 층간의 공동 부분에 Ca²⁺ 이온이나, H₂O가 위치한다. Ca(OH)₂는 OH⁻ 이온이 대개 육방최밀 충전하고, 그 틈 사이에 Ca²⁺ 이온이 들어가는 데, OH⁻ 이온이 교대로 접하는 면은 결합이 약하고 벽개하기 쉽다.⁸⁾ 이때 층간 두께가 몇 nm인지에 따라 1.1 nm(11 Å) 혹은 1.4 nm(14 Å)의 토베모라이트라고 명명한다. 이 층간 부분은 nano size의 미세 기공으로 작용하

[†]Corresponding author : Yong Sik Chu
E-mail : yschu@kicet.re.kr
Tel : +82-2-3282-2423 Fax : +82-2-3282-2430

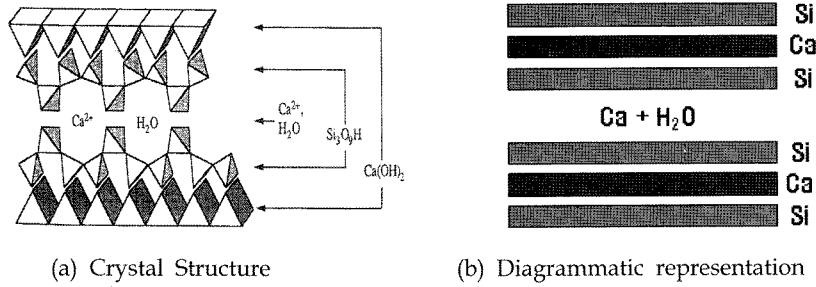


Fig. 1. Crystal structure and diagrammatic representation of tobermorite⁸⁾.

여, 수분의 흡습 및 방습에 기여할 수 있는 것으로 보고 되고 있다.⁹⁾

2. 실험 방법

2.1. 출발 원료 분석

본 연구에서는 수열합성을 위해 SiO₂ source로 규석을, CaO source로 소석회와 백시멘트를 사용하였으며, 이들의 화학분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 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, 주사전자현미경을 사용한 미세구조 분석(SM-300, TopCon Co., Japan), BET (Model TriStar 3000 V6.02A, Micromeritics Co., USA)를 이용한 기공과 비표면적 특성 및 분말 자체의 흡방습 특성을 실험·평가 하였다. 분말의 흡방습 특성은 분말 시

료 500 g을 온도 23°C, 상대 습도 45% 조건에서 항량이 될 때까지 유지하여 무게(m₀)를 측정하고, 무게 측정 후 상대 습도를 70%로 상승시켜 24시간 동안 유지하여 무게(m_a)를 측정하였다. 이후 상대 습도를 45%로 하향 조정하여 24시간 동안 유지한 후 무게(m_d)를 측정하였다. 이때 분말에 흡습된 양(m_a-m₀)을 분말의 수분 흡습량으로, 방습된 양(m_a-m_d)을 분말의 방습량으로 규정하였다.

2.2. 패널 제조 및 평가

다공성 원료를 제외한 규석, 소석회 및 백시멘트를 사용하여, CaO/SiO₂ 비를 0.5, 0.7, 0.9 및 1.1로 패널을 제조하였으며, 다공성 원료는 CaO/SiO₂ 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 100 kgf/cm²로 1분 동안 가압한 후 탈형하여 수열합성(180~7시간) 하였

Table 1. Chemical Composition of Starting Materials

(unit : wt%)

Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	LOI
Quartz	93.80	3.08	1.33	0.06	0.76	0.08	-
Slaked lime	2.12	0.77	0.34	69.50	0.11	0.21	26.90
White cement	22.80	6.16	0.26	68.42	0.21	-	0.10

Table 2. Chemical Composition of Porous Materials

(unit : wt%)

Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ 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

으며, 수열합성 후 패널의 두께는 8.0 ± 0.5 mm이었다. 또한 수열합성이 완료된 패널의 수분 흡방습 및 기공 특성을 분석하였다.

