

## 수열합성법을 이용한 무기계 단열소재 제조방법 및 특성에 관한 연구 (2)

### A Study on Fabrication and Characterization of Inorganic Insulation Material by Hydrothermal Synthesis Method (2)

서성관<sup>1</sup> · 추용식<sup>1\*</sup> · 이종규<sup>1</sup> · 송 훈<sup>1</sup> · 박재완<sup>1</sup>

Sung-Kwan Seo<sup>1</sup> · Yong-Sik Chu<sup>1\*</sup> · Jong-Kyu Lee<sup>1</sup> · Hun Song<sup>1</sup> · Jae-Wan Park<sup>1</sup>

(Received December 2, 2013 / Revised December 16, 2013 / Accepted December 17, 2013)

The inorganic insulating material was fabricated with quartzite, ordinary portland cement(OPC), lime, anhydrous gypsum and foaming agent by hydrothermal reaction. The inorganic insulating material was fabricated by using autoclave chamber under high-temperature and high-pressure. The inorganic insulating material is a porous lightweight concrete. Because of its porous structure, properties of inorganic insulating material were light-weight and high-heat insulation property. Properties of fabricated inorganic insulating material were 0.26g/cm<sup>3</sup> in specific gravity, 0.4MPa in compressive strength and 0.064W/mK in thermal conductivity. In this study, the inorganic insulating material was fabricated and analyzed at different size of quartzite/OPC, various foaming reagent and functional additives to improve the properties. Consequently, polydimethylsiloxane can improve density and thermal conductivity. Especially, polydimethylsiloxane showed excellent improvement in compressive strength.

**키워드 :** 무기계 단열재, 열전도율, 기포제, 기능성 첨가제, 입도

**Keywords :** Inorganic insulating material, Thermal conductivity, Foaming agent, Functional additives, Grain size

## 1. 서론

국가 에너지소비 저감, 온실가스 감축 및 한정된 자원의 절약을 위해 모든 분야의 노력이 필요하다.(Jeon et al. 2008; Cynthia et al. 2009) 특히 국가 전체 에너지소비의 약 25%를 차지하는 건물 분야는 건축물의 생애주기에 걸쳐 소비되는 에너지와 자원, CO<sub>2</sub> 저감 등의 관점에서 지속가능한 소재·부품에 대한 검증과 기술개발 노력이 필요하다. 건물 에너지소비를 획기적으로 저감시키기 위해서는 우선 냉,난방 에너지 효율을 시급히 개선해야하며 이는 고효율의 건물 단열시스템을 통해 실현 가능하다.(Yoon et al. 2008; Shin et al. 2003) 국내에서 범용화되어 사용하고 있는 기존 단열재는 유기계, 무기계, 유무기 복합계로 대분할 수 있다. 기존 유기 단열재의 경우, 내열성능과 시공성 등이 불량하며, 특히 일산화탄소 발생에 따른 인체·환경유해성 등이 단점으로 부각되고

있다. 이에 따라 무기 단열재의 사용이 각광받고 있는 상황이다. (Kwon et al. 2009; Lee et al. 2000)

기존 무기단열재의 하나인 암면은 암석을 1600℃ 이상으로 용융한 뒤 원심분리장치를 사용하여 섬유형태로 제조한다. 발암물질인 석면의 대체재로 개발되어 비슷한 물성을 가지고 있으며, 건축물의 단열재나 방화재, 흡음재로 널리 이용된다. 무기소재로 불에 잘 타지 않고 고온에도 견디며, 가볍고 열이 잘 통하지 않는다.(L.Smith, 1996) 유리면(글래스울)은 주택용 단열재로 가장 많이 사용되는 것으로, 유리를 녹여 용융액을 압축공기로 비산시켜 제조한 유리섬유이다. 과거에는 섬유가 10~20 $\mu$ m로 굵고, 작업 중에 손에 상처를 입히는 경우가 있어 작업성에 문제가 있었지만, 최근에는 4 $\mu$ m이하의 것도 제조가 가능하게 되어 작업성이 향상되었다. 제조방법에는 증기 또는 압축공기로 분사시키는 증기 분무법, 화염에 의해 분사시키는 화염 분무법, 회전 원반의 원심력에 의한 원심력법 등이 있다.(Patrik, 2001) 그러나 암면과 유리면은

