

수열합성법을 이용한 조습특성 발현형 시멘트계 패널 개발

권춘우* · 추용식 · 이종규 · 송 훈
<요업기술원>

1. 서 론

최근 건축용 소재는 유기소재의 인체 유해성 등으로 무기소재의 사용량이 점차 증가하고 있으며, 무기소재는 단순 내장기능뿐만 아니라 인체에 유익한 기능성을 발현할 수 있도록 제어되고 있다.^{1, 2)}

이러한 무기소재 중 주목받고 있는 소재로는 일본에서 수입·사용 (상품명-제조방법:에코카라트-고온소성, 사라라-수열합성 등)하는 조습기능형 패널을 들 수 있다. 이들 패널은 수분의 흡습 및 방습에 의한 실내 습도제어기능인 조습기능뿐만 아니라 VOC의 흡착·분해기능도 발현하고 있다.³⁾ 이러한 기능은 패널의 출발원료 및 기공 제어에 의한 것으로, 특히 수열합성패널은 토베모라이트 결정에 의해 흡·방습 기능이 발현된다고 할 수 있다.⁴⁾ 토베모라이트는 CaO, SiO₂ 및 혼합수가 100℃ 이상에서 반응·생성되는 수화물로, CaO원은 시멘트, 생석회 등이, SiO₂원은 규사 등이 사용되고 있다. 수열합성법에 의해 제조된 소재는 1000℃ 이상의 고온조건에서 소성된 소재보다 경제성 측면에서 유리하여, 동일 물성발현 조건에서는 시장 창출이 용이할 것으로 사료된다.

그러므로 본 연구에서는 시멘트를 주원료로 사용·제조하는 수열합성법으로, 조습기능이 발현되는 소재를 개발하고자 하였다. 이때 제조된 패널의 조습, 기공구조 및 물리적 특성 등을 검토하여, 조습특성 발현형 시멘트계 패널의 최적 조건을 도출하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 출발원료로 ALC (autoclaved lightweight concrete, 경량기포콘크리트)의 기본원료인 생석회, 규사, 시멘트 및 Al paste 등을, 다공성 소재로 규조토, 메타카올린, 황토 및 화산석 등을 사용하였으며, 각각의 화학성분은 Table 1에 나타내었다. 이들 원료를 Table 2와 같이 토베모라이트 수화물이 생성될 수 있도록 배합비를 설정, 혼합수와 혼련한 후 4시간 동안 숙성하였다. 숙성이 종료된 시편은 autoclave에서 수열합성(180℃에서 7시간 유지)한 후 냉각하였다. 이후 autoclave에서 시편을 꺼내고, 100℃ 조건에서 항량 조건에 도달할 때까지 충분히 건조한 후 압축강도, 비중, 흡습특성 등을 시험하였다. 흡습특성은 시편의 크기를 20×20×2cm³로 제조한 후, 23℃-상대습도 40% 조건에서 항량이 될 때까지 유지하여 무게를 측정(w1)하였다. 이후 상대습도를 23℃-70%로 변화시켜 12시간 동안 유지하여 무게를 측정(w2)하였다. 이때 흡습량의 계산은 단위면적당 수분의 변화량((w2-w1)/0.04m²)으로 하였다. 또한 상기와는 달리, 혼합수와 Al paste를 첨가하지 않고 건식법으로 가압·성형하여 성형패널을 제조한 후 수열합성 하였다. 이때 성형압력은 cm² 당 100kgf로 고정하였으며, 동 압력에서 1분간 유지하였다. 성형체는 autoclave에서 180℃-7시간 수열합성하여 패널화 하였으며, 휨강도, 비중, 흡·방습특성 등을 시험하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 1. 출발원료의 화학성분

(단위 : wt.%)

