

R&D/06건설핵심 D15

건축용 복합기능형 나노다공성 세라믹 패널개발

2010. 03. 12

주관연구기관 / (주) S Y C
위탁연구기관 / 한국세라믹기술원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 “건축용 복합기능형 나노 다공성 세라믹 패넌개발”의 보고서로 제출합니다.

2010. 3. 12.

주관연구기관명 : (주)S Y C

주관연구책임자 : 강 대 구

연구원 : 이 종 승

연구원 : 김 훈

연구원 : 권 병 석

연구원 : 유 하 주

연구원 : 유 수 진

위탁연구기관명 : 한국세라믹기술원

위탁연구책임자 : 이 종 규

보고서 요약서

과제고유번호		해당단계 연구기간	2008. 6. 17 ~ 2009. 12. 16	단계구분	3 / 3
연구사업명	중 사업명	건설핵심기술연구개발사업			
	세부사업명				
연구과제명	대 과제명				
	세부과제명	건축용 복합기능형 나노다공성 세라믹 패널(내장용 타일) 개발			
연구책임자	강 대 구	해당단계 참 여 연구원수	총 : 16명 내부 : 12명 외부 : 4명	해당단계 연 구 비	정부 : 410,750천원 기업 : 167,000천원 계 : 577,750천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 48명 내부 : 36명 외부 : 12명	총연구비	정부 : 695,750천원 기업 : 260,000천원 계 : 955,750천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주)SYC / 아산공장		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 한국세라믹기술원		연구책임자 : 이종규		
요 약				보고서면수	137
○다공성 원료의 수분 흡방습 시험 결과, 다공성 원료의 비표면적 및 기공 부피와 상당히 밀접한 상관성을 도출 ○패널의 흡방습 특성은 다공성 원료의 혼합에 따라 크게 개선되어, 포항 제올라이트 10% 패널의 경우에는 흡습량 184g/m², 방습량 105g/m² 수준 ○패널의 T-VOC 흡착 특성은 기공 및 비표면적에 따른 수분의 흡착 특성과 유사한 경향을 나타내었으며, 특히 포항 제올라이트 첨가 패널의 경우에는 T-VOC (포름알데히드, 톨루엔)의 흡착이 4시간만에 95%에 이르러 흡착 속도 또한 빠른 것을 확인하였음. ○Mock-up Test 결과, 포름알데히드 및 톨루엔의 흡착 특성은 기존 프탈로시아닌 금속 Cu 0.3% 첨가 패널에서 가장 우수하였으며, 포름알데히드의 흡착능은 98% 이상, 벤젠 약 95%의 흡착 특성을 도출					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	휘발성 유기화합물, 화학적 분해, 습도제어기능, 단열특성, 복합화 기능성			
	영 어	VOC, chemical dissolution, Humidity Control, adiabatic characteristic, hybrid complex			

요 약 문

I. 제 목

건축용 복합기능형 나노 다공성 세라믹 패넌 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 최근 건축용 소재는 유기소재의 인체유해성 등으로 인하여, 무기소재의 사용량이 증가하고 있으며, 무기소재는 단순 내장재의 기능뿐만 아니라 인체에 유익한 기능성을 발현할 수 있도록 제어
- 따라서 본 연구에서는 무기소재를 사용·수열합성법에 의한 패넌제조방법으로, 조습기능, VOC 흡착·분해 및 단열특성을 발현하는 복합기능형 나노 다공성 패넌을 개발하고자 하였으며,
- 또한 상기의 기능성들은 에너지 저감, 건축물 인증제도 등 국가 정책에도 필수적으로 요구되는 특성임.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 본 연구에서 수행하고자 하는 “건축용 복합기능형 나노다공성 세라믹 패넌(내장용 타일)개발”의 목표는 원료 및 패넌의 제조방법을 새롭게 개발하여,
- 최종적으로 1.나노공 제어형 조습기능 패넌개발, 2. 단열특성 발현형 다공성 패넌 개발, 3. VOC 흡착 및 분해를 위한 건축 내장용 패넌 개발, 4. 상기의 기능성들을 복합화할수 있는 혼성복합 기능성 기술개발이다. 더불어 건축내장용 패넌로 사용되기 위한 기초적 물성개발을 동반하고자 함.

IV. 연구개발결과

- 다공성 원료의 특성 분석 결과, 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트의 주성분은 SiO_2 이었으며, 중국 규조토를 제외할 경우 강열감량은 약 3~10%, 제올라이트는 타원형 또는 구형의 입자들로 관찰되었으며, 이들 입자는 관상의 미립자로 구성 (포항 제올라이트의 비표면적은 $57\text{m}^2/\text{g}$ 으로 화순 벤토나이트($6\text{m}^2/\text{g}$) 및 중국 규조토($6\text{m}^2/\text{g}$) 보다 매우 높은 수준)
- 다공성 원료의 수분 흡방습 시험 결과, 다공성 원료의 비표면적 및 기공 부피와 상당히 밀접한

- 상관성을 도출 (즉 비표면적 및 기공 부피 증가에 따라 수분의 흡방습능은 크게 향상되었으며, 이때 비표면적과 흡습능과의 상관관계계수는 0.93)
- 패널의 수열합성 생성물은 C/S비에 따라 변화하였으며, C/S 비 0.5에서 C-S-H (I)형 및 판상 토베모라이트 결정이 관찰
 - 다공성 원료의 사용에 따라 토베모라이트 결정의 관찰은 용이하였으며, 토베모라이트족 결정이 2개 이상 (Lath, Fiber 등) 혼재해서 존재
 - 패널의 흡방습 특성은 다공성 원료의 혼합에 따라 크게 개선되어, 포항 제올라이트 10% 패널의 경우에는 흡습량 184g/m^2 , 방습량 105g/m^2 수준
 - 패널의 비표면적 및 기공 부피와 수분 흡습량과의 상관성은 약 0.52 수준으로 도출되어, 비표면적 및 기공 부피와 수분 흡습량에는 일정 부분 상관성이 있음을 확인
 - 다공성 원료의 종류(특히 화순 벤토나이트와 포항 제올라이트 등)에 따라 패널의 수분 흡습량은 차이가 있었으며, 이는 다공성 원료의 영향으로 추측되었음.
 - 패널의 T-VOC 흡착 특성은 기공 및 비표면적에 따른 수분의 흡착 특성과 유사한 경향을 나타내었으며, 특히 포항 제올라이트 첨가 패널의 경우에는 T-VOC(포름알데히드, 톨루엔)의 흡착이 4시간만에 95%에 이르러 흡착 속도 또한 빠른 것을 확인하였음. 여기에 금속 분해제를 첨가할 경우, T-VOC 흡착 특성은 2시간 이후 98%를 상회하는 수준으로 크게 향상되었음.
 - Mock-up Test 결과, 포름알데히드 및 톨루엔의 흡착 특성은 기존 프탈로시아닌 금속 Cu 0.3% 첨가 패널에서 가장 우수하였으며, 포름알데히드의 흡착능은 98% 이상, 벤젠 약 95%의 흡착 특성을 도출

V. 사업화 계획

- 시장분석 및 마케팅 계획, 판매/홍보계획 등의 준비를 통해 개발된 패널을 상품화 하는 사업을 계획

S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

Construction materials are used inorganic materials instead of organic materials for solving the human harmfulness. Also inorganic materials have many good functions for human being. So we are willing to develop the panel with many functions, which are moisture control, adsorption and decomposition of VOC, adiabatic characteristic and otherwise.

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 content of moisture adsorption 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 content of moisture adsorption of panels was 0.86. Moisture adsorption content of panel with 10% Pohang zeolite was 184g/m^2 and that of 10% Cheolwon diatomite was 170g/m^2 . Moisture desorption content of panel with 10% Pohang zeolite was 105g/m^2 . Moisture adsorption contents of panel with porous materials were higher than that of panel without porous materials.

Adsorption characteristics of T-VOC were influenced by surface area and pore volume of panels, and surface area alike moisture adsorption. Especially panel with Pohang zeolite showed excellent adsorption of T-VOC (Formaldehyde, Toluene, etc) and adsorpt 95% of formaldehyde during 4 hours. In Mock-up test, panel added metal decomposer (Cu-Phthalocyanine) showed 98% decomposition of formaldehyde, toluene and showed 95% decomposition of Benzene.

The best condition of raw materials compositon considering above results was C/S ratio 0.7 with 10% zeolite and 0.3% metal decomposer (Cu-Phthalocyanine) and experimented 180°C -7hours.

CONTENTS

Chapter 1.	Introduction	8
Clause 1.	Purpose and necessity of development	8
Clause 2	Development scope	9
Chapter 2.	Development tendencies in countries	19
Chapter 3.	Development result	22
Clause 1.	Experimental procedure	22
Clause 2	Experimental results and study	32
1.	Analysis and evaluation of starting materials	32
2.	Analysis and evaluation of panels.....	45
3.	Workability evaluation of panels.....	81
Chapter 4.	Application plan of development results	90
Chapter 5.	Conclusions	110
Chapter 6.	References	114

목 차

제 1 장	서 론	8
제 1 절	연구 개발의 목적 및 필요성	8
제 2 절	이론적 고찰	9
제 2 장	국내·외 기술개발 현황	19
제 3 장	연구개발 수행 내용 및 결과	22
제 1 절	실험 방법	22
제 2 절	실험 결과 및 고찰	32
	1. 출발원료 특성 분석 및 평가	32
	2. 패넬의 분석 및 평가	45
	3. 패넬의 시공성능 평가	81
제 4 장	사업화 계획	90
제 5 장	결 론	110
제 6 장	참고문헌	114

제 1장 서 론

제 1 절 연구 개발의 목적 및 필요성

실내 공기질에 영향을 미치는 건강상의 악영향 물질로 휘발성 유기화합물(T-VOC) 및 중금속 등의 다양한 화학물질 등이 제시되고 있다. 이 중 포름알데히드는 새집 증후군(Sick house syndrome) 등 실내 공기질에 영향을 미치는 매우 중요한 유해인자로 부각되고 있다.^{1,2)} 포름알데히드는 인체의 점막과 피부에 자극을 일으키며, 장기간 노출될 경우 피부에는 접촉성 피부염 및 습진 등의 알레르기 성 질환, 호흡기계는 기침, 가래, 천식, 만성 기관지염 등을 일으키며, 생식기계에 대한 영향으로는 자연 유산과 저체중아 출산, 임신 중독증 등을 유발하게 된다. 이러한 인체 유해성은 주로 석유화학계 제품의 건축내장재에서 발생하는 것으로 검증되고 있다. 또한 주거환경에서의 적당한 환경 습도는 40~70% 범위로, 이보다 높으면 곰팡이나 진드기의 왕성한 번식에 따라 이들의 배설물이나 유해 미분말에 의해 천식 및 아토피성 피부염과 같은 알레르기 질환이 증가하게 된다. 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 크게 위협하게 된다. 따라서 제습기/가습기의 도움 없이도 주거 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.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 선진국에서는 다양한 기능성 패널을 개발·판매하고 있으며, 이 중 대표적인 것으로 패널 제품((주)이낙스(제조사)-에코카라트(상품명), (주)아사히카세이-사라라 및 (주)클리온-하모나이트 시즈 등)과 도료제품(사국화성(주)-규조모던코트, 항화화학(주)-규조벽 등) 등을 들 수 있다. 이중 소성 제품인 에코카라트는 조습기능(수분의 흡방습)은 뛰어나지만 제조 온도가 1100℃ 이상으로 높으며, 도료 제품은 기능성(VOC의 흡착·분해, 수분의 흡습 특성 등)이 우수하지 못하다는 단점이 있다. 그러나 수열합성으로 제조된 사라라 및 하모나이트 시즈 등은 조습특성 발현이 도료제품 보다 우수하고, 저온(100~200℃)에서 제조되어 경제성도 확보할 수 있다는 장점을 갖는다. 그러므로 국내에서도 경제성이 확보되고, 포름알데히드 흡착 및 조습기능 등의 다양한 기능성이 발현될 수 있는 제품 개발이 절실히 필요하다.

제 2 절 이론적 고찰

1. 수분의 흡방습

재료중의 수분 이동은 수증기와 液水의 2가지 이동이 존재한다. 열이동이 온도의 구배에 의해 발생하는 것과 같이, 수분 이동에서는 함수율의 차 또는 상대습도의 차(수분의 화학 포텐셜 차이)와 온도 차이에 의해 수분이 이동한다. 바꾸어 말하면 상대습도의 차이 또는 함수율의 차이가 없는 상황이라면 수분의 이동은 발생하지 않는다. 상대습도 98%를 기준으로, 그 이상일 경우에는 液水의 이동이 지배적이고, 그 이하일 경우에는 수증기의 이동이 지배적이다. 상대습도 98% 이하의 습도영역을 hygroscopic(흡습) 영역이라 부르고, 수분은 수증기의 압력 차이에 의해 이동하며, 이것은 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$J_v = -\lambda' \frac{\partial P_v}{\partial X} \quad \dots \dots (1)$$

J_v : 수증기류 ($\text{kg/m}^2\text{s}$), λ' : 습도전도율 (kg/msPa)

P_v : 수증기압 (Pa), X : 방향 (m)

즉 재료내의 수증기압(또는 절대습도)의 구배에 비례하여 수분이 이동하며, 습도전도율 λ' 가 크게 되면, 수분 이동량이 크게 된다.

상기의 방정식을 기본으로 하여 조습과 관련된 기초방정식을 구할 수 있다. 이 중 일본전재시험센터의 규격으로 책정되어 있는 κ 와 v 는 평형함수율곡선으로부터 얻어진 흡·방습 특성치이고, 이것들을 습기용량이라고 부른다.

가. 흡·방습 특성치 k ($\text{kg/m}^3(\text{kg/kg}')$)는 일정온도 조건에서 절대습도가 변화한 경우의 함수율 변화를 나타내며,

$$k = \frac{\partial \theta}{\partial X} \quad \dots \dots (2)$$

θ : 함수율(kg/m^3), X : 절대습도($\text{kg/kg}'$)

나. 흡·방습 특성치 v ($\text{kg/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$)는 일정습도 조건에서 온도가 변화한 경우의 함수율 변화를 나타낸다.

$$v = \frac{\partial \theta}{\partial T} \quad T : \text{온도}(^\circ\text{C}) \quad \dots \dots (3)$$

그러므로 k와 v 값이 클수록 조습 재료로 적당하다고 말할 수 있다.

또 다른 흡·방습 특성은 평형 흡습을 곡선으로부터 구할 수 있다. 조습재료가 Fig. 1과 같이 이상적 평형 흡습을 곡선을 나타내기 위해서는, 즉 자율적인 조습능력을 갖기 위해서는 재료 표면에 일정 크기(2~50nm)의 nano pore를 갖고 있어야 하며, 이에 따라 환경습도 40~70% 범위에서 수증기 흡착 등온선이 급격하게 상승하는 다공성 물질이어야 한다. 이때 흡·방습 특성은 다음의 Kelvin 식을 따른다.

$$\ln(P/P_0) = \frac{2\gamma V'}{rRT} \dots (4)$$

여기서 P는 증기압, P₀는 평형 증기압, γ는 표면장력, V'는 액체의 몰부피로 M/ρ와 같고, M은 몰 질량, ρ는 밀도, r은 곡률반경이다.

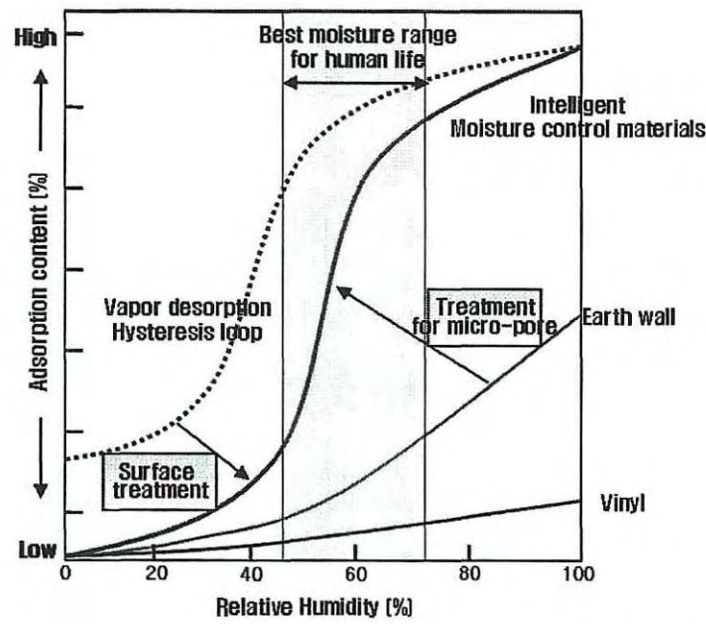


Fig. 1 Ideal curve on moisture content of moisture control material

일반적인 표면은 2개의 곡률반경 r₁과 r₂에 의해 표기되며, 이것을 반영하면 식 (1)은 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$\ln(P/P_0) = \frac{2\gamma M}{(RT\rho)(1/r_1 + 1/r_2)} \dots (5)$$

양단이 개방된 원축상 기공의 경우 흡습시에는 r₁=r_{ad}, r₂=∞의 meniscus가 생기므로 (1/r₁+1/r₂) = 1/r_{ad}이 된다. 한편 방습시에는 반경 r인 반구의 meniscus가 안정하기 때문에 r₁=r₂=r_{ad}로 되어 (1/r₁+1/r₂) = 2/r_{ad}가 된다. 이 관계로부터 기공에서의 흡·방습에 의r2hysteresis가 생긴다. 일부 연

구에서는 흡·방습을 하기 전에 이미 두께 t 의 흡착층이 있다고 가정하여 보정할 경우, 기공의 직경은 상대증기압 40%에서 3.0nm, 70%에서 7.5nm로 각각 산출된다고 보고하고 있기도 하다.

$$r = r_k + t, \quad t = \frac{-0.132}{\ln(P/P_0) - 0.08}, \quad r_k: \text{Kelvin반경} \quad \dots \quad (6)$$

따라서 이 범위의 기공경을 가지며, 기공 용적도 일반 건조제와 같이 큰 특성을 갖는다면 주거 환경에 적합한 습도를 자율적으로 제어하는 일이 가능할 것으로 판단된다.

2. 포름알데히드의 흡착 및 분해

미국 정부 산업위생 전문가 협의회에서는 포름알데히드를 인체에서 암을 일으키는 물질인 A2그룹(발암성 의심물질)으로 분류하고 있으며, 미국 국립산업안전보건연구원에서는 발암성 물질로 분류하고 있다. 앞서서도 언급한 바와 같이 석유화학계 제품의 건축내장재는 실내에서 포름알데히드의 발생 주요인으로 검증되고 있기도 하다. 특히 휘발성 유기화합물, 포름알데히드 등은 건축 내장재로부터 오랜 시간 동안 실내 공기로 방출되는 특징을 갖는 것으로 보고되고 있다. Shim 등은 국내 신축 공동주택의 입주 전 실내 공기질 특성을 분석하였으며, 시험조건은 거실과 침실에서 30분 환기 후 모든 문을 닫은 직후 및 동일 조건에서 5시간 경과 후의 공기질을 분석하였다. 이에 따르면 30분 환기 후 측정시의 포름알데히드 농도는 $0.04 \sim 0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나, 이후 5시간 밀폐시에는 $60 \sim 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 급격히 상승됨을 확인하였다. 또한 포름알데히드 농도가 최대 1,728배 증가하는 경우도 확인하여, 포름알데히드가 신축 공동주택의 실내에서 계속적으로 방출되고 있음을 확인하기도 하였다.⁵⁾

VOC의 흡착은 주로 에너지적으로 불안정한 상태의 고체 표면으로 VOC가 흡착되는 가스 흡착법, 대기중의 수분에 VOC(포름알데히드 등)가 용해되어 수분과 함께 고체 표면에 흡착하는 수분용해 흡착 및 고체 표면과 기공과의 압력차이(ΔP)에 의해 VOC가 기공으로 흡착되는 기공 흡착법 등으로 구분할 수 있다. 기공 흡착법은 ΔP 가 주로 고체 표면에너지(Y)에 비례하고, 고체를 구성하는 입자의 반경(r)에 반비례하는 $\Delta P = 2Y/r$ 에 의존한다.⁶⁾

VOC 등의 가스 흡착은 표면의 불안정성, 즉 2차원적인 구조의 불완전성 혹은 이상적인 결정구조로부터의 이탈이라고 표현할 수 있는 표면의 조성이나 구조는 그 생성조건 혹은 생성 후의 처리조건 등에 따라 크게 영향을 받는다. 예를 들면 파단에 의해 새로이 생성된 직후의 산화물 표면은 같은 표면을 공기 속에 오래 방치하거나 고온으로 가열한 후와 비교이라고 화학 반응성이 높다는 것이 알려져 있다. 이러한 효과는 표면이 원자 이동이나 다른 성분을 흡착해서 에너지 상태가 낮은 구조로 변화하는 경향을 실증하는 것이다. 예를 들어 실리카와 같은 산화물이 저온에서 새로운 표면을 형성

하는 수 있표면에는 수많은 Si-O 결합이 절단되어 불포화한 원자를 갖는 Si^- 나 O^{2-} 가 표면에 남는다. 이 표면은 에너지가 높고 반응성이 대단히 강하므로 공기속의 가스를 흡착해서 에너지가 낮은 표면을 만들려고 하며, 이 반응은 빠르게 진행된다. 금속 및 탄화물 또한 이와 유사한 반응성을 나타낸다. 수분 용해 흡착법 또한 가스 흡착법과 유사하나, 고체의 표면에 흡착되기 완전성대기 중의 수분에서 미리 용해되어 흡착되는 것이다. 표면이나 계면이 끼치는 중요한 효과의 대부분은 표면에 에너지가 곡면에 압력 변화를 일으키는 데서 생기는 것이다. 곡면에서의 압력변화로 생기는 중요한 현상은 곡률이 높은 곳에서 구조이나 용해도가 증가하는 것이다. 예를 들어 높은 온도에서는 시스템의 따라부분에 따라 그 표면 곡률 차이로 인한 구조력의 차이로 물질 이동이 진행되기도 한다. 라부적으로 기공 내부는 표면보다 압력이 낮으며, 이러한 압력 차이에 의해 물질을 기공쪽으로 이동하게 한다.⁶⁾

국내·외에서 VOC의 분해 및 저감기술에 관한 연구가 계속되고 있으며, 이를 크게 대분하면 촉매 연소/분해법, 직접 연소법, 생물학적 처리 등의 방법으로 나눌 수 있다. 이들 중 가장 효과적인 방법은 촉매 분해법이며, 이때 촉매제로는 프탈로시아닌이 가장 많이 언급되고 있으며, 일본 등에서는 일부 건축내장재에 혼합·사용하고 있는 상황이다.⁷⁻⁹⁾ 프탈로시아닌은 생체내의 효소와 유사한 구조를 갖는 화합물로서, 금속 프탈로시아닌 상태가 대표적이다. 프탈로시아닌은 청, 녹색의 착색제로서 공업적으로 널리 사용되고 있으며, 프탈로시아닌 화학식의 중앙에 위치한 금속은 동, 니켈, 코발트, 망간 등이며, 생체내의 효소와 동일하게 상온, 상압 조건에서도 산화반응, 환원반응, 가수분해반응이 진행되고, 유해물질을 탄산가스, 물 등으로 분해시키는 능력이 높다. 이때 반응은 프탈로시아닌 자체가 유해물질과 직접 반응하지 않고, 촉매 반응을 진행하여, 유해물질 제거기능의 연속성을 갖는 특징이 있다. 이러한 유해물질의 분해는 특별한 에너지를 필요로 하지 않고, 자연상태에서 손쉽게 일어날 수 있는 것으로 알려져 있다. 더불어 프탈로시아닌 블루, 프탈로시아닌 그린 등은 도료의 착색안료로서 특별한 문제점을 야기시키지 않는다. 포름알데히드(HCHO)는 산소와 반응하여 2HCHOOH 를 생성하며, 이때 수분이 존재하면 2HCHOOH 의 생성이 유리해진다고 알려져 있다. 2HCHOOH 는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 $\text{Ca}(\text{HCOO})$ 와 $2\text{H}_2\text{O}$ 가 생성되어 포름알데히드의 분해가 이루어진다. 금속염(S:Substrate, L:ligand)은 ①기질(S)와 배위자(L)의 교환에 의해 혼합 착체를 형성하고, ② 중심금속과 기질사이에서 전자이동이 발생한다(예를 들면 3가철이 2가철로 전환). 이때 ③반응생성물 P가 이탈되면 ④2가 금속이 다시 공기중의 산소에 의해 산화되어 2가철이 3가철로 전환되는 것이다. 이외에도 포름알데히드의 분해 메커니즘은 아미드화합물과의 축합반응 ($\text{R-CONH}_2 + \text{HCHO} \rightarrow \text{R-CONHCH}_2\text{OH}$) 및 히드라지드 화합물과의 탈수축합반응 ($\text{R-CONHNH}_2 + \text{HCHO} \rightarrow \text{R-CONHN}=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$) 등이 존재한다고 보고하고 있다.

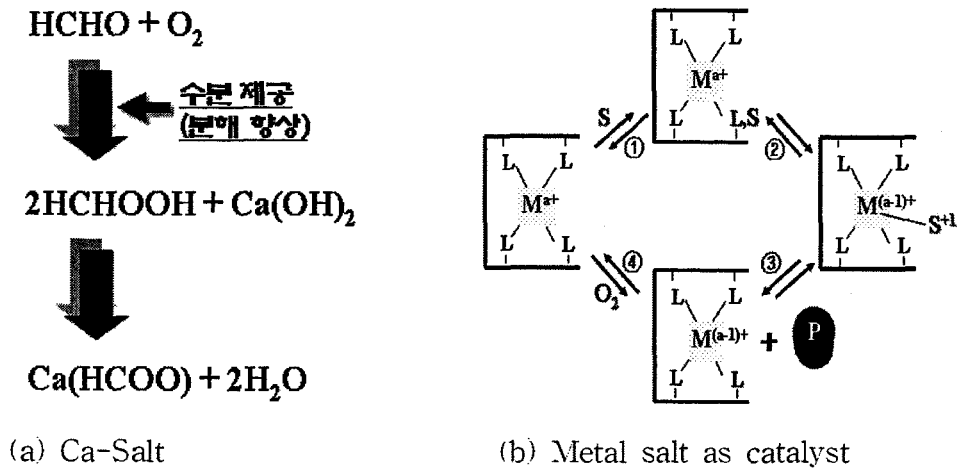


Fig. 2 Decomposition mechanism of VOC

3. 수열 합성

상기에서 언급한 바와 같이 대표적인 저온형 패널 개발 기술로는 수열합성에 의한 패널 제조방법이 있으며, 수열합성이란 CaO를 주성분으로 하는 원료와 SiO₂를 주성분으로 하는 원료를 혼합수와 혼합한 후, 100℃~200℃의 온도 조건에서 반응시킨 것이다. Taylor 등은 상기의 온도조건에서 토베모라이트 결정이 생성되는 과정을 다음과 같이 설명하였다.¹⁰⁾

가. CaO/SiO₂ 몰비가 0.8이하에서는 반응초기 생성물인 CSH(II)와 SiO₂의 반응으로 CSH(I)이 생성되고, CSH(I)은 반응이 진행됨에 따라 토베모라이트로 변화.이 반응속도는 온도에 의존하며, 반응온도가 충분히 높으면, Xonotlite로 변화하기도 함.

나. CaO/SiO₂ 몰비가 0.8~1.0 사이에서는 반응초기에 CSH(II)와 CSH(I)이 생성되며, CaO는 SiO₂ 보다 먼저 소실됨.

즉 적절한 원료 배합 및 수열합성 조건을 선정할 경우, Table 1과 같은 다양한 형태의 토베모라이트 결정이 생성될 수 있다.¹¹⁾ Table 1에서와 같이 토베모라이트족 화합물은 크게 결정질(Crystal), 반결정질(Semi-Crystal) 및 비정질(Amorphous) 형태로 구분할 수 있다. 또한 토베모라이트 결정은 Fig. 3에서와 같이 Ca(OH)₂ 층에 SiO₄ 4면체의 연속적 구조로서, 실리케이트 이온 층간의 空洞 부분

에 Ca^{2+} 이온이나, H_2O 가 위치한다. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 OH^- 이온이 대개 육방최밀 충전하고, 그 틈 사이에 Ca^{2+} 이온이 들어가는데, OH^- 이온이 교대로 접하는 면은 결합이 약하고 벽개하기 쉽다. 이때 층간 두께가 몇 nm인지에 따라 1.1nm(11Å) 혹은 1.4nm(14Å)의 토베모라이트라 부른다. 이 층간 부분은 nano size의 미세 기공으로 작용하여, 습기의 흡수 및 방출에 기여할 수 있다. 참고로 물(H_2O) 분자는 H-O-H 구조를 갖으며, H-O-H 결합 각도는 104.5° , 산소와 수소의 결합거리는 0.957Å, Van der Waals력에 의한 산소 반지름 0.15nm(1.5Å), 수소 반지름 0.12nm(1.2Å)이며, 물분자의 크기는 약 0.2nm(2Å)이라고 알려져 있다. 토베모라이트 제조시 출발원료로 다공성 소재인 규조토, 벤토나이트 등을 사용할 경우, nano pore의 제공 효과도 얻을 수 있다. 그러므로 적절한 nano pore를 제어하기 위해서는 출발원료로 nano pore를 갖는 재료를 선정하고, 이후 토베모라이트의 형성에 의해 다시 한 번 nano pore를 생성하여, pore의 형성을 제어할 수 있는 최적 시스템을 구축하고자 한다. 또한 패 널구성 물질과의 수소결합에 의해 수분 이동제어가 가능한 소재의 접목기술을 개발하여야 한다.

Table 1. Classification of tobermorite

Primary Subdivision	Type of X-ray patterns	Secondary Subdivision	Composite	Appearance in electron microscope
Crystalline Tobermorite	Full patterns showing many hkl reflection often 40-50 lines given adequate experimental technique	14 Å Tobermorite 11.3 Å Tobermorite 9.3 Å Tobermorite 12.6 Å Tobermorite 10 Å Tobermorite	$\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_9$ $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$ $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_{0.2}$ - -	Flat plates, laths fibers
Semi-Crystalline Tobermorite	Patterns of about 6-12 lines, including mainly hk, hkl reflection	CSH(I) CSH(2)	$\text{Ca/Si} < 1.5$ $\text{Ca/Si} \geq 1.5$	Crumpled foils usually fibers
Near-Amorphous Tobermorite	Weak patterns of 1-3 hk lines	Tobermorite gel (predominant)	Ca/Si usually ≥ 1.5	Irregular platelets or foils, fibers

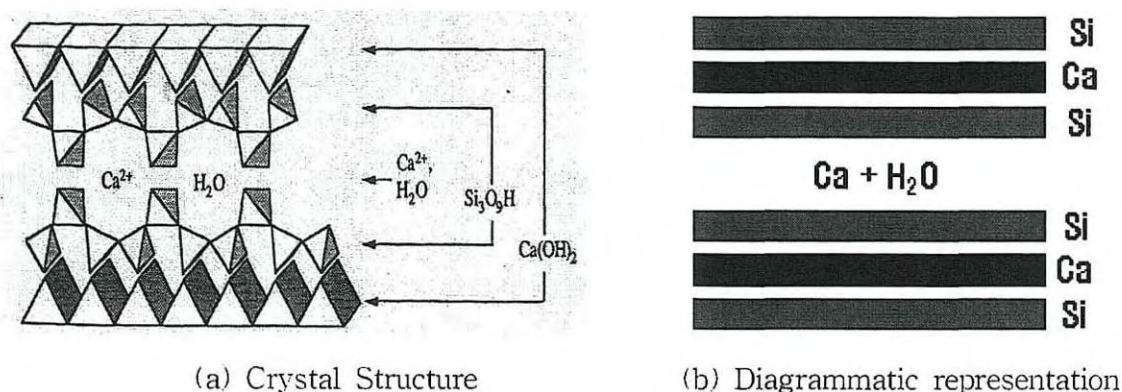


Fig. 3 Crystal structure and diagrammatic representation of tobermorite

4. 다공성 원료

대표적 다공성 원료는 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트 등을 들 수 있다. 규조토는 수중에서 서식하는 부유성 단세포 조류의 일종인 규조의 잔해물로 구성된 퇴적물 내지 퇴적암을 지칭한다. 규조토는 대개 백색 내지 연미색을 띠고 미립질이며 취약한 토상의 물성을 나타낸다. 국내에서 규조토는 과거 일제시대 말기인 1940년대에 감포-포항 일대의 제3기층(6천6백만년전~2백5십만년전)에서 소규모로 채광되었던 것으로 알려져 있다.¹²⁾ 해방 이후 2,000~3,000톤 규모로 이루어졌던 규조토의 개발은 1970~1980년대에 감포 지역에 소재하던 '한국 규조토 공업주식회사'를 중심으로 국내 총생산 실적이 20,000톤 정도에 이를 정도로 성행하였다. 그 후에는 국내에 부존되었던 규조토 광상들이 대부분 채진되어 2000년대 이후에는 국내에서의 개발이 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 대표적으로 국내에서는 포항-경주 일대의 제3기층과 철원 갈말읍 지역의 제4기층(2백5십만년전~현재)에서 일부 산출된다. 철원 갈말읍 지역의 규조토는 심하게 변태되고, 점토/규석질 성분과 혼합된 상태로 산출되어 다공성 원료로는 사용가능하나, 규조 자체를 관찰하기는 매우 어렵다. 2000년까지는 포항의 장성광산을 비롯하여 4개소의 광산에서 소규모로 개발되어 생산실적이 알려지기도 했으나, 현재는 대부분 개발이 중단된 상태이다. 따라서 국내에서 사용되는 규조토의 대부분은 중국 등에서 수입하고 있는 실정이며, 국내의 규조토의 화학성분은 Table 2에 나타내었다. 규조의 각질부는 기본적으로 함수규산($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)의 조성을 갖으며, silica gel과 같은 비정질 형태를 이루지만 화석상의 규조는 용해도가 상대적으로 낮은 opaline silica(함수규산의 일종, cristobalite 결정으로 구성되어 있음.) 조성을 갖는 것으로 알려져 있다. Opaline silica는 X-선 회절분석에 의하면 대개 cristobalite 내지 tridymite 광물상으로 이루어져 있다. 광물상의 변화가 심하게 발생할 경우, 비표면적은 10~30m²/g

에서 $0.5\sim 5\text{g}/\text{m}^2$ 수준으로 감소하고, 비중은 2.0에서 2.3 수준으로 증가하는 현상을 보인다.

국내산 벤토나이트의 대부분은 마이오세(Miocene-제3기 후반부)기에 형성된 화산 쇄설성(지표의 암석이 풍화·침식으로 파쇄되어 원래의 암석에서 떨어져 나와 생긴 쇄설물) 퇴적암류의 변질산물로서 산출되고 있다. 벤토나이트를 구성하는 점토광물로는 스멕타이트 계열의 몬모릴로나이트(montmorillonite)가 대부분을 이루지만, 풍화된 시료에서는 할로이사이트도 일부 수반된다. 또한 국내의 벤토나이트는 불순광물로 제올라이트 등을 포함하는 특징도 있다. 벤토나이트에 존재하는 몬모릴로나이트는 대부분 $2\mu\text{m}$ 전후의 크기를 갖는 반자형의 엽상 결정체를 이룬다. 또한 몬모릴로나이트 입자들은 대부분 굴곡된 상태로 서로 취합하여 소위 벌집상 구조 'honey-comb structure'를 이루는 특징이 있다. 조직적으로는 공동 충전상(cavity-filling)으로 정출된 몬모릴로나이트 결정들이 연결되어 큰 입자를 이루고 있다. 벤토나이트의 수분함량은 약 10~20% 수준이며, 몬모릴로나이트 함량은 30~80% 수준에 이르고 있다. 제올라이트는 Fig. 4와 같이, 이동 및 이온교환 그리고 가역적 탈수가 자유로운 이온과 물로 채워진 공동(cavity)을 지닌 결정성 구조의 aluminosilicate라고 정의되며, 제올라이트 결정중의 물을 반복하여 흡탈착시켜도 구조는 변화하지 않는다.^{14,15)} 공동의 크기는 제올라이트의 종류에 따라 차이는 있으나 수Å 단위로 균일하다. 이러한 분자크기의 공동은 용액이나 가스 등의 분자의 대소를 선별하는 체의 역할을 하기 때문에 분자체라고도 한다. 천연 제올라이트의 비표면적은 $60\sim 90\text{m}^2/\text{g}$ 으로서 합성 제올라이트보다는 작지만 플라이애쉬 및 시멘트 등에 비하여 대단히 크다.

국내 포항 등에서 발생하는 제올라이트는 순수한 특성을 갖기 보다는 벤토나이트가 혼재된 상태의 것들이다. 우리나라를 비롯한 환태평양 지구에서는 제올라이트와 벤토나이트가 제3기 내지 백악기의 화산 쇄설성 퇴적층에서 생성되어, 성인적으로는 물론 공간적으로도 밀접한 연관성을 보이며 산출되고 있다. X-선 분석 또한 제올라이트 광물로 알려진 클리놉티로라이트(Clinoptilolite)도 관찰되나, 몬모릴로나이트 등도 쉽게 관찰할 수 있다고 한다. 제올라이트의 강열감량은 약 10%에 이르며, SiO_2 함량은 60~70% 수준이다.

참고로 국내 지역별 다공성 원료의 부존자원 현황은 Fig. 5와 같으며, 규조토는 철원 및 포항 등에서, 벤토나이트는 포항, 경주 및 화순 지역에서, 제올라이트는 경주 및 포항 등의 일부 지역에 국한되어 발생함을 확인할 수 있었다. 그러나 카울린류는 전국 다수의 지역에서 발생하는 특징을 나타내었다. 1차년도 시험 결과, 패널 제조시 카울린을 혼합할 경우 수분의 흡방습 특성이 높게 발현되지 않음($80\text{g}/\text{m}^2$ 이하 수준)을 확인하였으며, 이는 본 연구의 목표치보다 낮은 수준이었다. 따라서 2차년도에는 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트 등의 다공성 원료를 주로 사용하였으며, 수분 흡방습 등의 기능성이 떨어지는 카울린류의 원료 사용은 생략하였다.

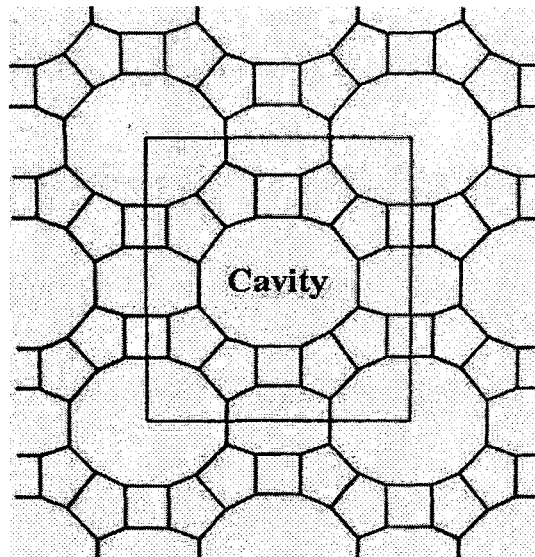
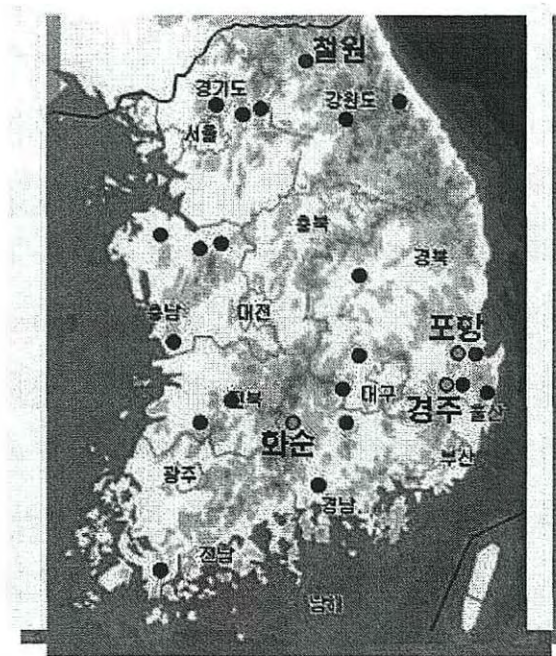


Fig. 4 XY section of zeolite (mordenite species)

Table 2. Chemical analysis on diatomite of korea(third age) and other countries

Compo- sition	Korea					USA		China	Denmark
	Gampo	Pohang-Heunghae				Lampoc	Nevada	Jilin	Moler
		A	B	C	D				
SiO ₂	85.82	66.92	67.39	75.13	82.28	89.70	89.82	90.07	67.80
Al ₂ O ₃	2.17	10.23	14.09	11.62	8.81	3.72	2.32	1.98	10.30
Fe ₂ O ₃	0.92	2.97	3.48	1.79	0.53	1.09	0.84	0.67	6.85
CaO	0.21	0.13	0.17	0.09	0.09	0.30	0.30	0.39	1.35
Na ₂ O	0.20	0.69	1.07	0.49	0.16	0.31	0.67	0.22	0.46
K ₂ O	0.25	1.28	1.74	1.70	0.82	0.41	0.19	0.35	1.47
LOI	10.85	14.51	9.78	6.87	5.24	3.70	5.40	6.30	7.91



● : Diatomite / ◐ : Bentonite / ◑ : Zeolite / ⊗ : Kaolin

Fig. 5 The status of natural resources in Korea

제 2 장 국내 · 외 기술개발 현황

일본에서는 다양한 형태의 조습/단열 패널이 생산·판매되고 있으며, 관련 업체도 많다. 또한 조습/단열효과 뿐만 아니라 패널 중 일부는 VOC 물질 중 포름알데히드의 흡착과 더불어 분해 기능까지도 겸하고 있다. 이는 Table 3에서와 같이 포름알데히드의 화학처리 메커니즘의 이해가 동반되어야 하며, 이는 주로 습분의 존재하에 이루어지는 경우가 많다. 즉 기공의 제어에 따른 습기의 흡·방출이 동반되는 경우, 그 효과가 크다고 할 수 있을 것이다. 일본은 이미 재단법인 일본건재센터에서 2003년 11월 휘발성 유기화합물 저감 건재 인증에 대한 기준을 마련·시행하고 있으며, 여기에 합격한 제품은 Table 4와 같다.^{17,18)} Table 4에서와 같이 단순 흡착기능만을 가지고 있는 제품이 있는 반면, INAX 에코카라트의 경우와 같이 저감 기능이 동반되는 제품이 있다는 것을 알 수 있다. 또한 일본에서는 포름알데히드의 대책에 집중되어 있지만, 후생노동성에서 지침값으로 제시한 톨루엔이나 크실렌 등의 저감 효과에 대해서도 검증을 진행하는 업체가 다수 있으며, 조만간 포름알데히드 이외의 VOC 물질도 분해할 수 있는 제품이 출시될 것으로 예측되어진다.