\* Corresponding author E-mail: yschu@kicet.re.kr

<sup>1</sup>한국세라믹기술원 에너지환경소재본부 (Energy & Environmental Division Korea Institute of Ceramic Eng. & Tech, Seoul, 153-801, Korea)

수분(물)을 흡수하는 능력이 매우 커서, 수분 흡수 시 섬유의 처짐 현상이 발생한다. 이에 따라 상기 무기단열재의 단열성능은 급격히 떨어지게 된다. 또한 일정 형상을 유지하기 힘들며, 강도측면에서는 매우 불량하다는 단점도 갖는다. 즉 환경과 시간에 따른 내구성도 일정하게 유지되기 어렵다. 또한 무기단열재인 유리면과 압면은 실내 오염물질의 하나로서 발암성을 의심 받고 있고, 호흡기 문제와 피부 자극성의 문제가 제기 되고 있다.

“수열합성법을 이용한 무기계 단열소재 제조방법 및 특성에 관한 연구 (1)”에서 수열합성방법을 이용하여 기존 유·무기 단열재의 단점을 극복하고, 장점들을 결합한 새로운 개념의 무기 단열소재를 제조(미네랄 하이드레이트 소재라 칭함)하였다.(Barrer, 1992) 출발 원료로는 규석, 1종 보통 포틀랜드 시멘트(OPC), 생석회, 무수석고 등을 사용하고, 혼합수와 함께 혼합하여 오토클레이브 중에서 고온·고압 증기양생(170℃-4hr)으로 제조하였다. 기포제로는 알루미늄 분말을 사용하였으며, 슬러리 숙성시 높은 비율의 혼합수와 알루미늄 분말의 반응으로 인해 기포가 발생한다.(Laukaitis et al, 2006; Won et al, 2010) 즉, 미네랄 하이드레이트 소재는 수열합성법으로 제조된 균일한 세포조직(Cellular Structure)을 갖는 다공질 경량 기포 콘크리트이다. 미네랄 하이드레이트 소재의 특성으로는 압축강도 0.4MPa, 열전도율 0.064W/mK, 밀도 0.26g/cm<sup>3</sup> 수준을 나타냈다. 상기에서 도출된 소재의 특성은 기존 ALC의 열적특성을 개선한 결과이기는 하지만 기존 단열재를 대체하여 사용하기에는 어려울 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 “수열합성법을 이용한 무기계 단열소재 제조방법 및 특성에 관한 연구 (1)”에서 제조한 소재의 단열 특성을 개선하기 위하여, “기포제 종류 및 함량, 원료의 입도, 기능성 첨가제 종류 및 함량”을 제어하여 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하였으며, 특성을 분석·평가하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험재료 및 제조방법

미네랄 하이드레이트 소재의 출발원료는 SiO<sub>2</sub>원으로 규석, CaO원으로 생석회와 1종 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 주원료로 사용하였다. 이외에 소량의 무수석고를 사용하였으며, 발포제로는 알루미늄 분말을 사용하였다. 원료의 화학성분 분석을 실시하였으며 결과는 Table 1과 같다. Table 1에서와 같이 원료의 화학 성분을 살펴보면 OPC의 주성분은 CaO 62.12%, SiO<sub>2</sub>21.82% 이었으며, 규석은 SiO<sub>2</sub> 92.1%이었다. 생석회의 CaO 함량은 90.38%이었으며,

Table 1. Chemical composition of starting materials

Material	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO
OPC	21.82	62.12	5.86	2.74	2.36	2.73
Quartzite	92.1	0.36	2.36	2.26	0.05	1.06
Lime	1.68	90.38	0.39	0.43	0.70	0.87
Anhydrous gypsum	1.71	39.32	0.45	0.18	53.18	-

Table 2. Mixing Ratio of Starting Materials (Unit : %)

Quartzite	OPC	Lime	Anhydrous gypsum	Water
30	55	10	5	130

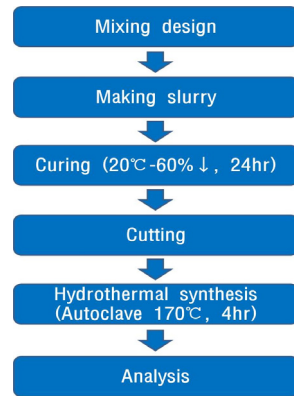


Fig. 1. Experimental procedure

무수석고는 CaO 39.32%, SO<sub>3</sub> %이었다.