원 료	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
생석회	1.54	0.42	0.41	67.60	0.10	0.12	0.10
규 사	93.80	3.08	1.33	0.06	0.76	0.08	-
석 고	3.13	0.45	0.49	35.80	0.09	0.04	51.50
시멘트(1종)	20.45	5.47	3.03	62.22	0.34	0.80	2.38
화 산 석	67.1	16.3	4.38	3.08	2.32	3.11	0.07
규 조 토	90.6	3.31	1.11	0.29	0.48	3.97	0.15
메타카올린	52.7	40.0	2.24	3.11	0.47	0.93	0.23
황 토	49.5	34.9	5.17	0.28	0.69	-	0.02

Table 2. 패널 제조 혼합비

1) Ref.

원 료	규 석	석 고	시 멘 트	생 석 회
배합비(%)	44	5	30	21

※ 배합비에 따른 CaO/SiO₂ = 0.7, Al paste : 0.11% (solid 대비)

2) 혼합재 종류 및 함량

혼합재 종류	황토	규조토	메타카올린	화산석
배합비(%)	Ref. 배합비 + 각 혼합재 종류별 10%, 20%, 30%			

※ 혼합수 함량 : Water/Powder = 0.52, (규조토 20%=0.65, 규조토 30%=0.77)

3.1 습식 발포 패널

3.1.1 압축강도 및 비중

다공성 혼합재의 종류 및 함량별 압축강도 및 비중 측정을 위해 5×5×5cm³로 시편을 제조하였으며, 압축강도와 비중 측정 결과값을 Fig. 1에 나타내었다.

다공성 혼합재를 첨가하지 않은 Ref. 시편은 약 20kgf/cm² 수준의 강도특성을 나타내었으며, 다공성 혼합재 첨가시에는 혼합재 함량 20% 조건에서 강도특성이 우수하였다. 황토 및 규조토를 30% 첨가한 시편에서는 강도값이 오히려 감소하는 특징을 나타내었으며, 규조토 30% 혼합 시편은 규조토의 다량 첨가에 의한 SiO₂ 함량 증가에 따른 CaO/SiO₂ 비의 감소, 혼합수 함량

(77%) 증대 및 규조토의 부피 증가에 따른 토베모라이트 생성을 위한 생석회 등과의 반응거리 증대(반응의 상대적 어려움.)에 따른 것으로 사료된다. 그러나 규조토를 혼합한 경우에는 기타 혼합재보다 반응 정도가 빨라 적정량의 혼합조건에서는 강도 향상에 매우 용이한 것으로 판단되었다.

3.1.2 흡·방습 특성

각각의 다공성 혼합재를 혼합하여 제조한 패널을 항온항습기에 넣은 후 습도를 변화시켜 흡·방습 특성을 평가하였다. 흡·방습 시간은 24시간(흡습 12시간, 방습 12시간)으로 고정하였으며, 이후 흡·방습 전후의 무게를 측정하여 흡·방습량을 측정하였으며, 이를 Fig.2에 나타내었다.⁵⁾