(포름알데히드 : 자극적 냄새가 나는 무색의 기체, 융점 $-118.3 \sim -117.8^{\circ}\text{C}$, 비점 -19.3°C , 물에 용해가 잘되며, 37% 수용액은 포르말린으로 살균 방부제로 사용된다.)

일본에서의 조습제품은 출발원료의 제어에서부터 시작되며, 이의 적절한 배합설계기술이 동반되는 경우가 많다. 즉 nano, micro 및 macro 기공의 제어가 동반되어 습분의 흡·방출이 이루어지는 제품이다. Fig. 6은 일본에서 사용되는 출발원료의 모식도 중의 하나이며, 그림에서와 같이 대기중의 습도가 높을 경우, 수증기는 직경 $0.3\text{nm}(3\text{\AA})$ 이상의 통로를 통하여 원료의 내부 기공으로 들어가며, $3.5 \sim 5.5\text{nm}(35 \sim 55\text{\AA})$ 수준의 내부 기공으로 들어간 수증기는 응축하여 강하게 결합된 물로 존재하게 된다. 이후 대기의 습도가 낮아지면 원료 내부에 응축된 물이 통로를 통하여 다시 외부로 방출되는 일례이다. 이러한 원료들을 습기의 흡·방출 조건이 최적화 되도록 다시 한번 제어하여 제품으로 출시하는 것이다.

국내에서는 VOC 제거를 위해 일부 광촉매를 사용하고 있으나, 이의 제품은 크게 대두되지 않고 있다. 또한 조습기능은 일부 박물관 등에 사용되는 고가의 소성제품(주로 수입품)이 주를 이루고 있다. 소성 제품은 1000°C 전후의 고온에서 소성하여 제조하는 제품으로, 고온작업을 위한 고비용의 연료비가 동반되어 제조비가 상승된다는 단점을 가지고 있다. 즉 소성제품은 고가의 제품으로 범용으로 상용화되기에는 무리가 있다. 따라서 대부분의 제품이 수입에 의존하고 있는 실정이다.(국내 일부 제품이 조습제품으로 출시되나 정확한 조습기능(수분의 흡방습량, VOC 흡착·분해 능력) 등이 발

표되고 있지는 않음.) 그러므로 저온 제조방법으로도 기능성이 발현되어, 기본적 건축내장재의 물성 개발과 더불어 인체에 유익한 영향을 줄 수 있는 혼성 복합 기능성 패널 제조 방법이 모색되어야 하는 시점이기도 하다. 특히 국내 건축물의 범규 및 기타 특성상 1) VOC 흡착·분해, 2) 조습기능과 더불어 3) 단열특성을 동시에 만족시킬 수 있는 특성을 폭넓게 사용될 수 있다. 국내 패널 시발과 규모는 대략 6,000억원 규모로, 패널 시장이 매우 크다는 특징을 갖는다. 그러므로 소비자의 요구를 충분히 만족시킬 수 있는 제품이 개발된다면, 시장 확보는 매우 용이하고, 또한 빠르게 진행될 수 있다는 장점을 갖는다.

Table 3. Chemical decomposition mechanism of formaldehyde¹⁹⁾

Dehydration-Condensation with Hydrazide compounds	$R-CONHNH_2 + HCHO \rightarrow R-CONHN=CH_2 + H_2O$
Condensation with Amid Compound	$R-CONH_2 + HCHO \rightarrow R-CONHCH_2OH$
Neutral reaction with Ca salt ($Ca(OH)_2$)	$2HCHO + O_2 \rightarrow 2HCOOH$ $2HCOOH + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(HCOO)_2 + 2H_2O$
Oxidation with catalyst	$2HCHO + O_2 \rightarrow 2HCOOH$ $2HCOOH + O_2 \rightarrow 2H_2O + 2CO_2$

Table 4. Physical adsorption and chemical decomposition product of formaldehyde in Japan

Products	Materials	Physical adsorption	Chemical decomposition	Maker
Ecokarat	Ceramic	○	○	INAX
Soon II	Clay	○	×	ヤマセ
Moiss	Vermiculite	○	×	三菱商社建材
Cancoat	Diatomite, Gypsum	○	○	吉野石膏
Haminite	Ceramic (ALC)	○	×	Clion
Breath Board	Zeolite	○	×	新東北化学工業

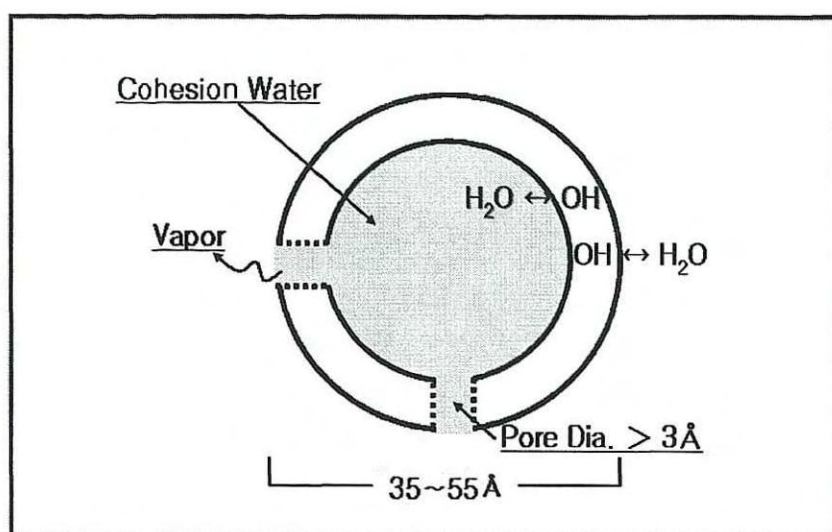


Fig. 6 Schematic diagram of porous material(Starting material) as moisture control material

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 실험방법

1. 출발 원료 특성 분석

본 연구에서는 수열합성법을 위한 기본 원료인 SiO_2 source로 규석을, CaO source로는 소석회 (Ca(OH)_2)와 백시멘트를 사용하였다. 또한 다공성 원료인 규조토, 벤토나이트, 제올라이트 등을 사용하였으며, 규조토는 철원 규조토(Gray, Pink) 2종, 중국산 수입 규조토(White, Pink) 2종 등 총 4종을 사용하였으며, 벤토나이트는 포항 및 화순 지역의 벤토나이트(2종)를, 제올라이트는 경주 및 포항 제올라이트(2종)를 사용하였다. 이들 다공성 원료는 화학조성 분석, TopCon社(Model SM-300)의 주사전자현미경(SEM)을 사용한 미세구조 분석, MAC Science社(Model M03XHF22)의 X-선 회절기를 이용한 결정학적 특성 분석, Micromeritics社의 BET(Model TriStar 3000 V6.02A)를 이용한 기공과 비표면적 특성 및 분말 자체의 흡방습 특성을 실험·평가하였으며, Beckman Coulter社(Model LS Particle Size Analyzer)의 Laser 입도 분석기를 이용한 원료들의 입도 분석도 행하였다. 분말의 흡방습 특성은 분말 시료 500g을 온도 23℃, 상대 습도 45% 조건에서 항량이 될 때까지 유지하여 무게(m_0)를 측정하고, 무게 측정 후 상대 습도를 70%로 상승시켜 24시간 동안 유지하여 무게(m_a)를 측정한다. 이후 상대 습도를 45%로 하향 조정하여 24시간 동안 유지한 후 무게(m_d)를 측정한다. 이때 분말에 흡습된 양($m_a - m_0$)을 분말의 수분 흡습량으로, 방습된 양($m_a - m_d$)을 분말의 방습량으로 규정하였다.

2. 패넬 제조 및 수열합성

본 연구에서는 Fig. 7의 실험공정도에서와 같이 1차적으로 규석, 소석회(Ca(OH)_2)와 백시멘트만을 사용하여, CaO/SiO_2 비를 0.5, 0.7, 0.9 및 1.1로 변화시켰으며, 이때 각 원료의 배합비는 Table 5와 같이 설계하였다. 배합이 완료된 혼합원료는 10%(혼합수/혼합원료)의 혼합수와 혼합하였으며, 이후 가압 성형하였다. 가압은 100kgf/cm^2 의 힘으로 1분 동안 가압한 후 탈형하여 수열합성 하였다. 수열합성은 180℃에서 7시간 동안 유지하였으며, 이후 패넬의 특성을 분석하였다.

제조된 패넬은 기본적 물성으로 휨강도, 압축강도 등을 실험하였으며, 기능성으로는 흡방습 특성,

포름알데히드 흡착 기능 등을 분석하였다. 또한 미세구조 및 기공특성 등을 분석하여 이들 물성발현 기구를 검토하고자 하였다. 또한 CaO/SiO₂의 비를 0.7로 고정한 혼합원료에, 국내외에서 채취된 다공성 원료인 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트 등을 혼합하였다. 이때 각각의 다공성 원료는 혼합 원료 외할 기준으로 10%, 20% 및 30%를 첨가하였다. 이후 상기와 동일한 방법으로 패널을 제조한 후 물성을 측정하였다.

Table 5. Mixing ratio of starting materials

(a) C/S Ratios

Kind C/S Ratio	Slaked lime	Silica(quartz)	White cement
0.5	30	55	15
0.7 (Ref.)	30	46	24
0.9	30	40	30
1.1	30	34.5	35.5

(b) Blended Materials (Kind, Content)

Kind	Diatomite	Bentonite	Zeolite
Mixing ratio(%)	Ref. + each blended material (10%, 20%, 30%)		

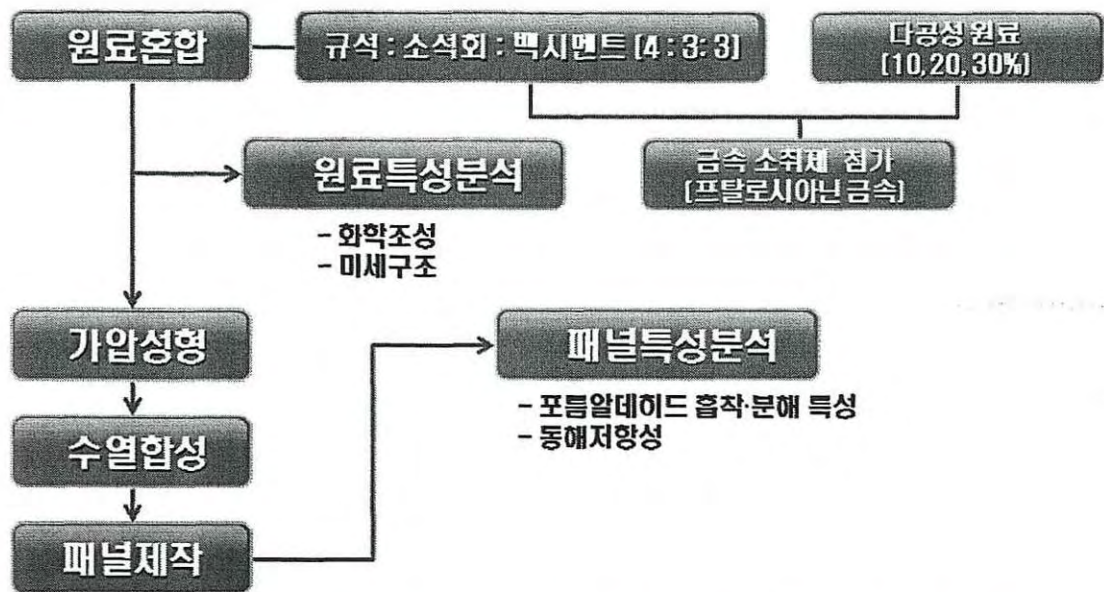


Fig. 7 Experimental procedure of this study

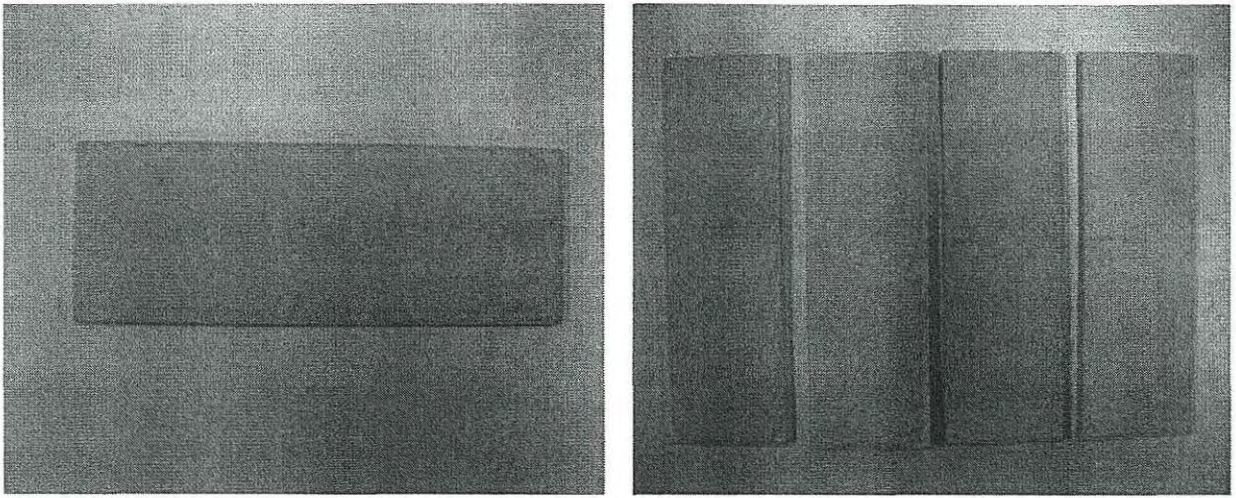


Fig. 8 Fabricated Panel ($5 \times 15 \times 0.7\text{cm}$)

3. 패넬의 물성평가

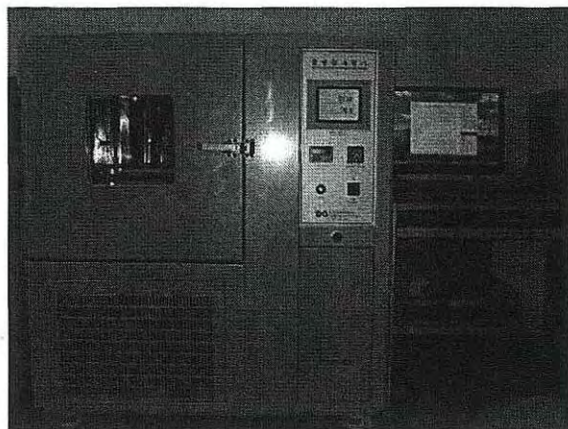
가. 흡방습 특성

수열합성으로 제조된 20×20cm 패넬의 흡방습을 측정·계산하기 위해 JIS A 1470-2002 (조습건재의 흡방습성 시험방법-제1부 습도응답법-습도변화에 의한 흡방습 시험방법)를 준용하였으며, 이때 흡습과정 및 방습과정 중 흡방습기 내부의 상대 습도 차가 설정 상대 습도와 비교하여 ±3% 이내로 유지되어야 한다. 패넬은 수분의 흡방습 면을 제외하고는 모두 알루미늄 테이프를 사용하여 수분의 흡방출이 되지 않도록 철저히 밀봉한다.

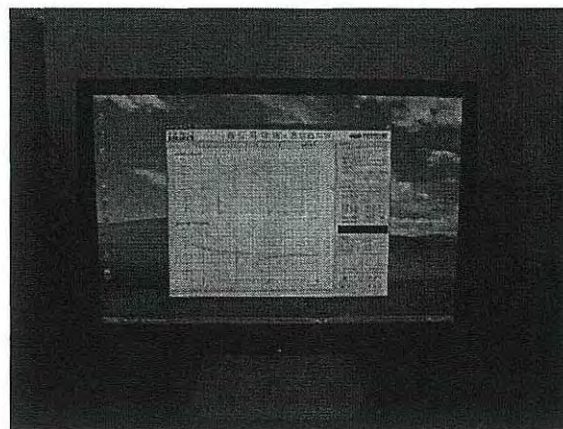
제조된 패넬이 23℃-45% 조건에서 항량이 될 때까지 안정화 시킨 후 무게(m_0)를 측정한다. 이후 상대습도를 70% 상승시켜 24시간 동안 유지하여 무게(m_a)를 측정한다. 24시간이 경과된 시점에서 상대습도를 다시 45% 낮추고 추가로 24시간(총 48시간) 동안 유지한다. 최종 48시간이 종료되는 시점에서 무게(m_d)를 측정하여 기록한다. 최초 24시간을 흡습과정, 이후 24시간을 방습과정으로 하며, 흡습량 및 방습량은 g/m^2 를 기준으로 환산·계산한 값으로 한다. 본 연구에서는 20×20cm 패넬을 시험하여, 흡습 면적을 $1m^2$ 으로 환산하기 위해 25를 곱해 주어야 한다. 흡방습 시험을 위해 사용한 장비는 (주)대광의 흡방습시험기((주)ILS SYSTEM 프로그램 사용)이다. 이 장비는 기계식 항습조를 응용한 장비로서, 시험기 내부에 저울과 온습도 센서를 설치하여 시험기 내부의 온습도와 시료의 무게 변화를 측정할 수 있도록 제어하는 장비이다.

$$\text{흡습량 } (W_a, g/m^2) = (m_a - m_0) \times 25 \quad \dots(1)$$

$$\text{방습량 } (W_d, g/m^2) = (m_a - m_d) \times 25 \quad \dots(2)$$



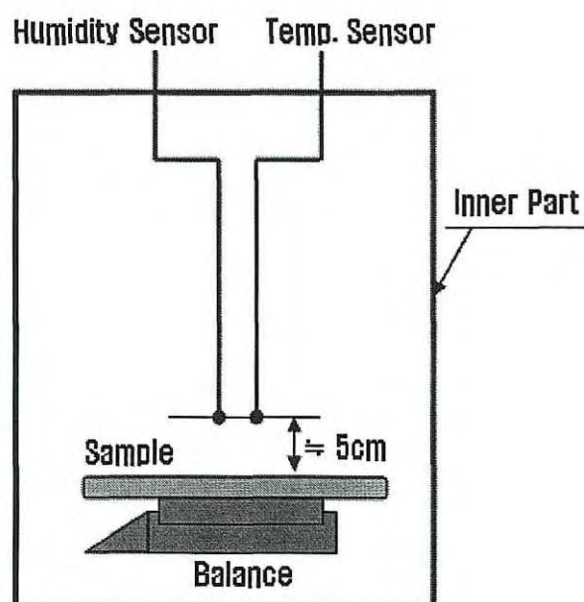
(a) Humidity control box



(b) During experiments



(c) Inner part of Humidity control box



(d) Schematic diagram of inner part

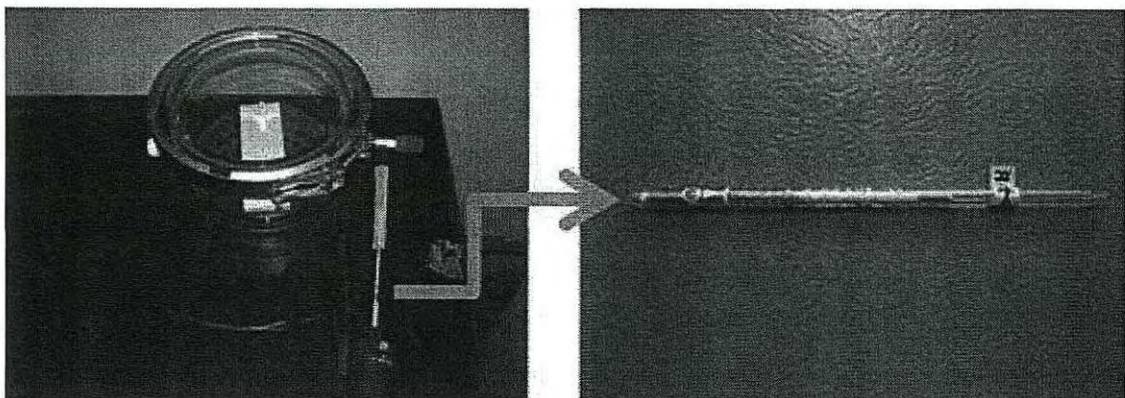
Fig. 9 Moisture(Adsorption/desorption Content) measuring Equipment (JIS A 1470)

나. T-VOC 흡착 및 분해 특성

T-VOC의 흡착 특성을 평가하기 위해 100ppm 농도의 T-VOC(포름알데히드, 톨루엔, 벤젠 등) 가스를 준비하여 용기에 투입하였다.

Fig. 10에서와 같이 용기에 패널을 넣지 않은 blank 상태 및 시험시료를 투입한 용기에 T-VOC 가스를 투입한 후 곧 바로 가스 검지관을 사용하여 T-VOC 농도를 측정 후 빈 용기에 패널을 옮겨 T-VOC 방출에 대한 농도 측정을 하였다.

본 연구에 사용한 가스 검지관은 일본 (주)GASTEC의 Model No.91을 사용하였다. 12시간 동안 일정 시간간격으로 T-VOC 흡착에 대한 측정을 하였으며, 빈 용기에 패널을 옮긴 후 12시간 동안 T-VOC 방출에 대한 측정을 그래프화 하였다. T-VOC의 흡착 및 분해 특성을 시험하기 위해 150×50×7.5mm의 크기로 패널을 제조하였다. T-VOC(포름알데히드) 가스 검지관법은 포름알데히드 (HCHO)가 $C_6H_5(CH_3)_2$ 와 1차 반응 및 $H_2S_2O_7$ 과의 2차 반응을 통하여 생성된 가스를 이용하여, 최종적으로는 가스 검지관 내에 존재하는 응축 폴리머의 색상을 흰색에서 갈색으로 변화시키는 원리를 적용한 것이다. 즉 가스 검지관 내의 폴리머 색상이 갈색으로 변한 부분을 포름알데히드 가스량 값으로 읽어주는 것이다.



Gas detecting tube method

Fig. 10 Measuring method of T-VOC

다. 압축/휨강도 측정

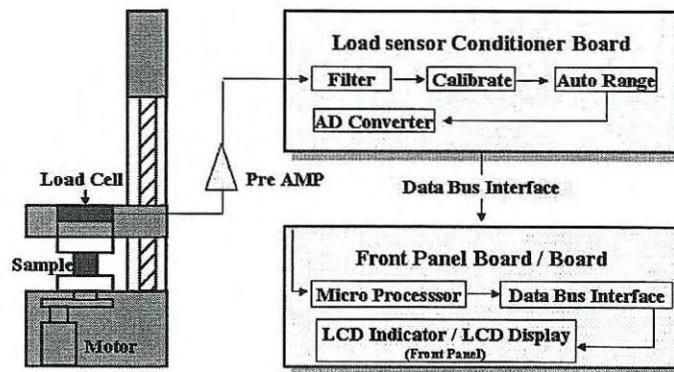
압축강도/휨강도 값을 도출하기 위해 미국 Instron社의 만능재료 시험기(Model 5544)를 사용하여 측정하였다. 본 장비는 시편에 하중이 가해질 때 얻어지는 로드 셀의 전기적 신호를 1차로 증폭시키며, 증폭된 전기적 신호를 원하는 정보만을 얻기 위해 필터링 시킨 후, 전기적 신호를 수치화 하여 LCD panel에 표현하는 전기·기계적 장비이다.

시편의 강도 측정은 Fig. 11에서와 같이 압축강도 시험용 시편의 크기는 패널 두께와 동일한 정사각형을 기준으로 제조하였으며, 휨강도 측정 시험용 시편의 크기는 패널 형태인 150×50×7.5mm로 하였다. 압축강도는 식 (1)과 같이 최대 하중값을 시편의 단면적으로 나누어 계산하였으며, 휨강도는 최대 하중값을 식 (2)에 입력하여 계산하였다.

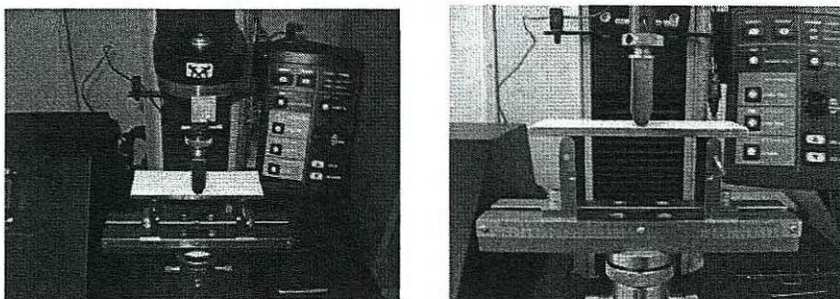
$$\text{압축강도 } (\sigma_c) = \text{최대하중}(N) / (7.5 \times 7.5) \text{mm}^2 = 0.018 \times \text{최대하중}(N) / \text{mm}^2 \dots (1)$$

$$\text{휨강도 } (\sigma_f) = (3 \times \text{최대하중}(N) \times L) / (2 \times b \times d^2) \dots (2)$$

여기서 L은 지지대 사이의 거리, b는 시편의 너비, d는 시편의 두께이다.



(a) Schematic diagram of strength measuring method



(b) Photo of measuring flexural strength

Fig. 11. Compressive/flexural strength measuring equipment (Instron社, Model 5544)

라. 열전도율 측정

열전도율을 측정하기 위한 시편은 20×20×0.75cm 크기로 제조 하였으며, 제조된 시편은 열전도율 시험기(HC-074, EKO社, 일본)에 장착하여 측정하였다.

열전도율을 측정하기 위한 방법은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 “KS L 9016-보온재의 열전도율 측정방법“에 규정된 평판열류계법에 따라 시험하였다. Fig. 12의 평판열류계법은 시험체를 통과하는 열류량을 열류계로 측정하고, 그때의 시험체 온도차를 측정하여 열전도율을 구하는 방법이다. 이때 단열재의 시험편은 정사각형 혹은 원형으로 제작하여야 하며, 본 연구에서는 정사각형으로 제조하였다. 열전도율은 다음 식으로 계산될 수 있으며, l 은 시험체의 두께, R_c 는 시험체의 열저항이다. θ_1 및 θ_2 는 각각 시험체의 고온면의 온도 및 저온면의 온도이며, q 는 단위면적당 열류량(W/m^2), k , k_1 , k_2 는 열류계의 감도계수($W/m^2 \cdot V$), e , e_1 , e_2 는 열류계의 출력(V)이다.

$$\text{열전도율}(W/mK) = \frac{l}{R_c} \quad \dots \dots (1)$$

$$R_c = \frac{\theta_1 - \theta_2}{q} \quad \dots \dots (2)$$

$$q = k \times e = \frac{1}{2} (k_1 \times e_1 + k_2 \times e_2) \quad \dots (3)$$

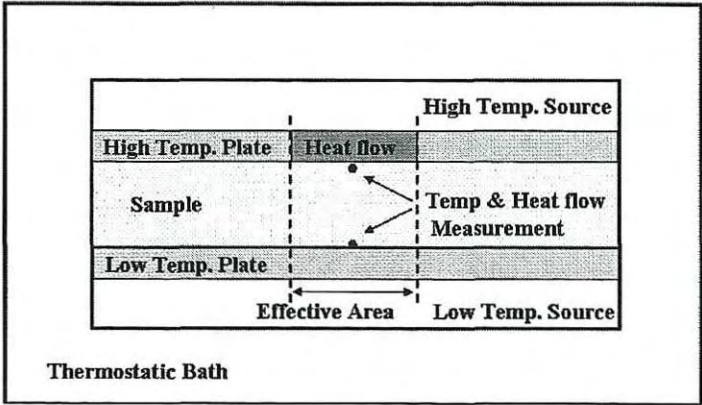


Fig. 12 Theory of measuring thermal conductivity

마. 기공 특성 평가

제조된 패널의 기공 및 비표면적 특성을 평가하기 위해 Micromeritics社의 BET 장비 (Model명 TriStar 3000 V6.02A)를 사용하였다. BET는 다공성 소재의 기공 및 비표면적을 측정하기 위해 기체의 물리적 흡착법을 이용하며, 보통 BET가 측정할 수 있는 기공의 범위는 수Å에서 약 3000Å 수준으로 알려져 있으나, 대부분 20Å에서 1000Å 범위에서 측정하고 있다. BET는 질소 가스를 시료에 흐르게 할때 흡착된 질소 가스를 검출하는 것을 주요 원리로 한다. 또한 샘플 병(시스템 셀) 내부에 위치시킨 시료의 가스 흡착은 대기압(P_0)을 기준으로 질소 가스의 압력(P)을 변화시켜 가면서 여러 번 측정한다. 흡착과정은 시료가 장착된 샘플 병이 액체 질소 통에 들어간 다음 실시하며, 액체 질소 온도에서 흡착된 질소 가스는 샘플 병이 액체 질소 통에서 나온 후 탈착되기 시작한다. 이때 탈착 가스의 양을 측정한다. 보통 질소 가스 압력(P)의 변화는 상기의 흡탈착이 한 사이클 종료된 후 이루어져야 한다. 이렇게 반복된 압력 조건에서 질소의 흡착량과 탈착량을 계산하여 비표면적, 기공크기 및 기공량 등을 구한다.

바. 흡수율과 비중

제조된 패널의 흡수율과 비중을 측정하기 위해 아르키메데스법을 기본으로 하였으며, 유체는 물을 사용하였다. 이 방법은 KS L 3114의 “내화벽돌의 겉보기 기공율·흡수율 및 비중측정 방법”으로 규정된 시험 방법이다.

패널의 일부를 취하여 $110\pm5^\circ\text{C}$ 의 항온기 중에서 건조하고 항량이 되었을 때의 무게를 건조무게(W_1)를 측정한다. 건조무게를 측정한 시편을 증류수에 담가 3시간 이상 끓이고 실은까지 냉각한다. 이 시료를 포수시료라고 하며, 포수시료를 물속에서 무게를 측정하여 수중무게(W_2)라고 한다. 포수시료를 물속에서 꺼내 젖은 형질으로 표면을 닦고 무게를 달아 포수시료의 무게(W_3)를 측정한다. 시료의 겉보기 비중(D_a)은 식 (1), 패널의 부피비중(D_b)은 식 (2), 겉보기 기공율(P_o)은 식 (3) 및 흡수율(A_w)은 식 (4)로 계산한다.

$$D_a = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \dots (1)$$

$$D_b = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \dots (2)$$

$$P_o = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \times 100 \dots (3)$$

$$A_w = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100 \dots (4)$$

제 2 절 실험결과 및 고찰

1. 출발 원료 특성 분석 및 평가

가. 원료의 화학성분 분석

본 연구의 기능성 패널 제조를 위해 사용된 원료는 소석회, 백시멘트, 규석 등이며, 이들 원료에 대한 화학분석 결과를 Table 6에 나타내었다. Table 6에서와 같이 소석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 주성분인 CaO가 69.50%, LOI(Loss on Ignition, 강열감량)가 26.90% 이었다. LOI는 수산화칼슘 중의 H_2O 로부터 기인하며, 이는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 약 400~500℃에서 CaO와 H_2O 로 분해되기 때문이다. 규석의 SiO_2 함량은 93.80%이었으며, Al_2O_3 함량은 3.08%이었다. 백시멘트의 주성분인 CaO 함량은 68.42%, SiO_2 함량은 22.80%, Al_2O_3 함량은 6.16%이었다. 또한 백시멘트의 Fe_2O_3 함량은 백색도 발현을 위해 일반 시멘트(3~5%)보다 매우 낮은 수준(0.26%)으로 관리되고 있었다.

다공성 원료로는 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트 등을 사용하였다. 규조토는 철원지역의 제4기 규조토와 중국산 규조토를, 벤토나이트는 화순 및 포항 지역, 제올라이트는 경주 및 포항 지역산을 입수·분석하였으며, 이 결과를 Table 7에 나타내었다. 규조토의 주성분인 SiO_2 함량은 66.60~91.15%이었으며, 강열감량은 0.22~9.53%로 넓게 분포하고 있었다. 이러한 분석 결과는 Table 2에 나타난 포항-감포지역의 강열감량 및 SiO_2 함량과 유사한 결과치이기도 하다. 철원(G)의 경우, SiO_2 함량이 66.60%로 낮은 수준이었으나, 철원(P), 중국(W) 및 중국(P)는 88% 전후 수준이었다. 또한 Al_2O_3 함량은 반대의 경향을 나타내어, 철원(G) 15.40% 및 철원(P) 6.11%, 중국(W) 4.20%, 중국(P) 2.96%로 분석되었다. 특히 강열감량은 철원(G) 9.53% 및 철원(P) 3.17%를 나타내었으나, 중국(W) 0.22% 및 중국(P) 0.24%로 매우 낮게 분석되어, 중국 규조토는 열처리 가공 후 수입된 것으로 판단되었다. 알카리 중 Na_2O 함량은 철원(G) 0.78%, 철원(P) 0.17%, 중국(W) 1.25%, 중국(P) 0.40%이었으며, K_2O 함량은 철원(G) 2.15%, 철원(P) 1.12%, 중국(W) 1.85%, 중국(P) 0.70%이었다. 이들 알카리를 Na_2O 를 기본으로 한 총알카리 함량($\text{Na}_2\text{O}+0.65\text{K}_2\text{O}$)으로 환산한 경우, 철원(G) 2.17%, 철원(P) 0.90%, 중국(W) 2.45%, 중국(P) 0.89%이었다.

벤토나이트의 SiO_2 함량은 75.0%(H) 및 60.6%(P)이었으며, Al_2O_3 함량은 14.8%(H) 및 16.3%(P)이었다. 알카리 중 Na_2O 함량은 0.23%(H) 및 1.71%(P), K_2O 함량은 4.94%(H) 및 1.99%(P)이었다. Na_2O 를 기본으로 한 총알카리 함량($\text{Na}_2\text{O}+0.65\text{K}_2\text{O}$)은 3.44%(H) 및 3.00%(P)

Table 6. Chemical composition of slaked lime, quartz and white cement (unit : wt.%)

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

Table 7. 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	Cheolwon(G)	66.60	15.40	3.64	0.36	2.15	0.78	9.53
	Cheolwon(P)	86.70	6.11	2.07	0.09	1.12	0.17	3.17
	China(W)	88.01	4.20	1.37	0.23	1.85	1.25	0.22
	China(P)	91.15	2.96	1.48	0.25	0.70	0.40	0.24
Bentonite	Hwasoon(H)	75.00	14.80	1.51	0.03	4.94	0.23	3.14
	Pohang(P)	60.60	16.30	5.24	2.62	1.99	1.71	8.00
Zeolite	Kyungjoo(K)	70.30	13.60	1.29	2.51	3.17	1.93	5.76
	Pohang(P)	63.20	15.70	3.72	2.54	2.15	2.18	7.64

이었다. 벤토나이트의 강열감량은 3.14%(H) 및 8.0%(P)로 규조토와 유사한 수준이었다. 제올라이트의 SiO₂ 함량은 70.3%(K) 및 63.2%(P), Al₂O₃ 함량은 13.6%(K) 및 15.73%(P)이었으며, 강열감량은 3.14%(K) 및 8.0%(P)로 분석되었다. 알카리 중 Na₂O 함량은 1.93%(K) 및 2.18%(P), K₂O 함량은 3.17%(K) 및 2.15%(P)이었으며, Na₂O를 기본으로 한 총알카리 함량(Na₂O+0.65K₂O)은 3.99%(K) 및 3.58%(P)이었다.

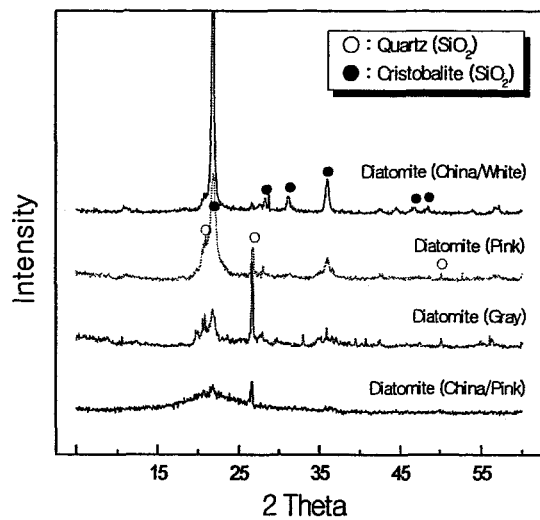
각각의 다공성 원료들의 주요 화학성분(SiO₂, Al₂O₃ 및 CaO 등)간 상관성을 도출하기는 어려움이 있었으나, 총 알카리 함량은 규조토에서 가장 낮은 값을 나타내었으며, 제올라이트에서 가장 높은 값을 나타내는 특징이 도출되기도 하였다. (평균 기준 : 규조토 1.60%, 벤토나이트 : 3.22%, 제올라이트 : 3.79%) 일부 문헌에서는 제올라이트질 벤토나이트가 일반적인 벤토나이트보다 알카리 함량이 높다고 보고되고 있기도 하다.

나. 다공성 원료의 결정학적 특징 및 미세구조

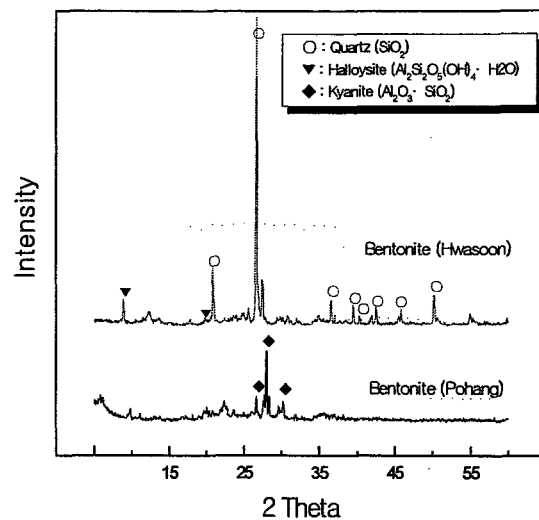
대표적 다공성 원료인 규조토는 주로 quartz(SiO_2) 피크가 주로 검출되었으며, 이외에도 cristobalite(SiO_2)도 검출되었다. 철원(G)의 경우, quartz 피크가, 철원(P)는 cristobalite 피크가 주피크를 형성하였다. 중국(W)는 cristobalite 피크가 관찰되었으나, 중국(P)는 $20\sim 30^\circ$ 부근이 브로드하게 올라가는 비정질 피크가 주로 관찰되었다. 규조토의 상기 피크들은 Noh 등이 분석한 XRD patterns과도 잘 일치하는 결과이기도 하다.¹³⁾ 벤토나이트는 화순 벤토나이트에서 quartz 피크와 halloysite 피크가 주로 관찰되었으며, 포항 벤토나이트는 kyanite 피크와 quartz 피크도 관찰되었다. 제올라이트의 주피크는 clinoptilolite, paragonite, montmorillonite 및 quartz 등이었다. 또한 벤토나이트와 제올라이트는 약간의 비정질 특성을 보여주기도 하였다.

(Halloysite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Kyanite $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, Clinoptilolite $(\text{Na}, \text{Ca})(\text{Al}_2\text{SiO}_{18})6\text{H}_2\text{O}$ Paragonite $\text{NaAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{SiO}_2$, Montmorillonite $\text{Na}_{0.5}\text{Al}_6(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$)

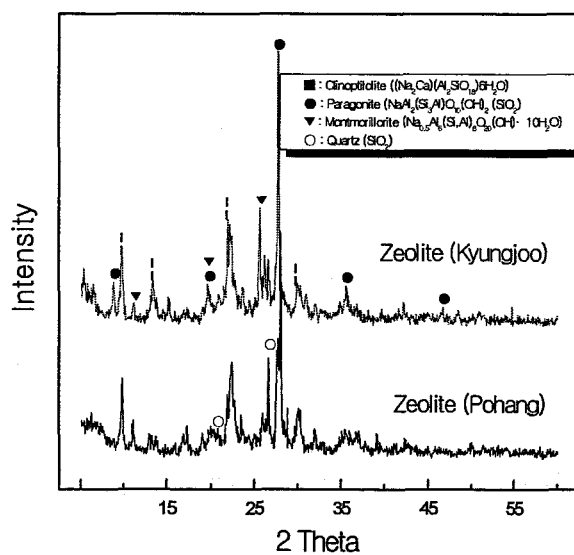
규조토의 미세구조는 Photograph 1에 나타내었다. XRD patterns에서는 국내 규조토와 중국산 규조토는 유사한 형태를 나타내었으나, 주사전자현미경을 통해 관찰한 미세구조는 큰 차이를 나타내었다. 중국 규조토는 전형적인 규조의 형태를 유지하고 있었으나, 국내 철원 규조토는 규조의 형태를 관찰할 수 없는 변질 형태이었다. 이는 철원지역 규조토의 경우, 형태와 구조가 완전히 와해·변질된 상태로 존재하기 때문이며, 이는 Table 2의 포항-홍해 지역산 규조토와 유사한 특성으로 판단되었다. 또한 포항-홍해 지역의 일부 규조토와 유사하게 국내 철원 규조토의 SiO_2 함량이 낮게 분석되어, 대표적 변질 규조토라고 간접 추측할 수도 있었다. (보통의 규조토는 SiO_2 함량이 85~94% 수준임.) 벤토나이트의 미세구조는 Photograph 2에 나타내었다. 포항 벤토나이트는 입자 표면이 울퉁불퉁한 만곡 현상(彎曲 現狀)을 이루고 있었으며, 또한 많은 기공을 관찰할 수 있었다. (이러한 표면 형태를 honey-comb texture라고 언급하기도 함.) 주사전자현미경으로부터 관찰된 이들 기공의 크기는 수십 나노에서 수천 나노미터임을 확인 하였다. 그러나 화순 벤토나이트는 입자들이 각이 져 있으며, 표면은 매끄러운 형태로 관찰되었다. 특히 고배율로 관찰한 주사전자현미경 사진에서도 기공이 관찰되지 않는 특징을 나타내었다. 제올라이트는 타원형 또는 구형의 형태를 가지고 있으며, 다수의 판상 입자들이 한개의 거대 입자($15\mu\text{m}$ 전후)를 형성하는 특징이 있었다. 이러한 특징은 경주 및 포항 지역의 제올라이트 모두에서 관찰되었다. 경주 제올라이트의 판상 두께는 포항 제올라이트보다 두꺼운 것으로 관찰되었으며, 결정성도 양호하여 반자형 등의 결정 형태로 관찰되었다.