미네랄 하이드레이트 소재의 제조방법은 Table 2와 같은 배합비에 따라 각각의 원료들을 90초간 혼합한다. 혼합이 완료되면 실온에서 24시간동안 숙성시킨 후, 오토클레이브를 이용하여 170℃-4시간 동안 수열 합성하였다. 본 연구에서는 미네랄 하이드레이트의 단열 성능을 개선하기 위하여 “기포제의 종류 및 함량, 규석 및 시멘트의 입도 조건, 기능성 첨가제 종류 및 함량”을 제어하여 원료와 함께 혼합한 후 슬러리를 제조하였다.

### 2.2 기포제의 종류 및 함량에 따른 특성 분석

알루미늄 기포제는 유기물로 전처리된 페이스트 상태와 처리되지 않은 분말형태가 존재한다. 시장에서 판매되는 대표적 페이스트 제품은 PT 및 CO88G가 있으며, 분말형태는 Y250N0이 있다. 일반적으로 기포제에 의한 기포 생성 후, 팽창 높이는 최종 제품인 미네랄 하이드레이트의 열적, 기계적 물성에 영향을 미친다. 따라서 성형체의 팽창도를 측정 후, 미네랄 하이드레이트 소재를 제

Table 3. Mixing Ratio of Starting Materials (Unit : %)

No	Quartzite	OPC	Lime	Anhydrous gypsum	Al powder	Water
a	30	55	10	5	0.3 0.4 0.5	130
b	30	55	10	5	0.3	
	35	50	10	5		
	40	45	10	5		

조하고 열전도율을 측정하였다. 소재의 열전도율 측정결과에 따라 최적 기포제 종류를 선정 한 후, 선정된 기포제의 함량을 제어(분말 대비 0.3%, 0.4%, 0.5%)하여 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하였으며 특성 분석을 실시하였다.

### 2.3 규석 및 시멘트 입도조건에 따른 특성 분석

기포제와 혼합수가 증가하면 슬러리는 정상적으로 팽창하지 못하고, 팽창과정 또는 팽창 후 경화과정에서 슬러리의 재료분리 또는 슬러리가 주저앉는 backing 현상이 발생한다. 슬러리의 점도에 영향을 주는 하나의 인자는 분말 입도이다. 그러므로 슬러리 특성을 향상시키기 위해 규석과 시멘트를 진동밀로 분쇄(0hr, 3hr, 6hr)하여 입도를 변화시켰다. 규석 및 시멘트의 분쇄시간에 따른 입도를 측정 한 후 Table 3과 같은 배합비로 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하였다. Table 3은 원료의 입도와 기포제(3-a)/규석(3-b) 함량에 따른 특성 변화를 분석하기 위한 배합비이다. 또한 제조에 사용된 기포제는 “2.2 기포제의 종류 및 함량에 따른 특성 분석” 결과에 의해 선정된 기포제를 사용하였다.

### 2.4 기능성 첨가제 검토

미네랄 하이드레이트 단열소재의 물성을 향상시키기 위한 다양한 소재 중에서, 소량의 첨가만으로 효과를 얻을 수 있는 유기계 기능성 첨가제가 있다. 이는 기공을 안정시키거나, 유기소재와 무기소재의 결합력을 증대시키기도 한다. 이외에도 혼합수 함량을 감소시켜 슬러리 특성을 개선하기도 한다. 그러므로 본 연구에서는 분체량의 1% 미만을 첨가하는 다양한 유기계첨가제를 검토하였으며, 이를 Fig. 2에 나타내었다.