수분 흡방습을 측정하기 위해, 패널을 23°C -45% 조건에서 함량이 될 때까지 안정화 시킨 후 무게(m_0)를 측정하였다. 이후 상대습도를 70% 상승시켜 24시간 동안 유지하여 무게(m_1)를 측정하였다. 24시간이 경과된 시점에서 상대습도를 다시 45% 낮추고 추가로 24시간(총 48시간) 동안 유지하였다. 최종 48시간이 종료되는 시점에서 무게(m_2)를 측정하여 기록하였다. 최초 24시간을 흡습과정, 이후 24시간을 방습과정으로 하며, 흡습량 및 방습량은 g/m^2 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 2에 나타내었다. 규조토의 주성분인 SiO_2 함량은 66.60~91.15%이었으며, 강열감량은 0.22~9.53%이었다. 화순 및 포항 벤토나이트의 SiO_2 함량은 각각 75.0%, 60.6%이었으며, Al_2O_3 함량은 14.8% 및 16.3%이었다. 제올라이트의 SiO_2 함량은 70.3% 및 63.2%, Al_2O_3 함량은 13.6% 및 15.73%이었다.

다공성 원료의 미세구조 관찰결과를 Fig. 2에 나타내었다. 중국 규조토는 전형적인 규조의 형태를 유지하였으나, 국내 철원 규조토는 규조의 형태를 관찰할 수 없는 변질 형태이었다. 이는 철원 규조토의 경우, 일부 규조가 포함

되어 있으나, 규조 자체의 형태와 구조가 대부분 와해·변질된 상태로 존재하기 때문이다.¹⁰⁾ 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 50,000배율로 관찰한 주사전자현미경 사진에서도 기공이 관찰되지 않는 특징을 나타내었다.

BET를 사용한 다공성 분말의 비표면적 및 기공특성은 Table 3에 나타내었다. 철원 규조토는 비표면적이 $59 \text{ m}^2/\text{g}$ (G) 및 $68 \text{ m}^2/\text{g}$ (P)이었으며, 중국 규조토의 비표면적은 $6 \text{ m}^2/\text{g}$ 이었다. 포항 벤토나이트는 $55 \text{ m}^2/\text{g}$ 의 비표면적을 나타내었으나, 화순 벤토나이트는 $6 \text{ m}^2/\text{g}$ 으로 매우 낮은 특성을 나타내었다. 이는 Fig. 2에서와 같이 화순 벤토나이트의 경우, 표면이 매끄럽고, 기공이 적기 때문으로 판단되었다.

다공성 원료의 흡습량은 최소 3.6%, 최대 33.7%이었으며, 방습량은 최소 3.1%, 최대 32.6%를 나타내었다. 포항 제올라이트의 경우 흡습량 및 방습량이 30%를 상회하였으며, 철원 규조토는 24.4%(P), 28.2%(G)의 흡습량 및 15.8%(P), 25.0%(G)의 방습량을 나타내었다. 화순 벤토나이트의 흡습량은 3.6%, 방습량은 3.1%로 매우 낮은 값을 나타내었다. 다공성 원료의 흡습 및 방습 특성과 pore vol.과의 상관관계계수(R)는 0.73 및 0.57을 나타내었으며, 비표면적과의 상관관계계수(R)는 0.93 및 0.83이었다. 즉 다공성 원료의 흡방습 특성은 원료의 pore vol. 보다는 비표면적이 좀 더 많은 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다. 즉 수분은 다공성 원료의 기공을 채울 뿐만 아니라 표면에도 다량 흡착되어, 수분의 흡착량을 증가시키는 것으로 판단되었다.