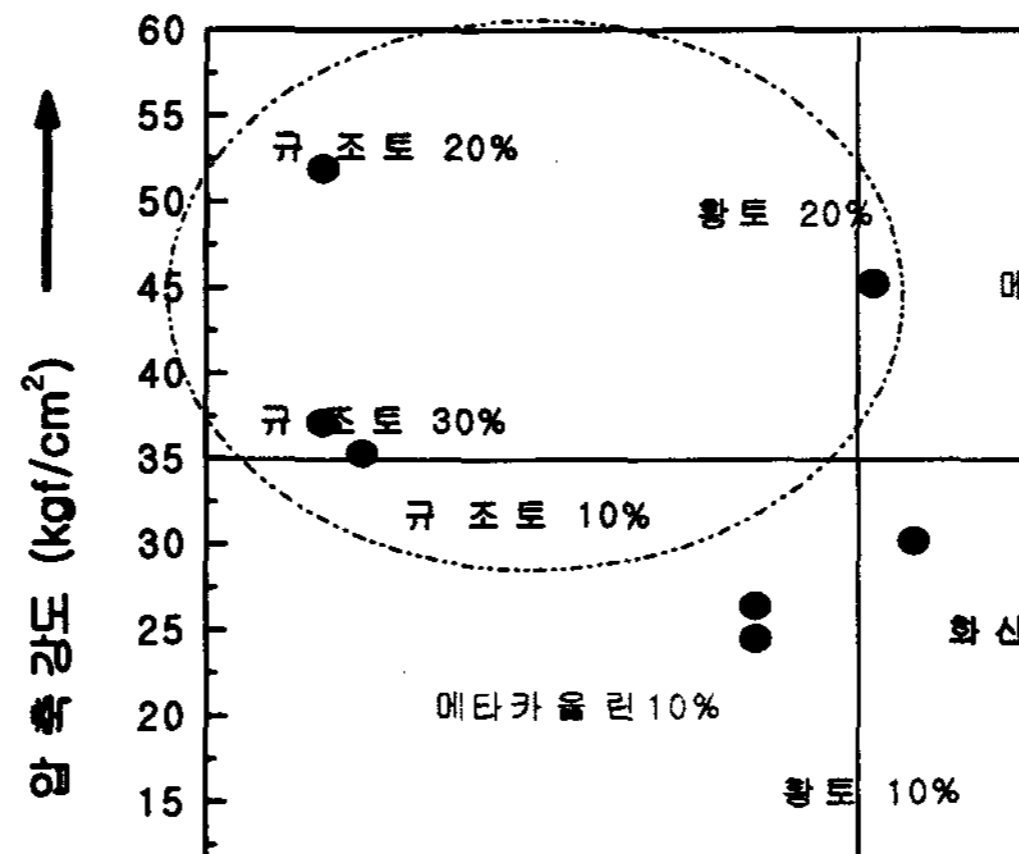


Fig. 1 압축강도와 비중

Fig. 2에서와 같이 Ref. 시편의 흡습량은 약 80g/m^2 수준이었으나, 규조토를 혼합한 시편에서는 흡습량이 매우 높았다. 특히 규조토 30% 시편에서는 흡습량이 280g/m^2 이었으며, 이는 출발원료의 다공특성 및 제조된 시편의 낮은 비중(높은 기공율)으로 인하여 흡습특성이 크게 개선된 것으로 판단된다. 그러나 황토 및 메타카올린 등을 혼합한 경우에는 흡습특성이 Ref.와 유사하거나 혹은 낮아지는 특성을 나타내었다.

3.1.3 패널의 미세구조

제조 패널을 100°C 에서 충분히 건조한 후 주사전자현미경을 사용하여 패널의 미세구조를 관찰하였으며, 이중 Ref.와 규조토 20% 패널의 미세구조를 Fig. 3에 나타내었다. 혼합재 종류 및 함량에 따른 패널들의 미세구조는 큰 차이가 없었으며, 대부분 토베모라이트 결정으로 구성되어 있음을 확인하였다. Fig. 3에서와 같이 Ref.와 규조토 20% 패널은 토베모라이트 결정과 반응이 종료되지 않은 규사 입자로 구성되어 있었다. 특히 토베모라이트 결정 사이는 $50\sim 500\text{nm}$ 크기의 빈 공간으로 구성되어 있음을 확인할 수 있었으며, 이는 수분의 흡수 등에 충분히 영향을 줄 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 패널의 미세구조와 더불어 기공의 크기를 나노미터 범위에서 확인하기 위해 Quantachrome社의 BET로 기공크

기 등을 측정하였다. Table 3은 BET로 측정된 기공의 크기 및 부피를 나타낸 것이다. BET 측정결과에서와 같이 패널의 pore volume은 규조토 함량이 증가할수록 커지며, 황토를 혼합한 경우보다도 증가하였다. 이는 수분의 흡수 등에 유리하게 작용할 수 있으며, 비중 감소에도 충분히 영향을 미칠 수 있으리라 판단된다. (pore volume은 규조토-20% 대비 68% 수준, pore diameter는 80% 수준으로 작아짐.)