실험에 적용한 폴리디메틸실록산은 Dowcorning社 제품을, 실리콘·실란은 영일화성, 폴리카본산은 Chryso社의 제품을 사용하였다. 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하기 위한 배합은 Table 2에 준하였으며, 상기 기능성 첨가제들은 각각 분말대비 0.03%,

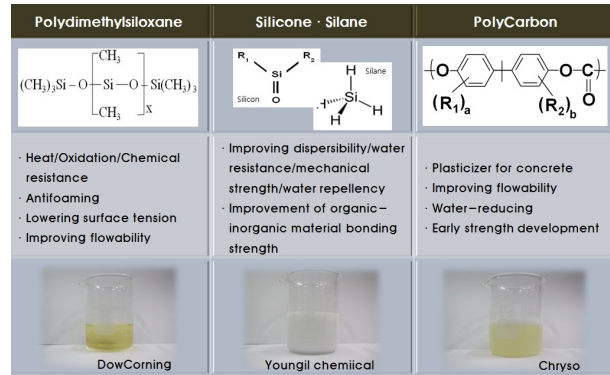


Fig. 2. Property of functional additives

0.05% 및 0.10%를 첨가하여 실험하였다. 기능성 첨가제를 첨가한 슬러리의 점도는 슬러리가 팽창하지 않은 상태의 특성을 검토하기 위해 혼합수 첨가 후 5분 이내에 측정하였다. 또한 기능성 첨가제 종류 및 함량을 제어하여 슬러리의 점도를 측정 한 후 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하였으며, 소재의 열적·기계적 특성을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 기포제의 종류 및 함량에 따른 특성 분석

기포제의 종류에 따른 슬러리 팽창 높이를 측정 한 결과, 페이스 트 제품인 PT는 10cm에서 19cm로 팽창하였으며, CO88G도 19cm로 팽창하였다. 그러나 Y250N은 24cm로 팽창하여, 가장 많은 팽창량을 나타내었다. 이때 각각의 열전도율(평판열류계법, HC-074, EKO社, Japan)은 Y250N 0.062W/m·K, PT 0.068W/m·K 및 CO88G 0.065W/m·K이었다. 이는 성형체 팽창도 증가는 열전도율 감소에 충분한 영향을 줄 수 있음을 확인한 결과이다. 그러므로 본 연구에서 사용할 알루미늄 기포제는 분말상태인 Y250N이 적합함을 알 수 있었다.

상기 결과에서 선정된 Y250N 함량을 분말대비 0.3%, 0.4% 및 0.5%로 제어하여, 슬러리에 첨가한 후, 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하였다. 기포제 함량에 따른 미네랄 하이드레이트 소재의 기공 분석을 위하여 상 분석 프로그램(QWin, Leica社, )을 사용하였으며, Y250N 함량에 따른 기공량은 각각 0.3%~83%, 0.4%~85%, 0.5%~87%로 나타났다. 또한 기포제 첨가량 증가에 따라 기공의 병합 및 이에 따른 개기공화 현상도 더욱 많이 관찰되었다.