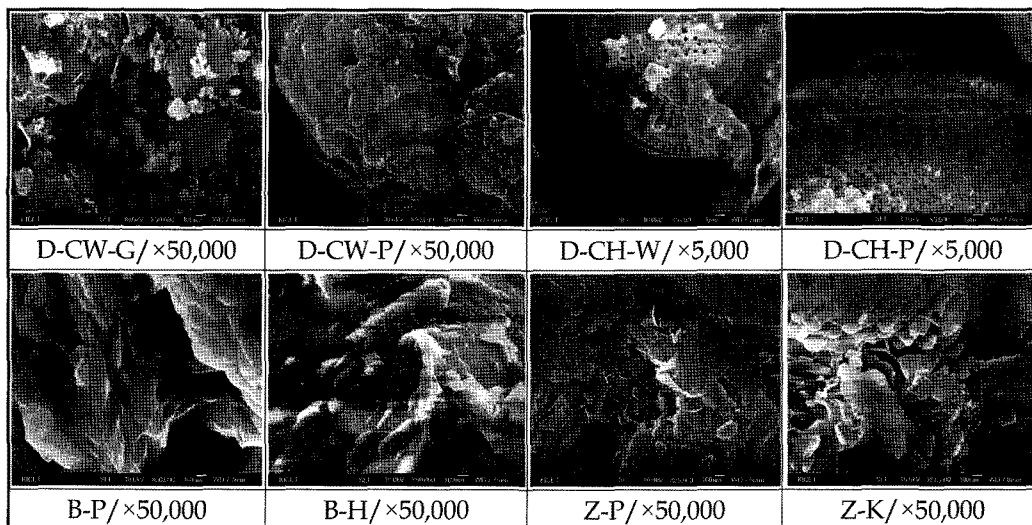


Fig. 2. SEM micrographs of porous materials.

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

Table 3. Specific Surface Area and Pore Vol. of Porous Materials

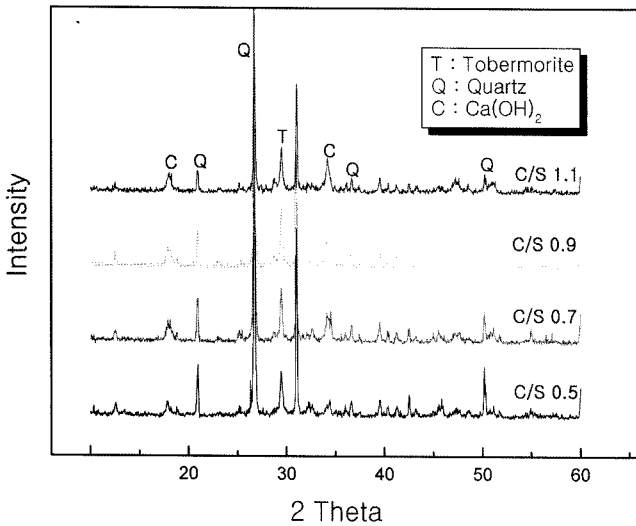
Classification	Diatomite				Bentonite		Zeolite	
	CW-G	CW-P	CH-W	CH-P	H	P	P	K
Specific surface area (m ² /g)	59	68	6	6	6	55	57	50
Pore Vol. (cm ³ /g)	0.21	0.22	0.02	0.03	0.01	0.12	0.11	0.08

3.2. 패널의 특성

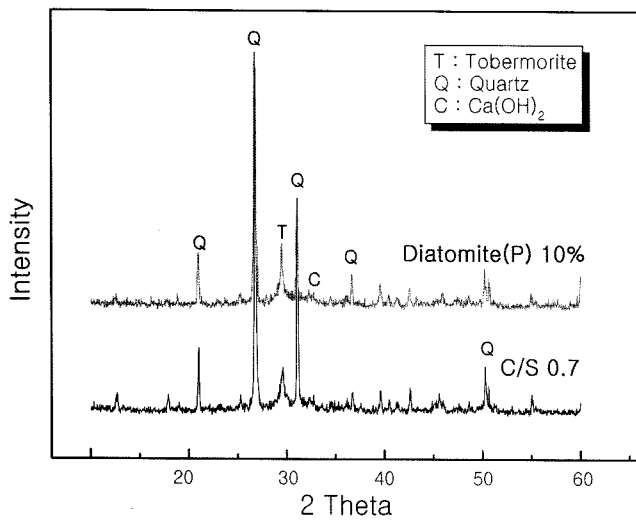
다공성 원료를 첨가하지 않고 C/S 비를 변화시켜 제조한 패널의 XRD Pattern을 Fig. 3(a)에 나타내었다. C/S 비가 0.5에서 1.1로 증가함에 따라 quartz 피크의 intensity는 감소하였다. 특히 C/S 비가 0.5에서 0.9로 상승함에 따라 토베모라이트 결정 및 Ca(OH)₂ 피크는 서서히 증가하는 형태를 나타내었다. C/S 비에 따른 quartz의 intensity는 C/S 비 0.5에서 2,750, 0.7에서 2,042, 0.9에서 1,257 및 1.1에