3.2 건식 무발포 패널

3.2.1 휨강도 및 비중

혼합수와 AI 발포제를 첨가하지 않은 건식 무발포 패널의 휨강도 및 절건 비중을 Table 4에 나타내었다. Table 4에서와 같이 규조토 함량이 증가함에 따라 휨강도 및 절건 비중은 감소하였다. 또한 습식 발포 패널과 비교하여, 상당히 높은 강도값을 발현하였으며, 이는 가압성형과정과 무발포 과정으로 제조되는 건식 패널 공정(기공을 감소 및 이에 따른 패널의 치밀화)에 기인한다고 판단된다.

3.2.2 흡·방습 특성

건식 무발포 패널은 습식 발포 패널과 달리, 규조토의 함량 증가에 따라 흡습량이 큰 폭으로 증가하는 경향을 나타내지 않았다. 이는 건식 패

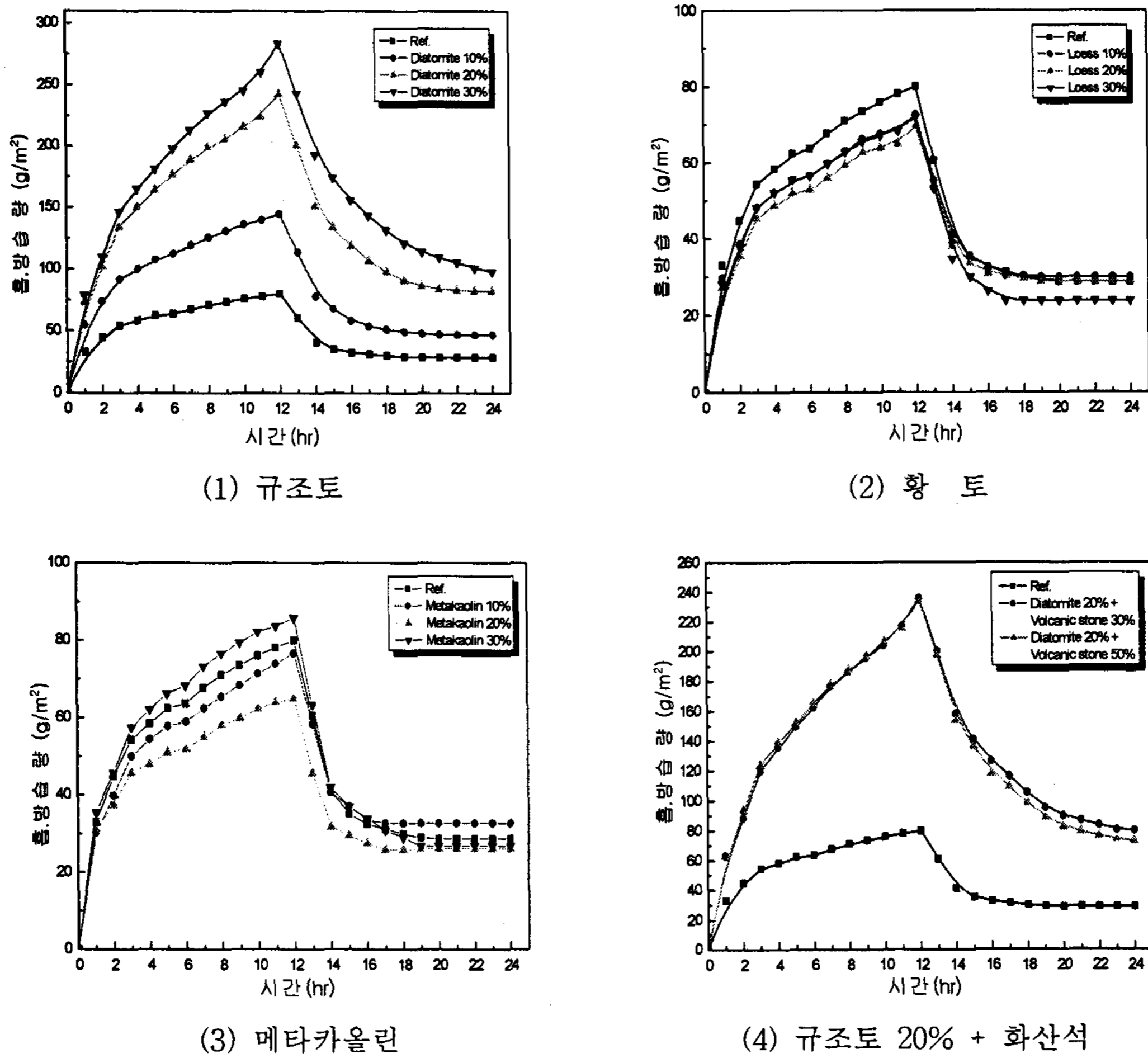


Fig. 2. 다공성 혼합제의 종류 및 함량별 흡·방습 곡선