기공 분석이 종료된 시험체는 밀도 및 만중재료시험기(WJ-1000, 우진정밀社, KOREA)를 이용한 압축강도 측정을 실시하였

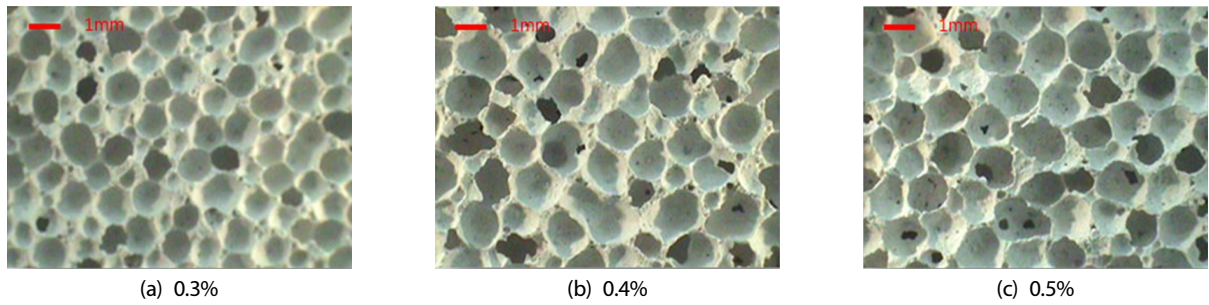


Fig. 3. Pore properties of Y250N content

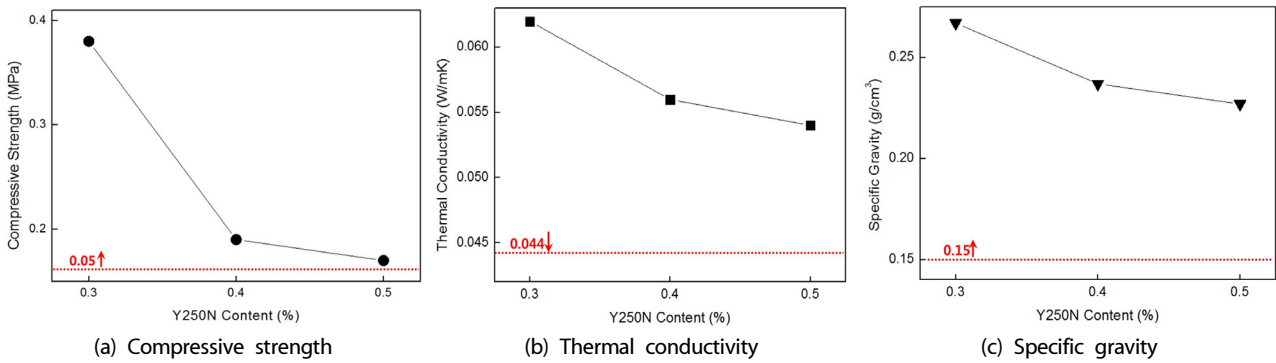


Fig. 4. Properties of Y250N content

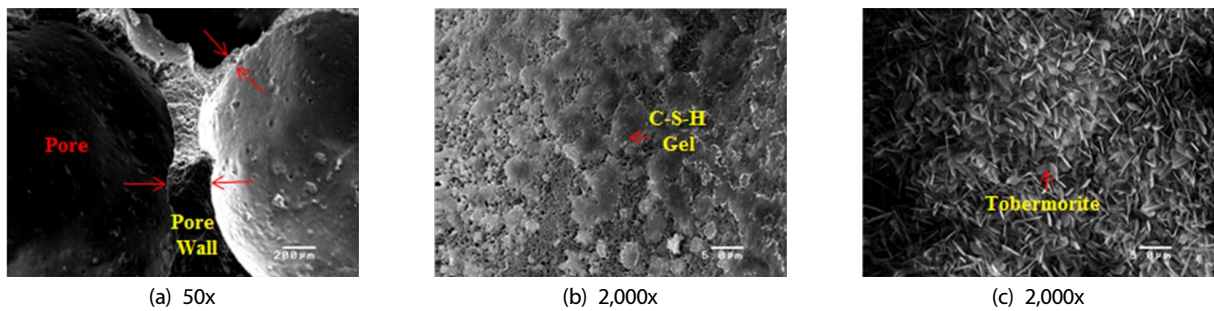


Fig. 5. SEM image of mineral hydrate material (Y250N-0.3% addition)

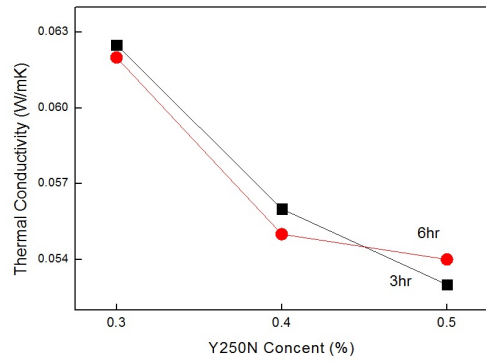
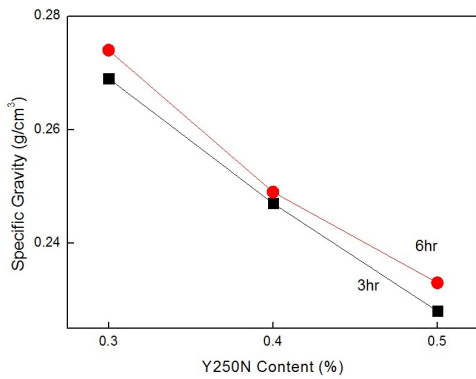
다. 또한 열적특성 분석을 위해 열전도율 측정기를 이용하여 열전도율을 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었으며, 유기계 단열재인 발포 폴리스티렌 단열재의 KS 규격 기준(KS M 3808)을 명시하였다. Fig. 4를 살펴보면 Y250N 함량 증가에 따라 압축강도, 열전도율 및 밀도 등 모든 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 기포제 함량 증가에 따라 생성되는 기공 함량도 증가하기 때문으로 판단되며, 상기의 기공 분석 결과와도 일치하는 것임을 알 수 있다. 하지만 기포제 0.4% 이상 첨가 시, 압축강도가 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 미네랄 하이드레이트 소재를 단열재로 사용할 때 시공성 불량 등의 문제점을 대두시킬 것으로 판단