서는 945로 감소하였다. 이는 원료 배합과정에서 C/S 비의 증가에 따라 규석 투입비가 감소함에 따른 자연스러운 결과이기도 하며, 또한 배합된 규석이 CaO 원료(소석회, 백시멘트)와 반응하여 토베모라이트의 결정 또는 겔로 생성되고 있음을 의미하는 것이다. 토베모라이트 결정의 intensity는 C/S 비 0.5에서 317, 0.7에서 352, 0.9에서 415 및 1.1에서 315이었으며, 이는 C/S 비가 0.9 조건에서 토베모라이트 결정 생성이 가장 양호한 상태임을 나타내는 것이다. 특히 C/S 비가 1.1로 상승함에 따라 토베모라이트 결정의 intensity가 감소하는 것은 C/S비가 증가함에 따라 생성하는 비정질의 C-S-H gel 때문으로 추측되어졌다. 이에 따라 결정 생성량의 상대적 비교값인 Tobermorite/Quartz의 intensity ratio(%) 또한 0.9 이상에서는 증가하지 않는 경향을 나타내었다.

그러므로 Fig. 3(b)는 C/S 비를 0.7로 고정하고, 다공성 원료를 사용하지 않은 패널과 철원 구조토를 10% 첨가한 패널의 XRD patterns이다. 다공성 원료를 사용하지 않은 패널(C/S 0.7)보다는 구조토를 첨가한 패널(Diatomite (P) 10%)의 토베모라이트 결정 peak가 좀 더 성장하였음을 확인할 수 있었다. 이는 규석보다 반응성이 우수한 다공성 원료의 투입에 따라 토베모라이트 결정이 좀 더 용이하게 이루어지고 있기 때문으로 판단되었다. 이외 벤토나이트 및 제올라이트 등의 다공성 원료를 사용한 패널에서도 유사한 XRD patterns을 나타내었다. 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.¹¹⁾ 따라서 비표면적이 넓고, 활성이 우수한 다공성 원료를 적정량 첨가할



(a) C/S ratios (0.5~1.1)