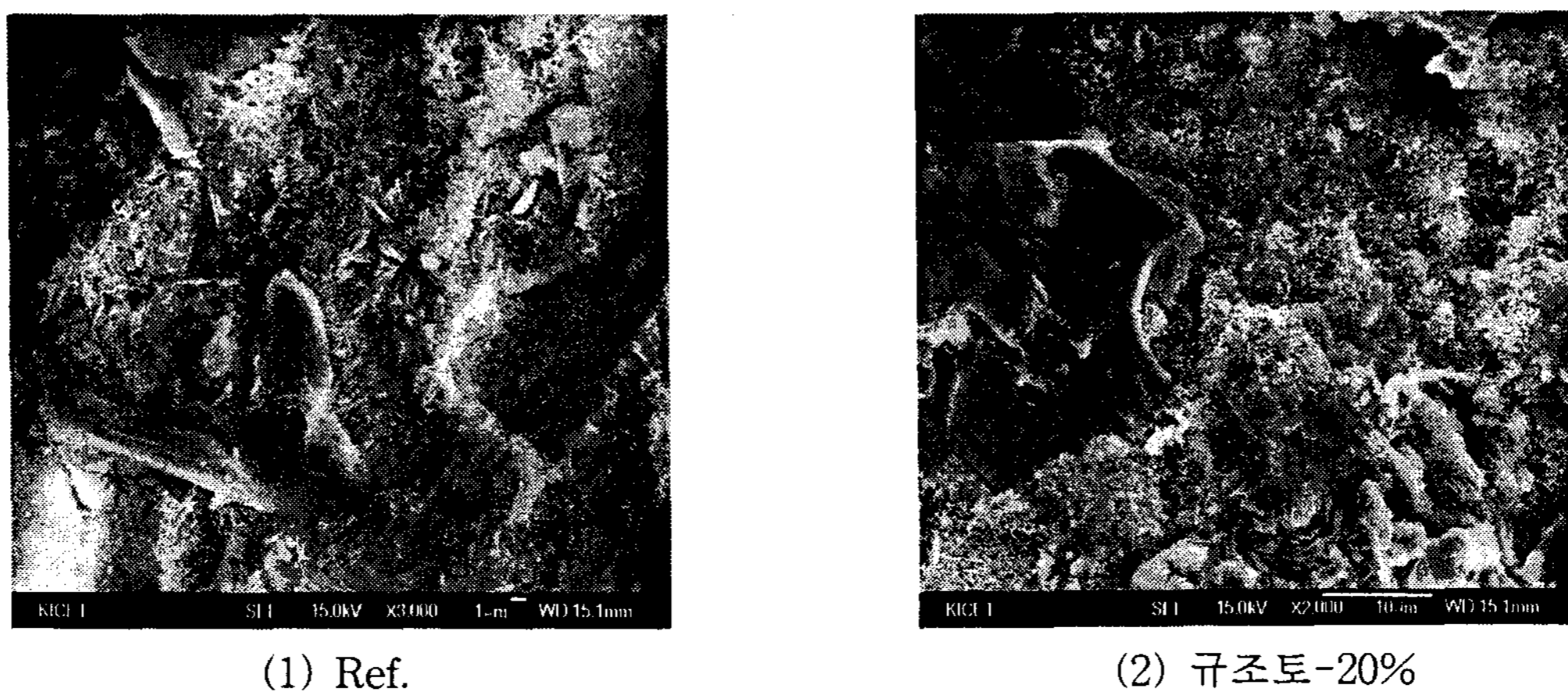


Fig. 3 패널의 미세구조 관찰

널의 경우, 가압성형에 의해 조직이 치밀화되고, 이에 따라 패널의 내부까지 충분한 수열합성반

응이 이루어지기 어렵기 때문에 판단된다. 즉 습식 패널은 흡습량의 차이가 주로 규조토의 함

Table 3. BET 측정 결과

패 널	Pore Volume (cc/g)	Pore Diameter (Å)
규조토-10%	0.277	41
규조토-20%	0.317	41
규조토-30%	0.320	42
황토-20%	0.216	33

Table 4. 휨강도 및 비중

패 널	휨강도 (kgf/cm ²)	절건 비중
Ref.	58.7	1.78
규조토-10%	57.5	1.67
규조토-20%	53.6	1.54
규조토-30%	51.7	1.36
사라라(일본)	48.2	1.32