(a) Diatomite

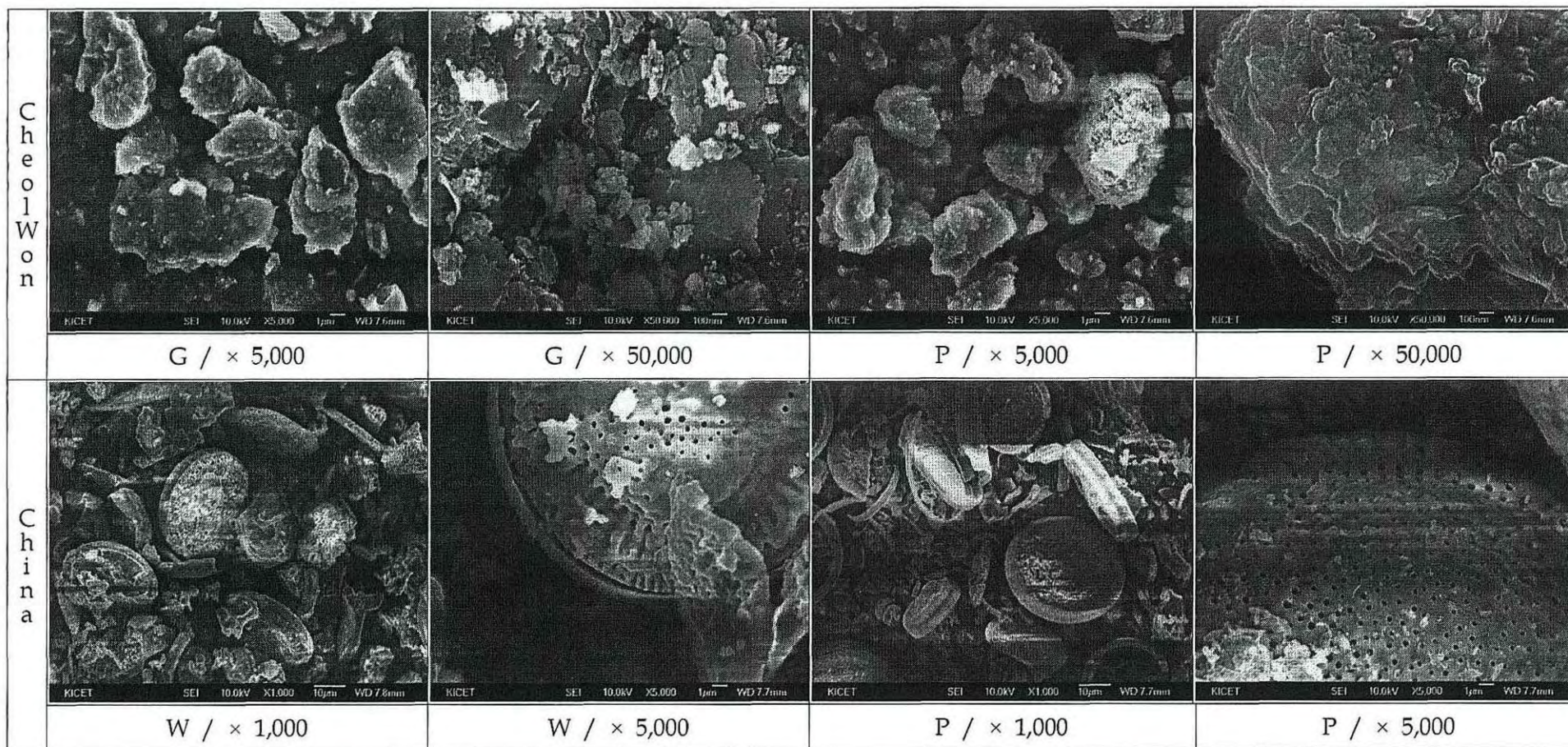


(b) Bentonite

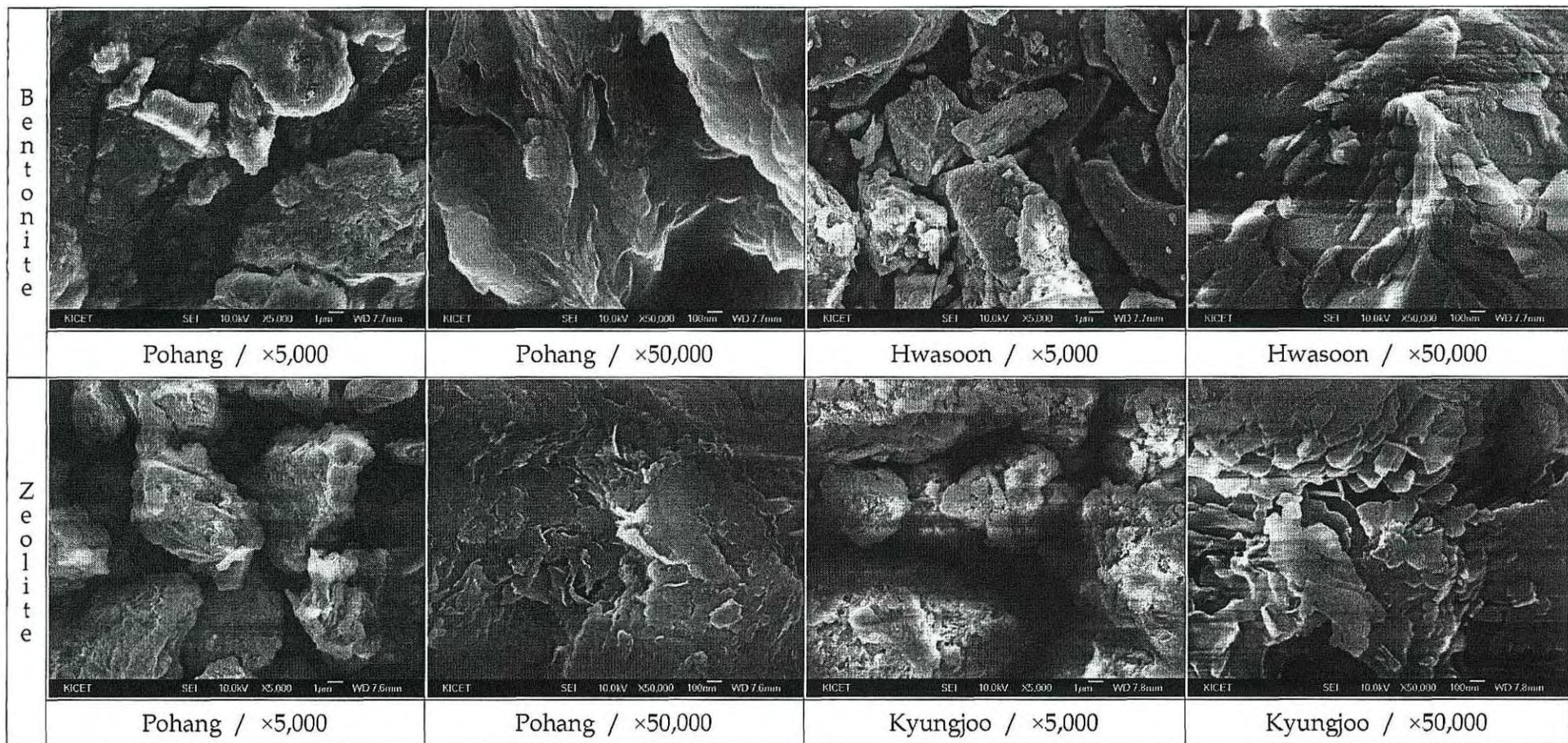


(c) Zeolite

Fig. 13 XRD Patterns of porous materials



Photograph 1. SEM micrographs of diatomite in Korea(Cheolwon) and China



Photograph 2. SEM micrographs of bentonite and zeolite

다. 다공성 원료의 입도 및 기공 특성

Laser법을 이용한 입도분석기로부터 얻어진 다공성 소재의 평균 입경 및 입도 범위를 Table 8에 나타내었다. 철원 규조토(G)의 평균 입경은 $17\mu\text{m}$, 입도 범위 $1.7\sim 83.4\mu\text{m}$ 이었으며, 규조토(P)의 평균 입경은 $12\mu\text{m}$, 입도 범위 $0.04\sim 97.1\mu\text{m}$ 이었다. 철원 규조토 G와 P의 평균 입경은 큰 차이가 없었으며, 입도 범위 또한 비슷한 수준이었다. 중국 규조토(P)의 평균 입경은 $21\mu\text{m}$, 입도 범위 $2.4\sim 47.9\mu\text{m}$, 중국 규조토(W)의 평균 입경은 $17\mu\text{m}$, 입도 범위 $1.2\sim 57.8\mu\text{m}$ 으로, 중국(W)와 중국(P)의 평균 입경 차이는 $4\mu\text{m}$ 로 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 중국 규조토(P)와 철원 규조토(P)의 평균 입경 차이는 $9\mu\text{m}$ 수준(중국 규조토 평균 입자크기가 약 75% 증가)이었으며, 이는 각 입자들의 Photograph 1을 통해서도 확인할 수 있는 결과이기도 하다. 화순 벤토나이트의 평균 입경은 $15\mu\text{m}$, 입도 범위 $1.8\sim 57.8\mu\text{m}$ 이었으며, 포항 벤토나이트의 평균 입경은 $12\mu\text{m}$, 입도 범위 $0.04\sim 76.4\mu\text{m}$ 이었다. 경주 제올라이트의 경우 평균 입경은 $15\mu\text{m}$, 입도 범위 $0.04\sim 69.6\mu\text{m}$ 이었으며, 포항 제올라이트의 평균 입경은 $14\mu\text{m}$, 입도 범위는 $1.1\sim 57.8\mu\text{m}$ 이었다.

본 연구의 다공성 원료 입도분석 결과, 대부분의 원료들은 평균 입경이 $15\mu\text{m}$ 전후로 큰 차이를 나타내지 않았으나, 중국 규조토(P)는 평균 입자 크기가 $20\mu\text{m}$ 를 상회하는 수준을 나타내었다.

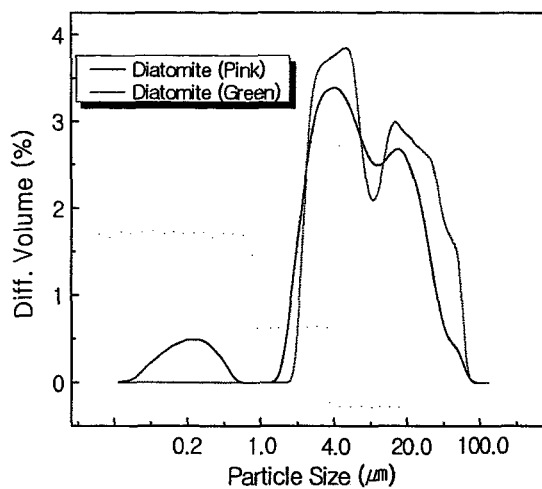
Table 8. Particle size characteristics of porous materials

(a) Diatomite

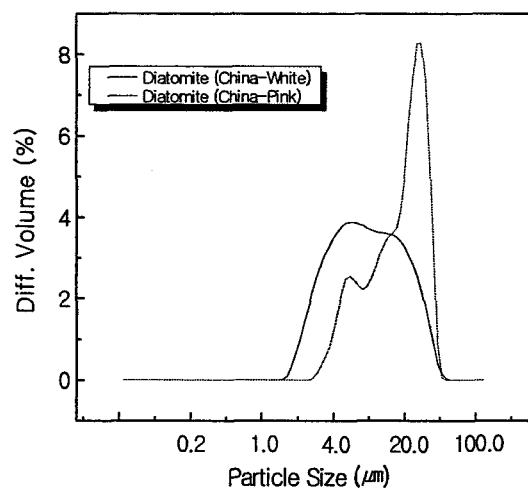
Classification	Diatomite			
	Cheolwon (G)	Cheolwon (P)	China (W)	China (P)
Mean dia. (μm)	17	12	17	21
Particle size range (μm)	1.7~83.4	0.04~97.1	1.2~57.8	2.4~47.9

(b) Bentonite / Zeolite

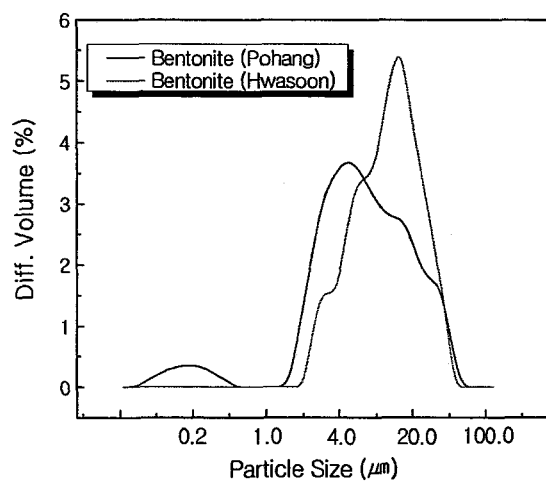
Classification	Bentonite		Zeolite	
	Hwasoon (H)	Pohang (P)	Kyungjoo (K)	Pohang (P)
Mean dia. (μm)	15	12	15	14
Particle size range (μm)	1.8~57.8	0.04~76.4	0.04~69.6	1.1~57.8



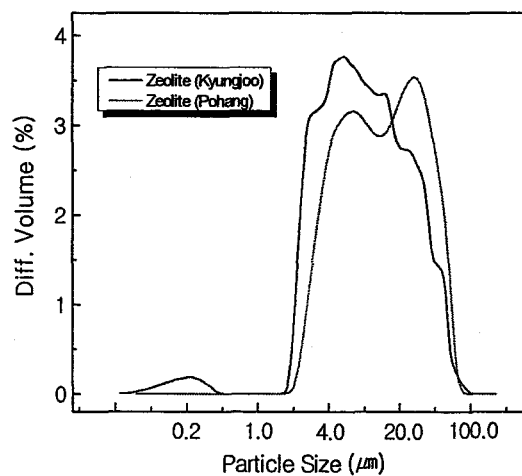
(a) Cheolwon Diatomite



(b) China Diatomite



(c) Bentonite



(d) Zeolite

Fig. 14 Particle size distribution of porous materials

대표적 비표면적 측정 장비인 BET를 사용하여 다공성 분말의 비표면적 및 기공특성을 측정하였고, 이를 Table 9와 Fig. 15, 16에 나타내었다.

본 연구에 사용한 철원 규조토는 비표면적이 $59\text{m}^2/\text{g}(\text{G})$ 및 $68\text{m}^2/\text{g}(\text{P})$ 이었으며, 중국 규조토의 비표면적은 $6\text{m}^2/\text{g}$ 이었다. 철원 규조토의 비표면적이 중국 규조토보다 약 10~11배 높은 수준의 큰 차이를 나타내는 것으로, 이는 중국 규조토의 규조 종 형태와 미세 공극이 다른 규조 종에 비해서 비표면적이 작게 발달한 특성과 철원 규조토가 중국 규조토보다 작은 평균 입경을 갖고, 기공 부피가 증가하는 것으로부터 기인한다고 추정된다.¹³⁾ 즉 입자가 미립화 될 경우, 미립화에 따른 입자 자체의 비표면적 증가 및 미립화 전 입자 내부에 존재하던 폐기공(closed pore)의 표면 기공화, 즉 개기공(open pore)으로 변화하여 표면적 증가에 일조하기 때문으로 판단된다. 또한 철원 규조토는 규조토 자체의 모습을 유지하지 못하고 완전 변태되었고, 점토/규석질이 혼입되기도 하였으며, 포항 벤토나이트와 유사한 표면 만곡현상(규조토 P) 또는 일부 층상현상(규조토 G)을 보여주고 있다. 상기의 다양한 영향으로 인하여 철원 규조토의 표면적은 증대될 수 있었을 것이다.

Table 9. Specific surface area and pore characteristics of porous materials

(a) Diatomite

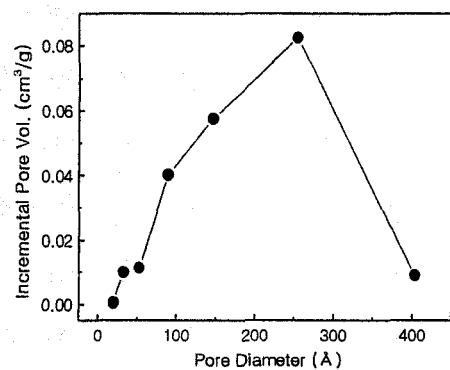
Classification	Diatomite			
	Cheolwon (G)	Cheolwon (P)	China (W)	China (P)
Specific surface area(m^2/g)	59	68	6	6
Pore Vol.(cm^3/g)	0.21	0.22	0.02	0.03

(b) Bentonite and zeolite

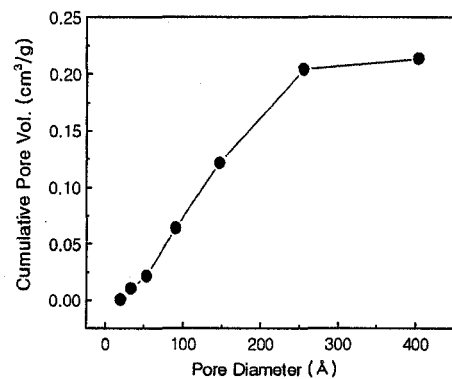
Classification	Bentonite		Zeolite	
	Hwasoon (H)	Pohang (P)	Kyungjoo (K)	Pohang (P)
Specific surface area(m^2/g)	6	55	50	57
Pore Vol.(cm^3/g)	0.01	0.12	0.08	0.11

일반적으로 벤토나이트는 기공으로 구성된 honey-comb 구조와 표면 만곡현상을 특징으로 한다. 그러나 화순 벤토나이트는 규석질 원료가 많은 부분 혼입되어 표면이 매끄러운 저급의 벤토나이트 특징을 나타내었으며, 이에 따라 비표면적이 $6\text{m}^2/\text{g}$ 으로 매우 낮은 특성을 나타내었다. 상대적으로 포항 벤토나이트는 Photograph 2에서와 같이 입자 표면의 만곡현상 및 honey-comb 구조로 인하여 비표면적이 높은($55\text{m}^2/\text{g}$) 고급의 벤토나이트로 확인되었다. 제올라이트의 비표면적은 경주 $50\text{m}^2/\text{g}$, 포항 $57\text{m}^2/\text{g}$ 이었으며, 이는 이론적 고찰에서 검토한 천연 제올라이트의 비표면적($60\sim 90\text{m}^2/\text{g}$)보다는 약간 낮은 값이다.

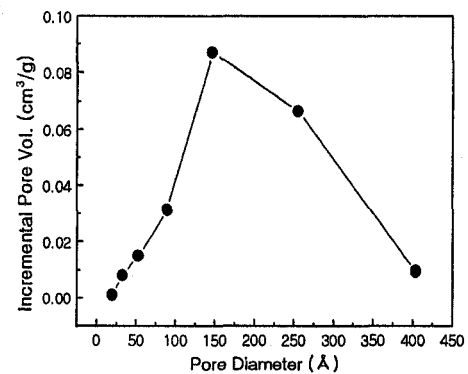
다공성 원료의 입자 내에 존재하는 기공의 부피는 중국 규조토(W, P) 및 화순 벤토나이트에서 $0.01\sim 0.03\text{cm}^3/\text{g}$ 이었으며, 이외 원료들에서는 $0.08\sim 0.22\text{cm}^3/\text{g}$ 수준이었다. 이들 각각의 다공성 원료들에 대한 비표면적과 기공부피 값과의 상관성을 도출할 경우, 상관관계계수(r)는 0.88로 높게 산출되었다.¹³⁾ 이는 다공성 원료의 기공 부피가 비표면적 증가에 충분히 영향을 줄 수 있음을 증명하는 결과라고 사료되었다. 수분의 흡탈착에 영향을 줄 수 있는 $100\text{\AA}$ 수준의 기공 부피를 분석할 경우에도 총 기공 부피의 증감과 유사한 경향성(양의 상관성)을 나타냄을 알 수 있었다. 즉 총 기공 부피가 증가할수록 $100\text{\AA}$ 이하의 기공 부피도 증가하는 경향을 나타내었다. $100\text{\AA}$ 이하에 존재하는 대략의 기공 부피는 철원 규조토(G, P) $0.06\text{cm}^3/\text{g}$, 중국 규조토(W) $0.009\text{cm}^3/\text{g}$, 중국 규조토(P) $0.015\text{cm}^3/\text{g}$ 이었다. 이외에도 화순 벤토나이트 $0.004\text{cm}^3/\text{g}$, 포항 벤토나이트 $0.04\text{cm}^3/\text{g}$, 경주 제올라이트 $0.028\text{cm}^3/\text{g}$, 포항 제올라이트 $0.05\text{cm}^3/\text{g}$ 등 이었다.



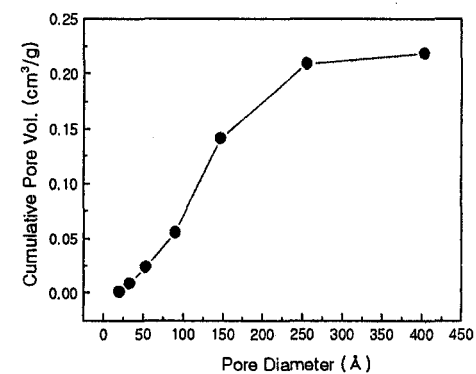
(a) Pore distribution (C-G)



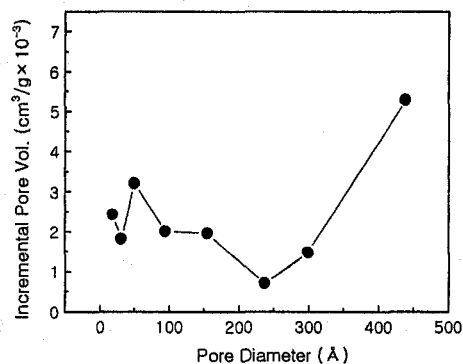
(b) Cumulative Pore Vol. (C-G)



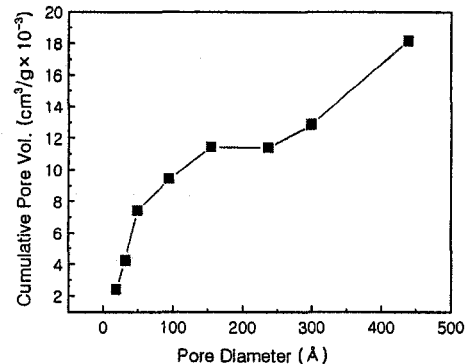
(c) Pore distribution (C-P)



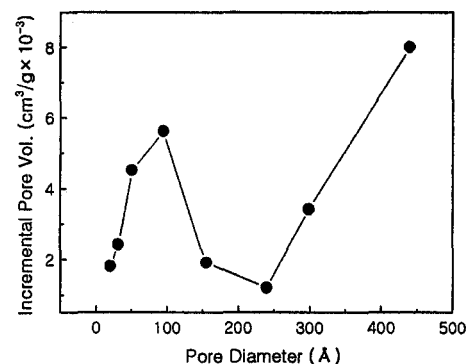
(d) Cumulative Pore Vol. (C-P)



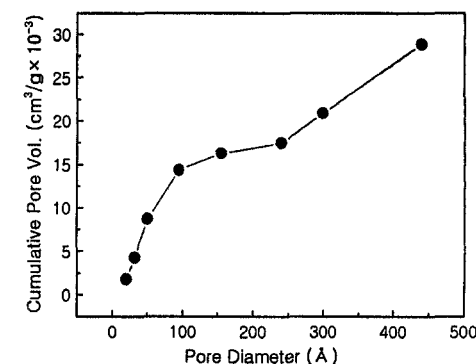
(e) Pore distribution (Ch-W)



(f) Cumulative Pore Vol. (Ch-W)



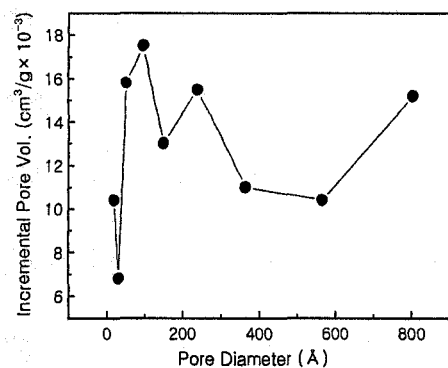
(g) Pore distribution (Ch-P)



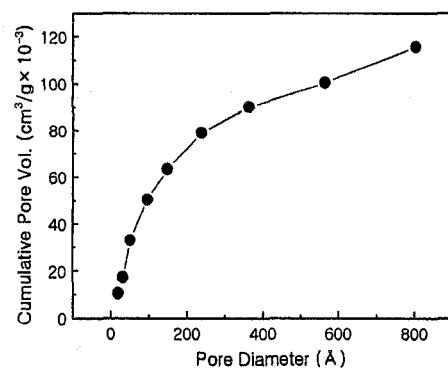
(h) Cumulative Pore Vol. (Ch-P)

Fig. 15 Pore distribution and cumulative pore vol. of diatomite in korea(Cheolwon) and china

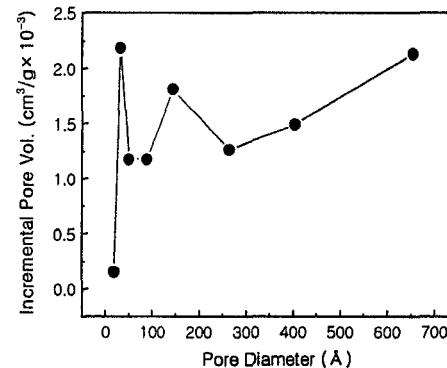
(C-G : Cheolwon Gray, C-P : Cheolwon Pink, Ch-W : China White, Ch-P : China Pink)



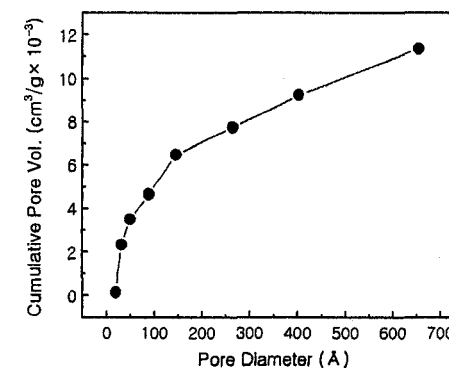
(a) Pore distribution (P-B)



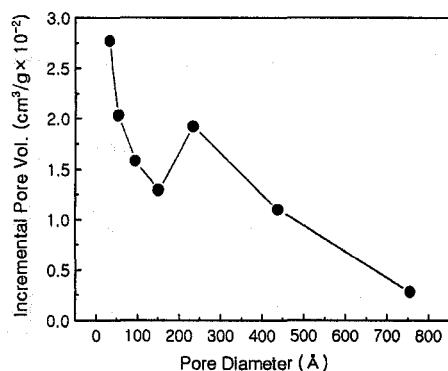
(b) Cumulative Pore Vol. (P-B)



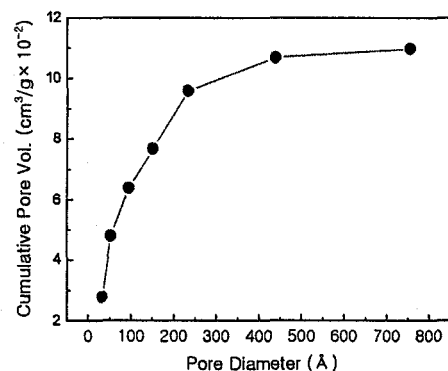
(c) Pore distribution (H-B)



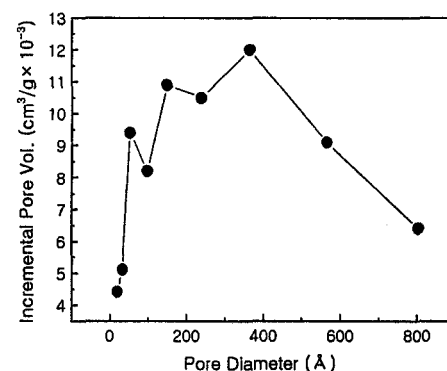
(d) Cumulative Pore Vol. (W-B)



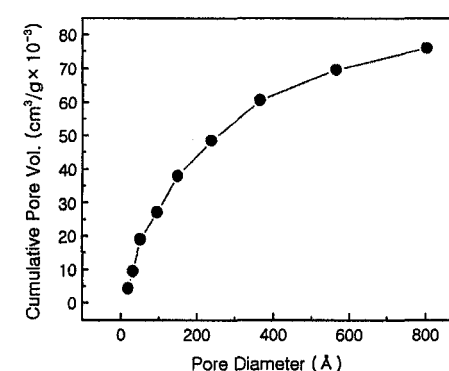
(e) Pore distribution (P-Z)



(f) Cumulative Pore Vol. (P-Z)



(g) Pore distribution (K-Z)



(h) Cumulative Pore Vol. (K-Z)

Fig. 16 Pore distribution and cumulative pore vol. of diatomite in korea(Cheolwon) and china
(P-B : Pohang Bentonite, H-B : Hwasoon Bentonite, P-Z : Pohang zeolite, K-Z : Kyungjoo Zeolite)

라. 다공성 원료의 흡방습 특성

분말의 흡방습 특성은 분말 시료 500g을 온도 23℃, 상대 습도 45% 조건에서 항량이 될 때까지 유지하여 무게(m_0)를 측정하고, 무게 측정 후 상대 습도를 70%로 상승시켜 24시간 동안 유지하여 무게(m_a)를 측정한다. 이후 상대 습도를 45%로 하향 조정하여 24시간 동안 유지한 후 무게(m_d)를 측정한다. 이때 분말에 흡습된 양($m_a - m_0$)을 분말의 수분 흡습량으로, 방습된 양($m_a - m_d$)을 분말의 방습량으로 규정하였으며, 이를 %로 환산하였다.(Table 10 참조)

다공성 원료의 흡습량은 최소 3.6에서 최대 36.8%이었으며, 방습량은 최소 3.1%에서 최대 36.4%를 나타내었다. 포항 제올라이트 및 벤토나이트의 경우 흡습량 및 방습량이 30%를 상회하였으며, 철원 규조토는 24~28%의 흡습량 및 15.8~25%의 방습량을 나타내었다. 화순 벤토나이트의 흡습량은 3.6% 및 방습량은 3.1%로 매우 낮은 값을 나타내었으며, 이는 Photograph 2에서와 같이 화순 벤토나이트의 입자는 표면이 매끄럽고, 기공이 관찰되지 않기 때문으로 판단된다. 또한 Table 9에서와 같이 화순 벤토나이트의 pore vol.은 $0.01\text{cm}^3/\text{g}$, 비표면적 $6\text{m}^2/\text{g}$ 으로 매우 낮은 값을 나타내어, 수분 흡습이 가능한 기공량 및 비표면적이 매우 적음을 확인할 수도 있었다.

다공성 원료의 흡습 특성 및 방습 특성과 pore vol.과의 상관성을 도출할 경우, 상관관계계수(R)은 0.73 및 0.57을 나타내었으며, 비표면적과의 상관관계계수(R)은 0.93 및 0.83 이었다. 즉 다공성 원료의 pore vol. 보다는 비표면적이 수분의 흡착/탈착에 좀 더 많은 영향을 주고 있음을 확인할 수 있는 결과이기도 하다. 그러므로 수분은 다공성 원료의 기공 뿐만 아니라 표면에도 다량 흡착되어, 수분의 흡착량을 증가시키고 있음을 확인할 수 있는 것이다.

Table 10. Moisture adsorption and desorption of porous materials

Materials		Moisture Adsorption (%)	Moisture Desorption (%)	Pore Vol. (cm^3/g)	Surface area (m^2/g)
diatomite	Cheolwon (P)	24.4	15.8	0.22	68
	Cheolwon (G)	28.2	25.0	0.21	59
	China (W)	10.1	7.9	0.02	6
	China (P)	9.5	7.3	0.03	6
Bentonite	Pohang	26.8	26.4	0.12	55
	Hwasoon	3.6	3.1	0.01	6
Zeolite	Pohang	33.7	32.6	0.11	57
	Kyungjoo	26.2	26.0	0.08	50

2. 패넬의 분석 및 평가

본 연구에서는 “제1절 실험방법 / 2. 패넬 제조 및 수열합성”에서 언급된 방법에 따라 1차 기본 실험으로 규석, 소석회($\text{Ca}(\text{OH})_2$)와 백시멘트 만을 사용하여, CaO/SiO_2 비를 0.5, 0.7, 0.9 및 1.1로 변화시켜 패넬을 제조하였다. 또한 CaO/SiO_2 의 비를 0.7로 고정한 혼합원료에, 국내외에서 채취된 다공성 원료인 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트 등을 혼합하여 패넬을 제조하였다. 이때 각각의 다공성 원료는 혼합원료 외할 기준으로 10%, 20% 및 30%를 첨가하였다. 제조된 패넬은 기본 물성으로 휨강도, 압축강도 등을 실험하였으며, 기능성으로는 흡방습 특성, 포름알데히드 흡착 기능, 열전도율 등을 분석하였다. 또한 미세구조 및 기공특성 등을 분석하여 이들 물성발현기구를 검토하고자 하였다.

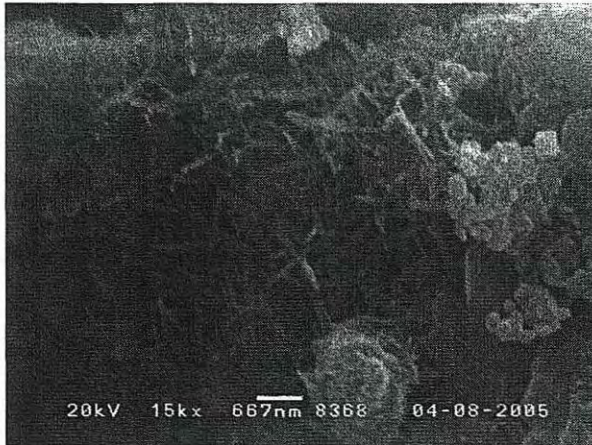
가. 패넬의 미세구조 및 결정 분석

패넬의 미세구조를 관찰하기 위해서 제조 조건별로 제작된 패넬의 일부분을 취하여 60°C 건조기에서 24시간 동안 유지한 후, MAC Science社(Model Sm-300)의 주사전자현미경(SEM)을 이용하였다.

(1) C/S 비에 따른 변화

1차 기본 실험인 CaO/SiO_2 비 (C/S 비)의 변화에 따른 패넬의 미세구조 사진을 Photograph 3에 나타내었다. C/S 비의 변화에 따라 생성되는 결정 형태도 크게 변화하였으며, 또한 2가지 이상의 결정상이 혼재하여 존재하였다. C/S 비가 0.5인 패넬에서는 굴곡이 있는 막(crumple foil)인 C-S-H (I) 형의 결정이 존재하였으며, 소량의 판상 토베모라이트 결정이 관찰되었다. C/S 비가 0.7인 패넬에서는 판상의 토베모라이트 결정과 소량의 C-S-H (I) 형의 결정이 혼재하였다. C/S 비가 0.9인 패넬에서는 판상의 토베모라이트와 C-S-H (I) 형의 결정 및 lath형(또는 fiber 형)의 결정이 존재하였다. 그러나 C/S 비가 1.1인 경우에는 판상의 토베모라이트 결정이 거의 소멸하고, 대부분이 lath형 또는 fiber 형으로 변태하는 특징을 나타내었다. 또한 C-S-H 겔로 추정되는 물질이 관찰되기도 하였다. 일반적으로 토베모라이트족 광물은 토베모라이트 및 C-S-H 상으로 구성되며, 토베모라이트는 층간 거리에 따라 14, 12, 11, 10, 9Å 등의 다양한 결정으로 구분할 수 있고, C-S-H 상은 C-S-H (I) 형의 결정, C-S-H (II) 형의 결정 및 비정질의 C-S-H gel 등으로 구분할 수 있다. 토베모라이트는 전형적으로 판상이나 lath형으로 존재하며, 일부 fiber 형태로 관찰되기도 한다. C-S-H (I) 형의 결

정은 굴곡이 있는 막(crumple foil)의 형태이며, C-S-H (II) 형의 결정은 일반적인 막의 형태로 존재한다. 또한 C-S-H (I) 형의 결정은 C/S 비가 1.5 이하인 경우, C-S-H (II) 형의 결정은 C/S 비가 1.5 이상인 경우에 생성되는 특징도 있다.



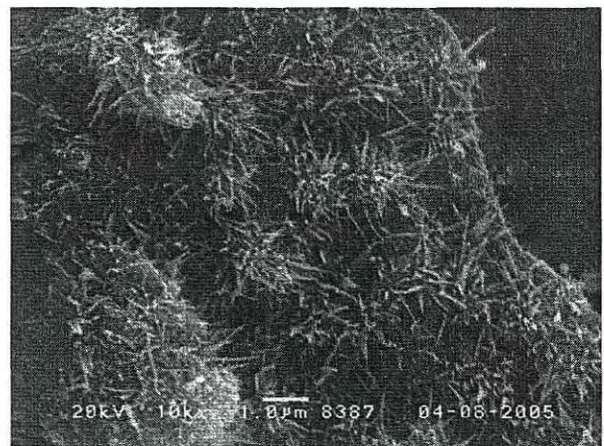
(a) $\text{CaO/SiO}_2 = 0.5$



(b) $\text{CaO/SiO}_2 = 0.7$



(c) $\text{CaO/SiO}_2 = 0.9$



(d) $\text{CaO/SiO}_2 = 1.1$

Photograph 3. SEM micrographs of panels with the CaO/SiO_2 ratios

Fig. 17은 C/S 비에 따라 제조된 패널의 XRD patterns 이다. C/S 비가 0.5에서 1.1로 증가함에 따라 quartz 피크의 intensity는 감소하였으며, C/S 비가 0.5에서 0.9까지는 토베모라이트 결정 및 Ca(OH)_2 피크는 서서히 증가하는 형태를 나타내었다.

Table 11은 C/S 비에 따른 quartz와 tobermorite 결정의 Intensity를 수치화 한 것으로, C/S 비가 0.5인 경우 quartz의 intensity는 2,750에서 (C/S 비 0.7은 2,042, C/S 비 0.9는 1,257) C/S 비가 1.1로 증가함에 따라 945로 감소하고 있음을 나타내고 있다. 이는 기본적으로 투입된 규석이 CaO 원료(소석회, 백시멘트)와 반응하여 토베모라이트의 결정 또는 겔로 생성되고 있음을 의미하는 것이며, 또한 최초 원료들의 배합과정에서 C/S 비의 증가에 따라 규석 투입비가 감소함에 따른 자연스러운 결과이기도 하다. 토베모라이트 결정의 intensity는 C/S 비 0.5에서 317, 0.7에서 352, 0.9에서 415 및 1.1에서 315를 나타내고 있으며, 이는 C/S 비가 0.9 조건에서 최대량의 토베모라이트 결정이 생성되었음을 입증하는 것이다. 특히 C/S 비가 1.1로 상승함에 따라 토베모라이트 결정의 intensity가 감소하는 것은 Photograph 3. (SEM micrographs of panels with the CaO/SiO₂ ratio)에서와 같이 결정형의 토베모라이트와 XRD patterns에서는 관찰하기 어려운 비정질의 C-S-H gel이 생성되기 때문으로 추측되어진다. 이에 따라 결정 생성량의 상대적 비교값인 Tobermorite/Quartz의 intensity ratio(%) 또한 0.9 이상에서는 증가하지 않는 경향을 보여주고 있다.

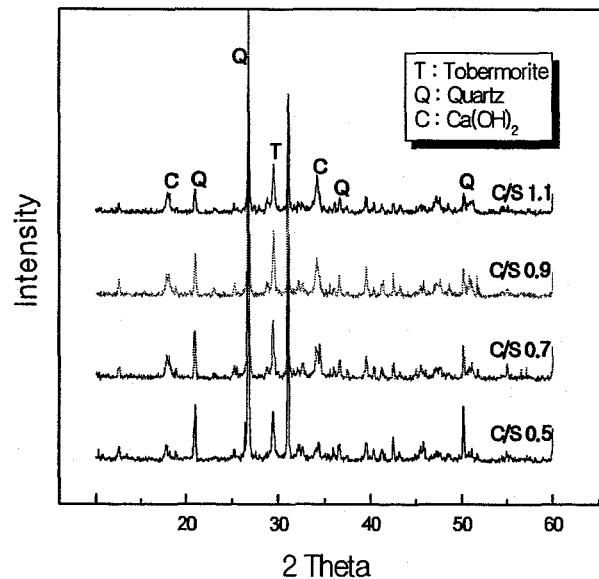


Fig. 17 XRD patterns of panels with the CaO/SiO₂ ratio

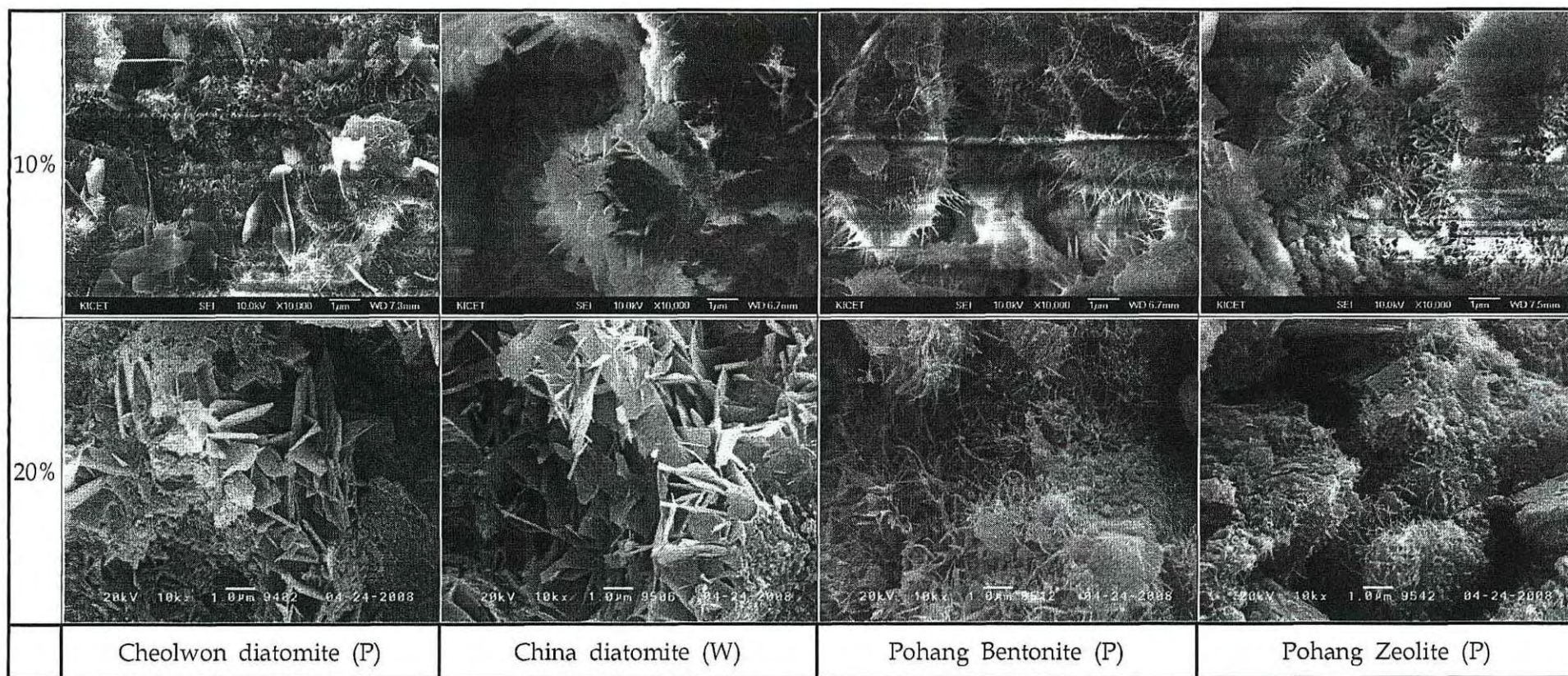
Table 11. XRD intensity of Quartz/Tobermorite crystals with the CaO/SiO₂ ratios

Crystal \ C/S ratio	0.5	0.7	0.9	1.1
Quartz ($\approx 26^\circ$)	2,750	2,042	1,257	945
Tobermorite ($\approx 29^\circ$)	317	352	415	315
Intensity ratio (T/Q %)	12	17	33	33

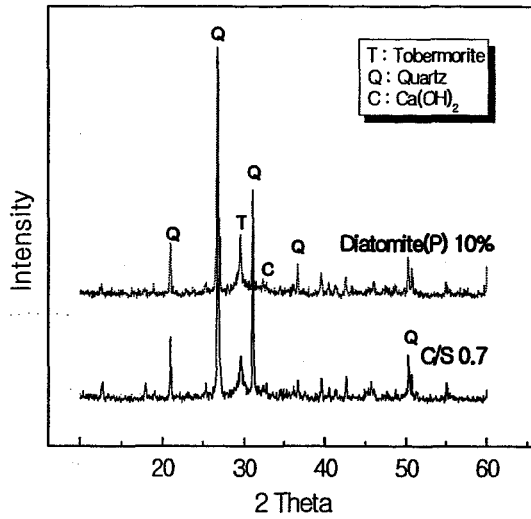
(2) 다공성 원료에 따른 변화

본 연구에서는 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트를 기본 배합비 기준으로 10%, 20% 및 30% 첨가하여 패널을 제조하였으며, 이들 패널에 대한 미세구조 및 결정성도 검토하였다.