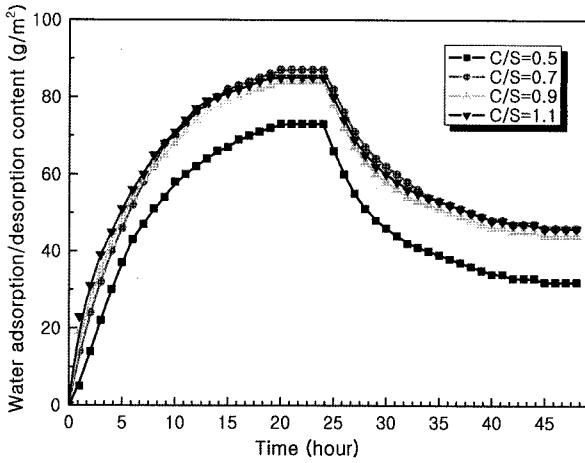


(b) C/S 0.7 and Diatomite(P) 10%

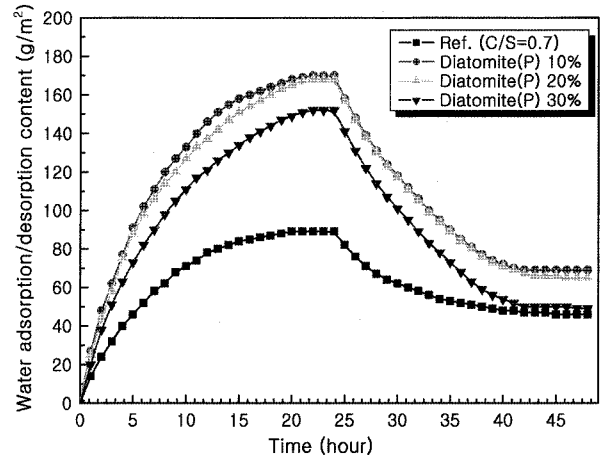
Fig. 3. XRD patterns of panels.

Table 4. Moisture Adsorption and Desorption of Porous materials

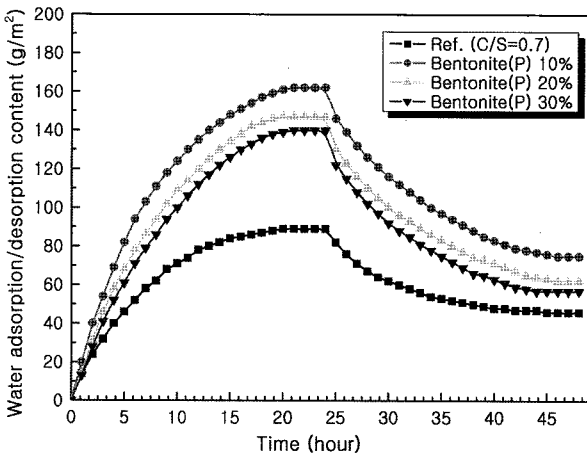
Materials	Moisture Adsorption (%)	Moisture Desorption (%)
Diatomite	CW-P	24.4
	CW-G	28.2
	CH-W	10.1
	CH-P	9.5
Bentonite	Pohang	26.8
	Hwasoon	3.6
Zeolite	Pohang	33.7
	Kyungjoo	26.2



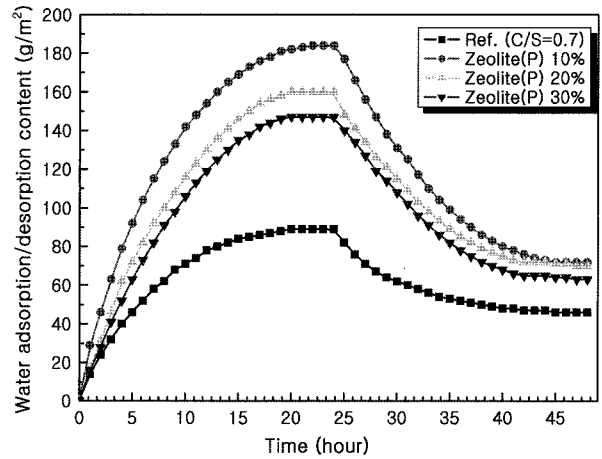
(a) C/S ratios (0.5~1.1)



(b) Cheolwon(P)-Diatomite



(c) Pohang-Bentonite



(d) Pohang-Zeolite

Fig. 4. Moisture adsorption and desorption of panels with porous materials.

경우, 토베모라이트 결정 생성을 위한 반응이 용이하게 진행될 수 있다.¹²⁾

C/S 비를 변화시킨 패널의 수분 흡습 및 방습량을 Fig. 4(a)에 나타내었다. C/S 비 0.7~1.1 패널의 수분 흡습량은 약 80 g/m², 방습량은 약 40 g/m² 수준이었다. C/S 비가 0.7~1.1인 패널의 수분 흡습량은 유사하였으나, C/S 비가 0.5인 패널은 가장 낮은 흡습량을 나타내었다. 이는 C/S 비가 0.5인 패널은 토베모라이트 결정의 생성량이 적어 수분의 흡습량이 적은 것으로 판단되었다. C/S 비의 변화에 따른 방습량은 60 g/m²에 미치지 못하는 수준이었으며, 이는 수열합성법 이외의 기존 제품보다 낮은 수치이기도 하다. 즉 수열합성법(ALC 제조법)에 따라 CaO source인 소석회, 시멘트와 SiO₂ source인 규석만을 사용하고, C/S 비를 변화시키는 것만으로는 방습 특성이 발휘되기 어려움을 확인할 수 있었다. 이에 따라 수분의 흡습과 방습이 좀 더 용이한 다공성 원료의 도입을 필수적으로 검토하