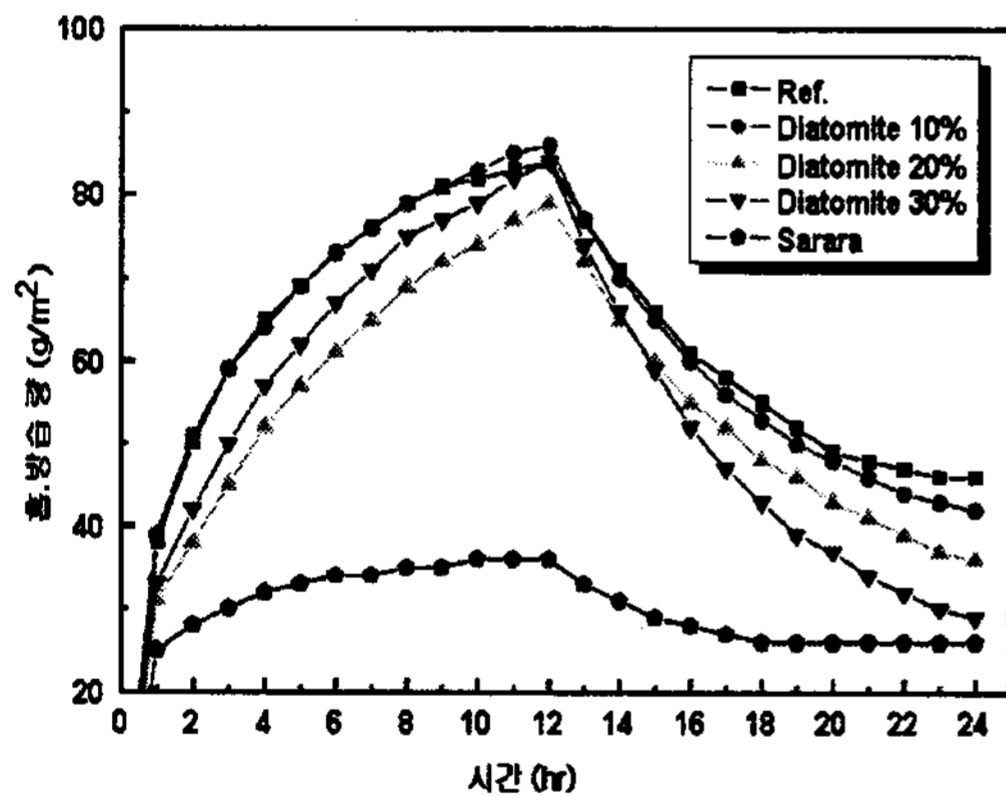


Fig. 4 건식 패널의 흡방습 곡선

량 등에 의해 좌우되나, 건식법은 가압조건에 따라 달라짐을 의미하는 것이다. 그러나 성형체의 가압조건은 임의로 정해지는 것이 아니라, 성형체의 탈형 및 이송 등 작업성을 확보하기 위한 조건으로 도출되어야 하는 특징이 있다.

건식 무발포 패널의 흡습량은 규조토를 혼합한 습식 발포 패널보다 적었으나, 건식 및 습식 Ref. 패널은 흡습량에 큰 차이가 없음을

확인하였다. 이는 발포제에 기인하는 거대기공은 수분 흡수에 큰 영향을 미치지 못하고 있음을 의미하는 것으로, 수분 흡·방습은 주로 토베모 라이트 결정 및 규조토 등의 출발원료에 의존한다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 시멘트, 생석회 및 규사 등을 주원료로 하고, 수열합성법에 따라 패널을 제조하였다. 또한 제조 패널의 조습, 기공 및 물리적 특성 등을 시험·평가하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 습식 발포 패널

- (1) 압축강도 특성은 규조토를 20% 혼합한 시편에서 가장 우수하였으며, 이는 규조토의 우수한 수열 반응성 등에 기인하는 것으로 사료된다.

(2) 비중은 다공성 혼합재의 종류 및 함량에 따라 다르며, 특히 비중의 증가에 따라 강도가 증가하는 특징을 나타내었다. 구조토의 경우에는 혼합수 함량 변화로 인하여 비중이 크게 달라지지 않았다.