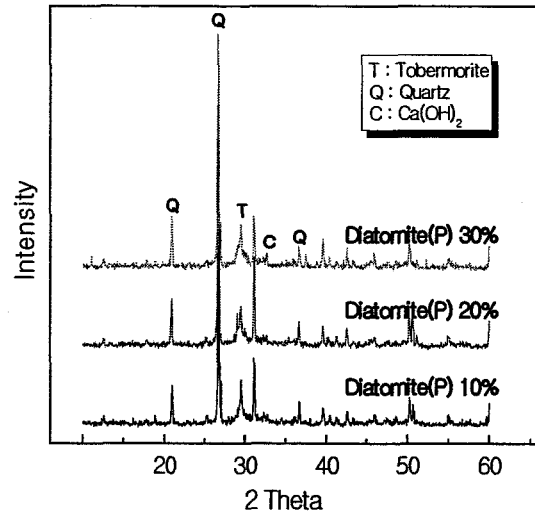
다공성 원료 10%를 첨가한 패널의 미세구조를 Photograph 4에 나타내었다. Photograph 4에서와 같이 다공성 원료의 첨가에 따라 패널의 미세구조는 판상의 토베모라이트 결정과 lath 또는 fiber 형태의 결정 및 C-S-H gel이 공존·성장했음을 확인할 수 있었다. 특히 판상의 결정과 lath(또는 fiber)형의 결정은 철원 규조토, 포항 벤토나이트 등에서 관찰이 용이하였으며, 중국 규조토는 판상의 토베모라이트 결정이 주로 관찰되었다. 포항 제올라이트는 판상의 토베모라이트 뿐만 아니라 lath(또는 fiber)형의 결정도 관찰되었다. 다공성 원료를 20% 첨가한 경우에도 비슷한 경향을 나타내었다. Fig. 17은 제조된 패널의 결정성을 확인하기 위해 측정한 XRD patterns이다. 이들 XRD patterns으로부터 분석된 결정은 토베모라이트, quartz 및 intensity가 낮은 Ca(OH)₂이었으며, 모든 패널에서 결정의 종류는 큰 차이를 나타내지 않았다. Fig. 17 (a)는 C/S 비를 0.7로 고정하고, 다공성 원료를 사용하지 않은 패널과 철원 규조토를 10% 첨가한 패널의 XRD patterns을 나타낸 것이다. 다공성 원료를 사용하지 않은 패널(C/S 0.7)보다는 규조토를 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 판단된다. 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 남아 있게 된다. 따라서 비표면적이 넓고, 활성이 우수한 다공성 원료를 적정량 첨가할 경우, 토베모라이트 결정 생성을 위한 반응이 용이해질 수 있다.



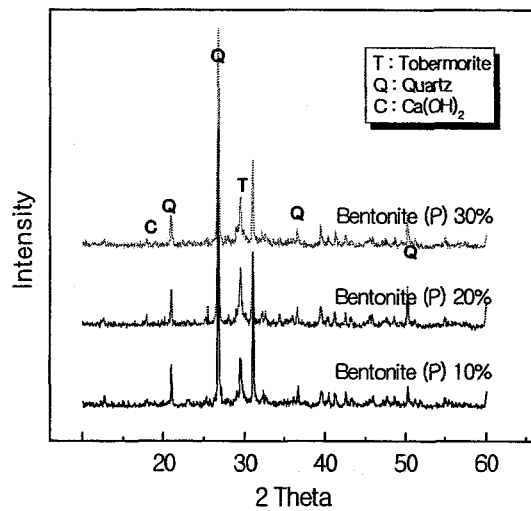
Photograph 4. SEM micrographs of panels with the kind and content of porous material



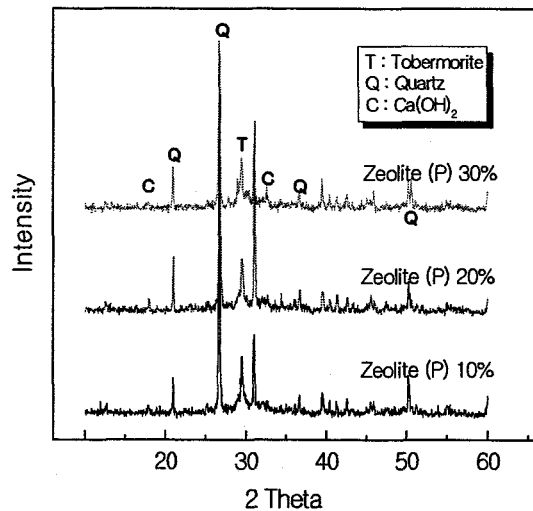
(a) C/S 0.7, Diatomite(P) 10%



(b) Diatomite (P) 10, 20, 30%



(c) Bentonite 10, 20, 30%



(d) Zeolite 10, 20, 30%

Fig. 18 XRD Patterns of panjels with the kind and content of porous materials

Table 12는 각각의 다공성 원료 10%, 20%, 30%를 첨가한 패널에서 생성된 결정의 intensity를 비교 분석한 결과이다. 다공성 원료 10%를 첨가한 경우, Table 12에서와 같이 토베모라이트 결정의 intensity는 385~402 수준으로 큰 차이를 나타내지 않았으며, Tobermorite/quartz의 intensity ratio 또한 23~31 수준의 값을 나타내었다. 그러나 quartz의 intensity는 다공성 소재를 첨가하지 않은 패널에서 2,042이었으며, 철원 규조토(P)에서 1462, 포항 벤토나이트 1725, 포항 제올라이트 1262 등이었다. 다공성 원료가 첨가되지 않은 패널에서 quartz 피크가 높은 이유는 기본적으로 규석의 투입량이 상대적으로 증가하여, quartz peak의 intensity 증가에 기여하기 때문이다. 더불어 다공성 원료 중에는 일부 비정질 SiO₂ 및 기타 결정들을 포함하여 quartz peak의 intensity 증진에 기여하지 못하는 부분도 있다. 다공성 원료 30%를 첨가한 경우에는 10% 첨가시보다 quartz 피크가 감소하는 경향을 나타내었으며, 토베모라이트 결정의 intensity도 소폭 감소하는 경향을 나타내었다.

나. 패널의 흡방습 특성

수열합성으로 제조된 20×20cm 패널의 흡방습을 측정·계산하기 위해 JIS A 1470-2002 (조습건재의 흡방습성 시험방법-제1부 습도응답법-습도변화에 의한 흡방습 시험방법)를 준용

Table 12. XRD intensity of Quartz/Tobermorite crystals with the kind of porous materials

(a) Porous materials ; 10%

Crystal \ C/S ratio	Cheolwon Diatomite(P)	Pohang Bentonite	Pohang Zeolite
Quartz (≒26°)	1462	1725	1262
Tobermorite (≒29°)	390	402	385
Intensity ratio (T/Q %)	27	23	31

(b) Porous materials ; 20%

Crystal \ C/S ratio	Cheolwon Diatomite(P)	Pohang Bentonite	Pohang Zeolite
Quartz (≒26°)	1455	1250	1282
Tobermorite (≒29°)	380	387	362
Intensity ratio (T/Q %)	26	31	28

(c) Porous materials ; 30%

Crystal \ C/S ratio	Cheolwon Diatomite(P)	Pohang Bentonite	Pohang Zeolite
Quartz ($\approx 26^\circ$)	1295	1232	845
Tobermorite ($\approx 29^\circ$)	385	375	330
Intensity ratio (T/Q %)	30	30	39

하여 실험하였다. 본 연구에서 제조된 패넬은 수분의 흡방습 시험면을 제외하고는 모두 알루미늄 테이프를 사용·밀봉하여, 시험면 이외에서 수분의 흡방출이 일어나지 않도록 철저히 밀봉하였다. 또한 측정값이 얻어진 후 수분의 흡방습량을 1m^2 으로 환산하기 위해 $25(0.2\text{m} \times 0.2\text{m} \times 25 = 1\text{m}^2)$ 를 곱해주었다.

Fig. 19는 C/S 비를 변화시킨 패넬의 수분 흡습 및 방습량을 나타낸 것이다. 수분의 흡습량은 약 $80\text{g}/\text{m}^2$ 수준이었으며, 방습량은 약 $40\text{g}/\text{m}^2$ 수준이었다. 또한 C/S 비가 0.7인 경우, 가장 높은 흡습 특성을 보여 주었으나, 흡습량의 차이는 약 $10\text{g}/\text{m}^2$ 수준으로 그 차이가 크게 발생하지 않았다. 특히 C/S 비가 0.5인 경우, 가장 낮은 흡습량을 나타내었으며, 0.7 이상에서는 거의 유사한 특성을 발현하였다. C/S 비의 변화에 따라 도출된 흡습량은 본 연구의 목표치 $80\text{g}/\text{m}^2$ 와 유사하나, 방습량은 목표치인 $60\text{g}/\text{m}^2$ 수준을 만족하지 못하는 수준이었다. 즉 수열합성법(ALC 제조법)에 따라 CaO source인 소석회, 시멘트와 SiO_2 source인 규석만을 사용하고, C/S 비를 변화시키는 것만으로는 방습 특성이 발현되기 어려움을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 수분의 흡습과 방습이 용이한 다공성 원료의 도입을 필수적으로 검토하게 되었다.

다공성 원료(규조토, 벤토나이트, 제올라이트 등)를 사용한 패넬의 수분 흡방습 특성을 Fig. 20에 나타내었다. Fig. 19에서와 같이 다공성 원료의 사용에 따라 수분의 흡방습성이 크게 향상됨을 확인할 수 있었으며, 특히 포항 제올라이트 및 철원 규조토 등의 흡습 및 방습 특성이 우수하였다. 포항 제올라이트 10% 패넬의 흡습량은 약 $184\text{g}/\text{m}^2$ 수준이었으며, 철원 규조토 (P) 10% 패넬의 흡습량은 약 $170\text{g}/\text{m}^2$ 이었다. 또한 포항 제올라이트의 방습량은 약 $105\text{g}/\text{m}^2$ 로, 본 연구의 목표치 $60\text{g}/\text{m}^2$ 를 크게 상회하는 수준이었다. 대부분의 패넬에서 다공성 원료를 10% 첨가한 경우, 우수한 흡습 및 방습 특성을 발현하였다.

Table 13은 다공성 원료의 종류 및 함량별 패넬의 비표면적과 기공 부피를 나타낸 것이다. 포항 제올라이트 10% 패넬에서 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

29m²/g, 기공 부피 0.11cm³/g이었으나, 30%에서는 이보다 감소하였다. 포항 벤토나이트는 첨가량 조건에 따라 큰 차이가 도출되지 않았으나, 비표면적이 미미하게 감소하였다. 즉 다공성 원료의 첨가량 증가에 따라 비표면적과 기공 부피가 감소하는 일반적 특징을 나타내었으며, 이러한 비표면적과 기공 부피 감소는 최종적으로 수분의 흡습 및 방습 능력을 낮출 것으로 판단되었다.

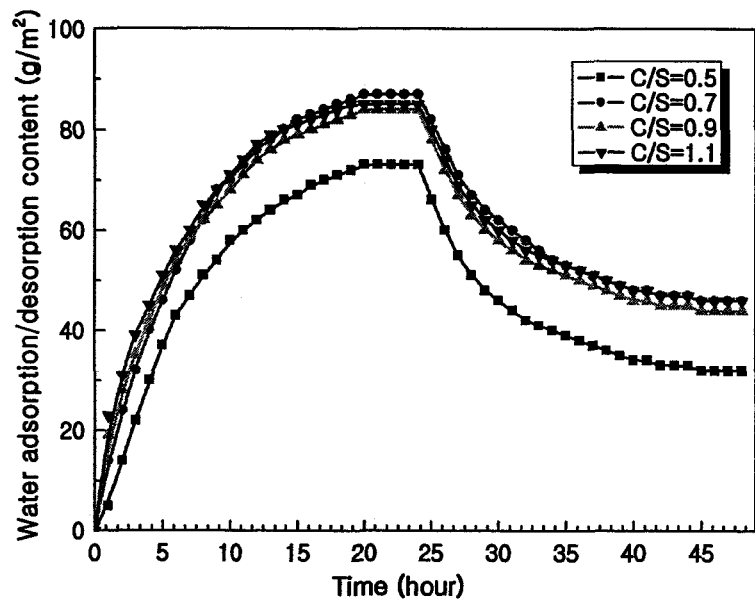
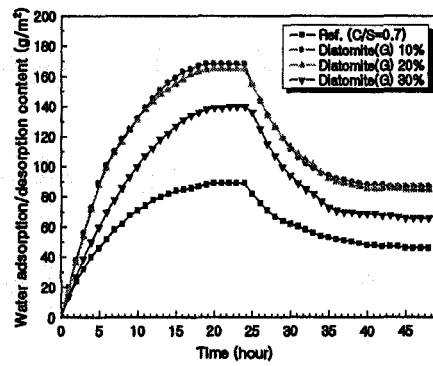
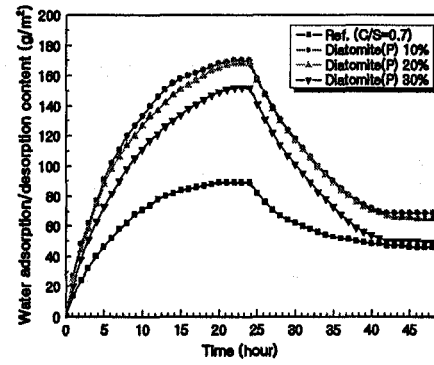


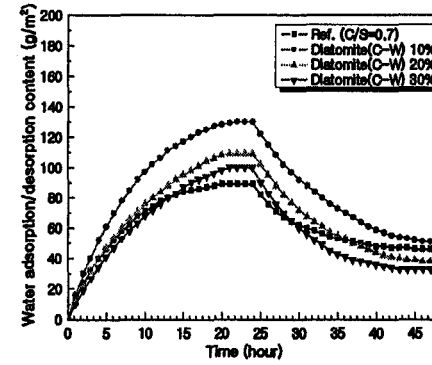
Fig. 19 Moisture adsorption and desorption with the C/S ratios



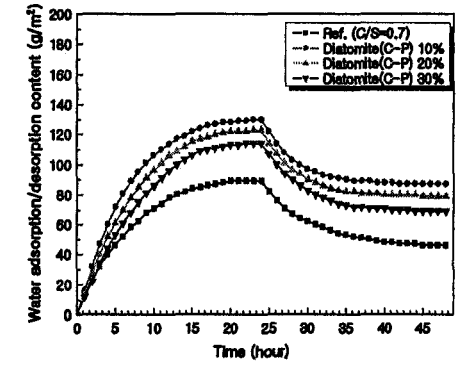
(a) Cheolwpm-Diatomite (G)



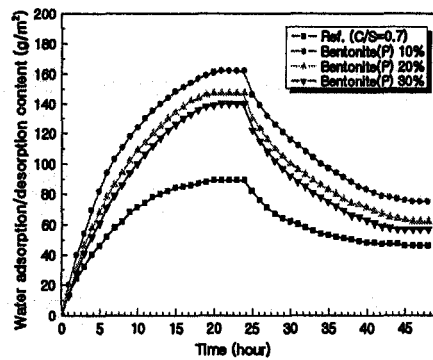
(b) Cheolwpm-Diatomite (P)



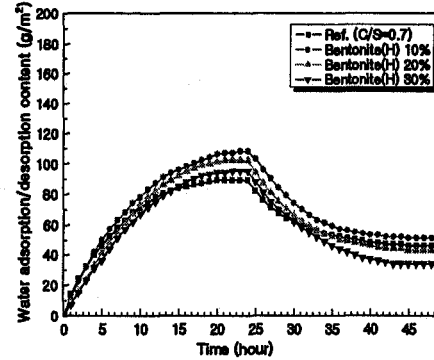
(c) China-Diatomite (W)



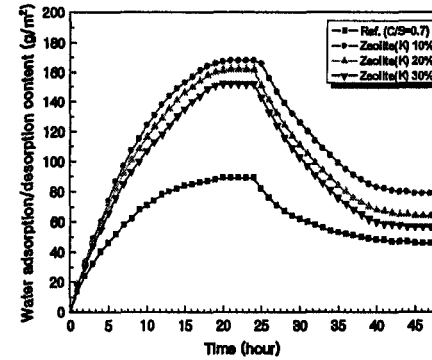
(d) China-Diatomite (P)



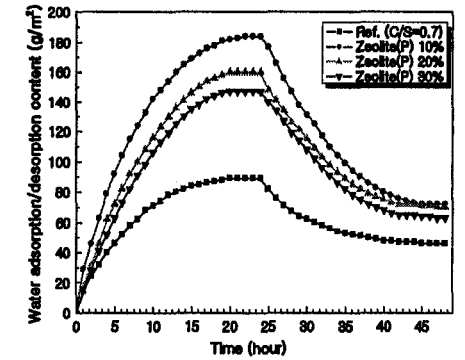
(e) Pohang-Bentonite



(f) Hwasoon Bentonite



(g) Kyungjoo Zeolite



(f) Pohang Zeolite

Fig. 20 Moisture adsorption and desorption of panels with porous materials

Table 13. Specific surface area and pore characteristics of porous materials

Classification	Cheolwon (P) Diatomite			Pohang Bentonite		
	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Specific surface area(m^2/g)	29	29	17	28	28	26
Pore Vol.(cm^3/g)	0.11	0.12	0.06	0.13	0.12	0.11
20~100 Å cumulative pore vol.(cm^3/g)	0.03	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02

Classification	Pohang Zeolite		
	10%	20%	30%
Specific surface area(m^2/g)	30	24	24
Pore Vol.(cm^3/g)	0.14	0.10	0.09
20~100 Å cumulative pore vol.(cm^3/g)	0.03	0.02	0.02

Table 14. Moisture adsorption and desorption of panels

Panels		Moisture Adsorption (g/m^2)	Moisture Desorption (g/m^2)	Pore Vol. (cm^3/g)	Surface area (m^2/g)
Cheolwon (P) Diatomite	10%	170	101	0.11	29
	20%	168	103	0.12	29
	30%	152	103	0.06	17
Pohang Bentonite	10%	162	87	0.13	28
	20%	147	85	0.12	28
	30%	140	83	0.11	26
Pohang Zeolite	10%	184	105	0.14	30
	20%	160	90	0.10	24
	30%	147	84	0.09	24

Table 14는 패넬의 수분 흡습 및 방습과 패넬의 기공부피 및 비표면적을 나타낸 것이다. 이들 값을 고려하여 패넬의 수분 흡습과 기공 부피의 상관관계계수(R)를 도출할 경우, r 값은 약 0.52 수준이었으며, 또한 수분 흡습과 비표면적의 상관관계계수(R)도 0.52의 값이 도출되었다. 즉 수분의 흡습과 패넬의 기공부피 및 비표면적과는 일정 부분 상관성이 있으나, 다공성 원료 자체의 흡방습 특성과 비표면적/기공 부피와의 상관성 보다는 낮은 수치이었다.

다. 패넬의 열전도율 측정

소재의 단열 메커니즘은 주로 포논 및 포톤의 영향으로 설명될 수 있으며, 포논(고체 내부의 격자 파동 등을 이루는 에너지 입자) 및 포톤(주로 기체에서 고려되는 특정값의 에너지와 운동량을 갖는 입자로서 포논에 비해 매우 작은 값으로 일반적으로 무시함.)의 전도가 낮아질수록 단열특성이 우수하다고 알려져 있다. 특히 공기는 열용량이 작아 고체보다 낮은 열전도율을 나타내며, 열전도율이 낮은 기체의 경우(예를 들어 기공 내 기체), 열전도(K) 특성은 기체 분자의 농도(C), 분자간의 충돌에 의한 에너지 평형이 성립되는 조건에서의 충돌간 평균거리 즉 평균자유행로 L 및 기체 분자의 평균 속도(V)에 비례한다. ($K=(1/3)CVL$)

Nait-Ali 등은 시료의 기공율에 따른 열전도율을 측정·계산하였으며, 이때 기공율이 30%에서 40%로 변화함에 따라 0.1W/mK 이내 수준의 열전도율 차이를 보여주고 있음을 나타내었다.²⁰⁾ 즉 기공율이 10% 수준 변화한다 하더라도 열전도율 값은 크게 차이가 나지 않음을 확인하기도 하였다.

본 연구에서는 패넬의 열전도율을 측정하기 위한 시편은 20×20×0.75cm 크기로 제조 하였으며, 제조된 시편은 열전도율 시험기(HC-074, EKO社, 일본)에 장착하여 측정하였다.

Fig. 21 (a) 에서와 같이 C/S 비에 따른 패넬의 열전도율은 약 0.17~0.18W/mK 수준이었으며, C/S 비의 변화에 따라 열전도율의 차이가 발생하지 않았다. Fig. 21 (b)의 다공성 원료의 종류 및 함량별 열전도율은 0.16~0.18W/mK 수준이었으며, 다공성 원료의 종류 및 함량의 변화에 따라 열전도율값의 차이가 크게 발생치 않는 특징을 나타내었다. 이러한 특징은 패넬의 기공율이 35~45% 수준으로 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 특히 패넬의 기공이 주로 나노 크기로 구성되어 있어, 열전도율에 영향을 줄 수 있는 마크로 기공이 거의 존재치 않기 때문이다. 이는 상기에서 언급한 Nait-Ali 등의 실험과 유사한 결과라고 판단된다.

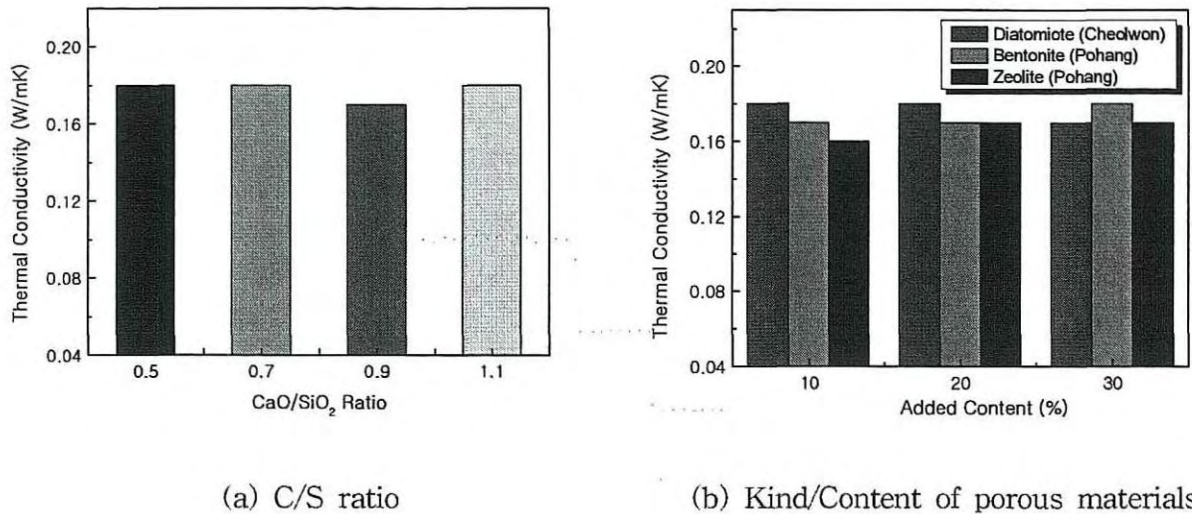


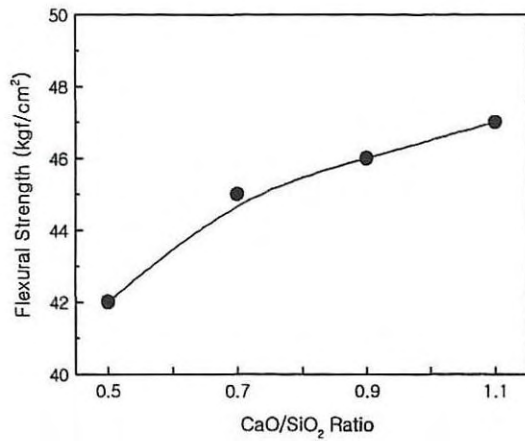
Fig. 21 Thermal conductivity of panels with the kind and content of porous materials and C/S ratios

라. 패널의 강도 특성

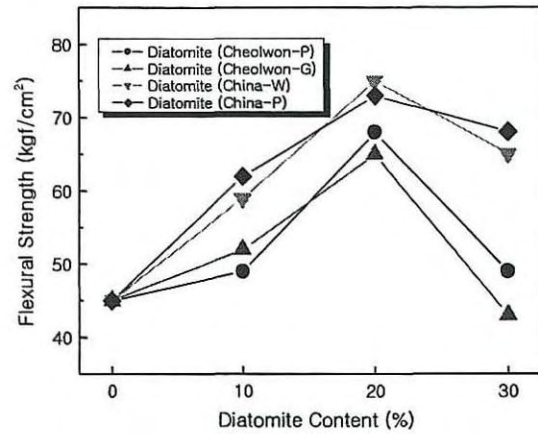
C/S 비와 다공성 원료의 종류 및 함량에 따른 휨강도 특성을 Fig. 22에 나타내었다. Fig. 22 (a)에서와 같이 C/S 비의 증가에 따라 휨강도 값은 약간씩 상승하였으며, 마이크로미터 크기의 기공 측정을 위한 Porosimeter 기공을 측정 결과는 Fig. 23에 나타내었다. 이는 패널 내부의 마이크로 기공이 C/S 비가 0.5에서 1.1로 증가함에 따라 점차 작아지는 경향을 나타내었기 때문이다. 즉 패널의 C/S 비 증가에 따라 마이크로 기공 감소 및 이에 따른 강도 증진이 이루어졌을 것으로 추측되었다.

다공성 원료를 사용한 패널은 다공성 원료를 사용하지 않은 패널(C/S 비 0.7 조건)보다 좀 더 높은 휨강도 특성을 발현하였다. 이는 C/S 비 0.7 조건에서 남아있는 Ca(OH)_2 가 다공성 원료와 반응하여 C-S-H gel로 생성되며, 생성된 C-S-H gel은 패널 내부에 존재하는 입자들 사이에서 bridging 역할을 수행한 것으로 추정되어졌다. (Fig. 16에서와 같이 C/S 비 0.7 조건의 패널에서는 Ca(OH)_2 피크가 관찰되었으나, 다공성 원료의 사용에 따라 Ca(OH)_2 피크가 관찰되지 않는 특징(Fig. 17)이 있었음.) 그러나 다공성 원료의 첨가량이 30%로 증가함에 따라 20% 강도 값보다 소폭 낮아지는 특성을 보였다. 이는 과도하게 첨가된 다공성 원료가 토베모라이트 결정 및 gel 등으로 변환되지 않고, 미반응 상태로 남아 있어 강도 발현에 기여하지 못하는 부분도 있기 때문이라고 사료된다.

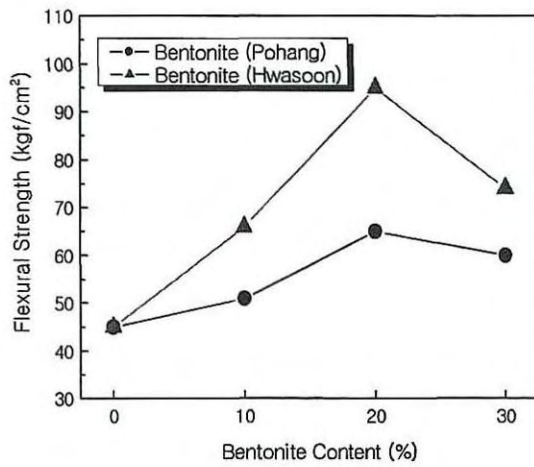
다공성 원료 사용 시 패널의 휨강도는 다공성 원료의 종류에 상관없이 대부분 다공성 원료가 20% 첨가되었을 경우, 가장 우수한 휨강도 특성을 나타내었다. 특히 흙방습 특성이 우수한 10% 첨가 조건에서는 포항 제올라이트가 62kgf/cm^2 의 우수한 휨강도 특성을 나타내었으며, 이는 마이크로 기공의 감소에 따른 효과로 추측되어진다. 또한 규조토 10% 첨가시와 벤토나이트 10% 첨가시에는 기공의 크기가 유사한 경향을 나타내었으며, 이러한 기공특성으로 인하여 휨강도 특성 (포항 벤토나이트 10%- 51kgf/cm^2 , 철원 규조토(P)- 49kgf/cm^2)도 유사한 것으로 추정되어진다. Wasser 등은 소재의 강도가 단순히 기공율 만으로 결정되지는 않으며, 기공의 크기 및 형태, 고체의 광물학적 조성 및 결정상, 내부의 구조적 결함 등, 다양한 변수들이 영향을 미친다고 보고하였다.²¹⁾ 압축강도는 C/S 비 0.7 조건에서 120kgf/cm^2 이었으며, 포항 제올라이트 10%에서 183kgf/cm^2 이었다. 이는 본 연구의 목표치(40kgf/cm^2)를 충분히 만족하는 값으로 도출된 것이다.



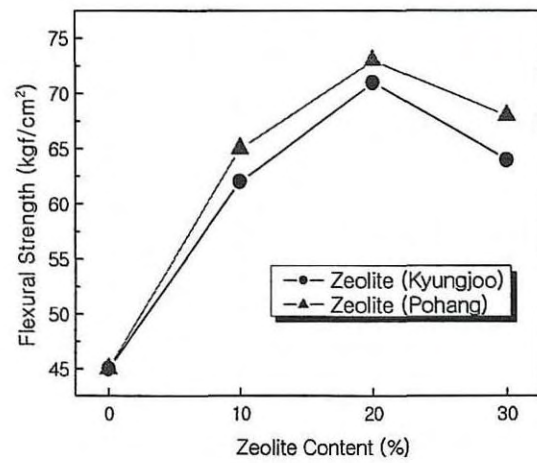
(a) C/S Ratio



(b) Diatomite



(c) Bentonite

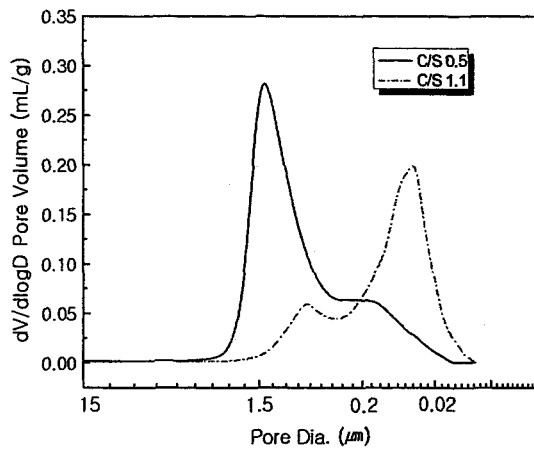


(d) Zeolite

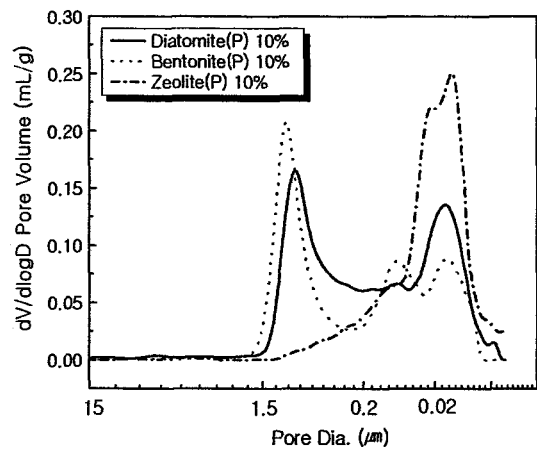
Fig. 22 Flexural strength of panels with the kind and content of porous materials and C/S ratios.

마. 흡수율과 비중

각각의 배합 조건에 따라 제조된 패널들의 흡수율, 겉보기 비중, 부피 비중 및 겉보기 기공율을 실험하였으며, 그 결과를 Table 15에 나타내었다.



(a) C/S Ratio



(b) Porous materials (10%)

Fig. 23 Pore distribution of panels with C/S ratios and porous materials

C/S 비의 변화에 따라 기공율 및 비중 등은 큰 차이를 나타내지는 않았으며, 겉보기 기공율 30.4~31.0%, 흡수율 17.5~17.8%, 겉보기 비중 2.45~2.52 및 부피 비중 1.71~1.75 수준을 나타내었다. 다공성 소재의 종류 및 함량별, 개기공만을 고려한 겉보기 기공율은 약 33.3~43.8% 수준이었으며, 이는 C/S 비 0.7의 31%보다 약 7.4~41.3% 정도 높은 값이다. 흡수율은 21.5~31.7% 수준이었으며, C/S 비 0.7 조건에서는 17.8%의 흡수율을 나타내었다. 즉 다공성 원료를 사용함에 따라 흡수율은 C/S 비 0.7 조건 보다 약 20.8~78.1%가 증가하는 경향을 나타내었다. 겉보기 비중은 약 2.5 수준으로 C/S 비 0.7과 큰 차이를 보이지 않았으며, 이는 겉보기 비중은 패널의 개기공을 제외한 실질 부피를 고려하기 때문이다. 그러나 부피 비중은 겉보기 비중과 달리 개기공을 포함한 부피로 계산하기 때문에 다공성 원료의 사용에 따라 감소하게 된다. 즉 C/S 비 0.7 조건에서 부피 비중은 1.74이었으나, 다공성 원료의 사용에 따라 1.38에서 1.69로 낮아지고 있다. 이는 C/S 비 0.7 조건보다 약 2.9~20.7% 감소하는 경향이다. 규조토 및 제올라이트의 경우(벤토나이트보다 상대적으로), 부피비중은 다공성 소재의 함량 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 특히 철원 규조토(P)는 첨가량 증가에 따라 1.56(10%), 1.46(20%), 1.38(30%)로 감소 폭이 컸다.

상기의 겉보기 기공율, 흡수율 및 비중 등과 수분 흡방습 특성과의 정확한 상관성을 도출하기에는 무리가 있으나, 일정부분 상관성은 있다고 판단된다. 즉 최종 패널의 물성이 일정 부분 최초 선정 원료의 특성에 좌우되고 있음을 나타내는 것으로, 다공성 패널 제조시 원료 선정이 매우 중요함을 나타내는 것이기도 하다. Y. Shiraki 등은 분말 원료의 특성이 다공성 소재 제조 및 물성에 영향을 미치는 중요한 인자라고 하였다.²²⁾ Table 16은 다공성 제품의 물성에 미치는 분말의 영향을 간략하게 정리한 것이다. Table 16에서와 같이 다공성 제품의 기공 크기는 원료 입자의 크기에 의해, 기공 형태는 원료의 입자 형태에 의해 좌우되며, 특히 기공율, 기공의 분포 및 비표면적 등은 분말 원료의 기공율에 기인한다고도 하였다.

Table 15. Water absorption and gravity with the kind and content of porous materials

(a) C/S Ratio

C/S Ratio \ Item	Apparent Porosity	Water Absorption	Apparent gravity	Bulk gravity
0.5	30.6	17.6	2.51	1.74
0.7	31.0	17.8	2.52	1.74
0.9	30.5	17.5	2.52	1.75
1.1	30.4	17.8	2.45	1.71

(b) Porous materials

C/S Ratio \ Item		Apparent Porosity	Water Absorption	Apparent gravity	Bulk gravity
Diatomite	Cheolwon (P) 10%	38.5	24.6	2.54	1.56
	Cheolwon (P) 20%	41.4	28.2	2.50	1.46
	Cheolwon (P) 30%	43.8	31.7	2.46	1.38
	China (W) 10%	37.0	23.5	2.51	1.58
	China (W) 20%	37.3	23.8	2.50	1.57
	China (W) 30%	40.4	27.7	2.46	1.46
Bentonite	Pohang 10%	35.3	21.5	2.54	1.64
	Pohang 20%	37.0	22.9	2.56	1.61
	Pohang 30%	38.5	24.3	2.59	1.59
	Hwasoon 10%	33.3	19.7	2.54	1.69
	Hwasoon 20%	36.1	22.2	2.54	1.62
	Hwasoon 30%	36.6	22.7	2.54	1.61
Pohang Zeolite 10%		36.4	22.4	2.56	1.62
Pohang Zeolite 20%		37.7	23.6	2.56	1.60
Pohang Zeolite 30%		39.2	26.2	2.50	1.51

Table 16. Influence of powder properties on panels

Properties of powder	Properties of panels
Particle shape	Pore shape, porosity, pore size distribution tortuosity, surface area
Particle size	Pore size, mechanical strength, surface area
Particle size distribution	Pore size, pore size distribution, porosity
Porosity	Porosity, pore size distribution, surface area
Surface roughness	pore size distribution, surface area
Agglomeration	Surface area
Surface impurity	Mechanical strength

바. 건조 수축율

수열합성된 시편을 autoclave에서 꺼낸 후 길이를 측정하여 l_1 으로 하고, 대기 중에서 28일 유지한 후의 길이를 측정하여 l_2 로 한다. 이때 건조 수축율은 0.06%를 상회해서는 안되며, 이는 수축에 따른 구축물의 안정성 및 부착특성 등이 불량해 지기 때문이다. 다공성 원료의 종류 및 함량별 건조 수축율은 큰 차이를 나타내지 않았으며, 또한 다공성 원료의 종류에 따라서도 경향성이 도출되지는 않았다.

Table 17. Length change of panels with porous materials (after 28days)

Porous materials	Content (wt%)	Length Change
Diatomite (Cheolwon-P)	10	0.01
	20	0.01
	30	0.01
Bentonite (Pohang)	10	0.02
	20	0.01
	30	0.02
Zeolite (Pohang)	10	0.02
	20	0.02
	30	0.02

사. 동결융해 저항성 (압축강도비)

위에서 흡·방습 특성, 포름알데히드 흡착·분해 특성 및 강도 특성이 만족스러운 포항 제올라이트 10% 첨가 패널을 고정으로 포름알데히드 흡착·분해능이 우수했던 금속 분해제 첨가 패널의 동결융해 저항성을 확인하였다.

KS F 2604 에 따라 16cycle 실험 후 압축강도비를 측정된 결과를 Fig. 24에 나타내었다. 금속 분해제를 첨가한 패널은 금속 분해제를 첨가하지 않은 패널보다 압축강도비가 소폭 감소하였고, 금속 분해제의 첨가량이 늘어날수록 압축강도비가 감소하였으나 본 연구의 목표치인 압축강도비 60%를 상회하였으며, 금속 분해제 종류별 0.3% 첨가한 패널을 비교하였을 때 Cu 0.3% 첨가 패널의 압축강도비가 가장 우수하였음을 확인하였다.