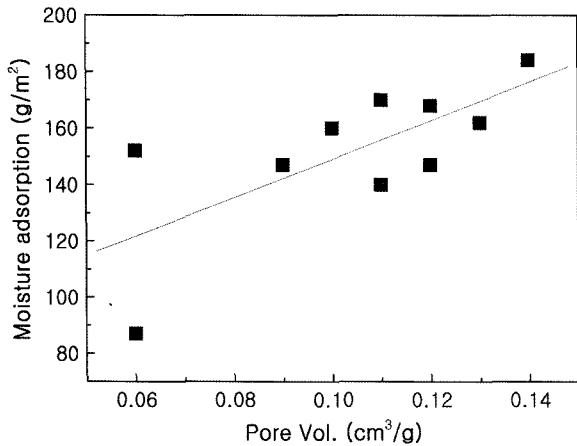
게 되었다.

원료 자체의 수분 흡방습 특성이 우수한 철원 규조토(P), 포항 벤토나이트 및 포항 제올라이트 등을 사용하여 제조한 패널의 수분 흡방습 특성을 Fig. 4(b), (c), (d)에 나타내었으며, 이들 그래프에서와 같이 다공성 원료의 사용에 따라 수분의 흡방습성이 크게 향상됨을 확인할 수 있었다. 특히 포항 제올라이트 및 철원 규조토 등의 흡습 및 방습 특성이 우수하였다. 포항 제올라이트 10% 패널의 흡습량은 약 180 g/m² 수준이었으며, 철원 규조토(P) 10% 패널의 흡습량은 약 170 g/m² 이었다. 또한 포항 제올라이트의 방습량은 약 105 g/m²으로 기존 C/S 비를 변화시킨 패널보다 크게 향상된 값을 나타내었다.

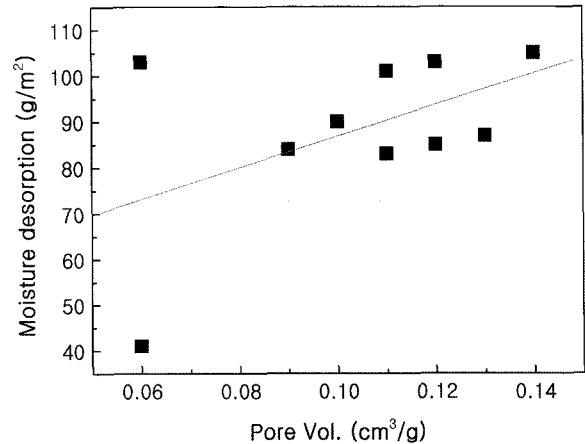
Table 5는 다공성 원료의 종류 및 함량별 패널의 비표면적과 기공 부피를 나타낸 것이다. 포항 제올라이트 10% 패널에서 비표면적 30 m²/g, 기공 부피 0.14 cm³/g이었으며, 제올라이트의 함량 증가에 따라 비표면적 및 기공 부