된다.

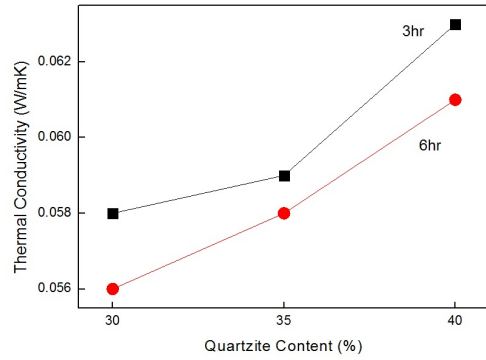
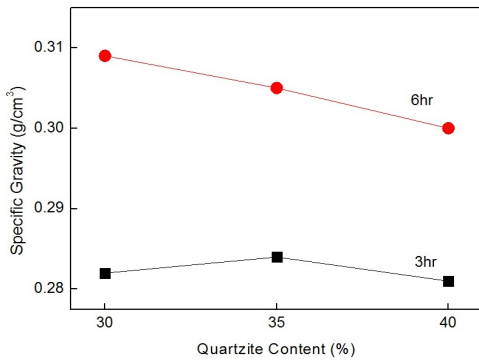
주사전자현미경을 이용하여 Y250N을 0.3% 첨가한 미네랄 하이드레이트의 미세구조를 관찰하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서와 같이 기포벽의 두께는 약 200 $\mu$ m 전후 수준이었으며, C-S-H 겔과 lath형의 tobermorite 결정이 주로 관찰되었다.

### 3.2 규석 및 시멘트 입도조건에 따른 물리적 특성

규석의 분쇄시간에 따른 평균 입경은 최초 35 $\mu$ m, 3시간 분쇄 25 $\mu$ m 및 6시간 분쇄 7 $\mu$ m, 시멘트는 최초 21 $\mu$ m에서 3시간 분쇄 8 $\mu$ m



(a) Physical properties of mineral hydrate material at different grinding time with quartzite (Grinded only quartzite)



(b) Physical properties of mineral hydrate material at different grinding time with OPC (Grinding time of quartzite : 6hr)

Fig. 6. Physical properties of mineral hydrate material at different grinding time with quartzite and OPC

및 6시간 분쇄 6 $\mu$ m이었다. 상기 분쇄조건에 따른 원료를 기초하여, Table 3과 같은 배합비로 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하였다. 최종 제조된 미네랄 하이드레이트의 물리적 특성을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6-a)에서와 같이, 밀도는 규석 입도가 작아짐에 따라 소폭 증가하였으며, 기포제 첨가량 증가함에 따라 감소하였다. 그러나 열전도율은 규석의 입도에 따라 큰 차이가 관찰되지 않았다. 시멘트의 입도가 작아짐에 따라 밀도는 상향되었으나, 열전도율은 소폭 감소하였다. 이러한 현상은 시멘트 분말도 증가에 따라 수열합성 조건이 양호해져, 토버모라이트 생성량이 증가하였기 때문으로 사료된다.