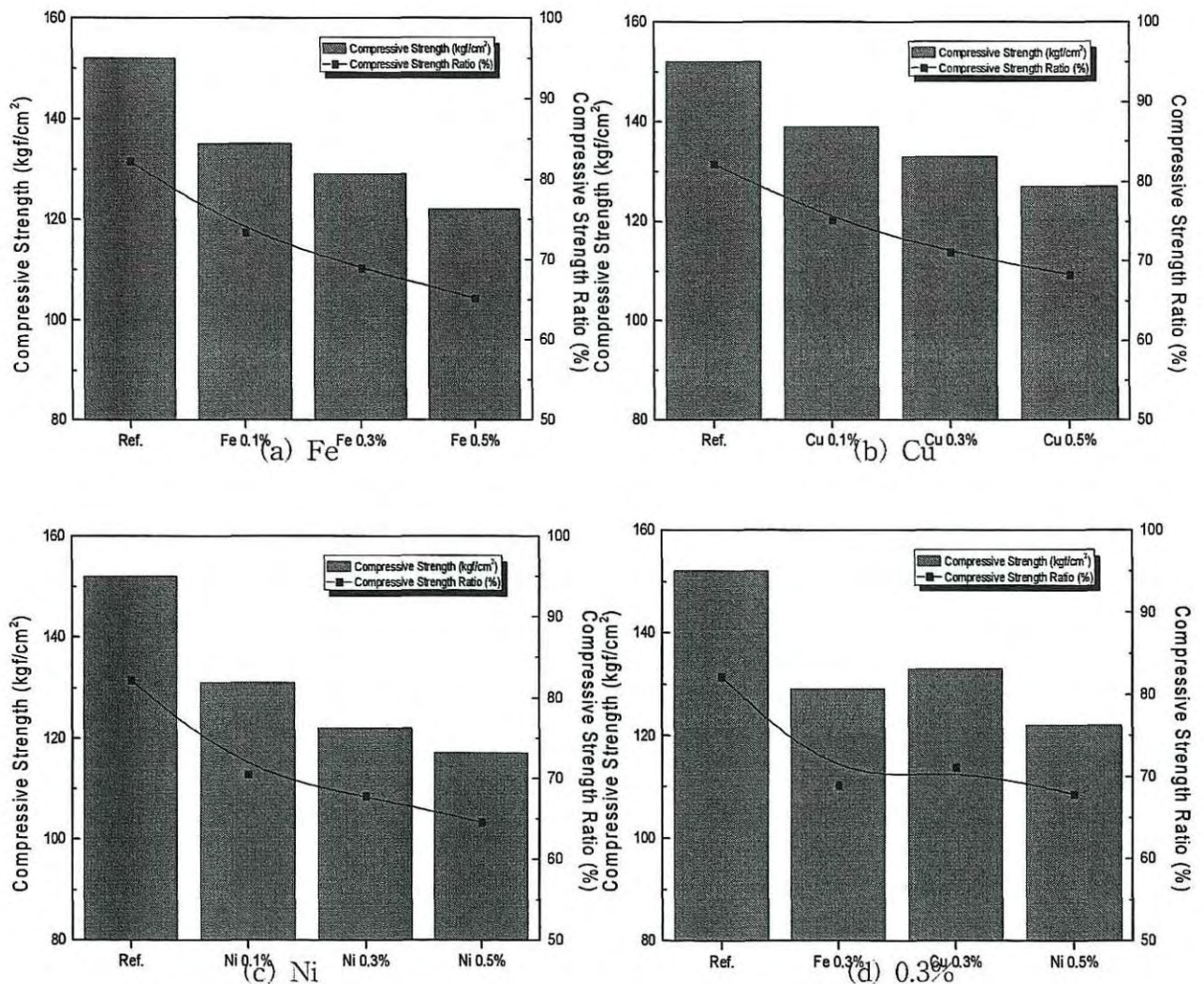


Fig. 24 Compressive Strength Ratio of panels with Phthalocyanine metal

아. 패널의 T-VOC 흡착·분해

東郷 優之 등은 Fig. 25에서와 같이 규조토 도막에 흡수된 포름알데히드가 방산되어, 실내가 재오염될 수 있다는 것을 확인하였다. 東郷 優之 등은 VOC의 재방산을 확인하기 위해 포름알데히드 100ppm 조건에서 24시간 동안 유지시킨 후 규조토 도막을 각각 무취의 5ℓ 용기에 장착하였다. 그리고 25℃에서 12시간 방치시킨 후 재방산된 포름알데히드의 농도를 측정하여, 그 결과를 Fig. 25에 나타내었다. 규조토 도막만을 시험한 경우에는 포름알데히드가 방출되어, 재방산됨을 충분히 확인할 수 있었다. 그러나 분해제를 넣은 규조토 도막은 0.08ppm의 포름알데히드만이 재방산되었다. 이는 분해제의 사용에 따라 포름알데히드가 분해되어 재방산이 극히 적게 되기 때문이다. 東郷 優之 등은 규조토가 포름알데히드를 빠르게 흡착하고, 이후 분해제가 포름알데히드를 분해시키는 이상적인 분해 기능을 확인할 수 있다고 하였다. 일본 등에서는 Table 3에서 언급한 아미드계 및 금속분해제 등 다양한 분해제가 검토되고 있으며, 일부 분해제는 기 제품에 적용되고 있기도 하다. 따라서 본 연구에서도 전이금속 위주의 프탈로시아닌계 금속(Fe, Cu, Ni 등)을 수열합성패널에 적용하여 포름알데히드 등의 유해가스 분해성능을 검토하였다.

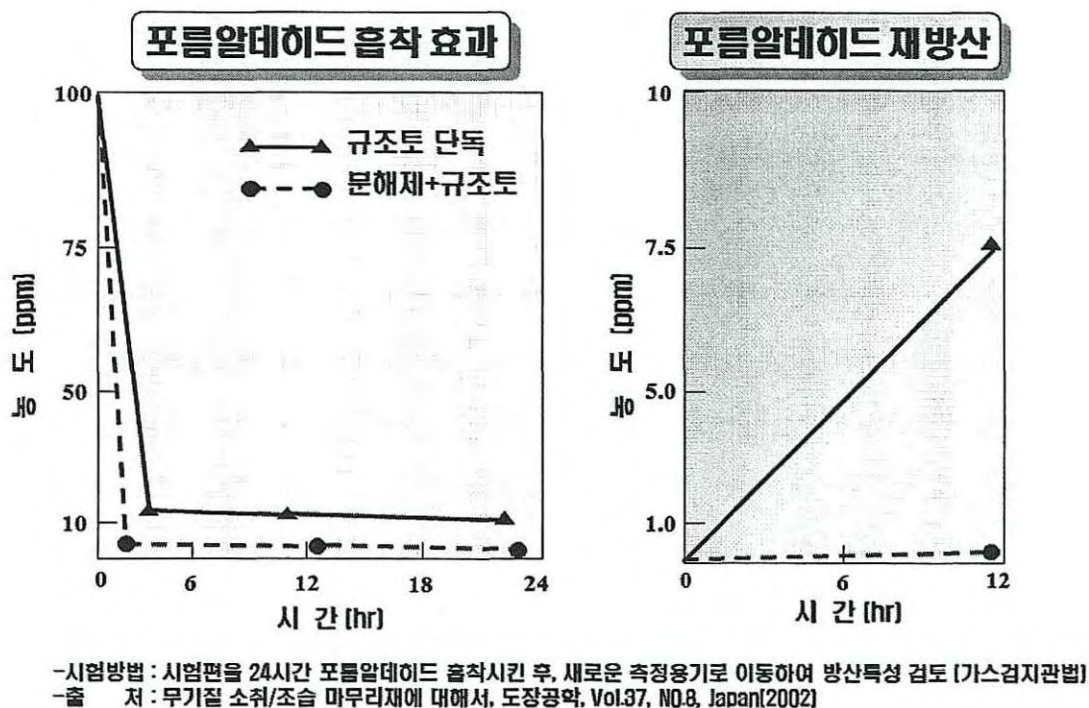


Fig. 25 Importance of the decomposition of formaldehyde

패널의 T-VOC 흡착 특성을 평가하기 위해 100ppm의 T-VOC 가스를 사용하였다. C/S 비에 따른 패널의 T-VOC(포름알데히드) 흡착 특성은 C/S 비가 0.7인 경우, 80%에 가까운 흡착 성능을 발현하였다. 그러나 이외의 C/S 비에서는 다소 낮은 흡착 특성을 나타내었다.

다공성 원료의 사용에 따라 T-VOC(포름알데히드)의 흡착능력은 향상되었으며, 특히 포름알데히드 흡착속도 또한 빨라지는 특성을 나타내었다. 또한 포항 제올라이트, 철원 규조토 및 포항 벤토나이트 등에서 우수한 흡착 특성을 발현하였다. 이러한 특성은 수분의 흡착 특성과의 유사한 결과치이며, 이는 패널의 기공 특성과도 연관된 것으로 추측되어졌다. 즉 나노 기공의 함량이 증가할수록 포름알데히드 흡착 성능이 향상되는 것으로 판단되었다.

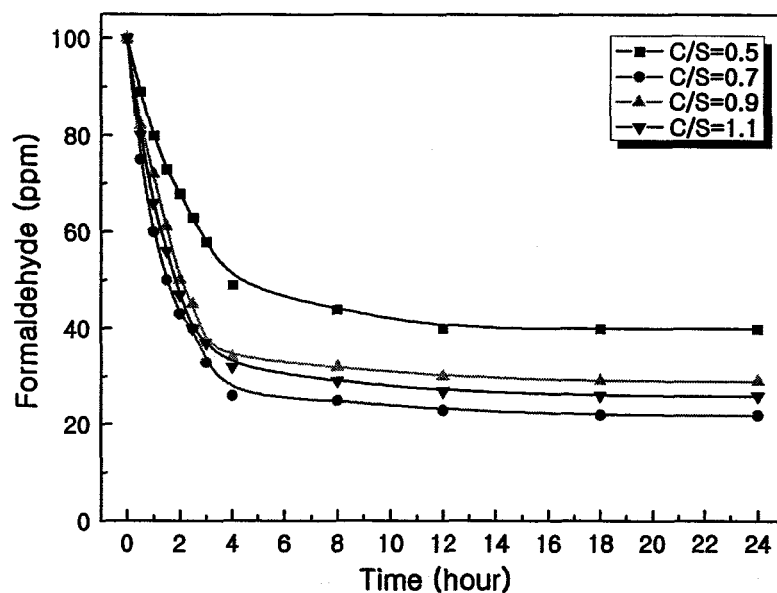
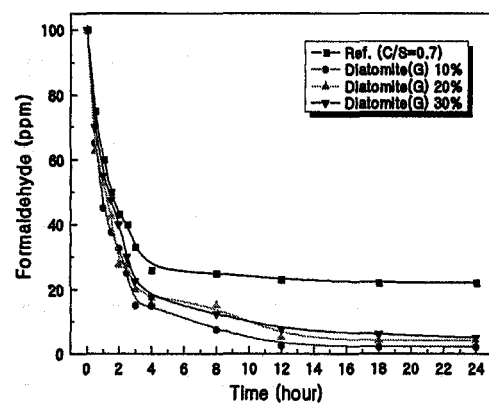
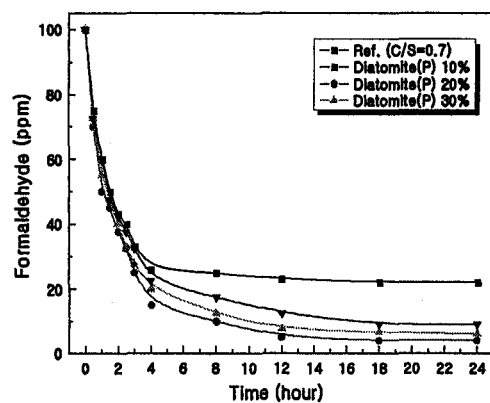


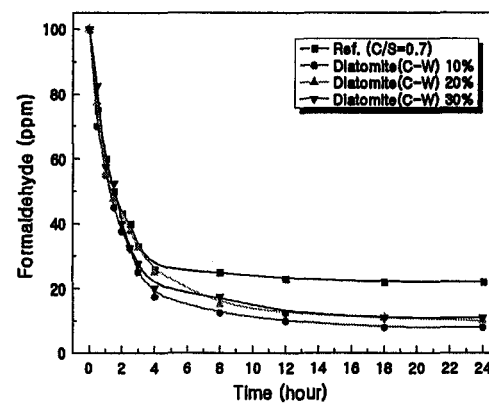
Fig. 26 Formaldehyde adsorption curve of panels with C/S ratios



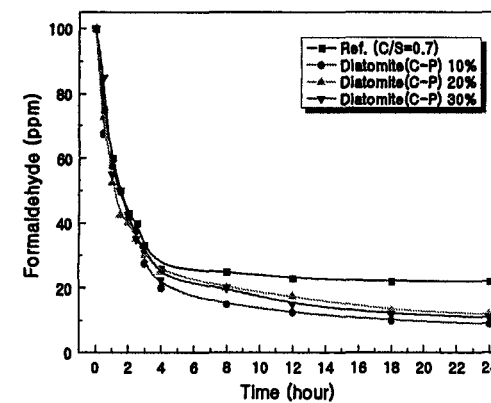
(a) Cheolwpgn-Diatomite (G)



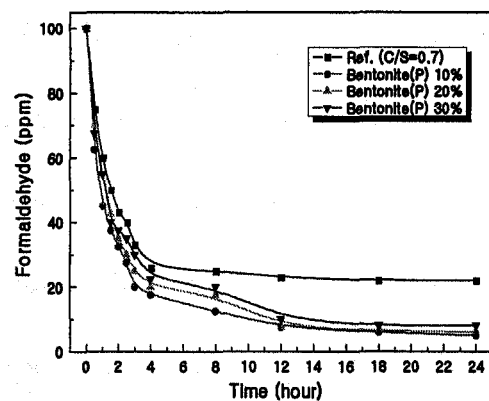
(b) Cheolwpgn-Diatomite (P)



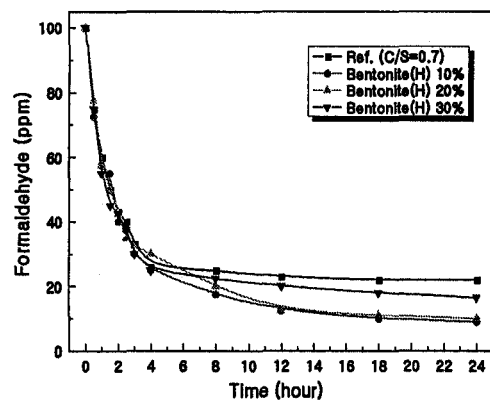
(c) China-Diatomite (W)



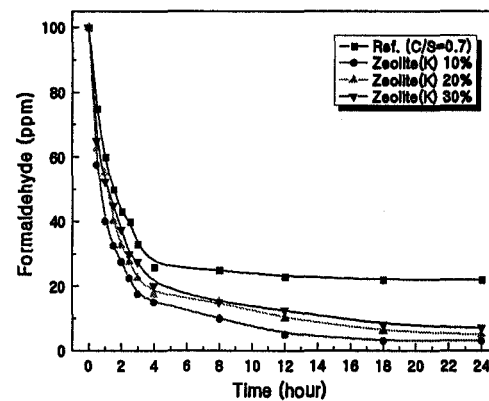
(d) China-Diatomite (P)



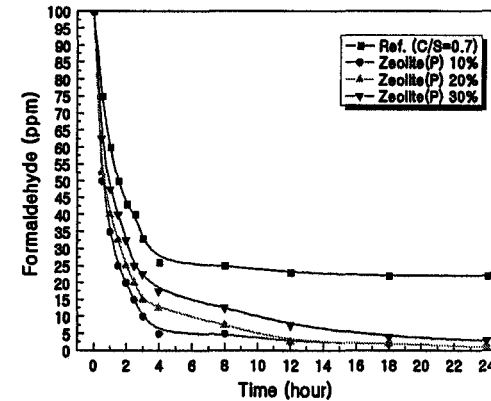
(e) Pohang-Bentonite



(f) Hwasoon Bentonite



(g) Kyungjoo Zeolite



(f) Pohang Zeolite

Fig. 27 Formaldehyde adsorption curve of panels with porous materials

(1) 금속 분해제 첨가에 따른 변화

상대적으로 비표면적과 기공 부피가 크고 T-VOC(포름알데히드) 흡착 능력이 우수했던 포항 제올라이트 10% 첨가 패널을 Reference 로 하여 금속 분해제인 프탈로시아닌 금속 Fe, Cu, Ni을 Table 18과 같이 첨가, 패널을 제조하였다.

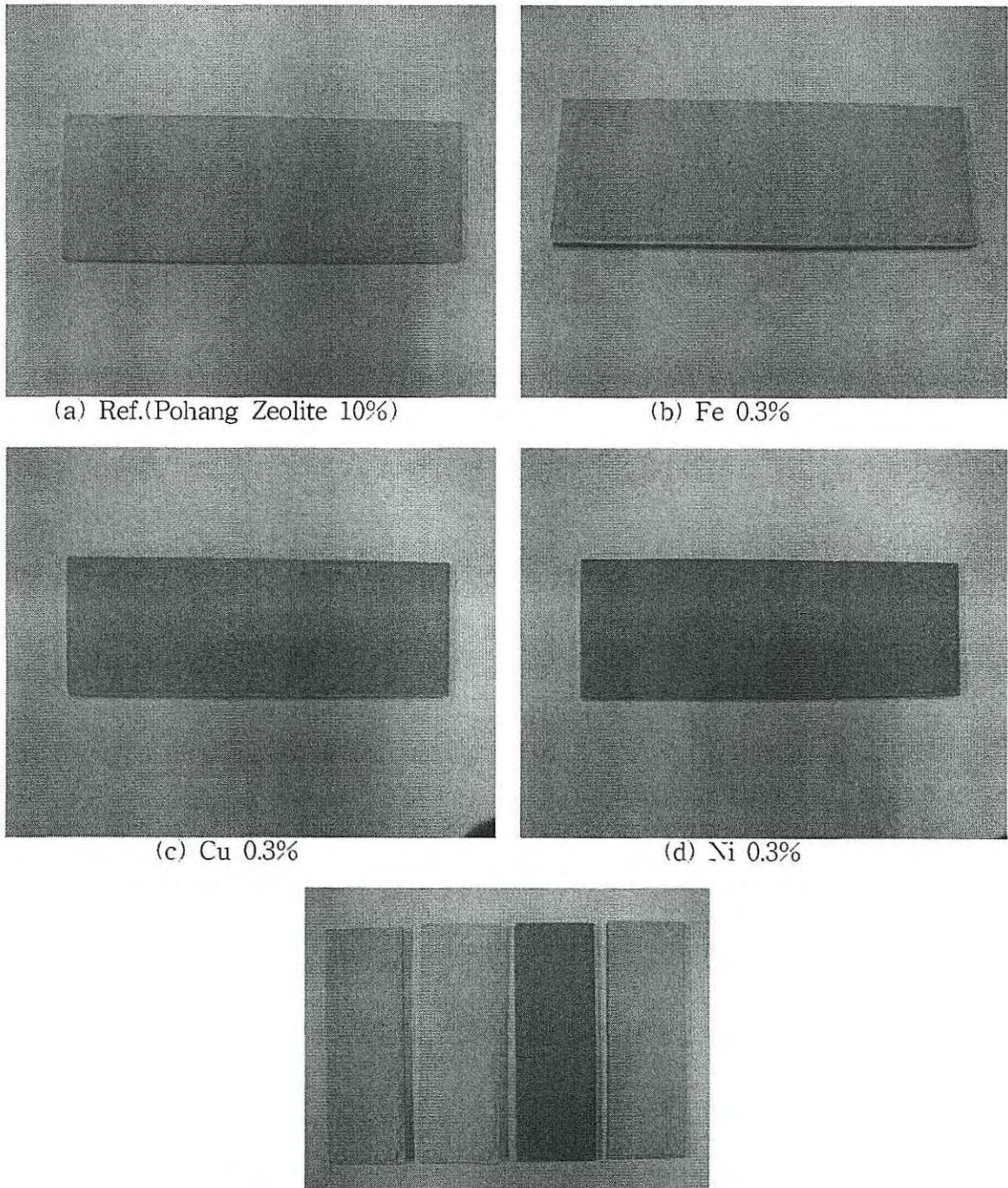


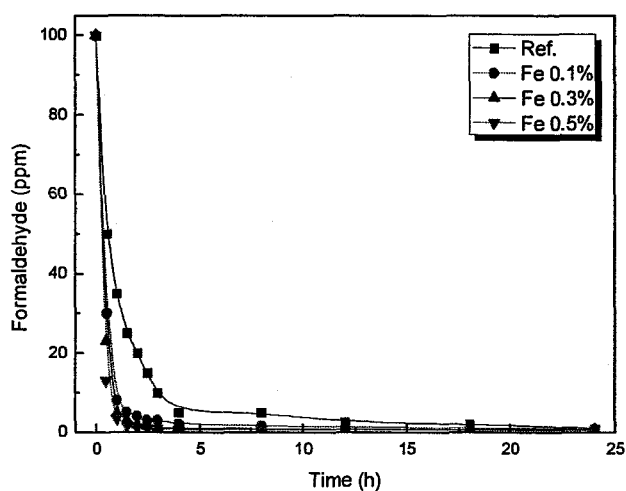
Fig. 28 Panels with phthalocyanine (Fe, Cu, Ni)

(가) T-VOC 흡착 특성

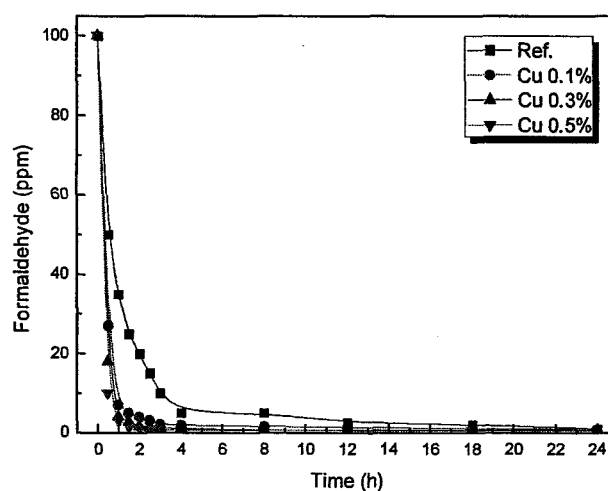
프탈로시아닌 금속을 첨가하여 제조한 패널을 위와 동일한 방법으로 T-VOC 흡착 특성을 확인하였고, 이에 대한 결과를 Fig. 29~31에 나타내었다.

Table 18. Blended Materials (Kind, Content)

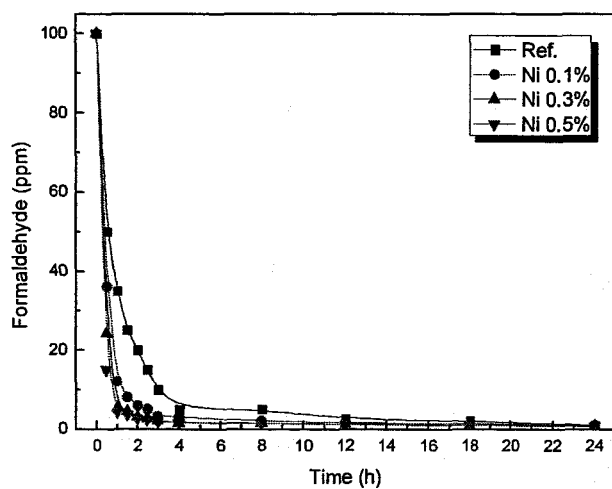
Kind	Iron phthalo-cyanine	Copper phthalo-cyanine	Nickel phthalo-cyanine
Mixing ratio(%)	Ref. + each blended material (0.1%, 0.2%, 0.3%)		



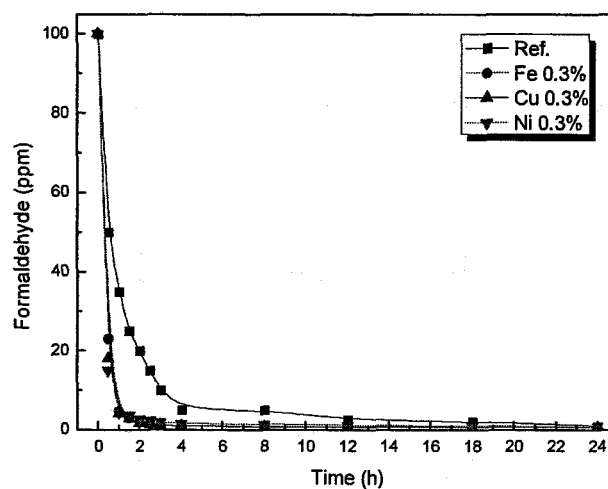
(a) Fe



(b) Cu

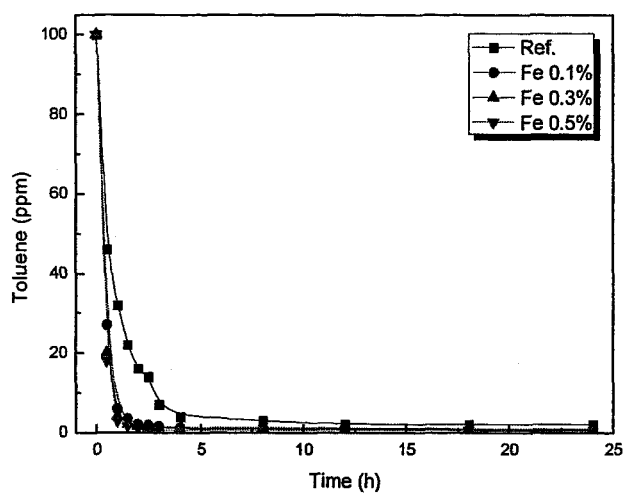


(c) Ni

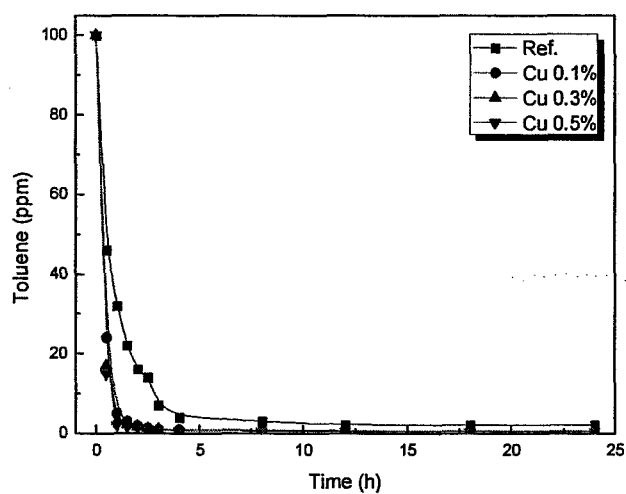


(d) 0.3%

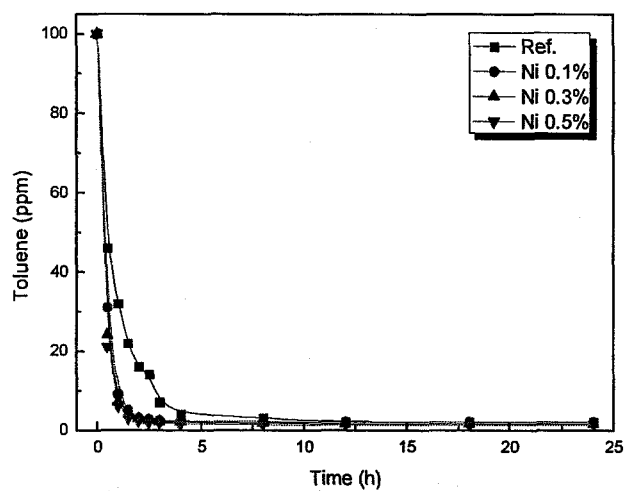
Fig. 29 Formaldehyde adsorption curve of panels with Phthalo-cyanine metal



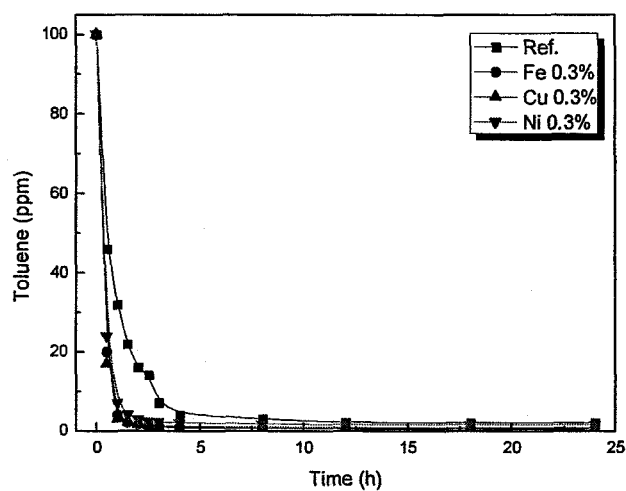
(a) Fe



(b) Cu

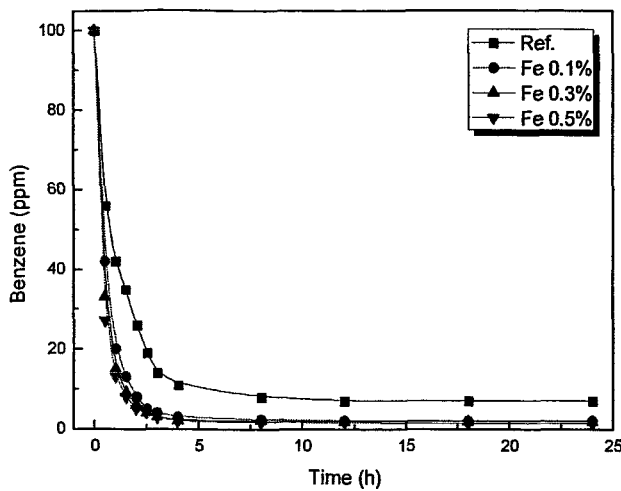


(c) Ni

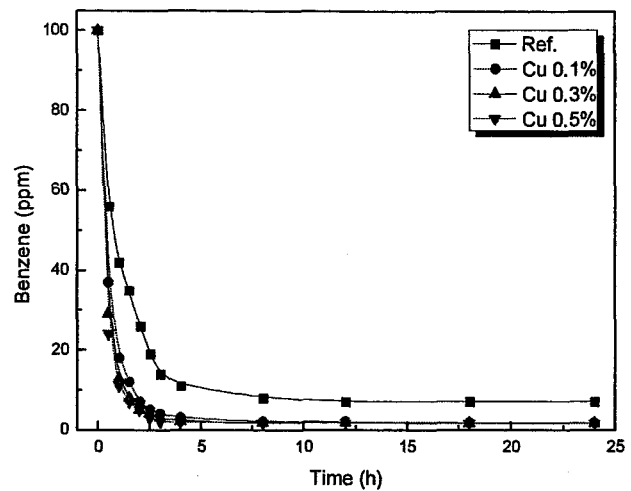


(d) 0.3%

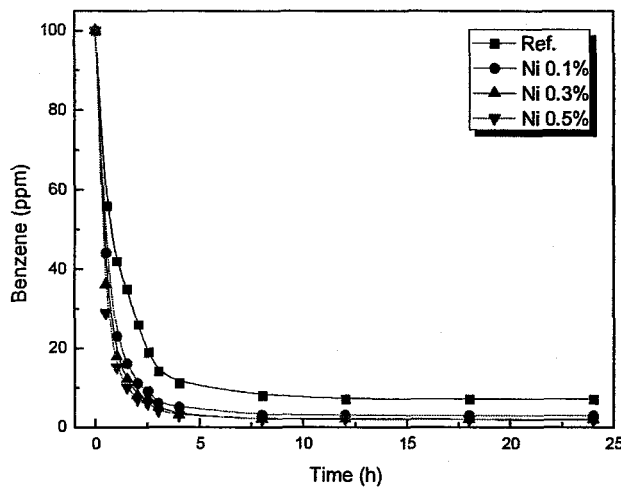
Fig. 30 Toluene adsorption curve of panels with Phthalo-cyanine metal



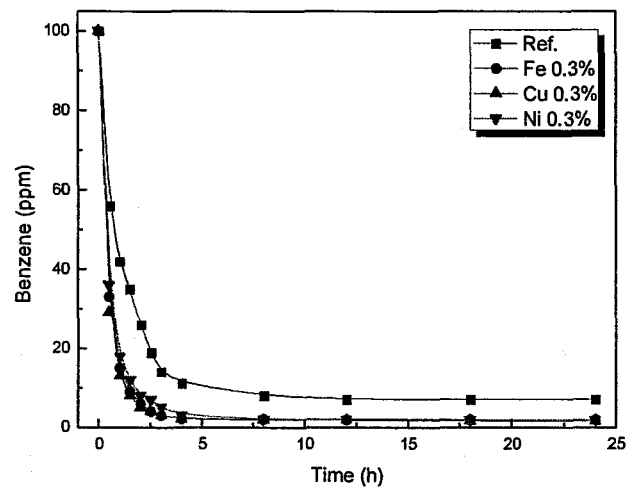
(a) Fe



(b) Cu



(c) Ni



(d) 0.3%

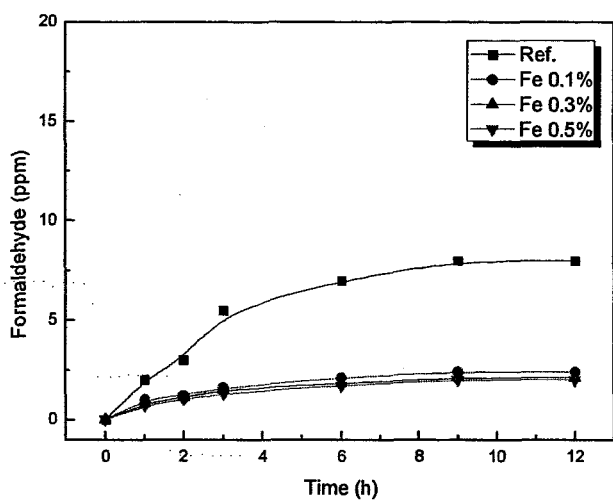
Fig. 31 Benzene adsorption curve of panels with Phthalo-cyanine metal

금속 분해제인 프탈로시아닌 금속을 미량 첨가할 경우 다공성 원료를 첨가하지 않은 패넌은 물론 다공성 원료를 첨가한 패넌보다 T-VOC 흡착 능력은 급격히 상승하였고, 흡착 속도도 2배 가까이 빨라졌다. 또한 금속 분해제의 첨가량이 많아질수록 흡착 능력이 우수했으나 금속 분해제 0.3% 와 0.5% 첨가 패넌의 흡착력은 큰 차이를 보이지 않았다. Fig. 29~31 (d) 에 나타난 금속 분해제 종류 별 0.3% 첨가 패넌의 경우 T-VOC 흡착력의 차이는 미미한 수준이었으나 수치상 Cu를 0.3% 첨가한 패넌의 T-VOC 흡착 특성이 가장 우수하였다.

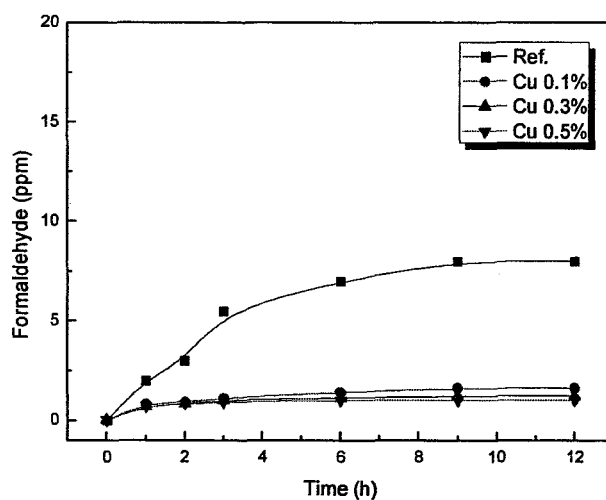
(나) T-VOC 분해 특성

T-VOC 흡착 측정 24시간 후 이어서 분해(T-VOC 재방출, 12시간 측정) 특성을 확인하였다. 흡착 측정이 끝난 시편을 깨끗한 새로운 용기에 곧바로 옮겨 방출되는 T-VOC의 농도를 12시간동안 체크하였다. Fig. 32~34에 나타낸바와 같이 T-VOC가 흡착된 시편은 시간이 지날수록 일정부분 T-VOC가 다시 방출되었으나 총 흡착량에 비해 미미한 수준이다. 그 중에서도 프탈로시아닌 금속 Cu를 첨가한 패널의 T-VOC 재방출량이 매우 적고 총 흡착량은 Reference에 비해 10% 이상 향상되었음을 확인하였다. 이는 프탈로시아닌 Cu 금속이 T-VOC(포름알데히드, 톨루엔, 벤젠 등)를 흡착·분해한다는 것을 의미한다. 또한 이러한 실험값은 東郷 優之 등이 주장한 이론과 동일한 결과이기도 하다. 또한 금속 프탈로시아닌의 첨가량이 증가할수록 T-VOC의 분해능은 우수해지는 결과가 도출되기도 하였다.

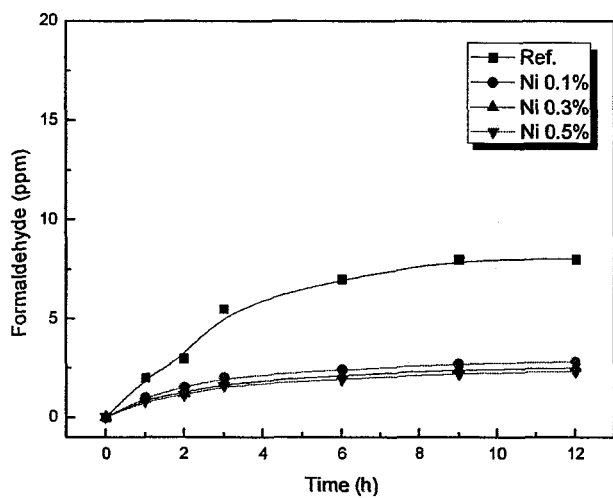
포름알데히드의 분해는 Cu 0.5% 첨가 패널에서 가장 우수한 결과를 나타내었으며, 포름알데히드의 최대 분해율은 97% 이었다. 또한 Cu 0.5% 첨가 패널의 톨루엔 및 벤젠 분해능이 가장 우수하였다. 톨루엔의 분해율은 98 %이었으며, 벤젠의 분해율은 96% 이었다.



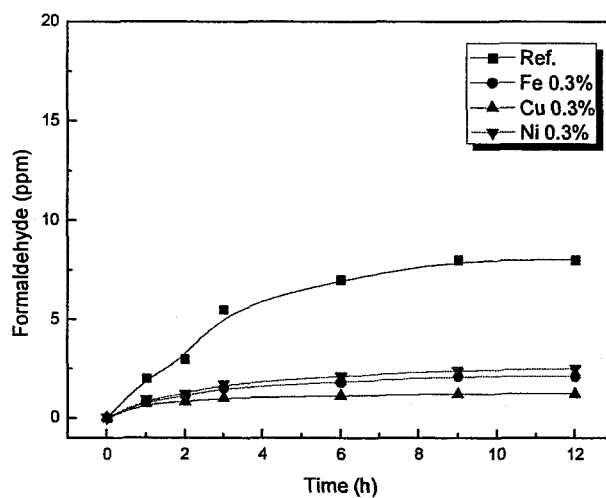
(a) Fe



(b) Cu

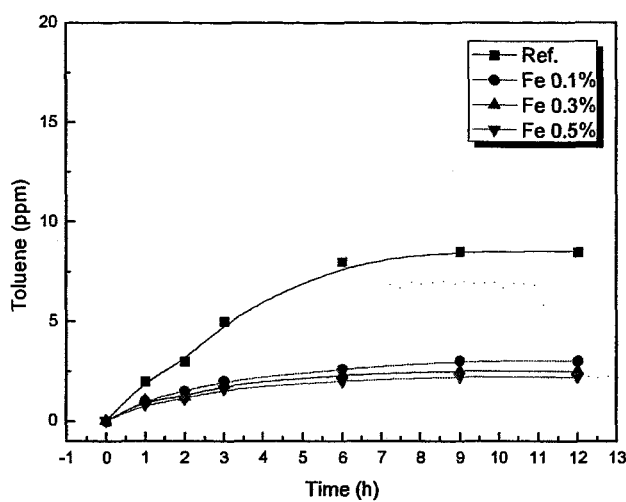


(c) Ni

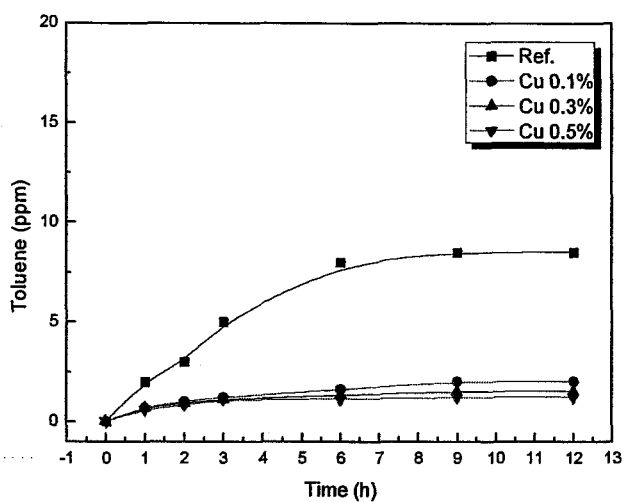


(d) 0.3%

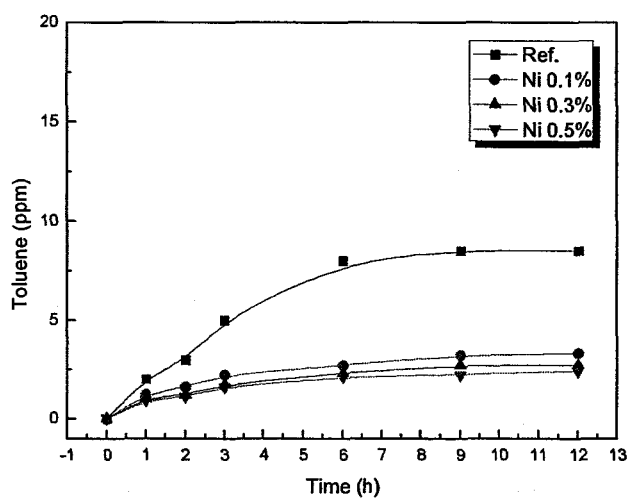
Fig. 32 Formaldehyde decomposition of panels with Phthalo-cyanine metal



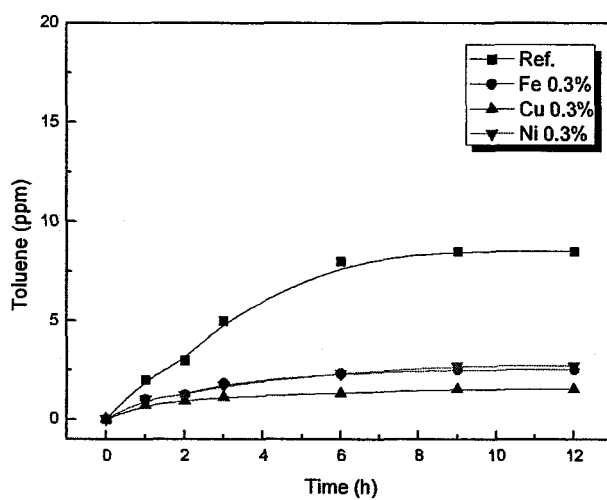
(a) Fe



(b) Cu

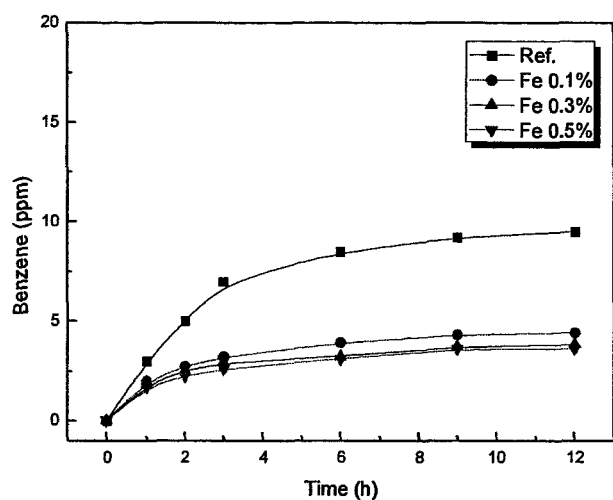


(c) Ni

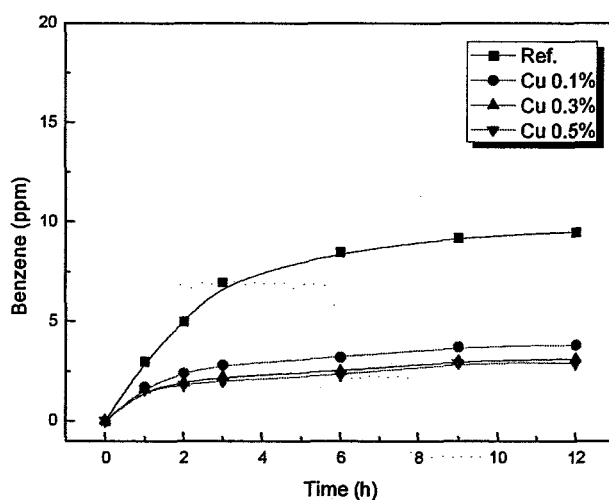


(d) 0.3%

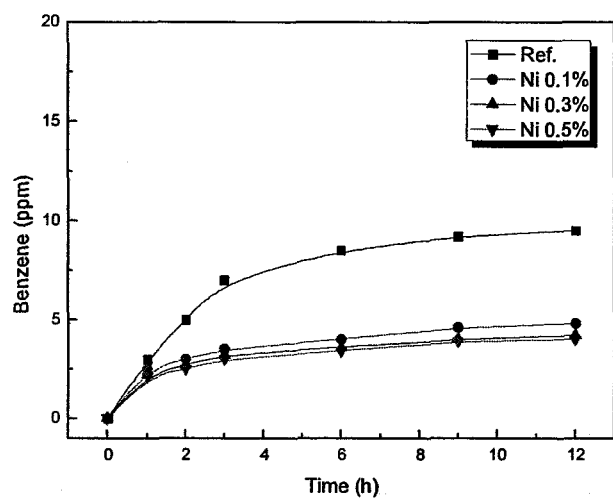
Fig. 33 Toluene decomposition of panels with Phthalo-cyanine metal



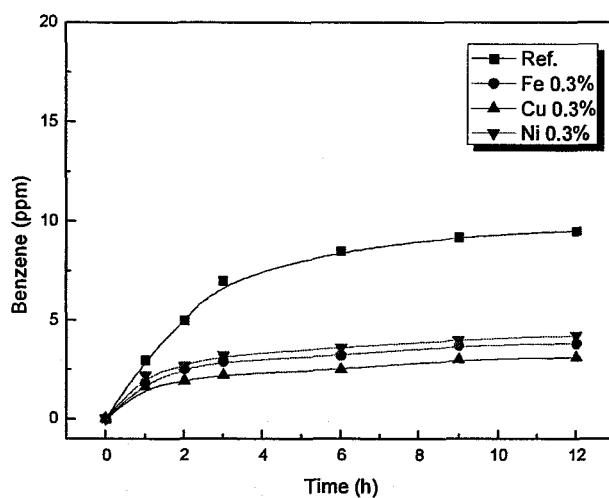
(a) Fe



(b) Cu



(c) Ni



(d) 0.3%

Fig. 34 Benzene decomposition of panels with Phthalo-cyanine metal

(2) TiO₂ 코팅에 따른 변화

광촉매에 쓰이는 물질로는 TiO₂, ZnO, CdS, ZrO₂, SnO₂, V₂O₃, WO₃등과 페로브스카이트 형 복합 금속 산화물(SrTiO₃), CdS와 같은 금속 황화물, CdSe와 같은 금속 칼코겐화합물, 기타 Si, GaAs등이 있다. 이들 중 일반적으로 안정하며 독성이 낮은 산화물형태의 반도체들이 주로 사용이 시도되고 있다.