Table 5. Specific Surface Area and Pore Characteristics of Panels

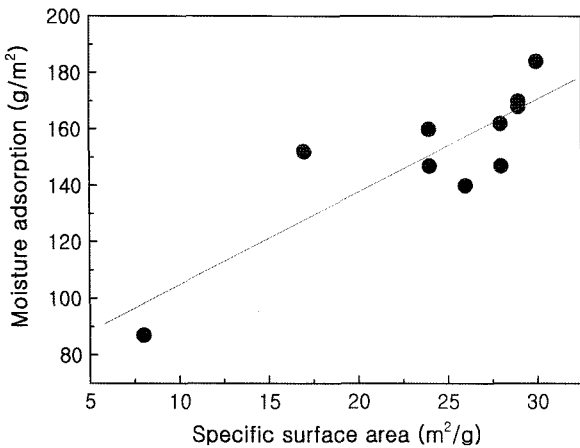
Classification	C/S=0.7	Diatomite-CW (P)			Bentonite-Pohang			Zeolite-Pohang		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Specific surface area (m ² /g)	8	29	29	17	28	28	26	30	24	24
Pore Vol. (cm ³ /g)	0.06	0.11	0.12	0.06	0.13	0.12	0.11	0.14	0.10	0.09



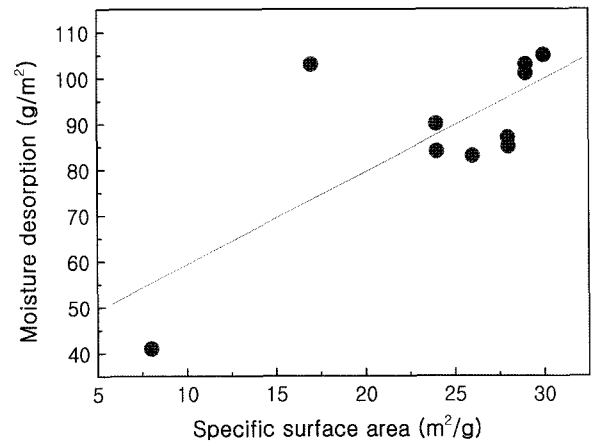
(a) Moisture adsorption & pore vol.



(b) Moisture desorption & pore vol.



(c) Moisture adsorption & surface area



(d) Moisture desorption & surface area

Fig. 5. Correlation between moisture adsorption/desorption and pore vol./surface area.

피가 감소하였다. 칠원 규조토(P)는 10% 첨가량 조건에서 비표면적 29 m²/g, 기공 부피 0.11 cm³/g이었으나, 30%에서는 이보다 감소하였다. 포항 벤토나이트는 첨가량 변화에 따라 큰 차이가 도출되지 않았으나, 비표면적이 미미하게 감소하였다. 즉 다공성 원료를 첨가한 패널의 비표면적 및 기공 부피는 첨가하지 않은 패널보다 높지만, 다공성 원료를 첨가한 패널에서는 첨가량 증가에 따라서 비표면적과 기공 부피가 약간씩 감소하는 특징을 나타내었다. 다공성 원료 첨가 패널에서도 첨가량 증가에 따라 감소하는 비표면적과 기공 부피는 최종적으로 수분의 흡습 및 방습 능력을 소폭 낮출 것으로 판단되었다. 이는

다공성 원료의 첨가량 증가에 따라 토베모라이트 결정생성에 기여한 후 미반응 상태로 남아있는 다공성 원료의 증가와 이에 따른 패널에서의 상대적인 토베모라이트 함량 감소로 사료된다.

Fig. 4의 수분 흡방습 특성과 Table 5의 기공부피 및 비표면적의 상관관계(선형회귀방정식)를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서와 같이 수분 흡방습 특성은 패널의 기공 및 비표면적과 일정 부분 상관성을 나타내고 있음을 확인할 수 있었으며, 패널의 비표면적과 수분의 흡습량과의 상관관계계수(r)는 0.86, 방습량과의 상관관계계수는 0.74이었다. 또한 패널의 기공부피와 흡방습량과의 상관관계

계수는 각각 0.70 및 0.50 수준이었다. 즉 다공성 원료들의 특성과 유사하게 패널의 수분 흡방습 특성 또한 패널의 비표면적에 크게 좌우되고 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

다공성 원료의 미세구조 중 중국 구조토는 구조의 형태를 유지하였으나, 국내 철원 구조토는 변질 형태를 나타내었다. 포항 벤토나이트는 표면이 만족구조를 이루었으며, 또한 많은 기공도 관찰되었다. 제올라이트는 타원형 또는 구형의 입자들로 관찰되었으며, 이들 입자는 판상의 미립자로 구성되어 있었다. 철원 구조토, 포항 제올라이트 등의 원료는 비표면적이 컸으나, 중국 구조토 및 화순 벤토나이트 등은 비표면적이 낮은 특성이 있었다. 이에 따라 비표면적이 큰 철원 구조토 및 포항 제올라이트 등에서 수분의 흡방습 특성이 양호하였으며, 이때 비표면적과 수분의 흡습능과는 0.93의 상관성을 나타내었다.