(3) 제조 패널의 흡·방습량은 구조토를 혼합한 시편에서 가장 높았으며, 구조토 함량이 증가함에 따라 흡습량은 증가하였다.

2) 건식 무발포 패널

(1) 습식 발포 패널과 비교시, 매우 우수한 강도발현특성을 나타내었다. 이는 가압성형과 무발포 과정으로 제조되는 건식 패널 공정(기공을 감소 및 이에 따른 패널의 치밀화)에 기인한다고 판단되었다.

(2) 또한 흡습량도 구조토 함량에 의존하는 경향을 나타내지 않았으며, 이는 건식 무발포 패널의 대표적인 특징으로 판단되었다.

3) 패널의 흡·방습 특성은 출발원료의 종류 및 함량, 제조 방법 등에 따라 각기 다른 특성을 나타내었다. 그러므로 생산공정에서는 패널의 물성, 제조 용이성, 제조단가의 경제성 및 다양한 특성 등을 고려하여 제조·평가되어야 할 것이다.

< 참고 문헌 >

1. 정혜순, 원동규, 임대현, 기능성 무기도료, 한국과학기술정보연구원, 기술가치평가보고서, PP.41-47
2. 강현무, 배영문, 조홍근, 건축용 단열재료, 한국과학기술정보연구원, 심층정보분석보고서, 2001. 12
3. 内田信平 등, 기능재료에 관련하여, 건축지식, Vol.11, pp.199-220, 2001
4. 寺村敏史, 平林克己, 탄산화기술을 활용한 조습내장건재의 개발, 建築仕上技術, Vol.6, pp62-67, 2002
5. JIS A 1470-1, 조습건재의 흡방습성능시험 방법-제1부 : 습도응답법-습도변동에 의한 흡방습시험방법, 일본산업규격협회, 2002