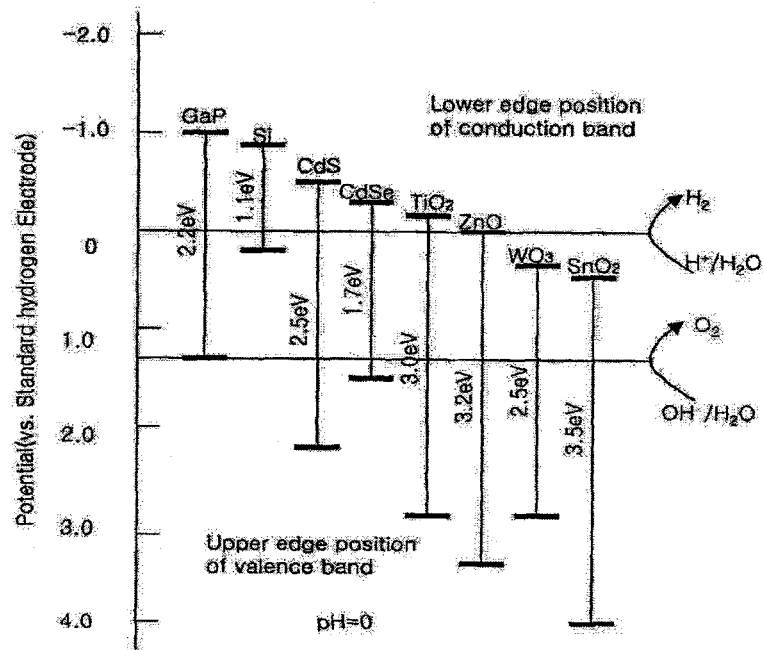
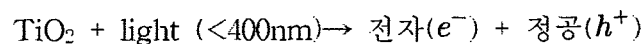
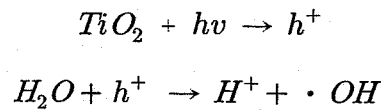


Fig. 35 Energy band of typical semiconductor

밴드갭 에너지 이상의 빛을 TiO₂ 입자에 조사하면 가전자대의 전자는 전도대로 여기되므로 가전자대에는 정공(h^+)이 전도대에는 여기전자(e^-)가 형성된다.



가전자대의 전자가 결핍된 상태인 정공(h^+)은 매우 불안정한 상태로 대기 중의 수분과 빠르게 반응하여 수산화 라디칼($\cdot\text{OH}$)을 생성하여 강력한 산화력을 나타내게 된다. 또한 전도대의 여기전자는(e^-)공기 중의 산소와 반응하여 활성산소(super oxide anion)를 형성하고 활성산소는 환원반응을 일으키게 된다.



광산화 반응은 유기화합물이외에도 불완전 질소산화물이나 황화물 등을 산화 분해 할 수 있으며 분자량이 큰 유기물도 분해할 수 있고 세균 등을 산화분해하기도 한다. 살균작용은 기존의 항균제들이 살균만 하여 균들의 부패물이 축적되는 문제를 가진 반면 살균된 균들도 분해하기 때문에 기술적으로 우위에 있다 하겠다. 이러한 광촉매의 산화력은 수처리에 사용되는 염소나 오존보다 강한 반응성을 보이며 자신이 반응에 직접참여하지 않기 때문에 반영구적으로 효과를 나타낼 수 있다는 장점을 가지고 있다.

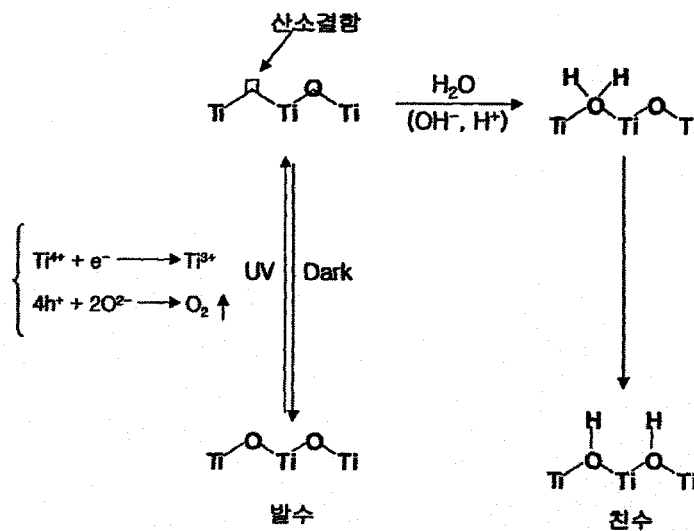


Fig. 36 Mechanism of hydrophilic property

Fig. 37과 같이 TiO_2 졸을 제조하여 포항 제올라이트 10% 첨가 패널에 코팅하였다. 졸의 점도를 5cP 와 10cP 로 변화를 주었고 각각 1,2회 씩 코팅하여 완료된 패널의 T-VOC 흡착 특성을 Fig. 40에 나타내었다.

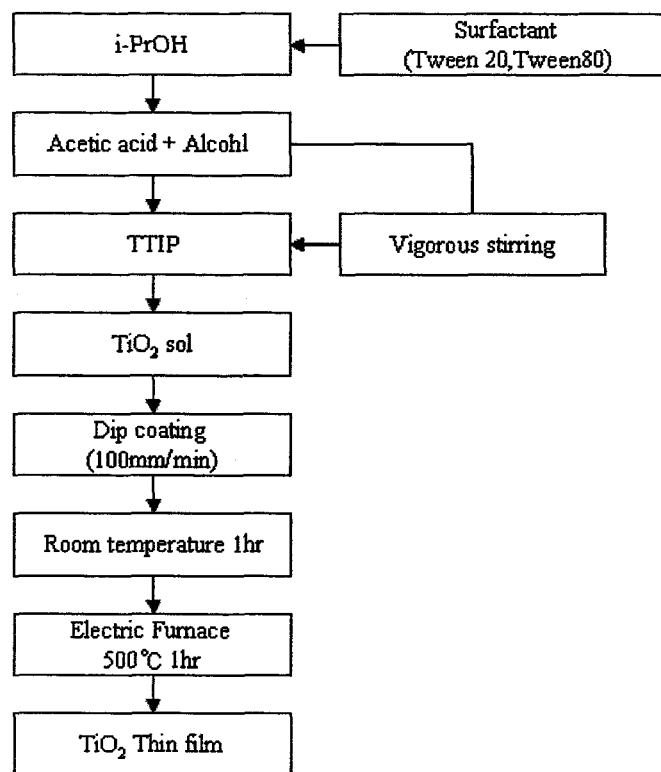


Fig. 37 Manufacturing process of TiO₂ sol

Table 19. TiO₂ Sol

시 약 명	부피 (ml)
i-PrOH	82.48
Acetic acid	1.83
Alcohol	7.02
TTIP	8.67

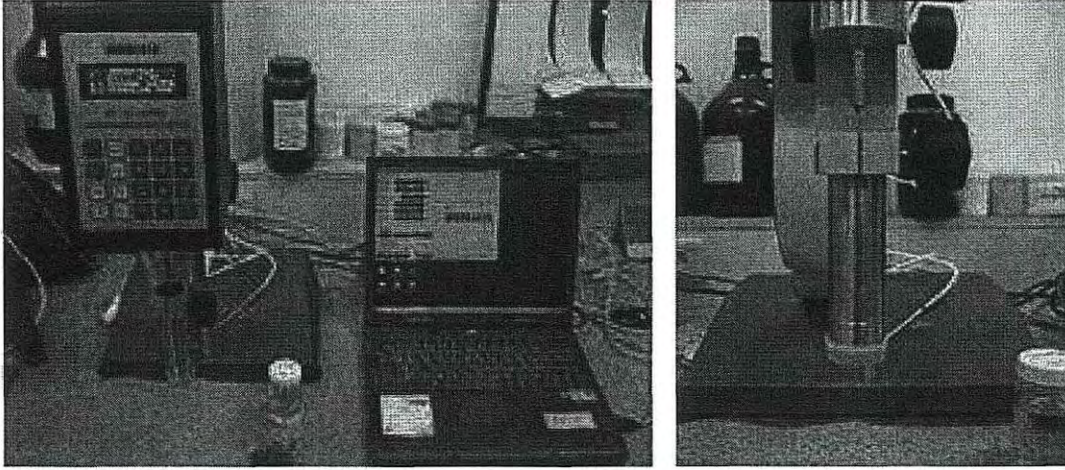


Fig. 38 viscosity meter

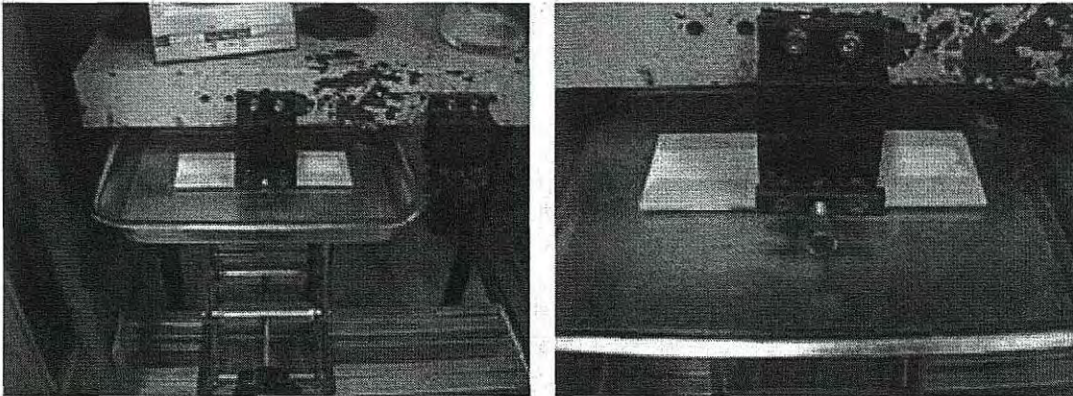
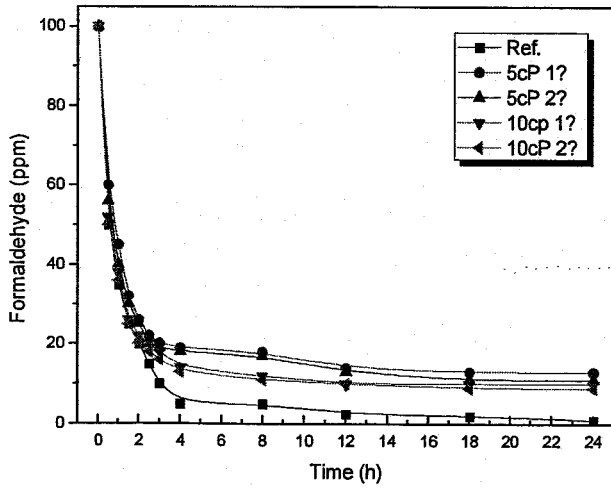
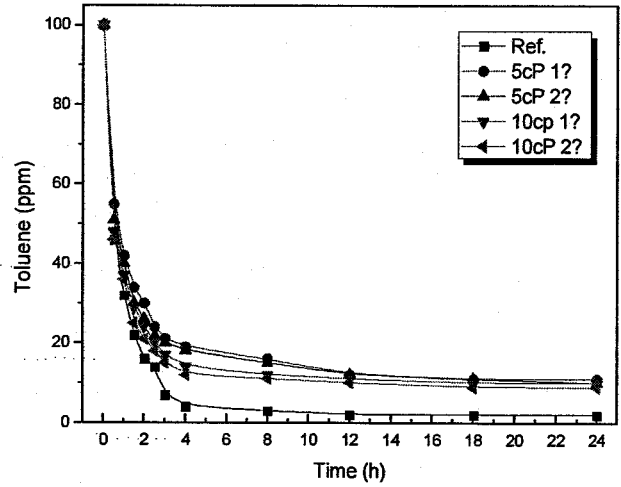


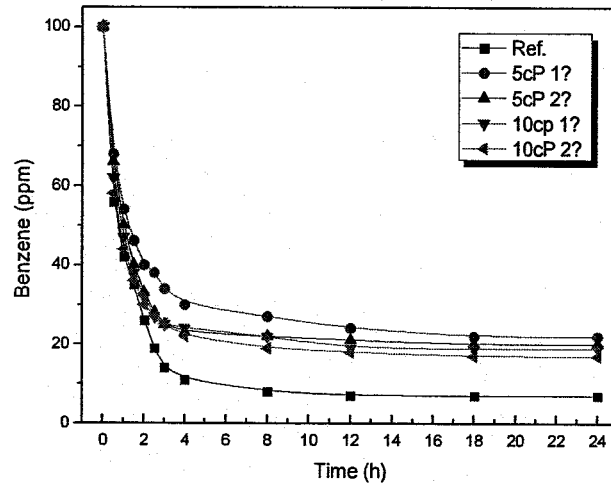
Fig. 39 Dip coating



(a) Formaldehyde



(b) Toluene



(c) Benzene

Fig. 40 T-VOC adsorption curve of panels

코팅 점도와 코팅 횟수를 달리한 T-VOC 흡착 특성으로는 금속 분해제를 첨가한 패널과는 달리 금속 분해제를 첨가하지 않은 패널보다도 10% 이상의 차이로 낮은 흡착 능력을 나타내었다. 뿐만 아니라 흡착 속도도 뒤처지며 특히 벤젠의 경우 80%의 흡착 특성을 나타내어 본 연구의 목표치에 미달하였으며 TiO_2 sol 코팅 패널 중 그나마 흡착 능력이 높은 점도 10cP의 2회 코팅 패널의 경우 TiO_2 sol 코팅법 중 에너지와 시간이 가장 많이 소요되는 단점이 있다.

3. 패널의 시공성능 평가

나노다공성 세라믹패널의 시공성능평가를 위해 Mock-up test를 위한 패널의 제조, Mock-up test 및 표준시공 매뉴얼에 의한 체크리스를 작성하여 현장적용성에 대해 평가하였다. 시공성능평가는 실 시공이 가능한 정도의 테스트룸을 이용하였다.

가. Mock-up test를 위한 패널 제조

시공성능평가를 위해 실제 건축물 등의 적용이 가능하도록 Mock-up test용 패널을 제조하였다. Mock-up test용 패널은 T-VOC 흡착 실험 결과 흡착능력이 가장 우수한 것으로 판단된 프탈로시아닌 금속(Cu) 0.3% 첨가 패널의 배합으로 설정하였으며 워커빌리티를 고려하여 30×30×0.7cm 크기의 패널을 제작하였다. 현재 내장용 패널로서 적용되는 크기는 벽면시공의 경우 30×30cm 크기의 패널을 적용할 수 있다.

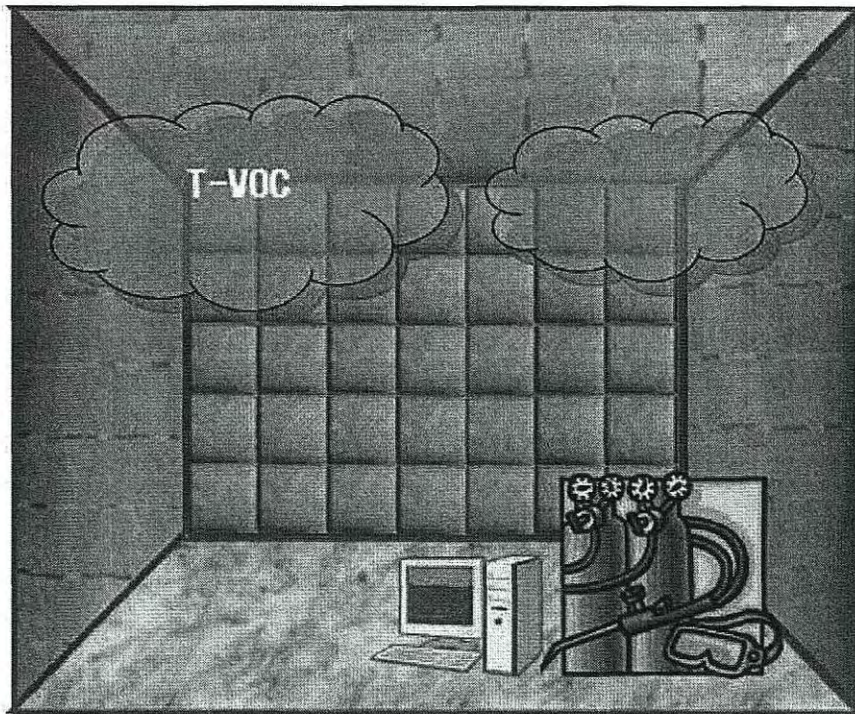


Fig. 41 Experimental procedure

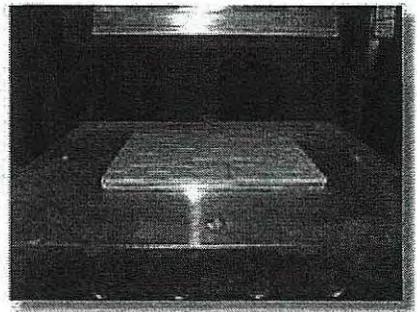
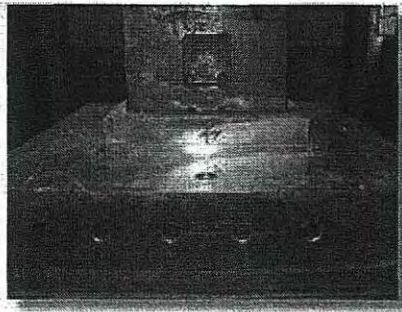
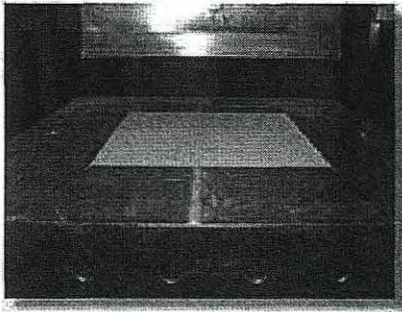
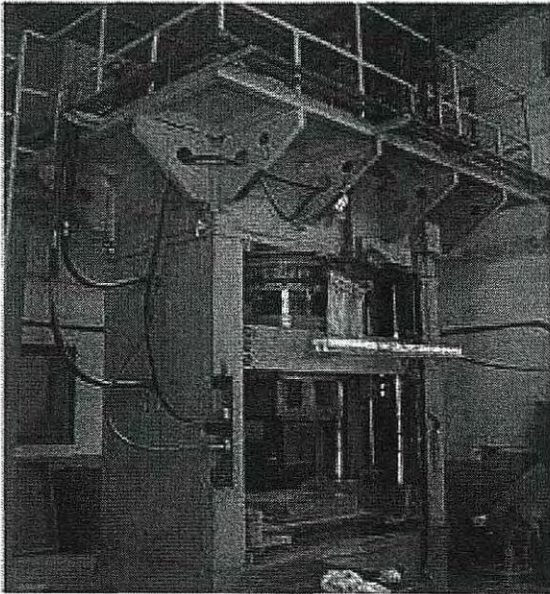


Fig. 42 Press Molding

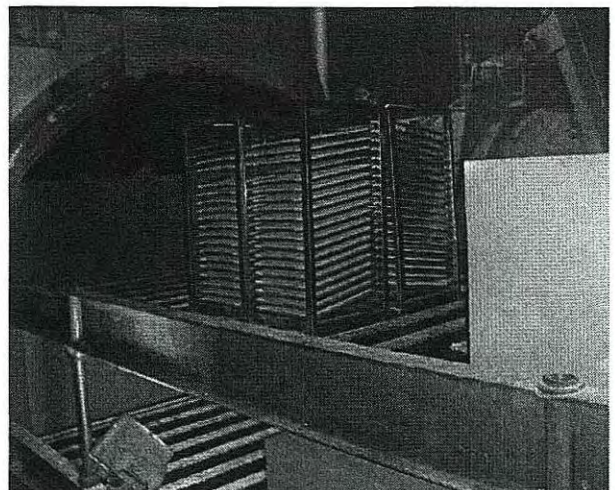
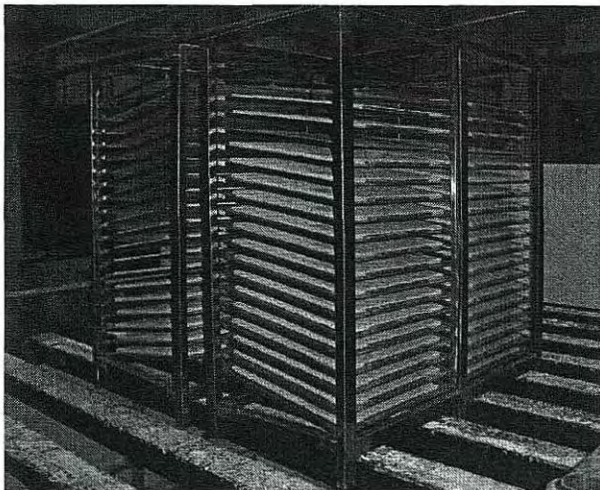


Fig. 43 Ship of Autoclave Inner

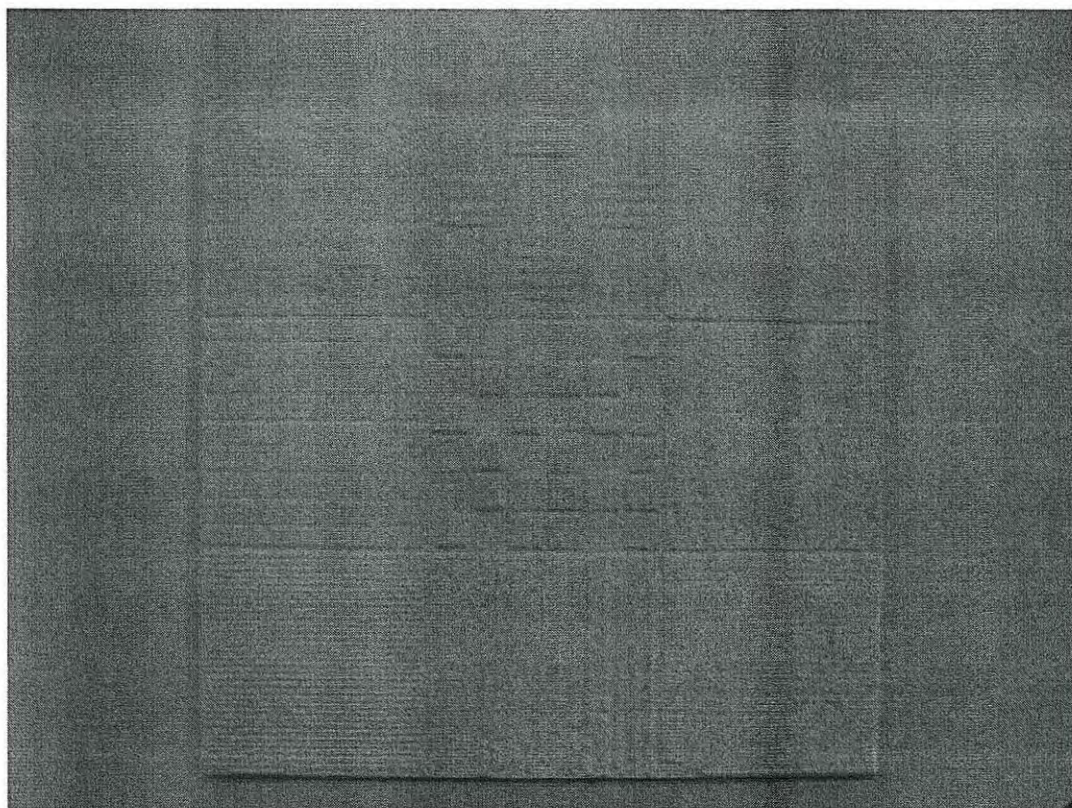
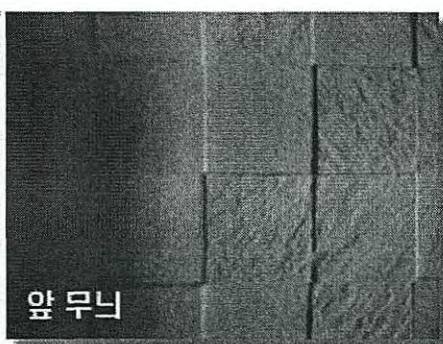
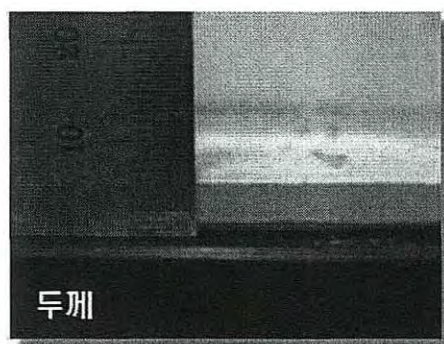
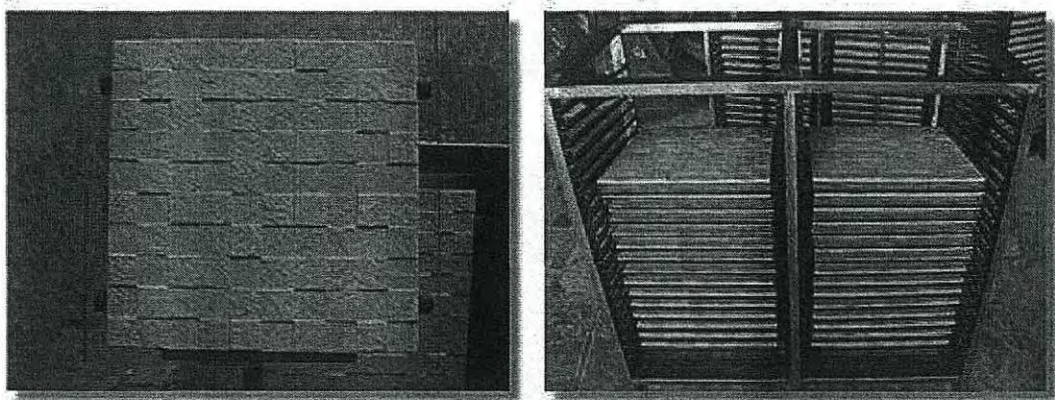


Fig. 44 Panels for Mock-Up Test

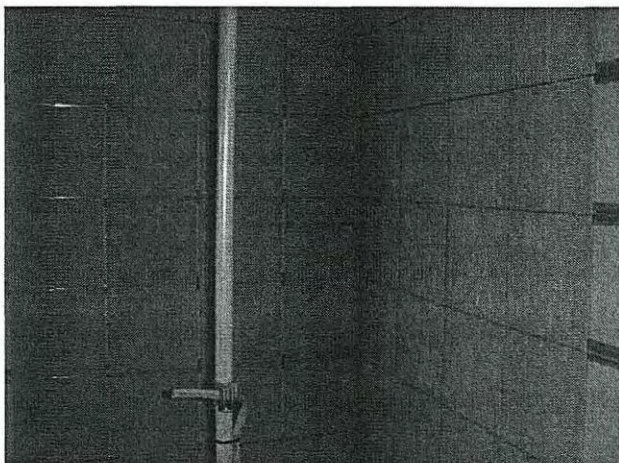
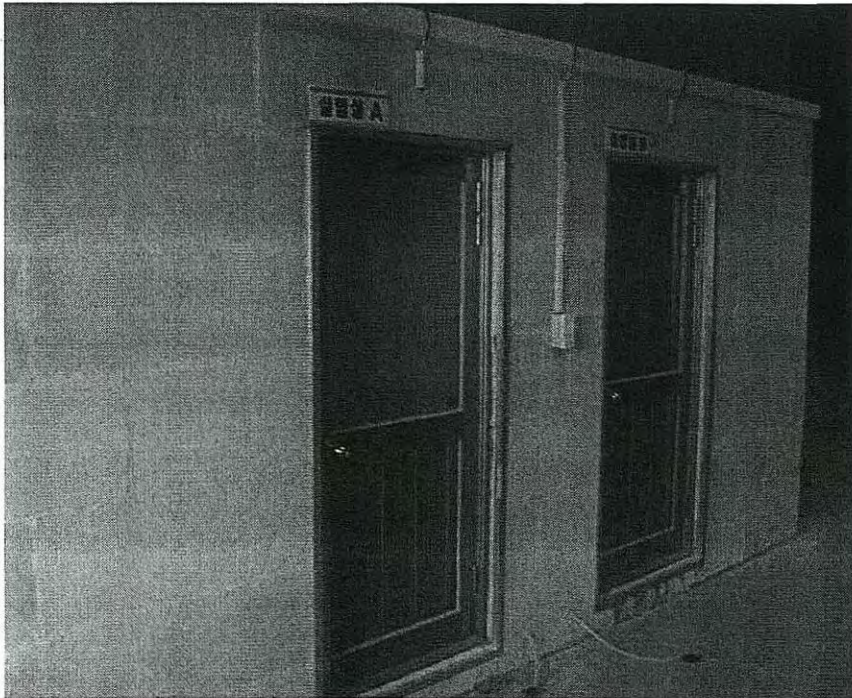
나. Mock-up Test에 의한 성능평가

나노다공성 세라믹패널 T-VOC 흡착성능을 평가하기 위한 Mock-up test를 실시하였으며 Fig. 41과 같다. Mock-up test를 위한 실크기는 2×3×2m이며 흡착성능을 비교하기 위해 패널이 부착된 실

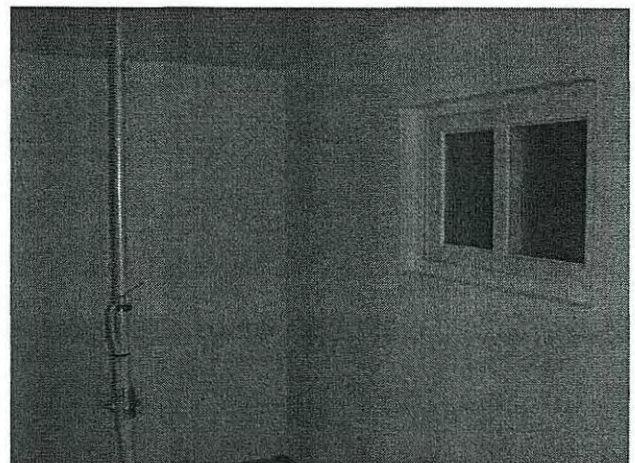
Mock-up test

실험실 A : 나노다공성 패널 시공

실험실 B : 실크벽지 시공



A Room

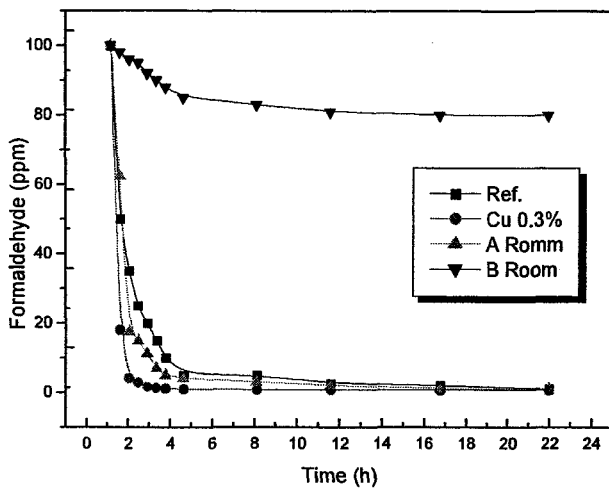


B Room

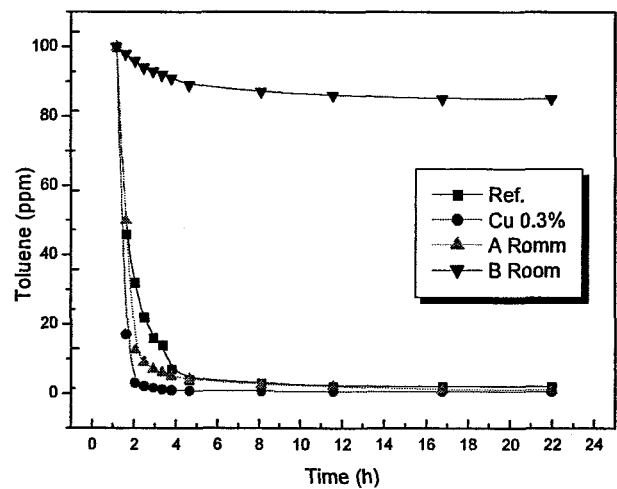
Fig. 45 Adsorption and decomposition of T-VOC in Mock-up

험실과 부착되지 않은 실험실로 구분하여 흡착에 대한 성능을 비교하였다. 실험실 벽면에 패넌을 부착된 A실험실은 천정을 제외한 면이 패넌로 제작되었으며 기존의 패넌(프탈로시아닌 Cu 0.3% 첨가, 무첨가(Ref.) 패넌)의 비교하였다. 패넌이 부착되지 않은 B 실험실은 일반 주거의 벽지로서 이용되는 실크벽지로 처리하였다.

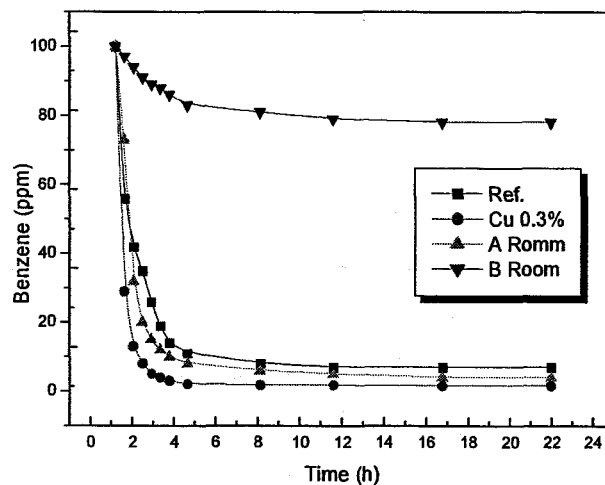
세라믹패넌는 부착 전 패넌의 상태 및 치수를 확인하고 시공되는 바탕면의 평활도를 확인한 후 시공면의 상부로부터 붙임위치를 파악하여 부착위치를 확인하였고 안쪽모서리부터 바깥쪽으로 시공 하였다. 줄눈은 상하부가 동일한 통줄눈을 하였으며 간이 접착식 붙임대와 전용본드를 사용하여 시



(a) Formaldehyde



(b) Toluene



(c) Benzene

Fig. 46 T-VOC adsorption curve of panels

공하였다. 가급적 세라믹 패넬이 절단되지 않도록 하였으며 벽면하부에 이음매를 두었다.

지정된 벽면에서의 시공시간은 약 6시간 정도가 소요되어 시공성 또한 양호한 것으로 판단된다. T-VOC의 측정은 포름알데이드를 사용하여 대상 가스를 제작한 후 밀봉된 실험실내에 주입한 후 대상가스를 포집하여 흡착성능을 평가하였다. 가스의 포집위치는 실험실 중앙부의 지면으로부터 1m지점이며 동일한 위치에서 측정하였다. 실험결과는 Fig. 46에 나타내었다.

30×30×0.7cm 크기의 패넬을 벽면에 부착한 A 실험실의 포름알데히드 및 톨루엔의 흡착 특성은 기존 프탈로시아닌 금속 Cu 0.3% 첨가 패넬에 비해 흡착 속도는 다소 떨어졌으나 24시간 경과 후 98% 이상 흡착되었음을 확인하였고, 벤젠의 경우, 약 95%의 흡착 특성을 나타내었으며, 본 연구의 목표치를 충분히 만족하였다.

다. 체크리스트에 의한 세라믹패널의 시공성능평가

나노다공성 세라믹패널의 시공방법 및 성능을 수월하게 평가하기 체크리스트를 작성하여 각 공정단계별 주요사항 및 성능을 점검할 수 있다.

체크리스트에 의한 재료선정 및 시공성능 평가표는 다음과 같다.

※ 체크리스트(재료)

구분			체크리스트		소요규격																																
재료	세라믹 패널	흡착 성능 확인	소요규격의 확인 (관련시험규격의 공인기관 시험성적 서의 유·무 확인)	유	무	1. 흡습량 확인 <table border="1"><tr><th rowspan="2">등급</th><th colspan="3">흡습량(g/m²)</th></tr><tr><th>3시간</th><th>6시간</th><th>12시간</th></tr><tr><td>3</td><td>36</td><td>50</td><td>71</td></tr><tr><td>2</td><td>25</td><td>35</td><td>50</td></tr><tr><td>1</td><td>15</td><td>20</td><td>29</td></tr></table> 2. 조습력 확인 <table border="1"><tr><th>등급</th><th>조습력(g/m²℃)</th></tr><tr><td>3</td><td>0.9</td></tr><tr><td>2</td><td>0.7</td></tr><tr><td>1</td><td>0.4</td></tr></table> 3. 포름알데히드 흡착력 <table border="1"><tr><th>등급</th><th>흡착력(%)</th></tr><tr><td>4시간</td><td>90%</td></tr></table> - 국내 관련규격이 없으므로 추후 제정되는 경우 확인	등급	흡습량(g/m ²)			3시간	6시간	12시간	3	36	50	71	2	25	35	50	1	15	20	29	등급	조습력(g/m ² ℃)	3	0.9	2	0.7	1	0.4	등급	흡착력(%)	4시간	90%
		등급	흡습량(g/m ²)																																		
	3시간		6시간	12시간																																	
3	36	50	71																																		
2	25	35	50																																		
1	15	20	29																																		
등급	조습력(g/m ² ℃)																																				
3	0.9																																				
2	0.7																																				
1	0.4																																				
등급	흡착력(%)																																				
4시간	90%																																				
치수	치수 및 외관검사 후 이상유·무 확인	유	무	1. 허용오차 범위이내 확인 7~10mm ± 2 mm																																	
접착제	종류	종류에 따른 시공방법 검토의 유·무 확인	유	무	1. 전용 실링재 2. 내장용 접착제 3. 일반 접착제 4. 충전재 5. 신축줄눈재																																

※ 체크리스트(시공)

구분			체크리스트			소요규격															
시공	적용대상범위	시공환경	적절한 시공환경의 유·무 확인	유	무	1. 특수한 조건 2. 고온 및 고습조건 3. 탄산 및 염소가스 등 특수환경 조건															
		시공범위	적절한 시공범위의 유·무 확인	유	무	1. 시공범위의 확인 높이, 길이, 경사도 등 2. 적용대상의 확인 실내, 실외부 3. 물 및 고온 등 특수시공 범위 등이 적합한가 확인															
		시공대상	적절한 시공대상의 유·무 확인	유	무	1. 바탕면이 시공대상으로 적합한가의 확인 2. 바탕면에 따른 조건 및 평활도 석고보드, 모르타르 바탕면 등															
	시공계획	시공방법	시공을 위한 사전계획의 유·무 확인	유	무	1. 재료투입 및 시공성 여부 확인 2. 마감대상면의 시공방법 확인 - 줄눈, 부착위치, 마무리 등															
		재료투입	시공을 위한 재료투입계획의 유·무 확인	유	무	세라믹패널 및 부자재의 투입여부 확인															
		바탕면	바탕면 검사의 유·무 확인	유	무	<table><tr><th>바탕면</th><th>조건</th><th>바탕면의 평활도</th></tr><tr><td>석고보드</td><td>두께 9.5mm 이상</td><td rowspan="6">±1.0mm /2m 이내</td></tr><tr><td>합판</td><td>두께 5.5mm 이상</td></tr><tr><td>슬레이트</td><td>오토크레이브양생폼, 두께 4.0mm 이상</td></tr><tr><td>규산칼슘판</td><td>밀도 1.0, 두께 6.0mm 이상</td></tr><tr><td>모르타르</td><td>양생 4주 이상</td></tr><tr><td>콘크리트</td><td>양생 4주 이상</td></tr></table>	바탕면	조건	바탕면의 평활도	석고보드	두께 9.5mm 이상	±1.0mm /2m 이내	합판	두께 5.5mm 이상	슬레이트	오토크레이브양생폼, 두께 4.0mm 이상	규산칼슘판	밀도 1.0, 두께 6.0mm 이상	모르타르	양생 4주 이상	콘크리트
	바탕면	조건	바탕면의 평활도																		
	석고보드	두께 9.5mm 이상	±1.0mm /2m 이내																		
	합판	두께 5.5mm 이상																			
슬레이트	오토크레이브양생폼, 두께 4.0mm 이상																				
규산칼슘판	밀도 1.0, 두께 6.0mm 이상																				
모르타르	양생 4주 이상																				
콘크리트	양생 4주 이상																				

구분			체크리스트			소요규격
시공	시공 계획	면 및 줄눈 나누기 계획	줄눈나누기가 적합한가의 유·무 확인	유	무	1. 맞대기면 2. 타부재와의 접합부 3. 줄눈간격 : 2mm 4. 절단부 : 50mm 이상유지
		절단	적절한 시공범위의 유·무 확인	유	무	1. 시공범위의 확인 높이, 길이, 경사도 등 2. 적용대상의 확인 실내, 실외부 3. 물 및 고온 등 특수시공 범위 등이 적합한가 확인
		부착	적절한 부착강도의 유·무 확인	유	무	1. 접착강도 : 0.4MPa 이상 2. 부착두께 확인
		실링 작업	이음부 및 돌출부에 대한 실링 여부	유	무	이음부, 타부재와의 접합부, 돌출부 확인
		보양	적절한 보양 유·무 확인	유	무	오염제거 및 보양의 여부
성능	시공 여부 확인	검사	양질 시공여부의 확인	유	무	1. 시공 중 검사 2. 두들김 검사 3. 접착력 시험

제 4 장 사업화 계획 (상품명 : G-light, 가칭)

제 1 절 시장분석

G-light(가칭)는 제품특성상 주야간 구분 없이 24시간 사람이 거주하는 주택 등의 주거용 건축물, 호텔, 병원의 병실 등의 건축물에 주로 많이 사용될 수 있을 것이며 그 중 불특정 다수가 이용하는 상업시설보다는 주택에 가장 많이 적용될 수 있는 제품이며 한국건축시장 규모도 주택시장이 가장 크고 활발함.