수분의 흡방습 특성이 양호한 다공성 원료를 사용한 패널의 XRD patterns 관찰 결과, C/S 비 0.7 보다는 다공성 원료 10% 첨가 패널에서 토베모라이트 피크 intensity가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 규석보다 반응성이 우수한 다공성 원료의 사용에 따른 현상으로 판단되었다. 패널의 흡방습 특성은 C/S 비 0.7 조건에서 흡습량 약 80 g/m² 수준이었으며, 방습량은 약 40 g/m² 수준이었다. 그러나 다공성 원료의 혼합에 따라 수분의 흡방습 특성은 크게 개선되어, 포항 제올라이트 10% 패널의 경우에는 흡습량 180 g/m², 방습량 105 g/m² 수준이었다. 또한 패널의 비표면적 및 기공 부피와 수분 흡방습량과의 상관성은 각각 0.86 및 0.74 수준으로 도출되어, 비표면적과 수분 흡방습량에는 높은 상관성이 있음을 확인하였다. 또한 다공성 원료의 종류에 따라 패널의 수분 흡방습량은 차이가 있었으며, 이는 다공성 원료의 영향으로 판단되었다.

REFERENCES

1. S. H. Sim and Y. S. Kim, "Characterization and Assessment of Indoor Air Quality in Newly Constructed Apartment-Volatile Organic Compounds and Formaldehyde," *Kor. J. Env. Hlth.*, **32** [4] 275-81 (2006).
2. S. K. Pang, W. J. Cho, and J. Y. Sohn, "Characteristics of VOCs Emission According Interior Finish Materials and Working Phases of New Apartment," *Kor. J. Air conditioning and refrigeration engineering*, **18** [6] 486-92 (2006).
3. Y. J. Choi, H. S. Shim, and H. C. Shin, "The Concentration Variation of Volatile Organic Compounds before and after Renovation in Apartment Houses," *J. Kor. Housing Association*, **18** [4] 59-67 (2007).
4. T. S. Seo and H. J. Kim, "Development of Release Controlling and Moisture Controlling Materials for Comfortable Living Environment," pp. 3-4, Ministry of Environment, 2002.
5. C. W. Kwon and Y. S. Chu, "Development of Ceramic Panel with nano pore for Building Materials," pp. 49-55, Ministry of Construction & Transportation, 2008.
6. Ishikami Kouri and Nakaji Norio, "Construction Interior Material with hygroscopic characteristic using Technology of Carbonation and Consolidation," *Construction Technology*, **6** 62-7 (2002).
7. Matsumura Masanori, "A Trend Technology of Construction Paint with Hygroscopic Characteristic," *Construction Technology*, **29** 40-3 (2003).
8. F. M. Lea, "The Chemistry of Cement and Concrete," pp. 196-203, Chemical Publishing Company, Inc., New York, 1970.
9. Hirao Hirashi, "Cement & Concrete Encyclopedia," pp. 30-1, Japan Cement Association Editorial Department, 1996.
10. J. H. Noh, "Occurrence and Applied-mineralogical Characterization of Diatomite from the Pohang-Gampo Area," *J. Miner. Soc. Korea*, **19** [4] 311-24 (2006).
11. T. Y. Kwon, "Introduction to Autoclaved Lightweight Concrete," pp. 45-81, Ssang-Yong Co., 1992.
12. B. H. Choi and S. H. Kim, "Hydrothermal Reaction Characteristics on the ALC of Pitchstone-Lime System(II)," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **31** [2] 194-200 (1994).