1. 주택시장규모

한국 내 연간 주택건설 규모는 공공 및 민간을 합해 약 50만호 내외이며 이중 민간부문 건립이 약 40만호이고, 공공부분 건립은 약 12만호 내외임.

(공공분야는 대부분 소형 장기임대 주택으로서 G-light 적용이 어렵다고 판단하여 본 검토에서 제외)

□ 최근 5년간 전국 주택 건설 실적 (단위 : 호)

년 도	합 계	단독주택	다세대주택	연립주택	아파트
2008	371,285	53,667	50,421	4,044	263,153
2007	555,792	51,450	23,184	4,696	476,462
2006	469,503	37,711	14,223	4,678	412,891
2005	463,641	27,799	15,718	4,613	415,511
2004	463,800	34,237	20,988	3,697	404,878

주1) 주택건립 전체의 약 90%는 아파트이며 아파트 공급물량의 대부분이 대형 건설사에 편중됨.

주2) 주택건설 상위 20개사 - 약 25만호 공급

주택건설 상위 30개사 - 약 30만호 공급 (약 370Projects : 약 810호/Project)

2. G-light 잠재시장규모분석

구매 결정자	구매자	건설회사			구매자	최종소비자(實 거주자)		계
주택 종류	신규분양아파트	신규분양 연립주택	다세대 주택신축	입주예정아파트	기존아파트 리폼	단독주택 신축		
	(공공부문 12만호 제외) 320,000호	5,000호	15,000호	320,000호	약 520만호	28,000호		
	세대전용면적 규모별 예상 85㎡ 초과: 120,000호 85㎡ 이하: 180,000호							
	단지 규모별	분양	임대	단지 규모별 500호이상 300,000호	주로 이사때 리폼	30~150평 규모 다양		
사업주체	대형건설회사 30여개사	중소건설사	개인업자	최종소비자(實 거주자) (인테리어 업체와 협의)		최종소비자 (건축설계사무소)		
	대형평형: 40,000호 (13만호x30%) 중소형 : 20,000호 (19만호x10%)	500호 (5,000x10%)	거의없음	약 10,000호 입주때 리폼하는세대X 건강내장제사용 세대 (320,000*15%*20%)	10,000호 (50만호x2%) 이사주기를 10년 가정	1,500호 (28,000호x5%)	82,000호	
	시장내장제 적용 세대수							
시장활성화 시기 (본격 수요발생)	시장규모	약10,000㎡ (500x20㎡)		100,000㎡ (1만호x10㎡)	100,000㎡ (1만호x10㎡)	30,000㎡ (1,500호x20㎡)	840,000㎡	
	2012년 부터 설계만영부터 약 2년 후	2011년 부터 공급원활(공장준공)로 전국대리점 정상영업 후			2012년 부터 충분한 홍보 후			

3. G-light 시장 특성 분석

한국 시장 총 규모 95%가 아파트 시장임.

- 신규 분양 아파트 시장	: 60만㎡	시장 총 규모의 71%	83%
- 신규 입주예정아파트 시장	: 10만㎡	12%	
- 기존 아파트 리폼 시장	: 10만㎡	12%	
합 계		: 80만㎡	95%

가. 목표시장 분석 : 신규 분양예정 아파트 시장 (총 시장 규모의 71%)

- G-light의 적용여부는 건설회사가 결정함
- 한국 내 아파트의 설계, 구조, 자재선정 등에 대한 트렌드는 상위 몇 개의 대형 건설사에 의해 결정됨.
(삼성/ 현대/ 대우/ GS/ 포스코/ 쌍용/ 대림/ SK/ 롯데/ 동부 등)
- 모델하우스에 적용된 자재사양은 변경이 매우 어려움

(1) 한국 내 주택시장은 아파트 단일시장 이라고 해도 과언이 아님. 따라서 한국에서 주택 내장재 인 G-light의 성공여부는 전적으로 아파트 시장에서의 성공여부에 따라 결정되며 이는 아파트 계획단계에서의 설계 반영 여부가 관건임.

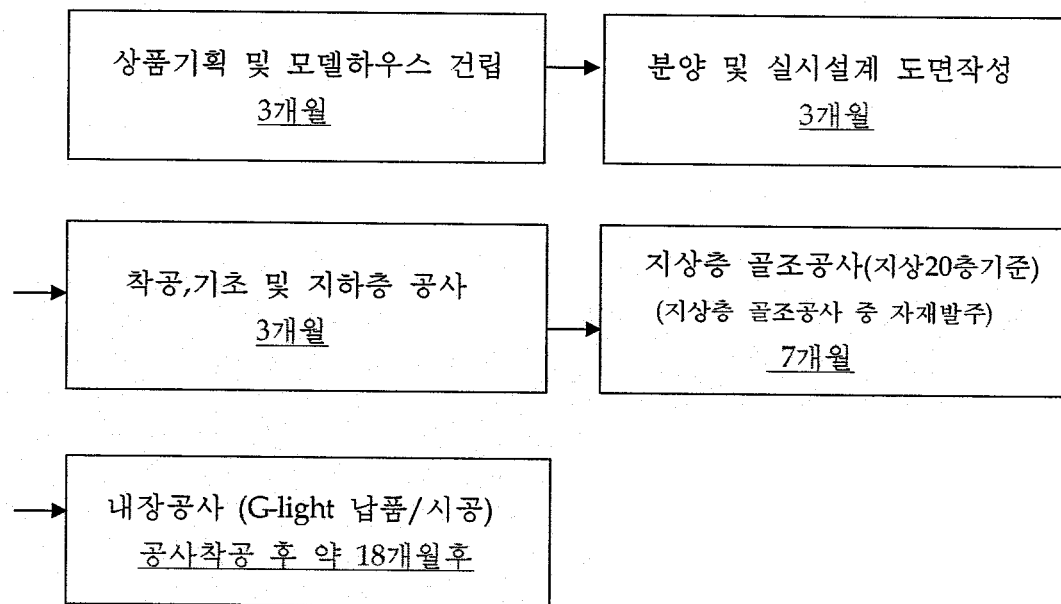
(2) 아파트 건설사들의 자재선택 기준

- 브랜드 이미지 : 제조사의 명성 / 소비자가 느끼는 브랜드의 위치
- 디자인 : 외관미 / 고급스러움 / 아파트 내부 전체의 분위기
- 성능 : 홍보자료 / 제품 성능시험 성적서 비교 / 현장의견 / 주부모니터
- 기타 : 현장 시공성 / 하자 가능성 / 유지보수 편의성
- 가격 : 소비자가 고가품으로 인식 / 건설사의 실제구매가와 소비자가 알고 있는 가격과 차이가 커야 함 (통상 권장소비자가가격의 50%내외)

(3) 아파트의 평면, 외관, 인테리어디자인 및 자재사양 등은 트렌드가 중시되며 상위 몇 개사가 주도함 - 중소건설사는 대형건설사의 디자인을 벤치마킹함.

(4) 디자인 경향은 경쟁적으로 고급화를 지향하고 건강 및 웰빙이 주요 이슈이며 새로운 것을 추구함.

- 한국은 1998년부터 아파트 분양가를 자율화 하였음. 분양가 규제시에는 정부에서 인정하는 표준건축비가 있어서 각 회사 아파트의 평면, 마감재 등이 차이가 없었으나, 분양가 자율화 이후는 각사가 품질과 분양가를 차별화하는 브랜드 마케팅이 매우 활발함.
 - 한국 정부는 2005년부터 [주택성능등급표시제도]를 도입하여 소음, 실내 공기질 (Sick House Syndrome) 등에 대한 품질기준을 마련함.
- (5) 또한 아파트 건설사들은 검증되지 않은 신제품은 사용을 기피하여, 초기(시장도입기)에는 제품 광고 및 홍보를 통한 제품 이미지 형성이 아주 중요하며 꼭 필요한 마케팅 전략임.
- (6) 아파트에 G-light가 적용되려면 설계부터 반영되어야 하므로 설계영업부터 시작하여 실제 자재 납품까지 통상 1~2년의 기간이 소요됨.



- (7) 모든 대형 건설사는 지역구분 없이 전국에 아파트를 공급함.
- (8) 선 분양 방식 - 건축허가 즉시 착공 전에 분양함. 따라서 아파트 구매자는 건설사의 모델하우스 (또는 카타로그) 만을 보고 구매여부를 결정해야 하므로 건설사의 지명도, 아파트 브랜드 이미지 등이 매우 중요함.
- (9) 분양시점 이후 모델하우스에 적용한 자재사양을 변경하기는 매우 어려움.(구매자들 모두의 동의를 구해야 하며 자칫하면 소송 등이 발생할 수 있어 거의 변경하는 예가 없음)
- (10) 기존 아파트 리폼 시대에도 신축아파트를 벤치마킹함.
- (11) 대형건설사의 아파트 디자인, 적용자재 등은 다른 종류의 주거형태(단독주택, 연립주택 등)에도 지대한 영향을 끼침. (신축, 리폼 불문)

나. 기타 시장 분석 : 신축 아파트 입주時 리폼/ 기존 아파트 이사時 리폼/ 일반 상업시설/ 의료시설 등

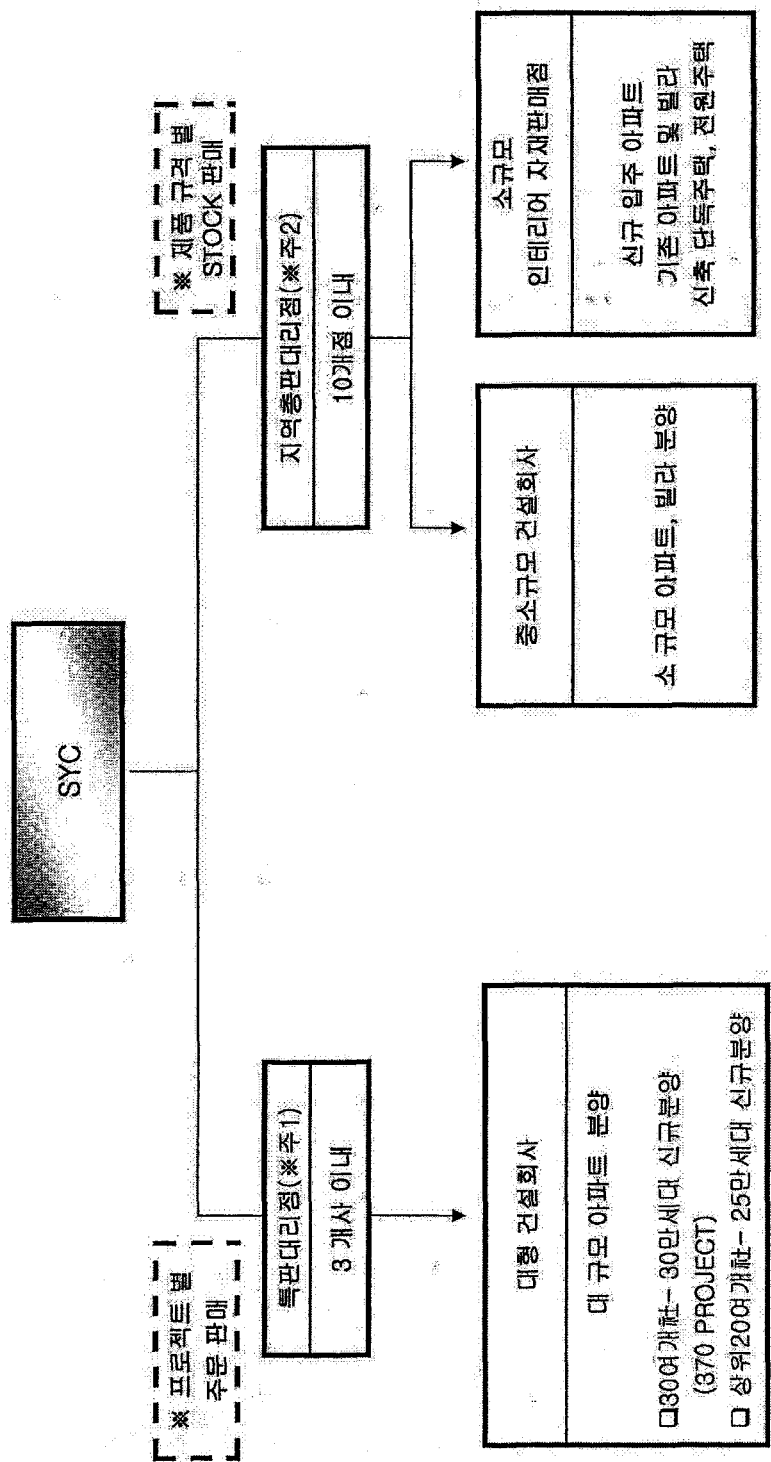
(1) G-light의 적용여부는 최종소비자 (End User / 소유주 또는 입주자 개개인)가 결정하며, 자재판매 및 시공을 맡은 소규모 인테리어업체 (또는 집수리업체 등)의 추천과 의견에 따라 자재선택시 영향을 받음.

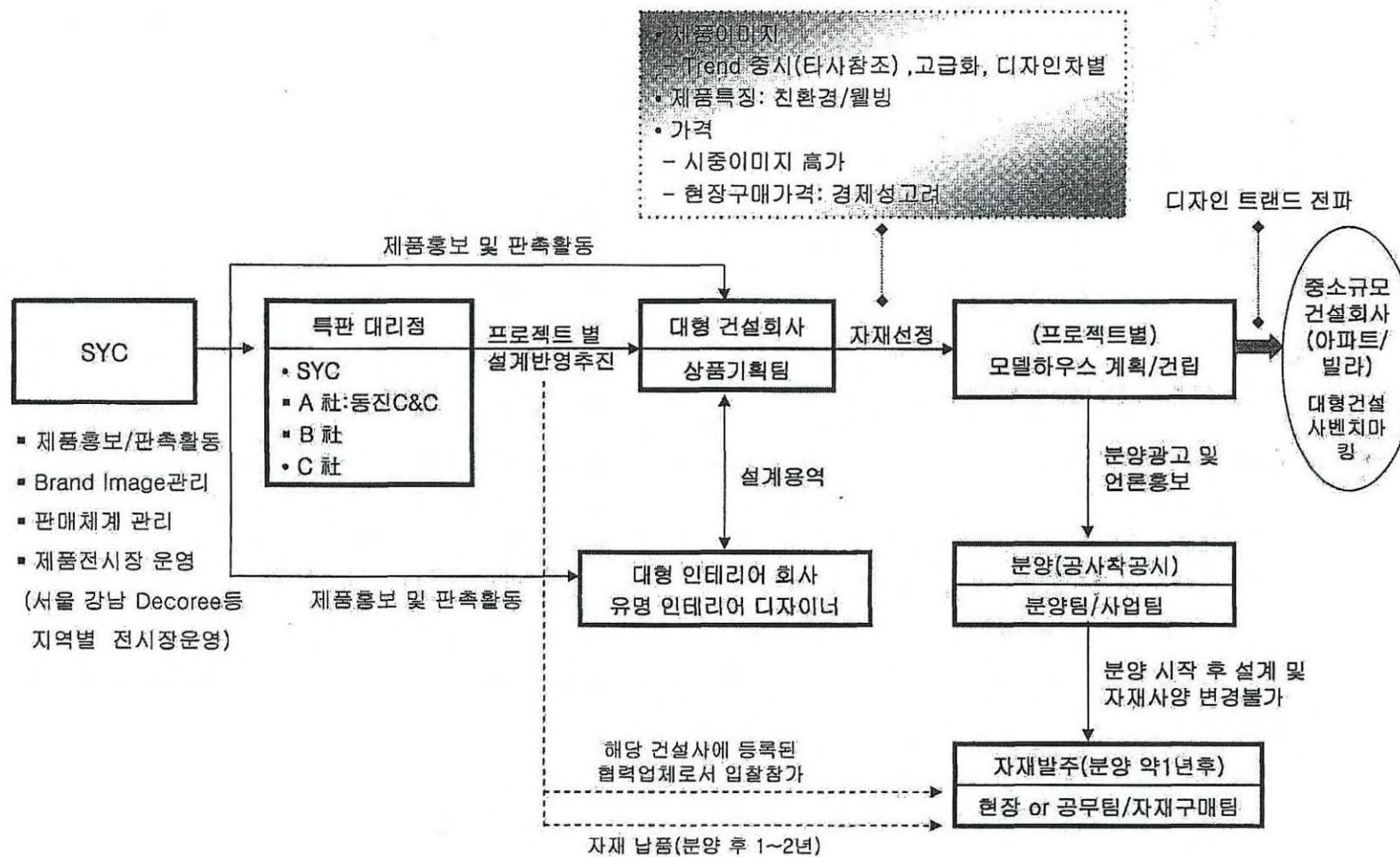
(2) 자재를 선택하는 입주자(소유주) 개개인은 홍보매체 (TV / 신문 / 잡지 등)의 정보 및 신규 분양 아파트의 트렌드를 중시

(3) 제품의 실제성능에 민감

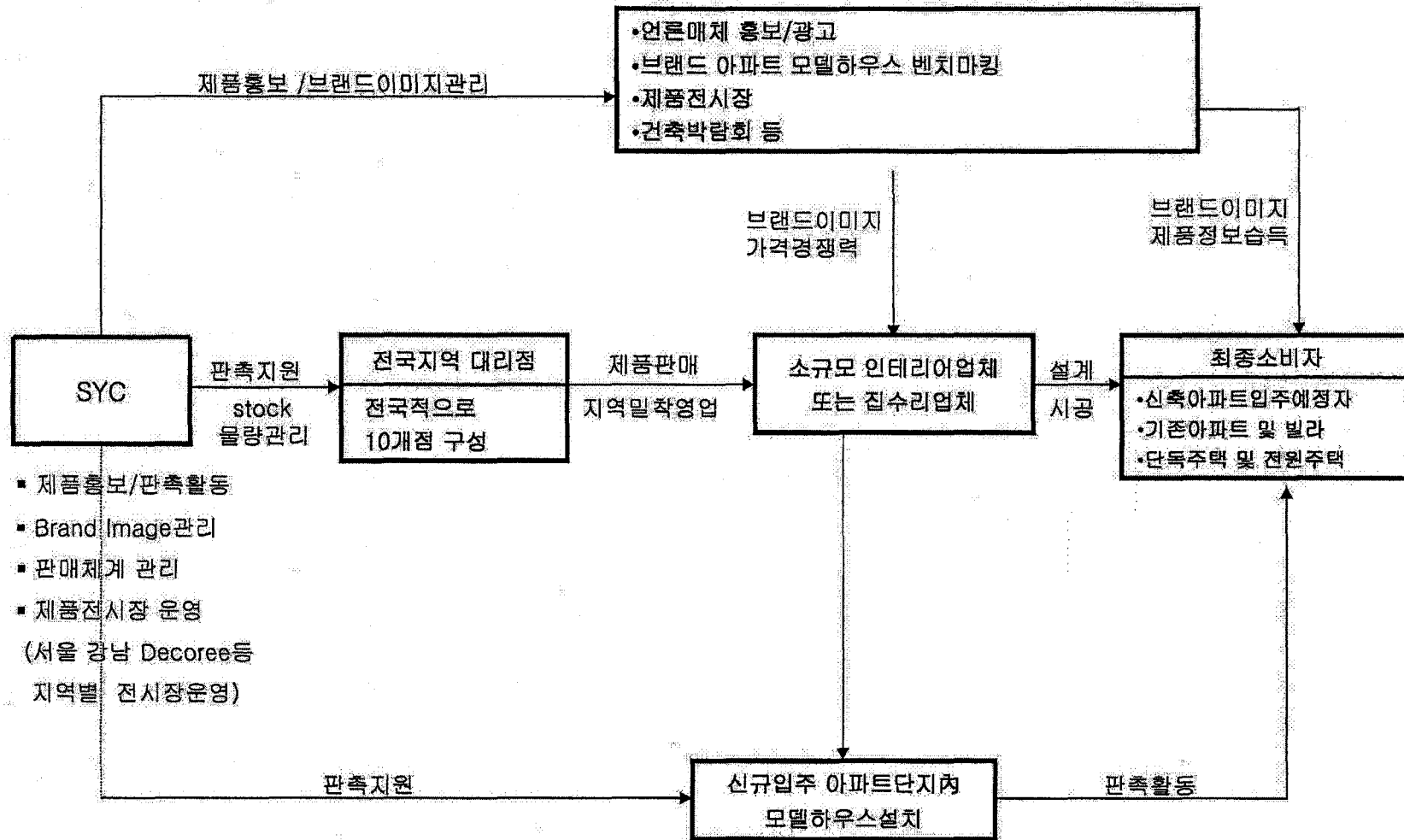
제 2 절 사전 마케팅 계획

1. G-light 판매 유통 채널





[주2] 지역총판대리점 영업 FLOW



2. 對 경쟁제품전략

구 분	현재 시장상황		전략 및 대책
	D社 제품	G-light	
브랜드 이미지	- 국내 인지도가 높은 自社名을 강조	- 브랜드 인지도 낮음	- 친환경 및 제품의 신뢰를 구하는 이미지 정립 필요
제품 디자인	- 제품 패턴 및 크기가 다양하고 고급스러운 제품을 구비함 - 주로 최종소비자를 겨냥한 제품라인	- 에코카라트에 비해 아직 제품 종류가 단순함	- 신규분양아파트시장 · 제품 디자인 차별화 · 국내아파트에 적합한 제품 디자인 개발 (신규 분양아파트 특판용) - 최종소비자 시장 · D社 제품 대비 동등 이상의 제품라인
제품 성능	- 국내 성능시험 결과 매우 우수함 - 계획적인 광고 및 홍보를 통해 실제 제품성능을 능가하는 고급 제품 이미지가 잘 정착 되어 있음	- 국내 성능시험 결과 에코카라트와 동등 이상. - 사업계획 단계로서 제품 이미지 아직 형성되지 않음	- D社 제품 보다 성능이 우수한 제품 개발 필수적임 - 단순한 성능비교를 벗어나 전반적인 제품의 우수성을 강조함. 즉, 원재료와 제조 방법, 성능의 연속성, 내구성 등을 종합적으로 비교
가격 정책	- 고가품 이미지 형성 - 유통단계 별 가격 가이드라인을 정해서 강력한 가격통제 - 타일제품과 구별되는 고급내장재로 인식시키는데 성공함	? (가격정책의 방향을 설정할 수 없는 혼란스러운 상태임)	- D社 제품 동등 이상의 고가품 이미지 구축 - 유통단계 별 체계적인 가격관리 - 타일제품 및 타 환경 관련제품과 차별되는 제품 이미지 형성

판매 유통 체계	- 3개의 영업소와 18개소의 대리점 - D社 제품 뿐만 아니라 타일, 위생도기 등 동서 제품 전체를 취급하고 있기 때문에 경험과 실적이 많고, 거래처 확보 능력 등 영업력이 우수함	- 아직은 Pilot Plant 생산 단계로 제품 수급물량이 제한적이며 시장 도입 초기로서 대리점조직을 검토해 나가는 과정에 있음 - 대형건설사와 거래하고 있는 내장재(타일 및 석재) 특판업체와 특판 대리점 계약을 완료하고 대형건설사 설계영업 중임 - 각 지역 전자재판매총판 중 동서대리점과 경쟁할 수 있는 지역대리점업체 검토 중임	- D社 제품의 취급대리점에 비해 제품이 G-light 單品이기 때문에 G-light를 취급할 대리점은 D社대리점과 경쟁할 수 있는 제품품목 및 영업력을 구비한 기존 업체를 특판 대리점 및 지역 대리점으로 확보해야함. - 특판 대리점은 다수의 대형건설사를 이미 거래처로 확보하고 있는 대형 건설사의 자재납품 협력업체로 구성 · 2~3개사 목표 · 현재 1개사 확정 - 지역 대리점은 현재 주로 수입 타일, 대리석 등 고급 내장재를 취급하고 있는 해당 지역 총판업체들로 구성 · 10 개점 이내 목표
홍보 및 광고	- 2005년 : 고급제품 톱탈런트를 모델로한 웰빙라이프 강조 / 연예인의 주택을 통해 제품을 고급 내장재로 홍보하여 성공함 - 2006년 : 대중화 D社 제품과 함께하는 체인지 더 하우스 일반 소비자의 실제 프로젝트를 통해 대중화 단계에 접어들	- D社 제품에 대응하는 고급브랜드 마케팅으로 한국시장 내 친환경 기능성 내장재 제품이 신뢰할 수 있는 전자재로서 수명이 긴 장수명 전자재 브랜드로 자리잡도록 함	- 조속한 시일 내에 전체적인 마스터플랜에 의한 · 계획적이고 · 체계적이며 · 지속적인 홍보 및 광고를 하여야 함 ① 인테리어 디자인 전문지 및 자재 전문지 집중게재 자재 및 브랜드소개 적용프로젝트 소개 광고 게재 등 ② 상설 전시장 운영 대도시 중심가에 상설 제품전시장 운영 D社 제품전시장보다 우수해야 함

			③ 대형건설사 대상 선진 일본내 기능성내장재 적용현장Tour Program운영 ④ 홍보용프로젝트추진 홍보효과를 고려한 프로젝트 개발 ⑤ 건축박람회 참가 D社 제품에 대응할 수 있는 기획과 콘텐츠를 개발하여 참가 ⑥ 관련 학회, 협회, 그룹 등의 이벤트에 참여하여 언론매 체 및 전문가들에게 집중 홍보 ⑦ 매체광고 신문,라디오,TV 등 매스미디어를 통한 광범위 한 제품광고
--	--	--	--

3. G-light 광고 및 홍보 계획

(단위 : 백만원)

항 목	세부내역	2010년		2011년		2012년		2013년		소 계	비 고
		상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기	상반기	하반기		
1	판촉물 제작 카타로그, 샘플 등 기본적인 판촉물 기획, 제작		30	20		30		20		100	카타로그:년 1회 개정발행 다양한 판촉물 제작, 배포
2	제품 전시 판매장 운영		50	10	10	10	10	10	10	110	전시판매장 설치운영
				30	30					60	설치비 지원 15 / 개소
3	전문지 광고		5	5	5	5	5	5	5	35	매월 1개지 광고 & 매월 1개지 홍보기사
			5	5	5					15	
			5	5	5	5	5	5	5	35	
			5	5	5					15	지속적인 브랜드광고
4	중앙일간지 지면 광고		150	150	150	150	150			750	광고료: 10 (1면 물출기준) 4대일간지에 3회/분기 게재 기준
5	인터넷 및 TV 전파 광고		20	20	20	20	20			100	스폰서사이트 및 오버슈어광고
								150	150	300	광고송출료 : 평균 5 / 회 특정 프로그램 4회 / 월 기준
						100	60	60	60	280	광고제작비 : 100 광고송출료:0.5/회 1회/일x20일/월
6	FAIR 참가		30	30		30		30		120	
7	홍보용 프로젝트 개발			20	20	20	20			80	10 / PROJECT
소 계		300	300	300	250	370	270	280	280	2,000	

제 3 절 판매계획

1. G-light 년도 별 판매목표

구매 결정자		구매자 - 건설회사					구매자 - 최종소비자(實 거주자)					계			
주택 종류		신규분양아파트			신규분양 연립주택		인주예정아파트		기존아파트 리폼		단독주택 신축				
시장 규모		600,000㎡ (6만호x10㎡)			약10,000㎡ (500x20㎡)		100,000㎡ (10,000호x10㎡)		100,000㎡ (1만호x10㎡)		30,000㎡ (1,500호x20㎡)		840,000㎡		
M/S 구분 (%)		25	30	35	25	30	35	25	30	35	25	30	35	35	
년 도 별 판 매 목 표 (천M2)	2013	150	180	210	2.5	3	3.5	25	30	35					
	2012	80	100	120	2.5	3	4	25	30	35					
	2011	30	40	50	1.5	2	2.5	20	25	30	8	10	15	2	
시장활성화 시기 (본격 수요발생)		2012년부터 설계발영부터 약2년후			2011년 중반부터 공급원활(공장준공)로 전국대리점 정식영업 후					2012년부터 충분한 홍보 후					

※ 시장 마켓셰어는

제품의 원활한 공급 능력
제품 품질
제품디자인과 가격의 다양성
제품의 시장 공급 가격 (탄력적 대응)
아시히와 SYC의 체계적이고 지속적인 마케팅활동

— 에 따라 좌우 될 것 임

2. 손익 추정

· 가동 3년차에 총 판매수량 360천㎡를 달성하며, 판매단가 25,000원/㎡, 한계 이익율 55%이상, 매출 총이익율 35%이상을 목표로 함.

(단위:백만원)

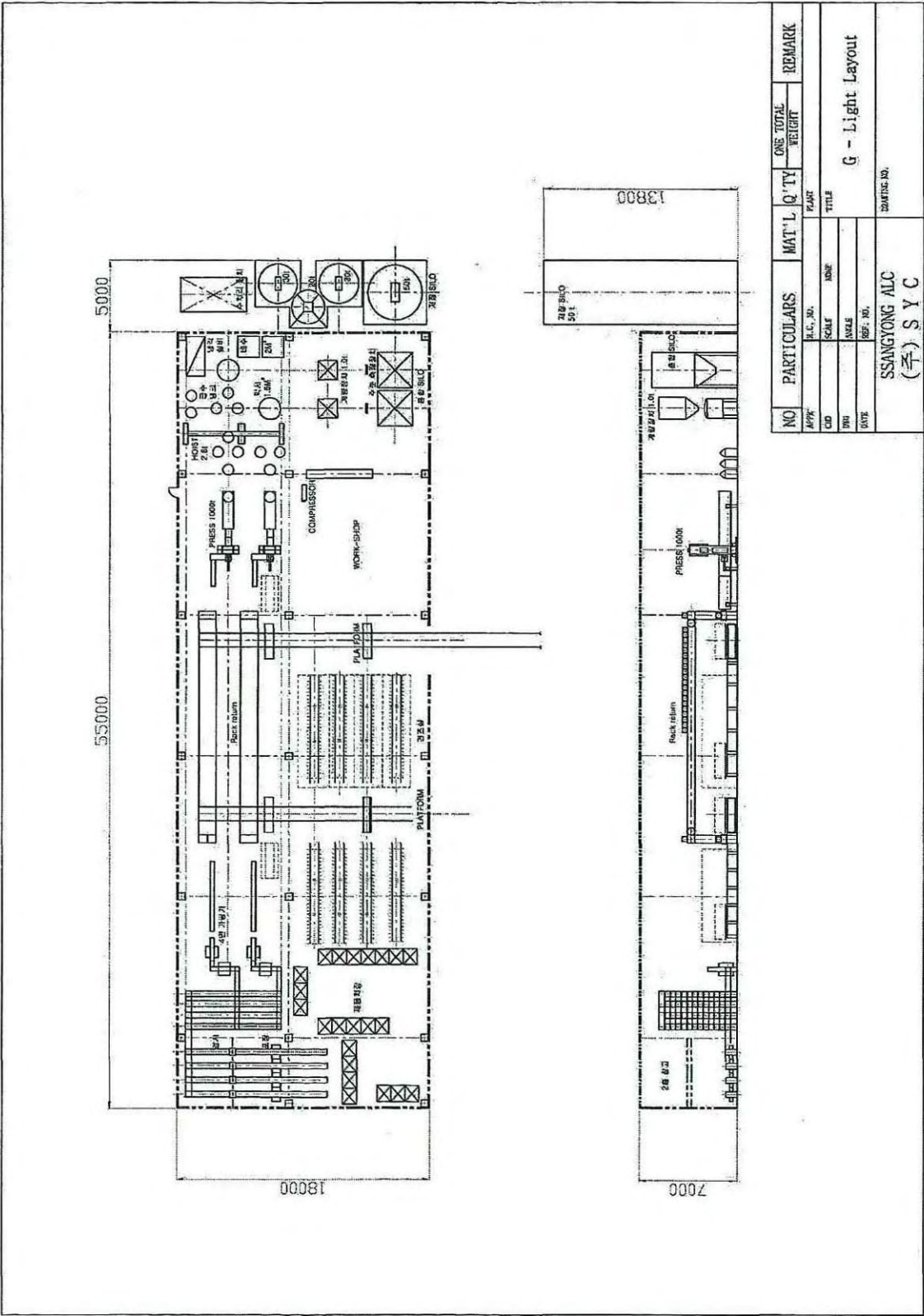
구 분		1차년도 (1교대가동)	2차년도 (2교대가동)	3차년도 (3교대가동)
매출액 (A)	G-light	2,500 (100,000㎡)	5,000 (200,000㎡)	9,000 (360,000㎡)
	시공 부자재	300	600	1,080
	소 계	2,800	5,600	10,080
제조 원가 (B)	원·부재료비	110	220	396
	기타 변동비	70	140	252
	운반비	300	600	1,080
	노무비	250	500	900
	부자재 사업비	500	1,000	1,800
	소 계	1,230	2,460	4,428
(A)-(B)	한계이익	1,570	3,140	5,652
제조 고정비	금형 손모비	200	400	600
	보관 적재비	100	200	360
	수선·수선재료비	150	300	540
	각종 부대비용	100	100	100
	기타 소모품비	40	80	140
	설비 감가상각비	400	400	400
	소 계	990	1,480	2,140
매출 총이익		580	1,660	3,512

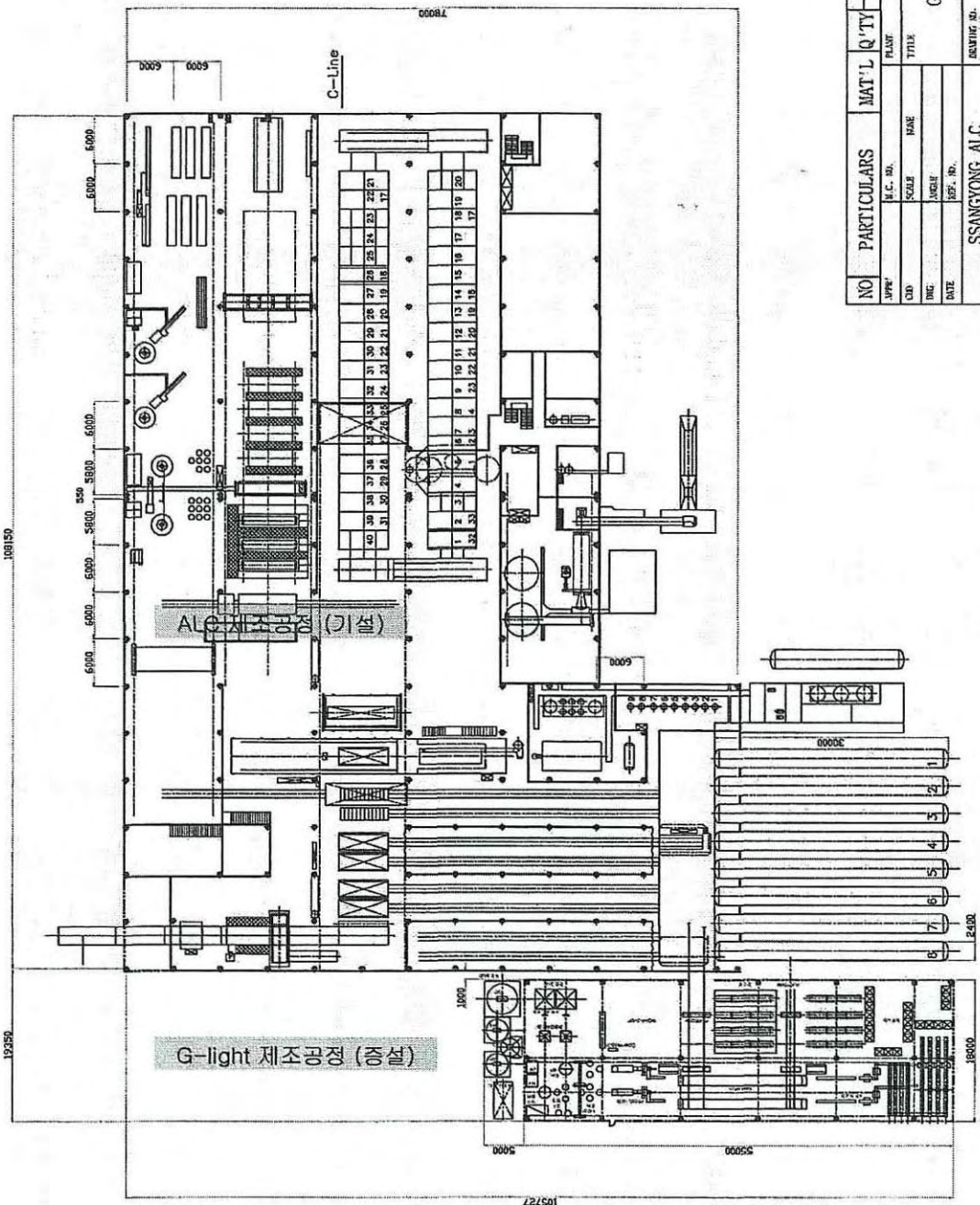
제 4 절 생산체제

1. 설비 lay out / 공정 Flow sheet ; 별첨. 1,2
2. 제조설비 공사예산(안) ; 별첨. 3
- 가. 공장 location ; 현 ALC 공장 내
- 나. 설비투자비 (1차) ; 50억원 (증기양생기 등 기존설비 이용시 40억원)
- 다. 생산능력 (1차) ; 400,000m³/년
3. 양산화 일정계획(안) ; 별첨. 4
4. 생산 인원 구성(안)

구 분	인원(명/교대)	교대수	총 원	비 고
1. 믹서운전원	2	3	6	· 폐수처리 포함
2. 프레스	2	3	6	
3. 운반장치	1	3	3	
4. 사상작업	2	3	6	
5. 검사 및 포장	12	1	12	· 여성인력
6. 출하	1	1	1	· 지게차 운전
7. 관리자	1	1	1	
계	21		35	

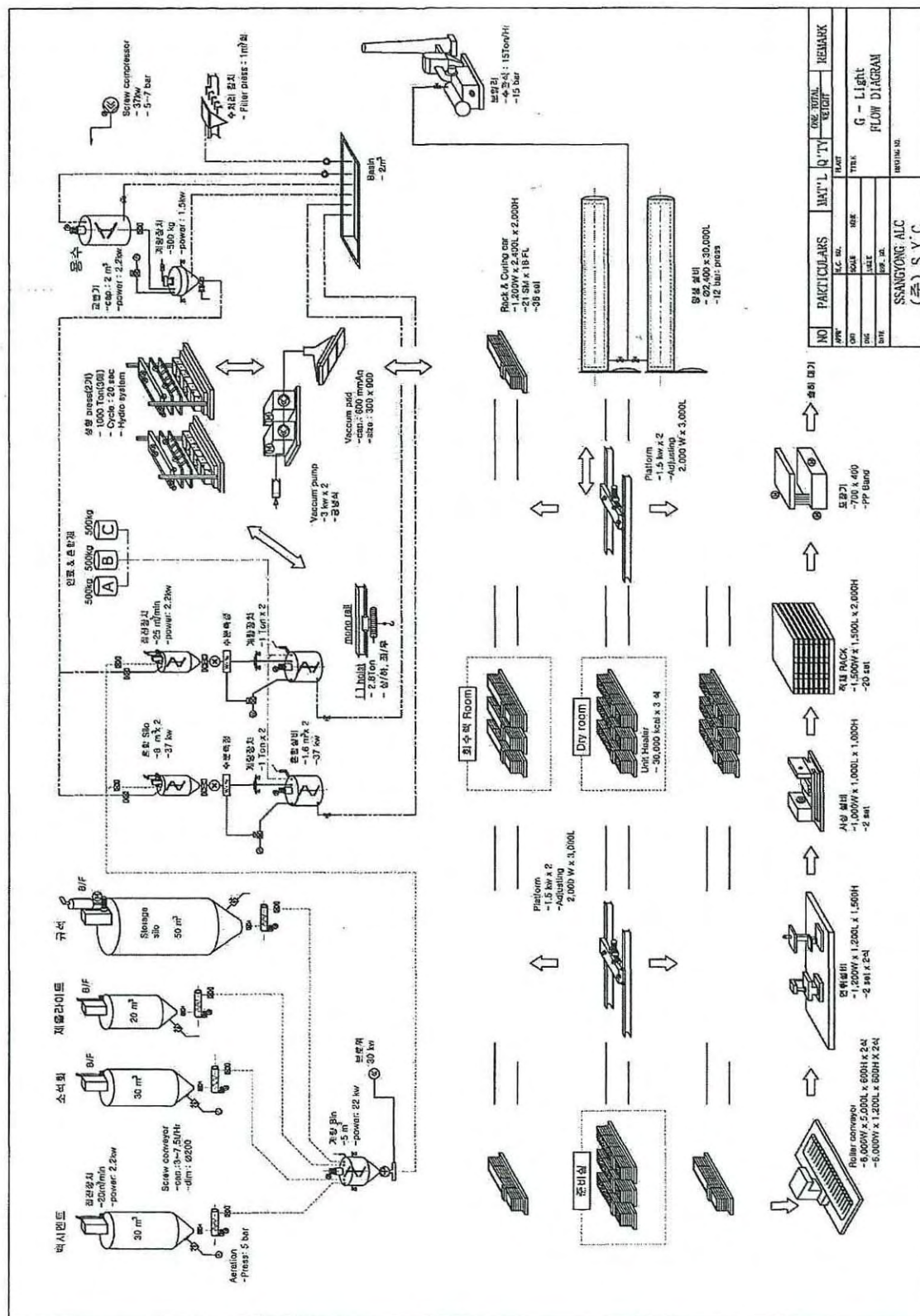
별첨 1. 설비 Layout





NO	PARTICULARS	MAT'L Q'TY	ONE TOTAL WEIGHT	REMARK
APP#	U.C. NO.	PLANT		
CD#	SCALE	NAME		
INC	SCALE			
DATE	REF. NO.			
SSANGYONG ALC (주) S Y C				ISSUING NO.
G - Light Layout				

별첨 2. 제조공정 Flow



명칭	수량	설비비	공사비	합계	비고
원료조합설비					
원료수입, 저장설비	2식	105	45	150	원료Silo, BE, Blending Silo, BC
합수율조정장치	2식	25	13	38	Pump, 유량계, 급수 탱크 등
원료혼합장치	2식	423	26	449	유니버설type mixer (37kw, 헤체장치 付), 냉각설비
합수율제어장치	1식	45	25	70	원료수입 ~ 조합원료배출
소 계		598	109	707	
프레스성형설비					
원료공급장치	2식	48	16	64	Hopper, Charger
프레스성형장치	2식	950	70	1,020	Press능력 1000ton, 금형1식
성형품취출장치	2식	45	15	60	진공흡착 type
수납설비	1식	270	0	270	수납용기 1500개
대차운반설비	1식	255	25	280	트레버서 4식, 2노선, 대차36대
운반공정제어장치	1식	35	20	55	컴프레서, 배선공사 등
소 계		1,603	146	1,749	
증기양생처리설비					
증기양생기	2식	400	100	500	처리능력 ; max. 6000매/회 · 12hrs, 기존설비 활용가능
보일러설비	1식	250	50	300	수관식보일러, 기존설비 활용가능
제품건조장치	4식	177	45	222	처리능력 ; 8hrs/기, 열원 ; 증기
제품력제장치	4식	65	25	90	처리능력 ; 8hrs/기, 자연방치
소 계		892	220	1,112	
제품가공설비					
4면가공장치	2식	120	25	145	90° 빈전식 절삭가공기, 6매동시가공, 720매/hr
수납용기운반장치	2식	45	25	70	
제품운반장치	2식	115	35	150	제품저장사용
제품사상장치	4식	29	15	44	표면사상
제품포장장치	4식	28	7	35	BOX포장
소 계		337	107	444	
공통설비					
진원설비	1식	60	20	80	기존설비 활용가능
집진설비	1식	48	22	70	350㎡, 37Kw
배수처리설비	1식	70	30	100	필터프레스 type
크레인설비	1식	29	11	40	2.8t
대지	1식	25	40	65	부지정지작업포함
건물	1식	140	430	570	1000㎡, 기계기초, 조명
비품	1식	20	3	23	소형건조기, 고압세정기, 청소기
잡공사	1식	20	20	40	
소 계		412	576	988	
합	계	3,842	1,158	5,000	

별첨 4. 양산화 일정계획(안)

항목	기간	2010년 1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	2011년 1월	2월	3월	4월
양산화제조기술학보																	
양산화제조기술학보																	
간편발규검토(공해, 각종인허가)																	
화학원료수출권 신청																	
생산기술 표준화 작업																	
기분규광구체화사업																	
제조설비공사(안) 확정																	
공사																	
원료혼합설비(Mixer분쇄)																	
원료혼합설비(계량, 수물조정)																	
Press성형설비(Press분쇄)																	
Press성형시스템																	
성형공민용설비(대치, 수납용기)																	
간조설비・적재장치																	
미감설비(포장설비포함)																	
기상설비(연결공정)																	
건출																	
설비유지 및 작업표준작성																	
설비유지지도																	
생산설비																	
관리생산																	

2월 : 500×2월 : 3월 : 1,000×2월 : 4월 : 1월

2월 : 500×2월 : 3월 : 1,000×2월 : 4월 : 1월

※ 2011년 5월 1일부터, 풍력생신이 가능하도록 2월 ~ 4월(3개월)은 생산 준비기간으로 한다.

* 각 설비의 시운전조정을 2010년도 11월 ~ 2011년도 1월에 실시함.

● Press의 경우 넘기 6개월, 빈료환합성비의 경우 넘기가 4개월 필요로 하므로 주번합비의 상세시안을 결정한다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트 등의 다공성 원료와 수열합성반응을 위한 기본 원료를 사용하여 복합기능형 세라믹 패넌을 개발하고자 하였으며, 다음과 같은 연구 결과를 도출하였다.

1. 다공성 원료 분석

가. 다공성 원료의 특성 분석 결과, 규조토, 벤토나이트 및 제올라이트의 주성분은 SiO_2 이었으며, 중국 규조토를 제외할 경우 강열감량은 약 3~10% 이었다.

나. 규조토의 미세구조는 중국 규조토의 경우, 대표적인 규조의 형태를 나타내었으나, 국내 철원 규조토는 변질의 형태를 나타내고 있었다. 포항 벤토나이트는 표면이 만곡구조를 이루었으며, 또한 많은 기공도 관찰되었다. 제올라이트는 타원형 또는 구형의 입자들로 관찰되었으며, 이들 입자는 판상의 미립자로 구성되어 있었다.

다. 철원 규조토는 비표면적이 $59(\text{G}), 68(\text{P})\text{m}^2/\text{g}$ 이었으며, 포항 제올라이트는 $57\text{m}^2/\text{g}$ 이었다. 이는 화순 벤토나이트($6\text{m}^2/\text{g}$) 및 중국 규조토($6\text{m}^2/\text{g}$) 보다 매우 높은 수준이었다.

라. 다공성 원료의 수분 흡방습 시험 결과, 다공성 원료의 비표면적 및 기공 부피와 상당히 밀접한 상관성을 나타내었다. 즉 비표면적 및 기공 부피 증가에 따라 수분의 흡방습능은 크게 향상되었으며, 이때 비표면적과 흡습능과의 상관관계계수는 0.93이었다.

2. 패넌의 물성

가. C/S 비의 변화에 따라 패넌의 수열합성 생성물은 변화하였으며, C/S 비 0.5에서 C-S-H (I)형 및 판상 토베모라이트 결정이 관찰되었다. 또한 C/S 비 0.7과 0.9에서는 판상의 토베모라이트 결정

이 주로 관찰되었으며, lath 또는 fiber 형의 결정이 관찰되기도 하였다. 다공성 원료의 사용에 따라 토베모라이트 결정의 관찰은 용이하였으며, 토베모라이트족 결정이 2개 이상 혼재해서 존재하기도 하였다.

나. XRD patterns 관찰 결과, C/S 비 0.7 보다는 다공성 원료 10% 첨가 패널에서 토베모라이트 피크 intensity가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 규석질보다 반응성이 우수한 다공성 원료의 사용에 따른 현상으로 판단되었다.

다. 패널의 흡방습 특성은 C/S 비 0.7 조건에서 흡습량 약 80g/m² 수준이었으며, 방습량은 약 40g/m² 수준이었다. 그러나 다공성 원료의 혼합에 따라 수분의 흡방습 특성은 크게 개선되어, 포항 제올라이트 10% 패널의 경우에는 흡습량 184g/m², 방습량 105g/m² 수준이었다. 또한 패널의 비표면적 및 기공 부피와 수분 흡습량과의 상관성은 약 0.52 수준으로 도출되어, 비표면적 및 기공 부피와 수분 흡습량에는 일정 부분 상관성이 있음을 확인하였다. 또한 다공성 원료의 종류(특히 화순 벤토나이트와 포항 제올라이트 등)에 따라 패널의 수분 흡습량은 차이가 있었으며, 이는 다공성 원료의 영향으로 추측되었다.

라. 패널의 물성은 열전도율 0.16W/mK 수준이었으며, 휨강도는 약 60kgf/cm² 전후의 값이 도출되었으며, 금속 분해제를 첨가한 패널의 동결융해 저항성(압축강도비) 측정 결과 금속 분해제의 첨가량이 증가할수록 압축강도비는 소폭 감소하였으나 본 연구의 목표치를 상회하였다.

마. 품질기준(안)

항 목		품질관리기준	비 고
치수	길이 (mm)	L ± 1.5	KS L 1001
	너비 (mm)	W ± 1.5	
	두께 (mm)	t ± 0.5	
휨강도 (kgf/cm ²)		30 이상	KS L 1001
건조수축율 (%)		0.1 이하	KS F 4914
비중		1.1 ± 0.1	KS L 1001
열전도율 (W/mk)		0.20 이하	KS L 9016
흡수율 (%)		20 ± 5	KS L 1001
습기 흡습량 (g/m ²)		150 이상	JIS A 1470
습기 방출량 (g/m ²)		80 이상	JIS A 1470

바. 유사제품과의 물성비교

구 분	하모나이트시즈	사라라	개발패널
수분 흡습량 (g/m ²)	120	40	184
수분 방습량 (g/m ²)	75	25	105
포름알데히드 흡착율 (%)	93	85	95
열전도율 (W/mK)	0.14	0.22	0.16
휨강도 (kgf/cm ²)	18	48	64
패널크기 (mm)	303×303×8	303×303×8	300×300×7

3. 패널의 T-VOC 흡착 및 분해 특성

가. 패널의 T-VOC 흡착 특성은 기공 및 비표면적에 따른 수분의 흡착 특성과 유사한 경향을 나타내었으며, 특히 포항 제올라이트 첨가 패널의 경우에는 T-VOC(포름알데히드, 톨루엔)의 흡착이 4시간만에 95%에 이르러 흡착 속도 또한 빠른 것을 확인하였다. 여기에 금속 분해제를 첨가할 경우, T-VOC 흡착 특성은 2시간 이후 98%를 상회하는 수준으로 크게 향상되었다.

나. TiO_2 sol 코팅법을 이용한 패널의 T-VOC 흡착 특성으로는 TiO_2 sol의 코팅 점도와 횡수를 달리 하여 측정한 결과, 포항 제올라이트 10% 첨가 패널에 비해 현저히 낮은 T-VOC 흡착 특성을 나타내었으며, 특히 벤젠의 경우, 80%의 흡착률을 보여 본 연구의 목표치에는 미달하는 수준이었다. 또한 TiO_2 sol 코팅법의 경우 500°C 의 에너지 사용과 코팅 점도 및 횡수에 따른 시간적 낭비를 고려하여야 하는 단점이 있다.

다. $30\times30\times0.7\text{cm}$ 크기로 제작한 패널의 Mock-up Test 결과, 포름알데히드 및 톨루엔의 흡착 특성은 기존 프탈로시아닌 금속 Cu 0.3% 첨가 패널에 비해 흡착 속도는 다소 떨어졌으나 24시간 경과 후 98% 이상 흡착되었음을 확인하였고, 벤젠의 경우, 약 95%의 흡착 특성을 나타내었으며, 본 연구의 목표치를 충분히 만족하였다.

4. 최적 패널 제조조건 확립

상기와 같은 결론으로부터 얻은 최적의 패널 배합조건은 C/S 비 0.7로부터 제올라이트를 외할 10% 첨가한 배합이었다. 여기에 금속 분해제로서 프탈로시아닌 Cu 0.3%를 첨가하여 제조한 패널로 도출되었다. 이때, 패널을 성형하기 위한 최적 압력은 100kgf/cm^2 , 수열합성 조건은 180°C -7시간 이었다.

제 6장 참고문헌

1. 심상효, 김윤신, 신축공동주택의 실내공기질 특성 및 평가 -휘발성 유기화합물 중심으로-, 한국환경보건학회지, 제32권, 제4호, pp.275-281 (2006)
2. 강현무, 배영문, 조홍근, 건축용 단열재료, 한국과학기술정보연구원, 심층정보 분석보고서, 2001. 12
3. 小原大輔, 다공성재료의 조습 메커니즘, 건축기술, pp.132-135, 2005. 1
4. 한국과학기술정보연구원, 새집증후군(Sick House Syndrome), 제 10호, 2004. 7, 보고서 (2004)
5. 심상효, 김윤신, 신축공동주택의 실내공기질 특성 및 평가 -휘발성 유기화합물 중심으로-, 한국환경보건학회지, 제32권, 제4호, pp.275-281 (2006)
6. W. D. Kingery 등, 세라믹스 총론, 반도출판사, 1983, pp.203-238
7. 東郷 優之, 무기질 소취조습 상도재에 대해서, Vol.37, No.8, 도장공학, 2002, pp.286-292
8. Kuo-Pin Yu, Shinhao Yang etc, The correlation between photocatalytic oxidation performance and chemical/physical properties of indoor volatile organic compounds, Atmosphere Environment, Vol.40, 2006, pp.375-385
9. 서성규, 윤형선, 구리 프탈로시아닌 촉매의 VOCs 산화 특성, 한국대기환경학회지, 제20권, 제4호, 2004, pp.515-521
10. Japan Cement Association, Cement & Concrete Encyclopedia, 1996, pp27-31
11. 쌍용양회, Introduction to autoclaved lightweight cpncrete, , pp.103-113 (1992)

12. Jin Hwan Noh, Sang Mo Ko, Mineralogical characteristics and genetic environment of zeolitic bentonite in Youngil area, J. Miner. Korea, 17(2), pp.135-145 (2004)
13. Jin Hwan Noh, Occurrence and Applied-mineralogical characterization of diatomite from the pohang-Gampo area, J. Miner. Korea, 19(4), pp.311-324 (2006)
14. 최재진, 이창용, 새로운 콘크리트용 재료로 기대되는 천연 제올라이트, 콘크리트학회 기술논문
15. R. M. Barrer, Hydrothermal chemistry of zeolite, Academic Press, pp. 1-27 (1982)
16. 松村 政典, 조습기능을 갖는 내장용도재의 개발동향, 建築仕上技術, 2003-10, pp.40-43
17. 山形 弘, 규조토를 사용한 조습성 마무리 도재, 도장기술, 2001년 1월호, pp.121-125
18. Inax社 및 Clion社 제품 카다로그
19. 前田 雅喜, 조습에서 화학물질이 사라질 수 있는가?, 건축기술, 2005, pp.171-173
20. B. Nait-Ali, K. Haberkorn and D. S. Smith, "Preparation and thermal conductivity characterization of highly porous ceramics comparison between experimental results, analytical calculation and numerical simulation", Journal of European Ceramic Society, in press, (2006).
21. R. Wassermann and A. Bentur, "Effect of lightweight aggregate microstructure on the strength of concrete", Cement and Concrete, 27, pp.525-537, (1997).
22. Y. Shiraki, Fine Ceramics Process Technique, Pearson Education, pp.204-231, (1992).

부 록 1

나노다공성 세라믹패널 시공메뉴얼(안)

(주) SYC

세라믹패널 시공메뉴얼(안)

1. 일반사항

1.1 적용범위

본 시공메뉴얼은 나노다공성 세라믹패널(이하, 세라믹패널이라고 한다)을 사용하여, 건축물의 내장 마무리를 하는 세라믹패널 붙임공사에 적용한다.

1.2 관련사항

본 공사와 관련이 있는 사항에 있어서 이 시공메뉴얼에 언급되지 않은 사항은 타일, 미장 중 다른 시방서의 해당사항에 따른다.

1.3 시공상세도면

세라믹패널의 마름질 크기를 명시하고, 문양타일이나 별도 색상의 세라믹패널을 사용할 경우 그 위치를 포함한 세라믹패널 나누기 도면을 작성하고 색상을 표기하여 담당원의 승인을 받아야 한다.

1.4 견본시공

세라믹패널은 필요하다고 판단될 때, 현장 견본시공을 하여 담당원 확인을 받은 후 해당공사를 시작한다. 견본시공된 부분은 본 공사의 품질기준으로 적용한다.

2. 사용가능범위

2.1 사용가능한 환경

가. 특수한 조건에서 사용하지 않는다.

나. 실내가 고온인 건물, 실내가 고습인 건물 등에서의 사용은 가능한 피하도록 한다.

다. 탄산가스 및 염소가스 등의 침식성 가스가 고농도인 장소(주조공장에 발효실, 도금공장 등) 내의 사용을 피하도록 한다.

2.2 사용가능한 범위

가. 높이의 제한 : 패널 붙임면의 높이를 10m이하로 시공한다.

나. 길이의 제한 : 연속벽으로 사용하는 경우 20m이하로 한다. 20m를 넘는 경우 신축줄눈을 설치한다.

다. 경사의 제한 : 수직내벽에서만 사용하며 경사진 벽에의 사용은 가능한 피하도록 한다.

라. 실외의 벽면이나, 천정, 바닥면 등에 적용하여 사용 할 수 없다.

마. 물과 접하는 부위, 고온에 접하는 부위, 세제가 사용되는 부위와 오염이 현저하게 예상되는 부위에서의 사용은 피하도록 한다.

2.3 사용가능한 바탕면

세라믹패널은 내장마감재로서 사용되는 경우 바탕면이 필요하며 적용가능한 바탕면의 범위 및 두께는 다음과 같다.

바탕면	조건	바탕면의 평활도
석고보드	두께 9.5mm 이상	±1.0mm/2m 이내
합판	두께 5.5mm 이상	
슬레이트보드 (플렉서블 판)	오토크레이브양생품, 두께 4.0mm 이상	
규산칼슘판	밀도 1.0, 두께 6.0mm 이상	
모르타르 바탕면	양생 4주 이상	
콘크리트 표면	양생 4주 이상	

- 바탕면의 평활도가 $\pm 1.0\text{mm}/2\text{m}$ 을 초과하는 경우 바탕면 조정을 실시한 후 사용한다.
- 바탕면에 금속 결속물 등이 돌출 및 노출된 경우 바탕면 조정을 실시한 후 사용한다.

3. 시공재료 및 준비

3.1 세라믹패널

3.1.1 사양

- 가. 외형 : 다양한 문양을 갖는 요철 형태의 외형
- 나. 두께 : 7mm 내지 10 mm
- 다. 허용오차 : $7\sim 10\text{mm} \pm 2\text{ mm}$

3.1.2 검사 및 시험

세라믹패널은 치수검사, 외관검사, 조습기능 성능확인 등의 시험이 특별히 지정되어 있을 때에는 규정에 따라 규격품 및 성능이 확인된 제품을 사용한다. 다만, 조습시험 등 조습건재로서의 성능확인 이 필요한 경우나 성능이 공사시방에 명확하게 명시되어 있는 경우 담당원의 승인을 받아 사용한다.

3.1.3 견본

세라믹패널은 색상과 품질을 확인을 할 수 있는 가로·세로 각각 1m 이상 크기의 합판 또는 하드보드 등에 각 색상의 실제 타일을 붙여 구성한 견본패널을 준비한다.

3.1.4 운반, 보관 및 취급

세라믹패널은 포장의 봉합이 뜯기지 않고 상표와 품질 표시사항이 손상되지 않게 하여 반입한다.

또한 사용직전까지 외기와 습기로부터 영향을 받지 않도록 보관하고 포장이 훼손되지 않도록 한다.

3.1.5 보수예비품

세라믹패널의 하자 보수를 위해 종류별로 패널의 상표와 품질표시가 명시되도록 포장하여 준공시 건축주에게 제출한다.

3.2 접착제

3.2.1 내장용 실링재(전용 실링재)

내장용 실링재는 출입부 및 타부재와의 접합부에 사용하며 제조업자가 보증한 세라믹패널 전용타입 실링재를 적용한다. 다만 전용타입 실링재를 사용하지 않는 경우 변성 실리콘계 실링재를 선택적으로 적용하여 사용할 수 있다.

3.2.2 내장용 접착제(전용 본드)

내장 세라믹패널용 접착제는 세라믹패널의 접착에 사용하며 제조업자가 보증한 세라믹패널 전용타입 접착제를 적용한다. 다만 전용타입 접착제를 사용하지 않는 경우 우레탄수지계 접착제를 사용한다.

3.2.3 일반 붙임용 접착제(전면 접착공법)

일반 붙임용 접착제는 타일 및 내장용 모자이크 타일 등의 붙이기에 사용하는 접착제를 사용하여 시공할 수 있다. 일반 붙임용 접착제는 견본품 및 시험성적서를 제출해서 담당원의 승인을 받도록 한다.

3.2.4 충전재

건식 충전재는 지정색으로 하며 내약품성 에폭시 충전의 경우 제조업자가 보증한 사용법에 따라 사용한다.

3.2.5 신축 줄눈재

제조업자가 보증한 신축 줄눈재를 사용하며 설계 또는 공사시방에 따른 형태, 등급, 종류, 용도 등을 참고하고 적용한다. 신축 줄눈재는 공사시방이나 도면의 지시가 없는 한, 타일의 줄눈 색상은 인접한 줄눈의 색상과 유사한 것으로 한다.

4. 시공방법

4.1 시공방법의 선정

시공방법에 대한 사전계획을 점검하여 원활한 시공이 가능하도록 한다.

가. 세라믹패널의 종류(크기 및 색), 시공범위, 접착방법, 줄눈 등 부착위치 등을 확인한다.

나. 재료관계의 투입시기, 시공기간 등을 유의하여 확인한다.

다. 줄눈 및 부착위치 및 상세부분의 접합방법 등에 의해 마감정도가 크게 달라지므로 사전에 충분한 검토를 행한다.

라. 바닥 및 천정 등의 형태 및 색상 등을 고려하며 출입 및 돌출부의 형태를 확인하여 시공방법을 선정한다.

4.2 재료투입의 주의

가. 세라믹패널 및 부자재의 투입은 시공사의 재료 투입방법에 맞추어 투입한다.

나. 제품의 수령 및 확인이 필요할 경우 품종 및 수량 및 부자재의 수량 등에 유의하여 확인하며 세라믹패널의 균열 등의 불량 발생하지 않았는지 확인하고 점검한다.

다. 세라믹패널의 적재 장소는 실내의 평편한 곳에 보관하도록 한다. 또한 세라믹타일을 적재할 경우 3단 이하로 하며 실외에는 보관하지 않는다.

4.3 바탕면의 검사

- 가. 바탕면의 평활도가 $\pm 1.0\text{mm}/2\text{m}$ 이내인지 확인한다. 바탕면이 불량한 경우 세라믹패널 간의 단차가 발생하며 마감이 좋지 않으며 균열이나 들뜸 등의 원인이 될 가능성이 있으므로 확인한다. 또한 출입부 및 돌출부의 수평평활도 및 수직평활도를 확인한다.
- 나. 시공벽면이 접하는 부위의 개수공사의 경우 기존 시공벽면에 부착된 부착물(종이 등)을 제거한 후 시공한다.

4.4 바탕면 만들기

가. 석고보드 및 기타 바탕

석고보드, 시멘트 압출성형판, 콘크리트 타설면, 콘크리트 블록면, 경량기포 콘크리트면 등을 바탕으로 사용하는 경우는 해당 공사시방에 따른다.

나. 모르타르 바탕

- 1) 바탕고르기 모르타르를 바를 때에는 세라믹패널의 두께와 접착제 등의 두께를 고려하여 2회에 나누어서 바른다.
- 2) 바름두께가 10mm 이상일 경우에는 1회에 10mm 이하로 한다.
- 3) 바탕 모르타르를 바른 후 세라믹패널을 붙일 때까지는 여름철(외기온도 25°C)은 3~4일 이상, 봄, 가을(외기온도 10°C 이상 20°C 이하)은 1주일 이상의 기간을 두어야 한다.
- 4) 세라믹패널 붙임면의 바탕면은 평탄하게 하며 바탕면의 평활도가 $\pm 1.0\text{mm}/2\text{m}$ 로 이내로 한다.

4.5 시공전 주의사항

- 가. 시공시 세라믹패널 및 접착제 등이 바닥면을 긁는다든지 오염될 수 있으므로 바닥면에 보호비닐 및 양생포 등을 설치한다.
- 나. 절단, 구멍뚫기 등의 세라믹패널을 가공하는 경우 가공시 발생하는 분진 등이 발생할 수 있으므로 예방조치를 실시한다.

4.6 면 및 줄눈나누기

세라믹패널을 효율성 높이 깨끗하게 마감하기 위해서는 붙이기 전에 적절하게 분할하거나 구획할 필요가 있으며 다음사항에 유의하도록 한다.

가. 세라믹패널의 맞대기면 이음부에 의해 분할되므로 붙일 위치를 패널의 폭에 맞추어 설정한다.

나. 타부재와의 접합부 및 들어간 면은 세라믹패널을 적절하게 절단하여 맞추도록 한다.

다. 돌출부의 줄눈은 간격 2mm이하로 하여 시공하도록 한다.

라. 창틀 및 문틀, 스위치박스, 콘센트박스 등의 위치에 유의하며 세라믹패널을 좁게 잘라 붙이지 않도록 한다.

마. 절단부분의 남은 폭은 50mm 이상이 되도록 시공한다.

바. 시공면에 수평이나 수직의 평활도가 불량한 경우 불량이 생긴 방향의 양측면에 절단된 패널이 배치되도록 한다.

4.7 절단 및 구멍뚫기 가공

세라믹패널의 절단, 구멍뚫기, 절삭 등의 가공은 손쉽게 수작업이 가능하다. 다만, 절단, 구멍뚫기 등의 작업을 진행할 경우, 재료의 균열 등이 발생할 수 있으므로 적절한 공구를 이용하여 작업대 위에서 작업하도록 한다.

가. 직선의 절단

(1). 직선의 절단은 적합한 절단도구 및 커터 등을 사용하여 쉽게 절단할 수 있다.

(2). 수작업에서는 커터 등을 이용하여 표면에 절단선을 넣은 후 눌러서 자르도록 한다.

(3). 절단작업은 직각의 작업대에서 실시하며 세라믹패널이 들뜨지 않도록 확실하게 면 전체를 누르면서 절단한다.

나. ㄴ,ㄷ자의 절단

(1) ㄴ,ㄷ자의 절단은 절단면의 1방향을 교점까지 절단하며 남은 1방향을 직선은 절단선을 넣어 절단하도록 한다.

(2). 디스크커터를 사용하는 경우 세라믹패널이 흔들리지 않도록 하여 절단한다.

다. 구멍뚫기

(1). 스위치박스나 콘센트박스 등의 구멍뚫기는 디스크커터를 이용하여 절단하는 것이 편리하다.

(2). 수작업의 경우 반월형 커터나 홀쏘우 등으로 구멍을 뚫어 남은 부분을 가공하는 것이 편리하다. 에어컨 슬리브 등의 원형구멍은 전동드릴 등을 이용한다.

라. 절단된 면은 핸드샌드, 줄 등을 이용하여 가지런히 정리한다.

4.8 세라믹 패널의 부착

가. 접착용 본드에 의한 접착

- (1). 소프트카트리지를 타입으로 카트리지를 코킹건의 홀더에 넣어 사용하도록 한다.
- (2). 소프트카트리는 600ml 타입을 사용한다. 바탕면의 평활도가 불량한 경우 접착제의 두께로서 대응하는 등의 조절이 필요하다.
- (3). 소프트카트리의 표준적인 도포량은 1.5m²이며 절단된 면이 많아질 경우 도포량이 많아질 수 있으므로 발주량을 확인하도록 한다.

나. 시판의 접착제에 의한 접착

- (1). 접착제는 3~5mm의 핸드코터 및 고무주걱을 사용하여 바탕면에 바른다.
- (2). 접착제는 한번에 많이 바를 경우 세라믹패널을 붙이기 전에 경화할 수 있으므로 20분 이내를 목표로 설정하여 시공하도록 한다.
- (3). 바탕의 평활도가 불량한 경우 접착제의 두께로서 조절한다.
- (4). 접착제와 세라믹패널과의 접착상태를 확인한다.

4.9 실링공사

세라믹패널 사이의 이음면에 대해서는 실링공사는 불필요하지만 들출입부, 타부재와의 접합부 등은 반드시 실링하도록 한다. 실링작업을 실행할 경우 마스킹테이프 등을 이용하여 주걱 등으로 눌러가며 표면을 조정하여 시공하도록 한다.

4.10 청소

실링작업이 완성되면 세라믹 타일 전체를 청소한다. 가능한 한 빨리 타일에 묻어있는 유액 실링재 등을 제거하며 오염이 된 경우 지우개 등을 이용하여 제거한다.

5. 검사

5.1 시공 중 검사

하루 작업이 끝난 후 비계발판의 높이로 보아 눈높이 이상이 되는 부분과 무릎 이하 부분의 세라믹패널을 임의로 선정하여 바탕면과의 충분한 접착이 이루어졌는지를 확인한다.

5.2 두들김 검사

가. 접착제 경화 후 검사봉으로 전면적을 두들겨 검사한다.

나. 들뜸, 균열 등이 발견된 부위는 줄눈부분을 잘라내어 다시 붙인다.

5.3 접착력 시험

가. 세라믹패널의 접착력 시험은 600㎡당 한 장씩 시험한다. 시험위치는 담당원의 지시에 따른다.

나. 시험할 세라믹패널은 먼저 줄눈부분을 바탕면까지 절단하여 주위의 타일과 분리시킨다.

다. 시험할 세라믹패널은 부속장치(attachment)의 크기로 하되, 그 이상은 180mm×60mm 크기로 바탕면까지 절단한다. 다만, 40mm 미만의 타일은 4매를 1개조로 하여 부속장치를 붙여 시험한다.

라. 시험은 세라믹패널 시공 후 4주 이상일 때 행한다.

마. 시험결과와 판정은 접착강도가 0.4MPa 이상이어야 한다.

부 록 2

품질관리 공정도(안)

(주) SYC



(주) 에스와이씨

G - light 품질관리공정도 (안)

사 규 번 호	
제 정 일 자	
개 정 일 (번 호)	
페이지 수	

공정명	도시기호	설비	재료	검 사 및 시 험				관 리 (공정 목적)				이 상 처 리
				항목	기준	주기	방법	항목	기준	주기	방법	
저장		원료silo	백시멘트, 소석회, 제올라이트, 규석	분말도, 함수율, 밀도	3000cm ² /g 10%±5% 1.2%±0.3%	원료입고시	입고전 원료 샘플링 인수 검사일지기록					작업기준에 따른다
1차계량		screw conveyor						계량정도	±5%	1회/1Lot		
		계량Bin	백시멘트, 소석회, 제올라이트, 규석					계량정도	백시멘트3%±2%	1회/1Lot	계량정도를print 하여보관	
		브로워	안료	색상	한도건본	원료입고시		계량정도	백시멘트3%±2%	1회/1Lot	계량정도를print 하여보관	
		표준망체, 비중병		입도 (잔사), 비중, 배합비율	20% 이하 0.55±0.05 규석40%, 소석회 30% 백시멘트30%	1회/4hr	체크검사					
1차혼합		silo 수분분무기	원료분말					펌프압력, 분무량	3bar±1% 10%±2%	1회/1Lot	펌프압력, 분무량을 체크하여 작업일지 기록	
		수분측정기, 비중병, 전자저울		함수율, 밀도	15%±5% 1.2%±0.3%	1회/4hr	체크검사					
2차계량		Load Cell						계량정도	±5%	1회/1Lot	계량정도를print 하여보관	
2차혼합		Mixer	원료분말					혼합시간	10min±5min	1회/교대		
		hoist, 전자저울						성형량	±5%	1회/교대	성형량오차를print 하여보관	



(주) 에스와이씨

G - light 품질 관리 공정도 (안)

사 규 번 호

제 정 일 자

개정일(번호)

패 이 지 수

공정명	도시기호	설비	재료	검 사 및 시 험				관 리 (공정 목적)				이 상 처 리
				항 목	기 준	주 기	방 법	항 목	기 준	주 기	방 법	
성형		비중병, 수분측정기, 전자저울		함수율, 비중,	15%±5% 2.0%±0.3%	1회/2hr	체크검사					
		Press	성형품					성형압	100~200 kgf/cm ²	2회/1일	성형압을체크하여 작업일보기록	
		진공흡착이송설비										
건조		버어니어캘리퍼스 수분측정기		함수율, 치수	15%±5% 가로,세로±0.8mm 두께±0.01mm 균열,귀나간것이 없어야함	1회/1hr	체크검사 육안검사					
		Rack, Curing car		겉모양								
		버티컬드라이어	성형품					건조시간	2hr±1hr	2회/1일	건조시간을체크 하여작업일보에기록	
양생		Rack, Curing car										
		수분측정, 비중		함수율, 비중	15%±5% 2.0%±0.3%	1회/2hr	체크검사					
		증기양생	양생품					양생온도 양생압력 양생시간	180℃ 11bar±0.5bar 7hr	매양생시 매양생시 매양생시	양생온도, 압력, 시간 체크하여양생일지에 기록	



(주) 에스와이씨

G - light 품질 관리 공정도 (안)

사 규 번 호	
제 정 일 자	
개 정 일 (번 호)	
페 이 지 수	

공정명	도시기호	설비	재료	검 사 및 시 험				관 리 (공정 목적)				이 상 처 리
				항목	기준	주기	방법	항목	기준	주기	방법	
검사		Roller Conveyor	파레트									
		파렛타이즈										
		지계차										
		검사대기장										
		다이어얼게이지 버니어캘리퍼스		치수	가로, 세로 $\pm 0.8mm$ 두께 $\pm 0.01mm$ 균열, 귀나간 것이 없어야 함	1회/1일	체크검사					
		렐링기		겉모양								
출하대기		지계차										
		출하대기장						보존방법	제품손상 및 열화가 없을 것	1회/반기	출하대기 규정에 따른다	

부 록 3

세라믹 패널의 적용부위

(주) SYC

□ 건물 실내의 벽면 마감

건물용도 및 각 실명		기대할 수 있는 주요기능
주 택 및 아 파 트	현관 (또는 신발장 내부)	냄새제거, 미관
	거실	미관, 습도조절, VOC 흡착
	주방	불연재, 냄새제거, 습도조절 (항상 물에 접하거나, 기름 등이 튀어 더러워지기 쉬운 부위에는 사용금지)
	식당	미관, 습도조절, 냄새제거
	침실	VOC흡착, 냄새제거, 습도조절
	어린이방	VOC흡착, 습도조절
	노인침실	VOC흡착, 습도조절
	벽장	VOC흡착, 습도조절
	세면실(탈의실)	습도조절 (항상 물에 접하는 부위에는 사용금지)
	화장실	냄새제거
지하실		습도조절, VOC흡착, 불연재
공공시설(흡연실)		냄새제거, 내오염성, VOC흡착, 불연재
노인시설(거실)		미관, VOC흡착, 냄새제거
노인시설(세면실, 탈의실)		습도조절 (항상 물에 접하는 부위에는 사용금지)
교육시설(교실 및 기타)		VOC흡착
의료시설(진찰실, 병실)		VOC흡착, 냄새흡수, 습도조절
업무시설(사무실, 응접실)		냄새흡수, 내오염성, VOC흡착, 불연재
상업시설(레스토랑, 식당 등)		미관, VOC흡착, 냄새흡수, 내오염성
숙박시설(호텔, 여관 등)		냄새흡수, 미관, 불연재

※ 욕실 등, 물에 항상 접하는 부위 사용금지

부 록 4

품질시험 · 검사 성적서

(주) SYC

1. 치수



품질시험·검사성적서

시 료 명 : G-light 타일
 시료채취장소 : 공란
 성과이용목적 : 자체 품질시험(관리)용
 공 사 명 : 공란
 발 주 자 : 공란
 시 공 자 : 공란
 의뢰인 주소 : 충청남도 아산시 음봉면 동암리 213-1번지
 성 명 : 강 대 구

발급번호 : KCQT2010 - 0125
 접수일자 : 2010년 01월 06일

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대하여는 아래 시험방법에 의하여 시험·검사한 성과를 다음과 같이 회신하오니 참고하시기 바랍니다.

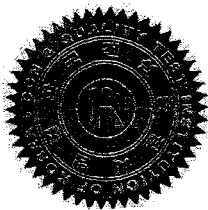
시험·검사종목		단 위	시험·검사방법	시험·검사결과
치 수	길 이	mm	KS L 1001 - '08	300.9
	나 비	mm		301.0
	두께	mm		7.3

※ 상기 시험결과는 의뢰자가 3EA의 시료를 제시하여 시험한 결과의 평균값임.

시 료 채 취 자 : (주)SYC 강 대 구

- 끝 -

이 시험·결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

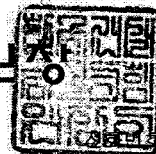


※ 책임기술자 : 정 호 진

(자격종목:건축기사, 자격증번호:97204030692T)

2010년 01월 12일

한국건설품질시험원



주 소 : 경기도 평택시 서탄면 마두리14-22

유의사항 : 책임기술자의 이름이 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

(031)611-0600

총 1 페이지중 1 페이지

2. 흡수율



품질시험 결과성적서

시 료 명 : G-light 타일

발 급 번 호 : KCQT2010 - 0126

시료채취장소 : 공 란

접 수 일 자 : 2010년 01월 06일

성과이용목적 : 자체 품질시험(관리)용

공 사 명 : 공 란

발 주 자 : 공 란

시 공 자 : 공 란

의뢰인 주소 : 충청남도 아산시 음봉면 동암리 213-1번지

성 명 : 강 대 구

귀하가 품질시험, 검사 의뢰한 위 시료에 대하여는 아래 시험방법에 의하여 시험, 검사한 결과를 다음과 같이 회신하오니 참고하시기 바랍니다.

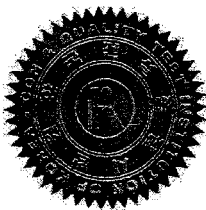
시험·검사종목	단 위	시험·검사방법	시험·검사결과
흡 수 율	%	KS L 1001 - '08	17.9

※ 상기 시험결과는 의뢰자가 3EA의 시료를 제시하여 시험한 결과의 평균값임.

시 료 채 취 자 : (주)SYC 강 대 구

- 끝 -

이 시험·결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.

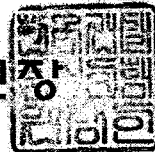


※ 책임기술자 : 정 호 진

(자격종목:건축기사, 자격증번호:97204030692T)

2010년 01월 12일

한국건설품질시험원장



주 소 : 경기도 평택시 서탄면 마두리14-22

전화번호(031)611-0600

유의사항 : 책임기술자의 이름이 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

총 1 페이지중 1 페이지

3. 휨강도



품질시험 검사성적서

시 료 명 : G-light 타일

발 급 번 호 : KCQT2010 - 0127

시료채취장소 : 공 란

접 수 일 자 : 2010년 01월 06일

성과이용목적 : 자체 품질시험(관리)용

공 사 명 : 공 란

발 주 자 : 공 란

시 공 자 : 공 란

의 의 인 주 소 : 충청남도 아산시 음봉면 동암리 213-1번지

성 명 : 강 대 구

귀하가 품질시험·검사 의뢰한 위 시료에 대하여는 아래 시험방법에 의하여 시험·검사한 성과를 다음과 같이 회신하오니 참고하시기 바랍니다.

시험·검사종목	단 위	시험·검사방법	시험·검사결과
휨 강도	kgf/cm ²	KS L 1001 - '08 (의뢰자제시방법)	64.9

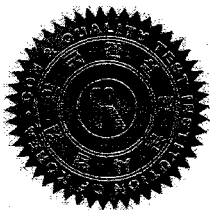
※ 상기 시험결과는 의뢰자가 3EA의 시료를 제시하여 시험한 결과의 평균값임.

※ 상기 시험결과는 의뢰자가 제시한 방법으로 지간거리 $l=180\text{mm}$ 로, 중앙점하중법(3P/2bd)을 적용하였음.

시 료 채 취 자 : (주)SYC 강 대 구

~ 끝 ~

이 시험·결과는 당초 의뢰시 제출된 시료에 대한 결과이므로 다른 목적으로 이용을 금지합니다.



※ 책임기술자 : 정 호 진

(자격종목:건축기사, 자격증번호:97204030692T)

2010년 01월 12일

한국건설품질시험원



주 소 : 경기도 평택시 서탄면 마두리14-22

031)611-0600

유의사항 : 책임기술자의 이름이 기재되지 아니한 경우에는 성과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

총 1 페이지중 1 페이지

4. 열전도율, 흡습량, 방습량

시험 성적서

한국세라믹기술원

우153-801 서울시 금천구 가산동 233-5
(Tel: 02 3282 2416/7, Fax: 02 3282 2418)

성적서번호 : 2010-0089

페이지 (1) / (총 1)



1. 의뢰자

- 기관명/성명 : (주)에스와이씨 / 유광열
- 주 소 : 충남 아산시 음봉면 동암리 213-1
- 의뢰일자 : 2010년 01월 15일

2. 시험성적서의 용도 : 품질관리

3. 시험 시료명/물질 : 타일

4. 시험기간 : 2010년 01월 15일 ~ 2010년 01월 18일

5. 시험방법 : KS L 9016 : 2005, JIS A 1470

6. 시험환경 : 온도 : (21 ~ 23) °C , 상대습도 : (54 ~ 58) % R.H.

7. 시험결과

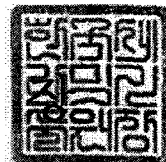
시료명	시험분석항목	시험분석결과	시험분석방법	비고
타일	열전도율(W/mk)	0.16	KS L 9016 : 2005	
	흡습량(g/m ²)	184	JIS A 1470	
	방습량(g/m ²)	105		

참고) 열전도율 및 흡습량, 방습량 측정 시편은 의뢰자 제공. 끝.

확 인	시험자 : 송 훈 (7830)	기술책임자 : 박 덕 원
-----	------------------	---------------

2010 . 01 . 18

한국세라믹기술원



비고) 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 평가결과로서 전체 제품에 대한 품질 및 성능을 보증하지 않습니다.