각각의 조건에 따른 미네랄 하이드레이트 단열소재의 백색도를 측정하였다. 백색도는 헨터식 백색도에 따른 계산법으로, 이는 아래 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$Whiteness = \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad (1)$$

Table 4에서와 같이 규석함량이 증가함에 따라, (시멘트 함량이 감소함에 따라) 백색도는 증가하는 경향을 나타내었다.(규석 함량

Table 4. Whiteness of minerals hydrate material

(a) Quartzite content

Quartzite	L	a	b	Whiteness
30%	73.9	0.28	3.16	73.7
35%	74.7	0.70	3.53	74.4
40%	77.9	0.76	3.39	77.6

\* Al content : 0.3%, quartzite/OPC : 3hr

(b) Grinding time

Time	L	a	b	Whiteness
3hr	73.9	0.28	3.16	73.7
6hr	71.0	0.13	2.72	70.9

\* Quartzite content : 30%, quartzite : 3hr, OPC : 6hr

(c) Water content

Quartzite	L	a	b	Whiteness
110%	73.0	0.26	2.91	72.8
130%	73.9	0.28	3.16	73.7
140%	72.1	0.10	2.58	72.0

\* Al content 0.3%, Quartzite content : 30%, Quartzite/OPC 3hr

30% → 백색도 73.7, 35% → 74.4, 40% → 77.6) 분쇄시간의 증가에 따라서는 백색도가 감소하는 경향을 나타내었다. (3시간 → 백색도 73.7, 6시간 → 70.9) 그러나 혼합수량의 증가에 따라서는 백색도의 변화가 도출되지 않았다. 그러므로 백색도는 구석 함량과 (+) 상관관계를, 분쇄시간과는 (-) 상관관계를 나타낸다고 할 수 있을 것이다.

### 3.3 기능성 첨가제 검토

기능성 첨가제를 첨가하지 않은 슬러리의 점도는 2120cP이었으며, 폴리디메틸실록산 0.03%, 0.05% 및 0.1% 첨가한 경우 슬러리의 점도는 각각 2280cP, 3400cP, 3880cP로 나타났다. 또한 실리콘·실란 및 폴리카본산계 혼화제의 경우 2080~3000cP이었다. 위의 결과들을 살펴보면, 폴리카본산계 혼화제를 제외한 폴리디메틸실록산 및 실리콘·실란의 경우 혼화제 함량이 증가할수록 슬러리의 점도가 증가하였으나, 미네랄 하이드레이트 제조에 필요한 점도(2000~4000cP)를 만족하는 수준이었다. 하지만 폴리디메틸실록산의 경우 첨가량이 0.1%를 초과하게 되면 슬러리의 점도가 더욱 증가하여 슬러리의 재료분리 또는 backing 현상의 발생 가능성이 높아질 것이라 예측할 수 있다.

기능성 첨가제 함량에 따른 미네랄 하이드레이트 소재의 열적·기계적 특성을 분석하기 위하여 Table 2 배합에 따라 시험체

Table 5. Porosity of mineral hydrate material with functional additive

Addition (%)	Porosity (%)		
	Polydimethylsiloxane	Silicone-Silane	Polycarbon
0.03	74	79	82
0.05	80	79	85
0.10	78	84	86

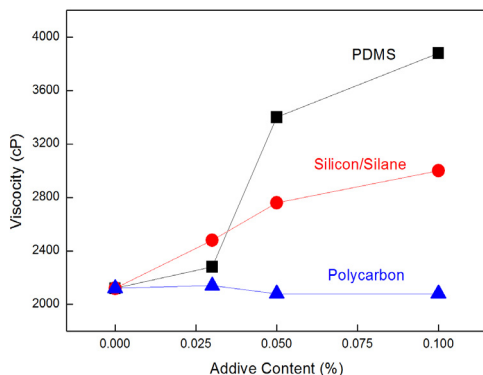
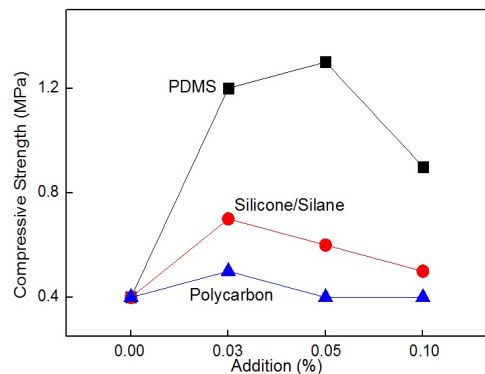


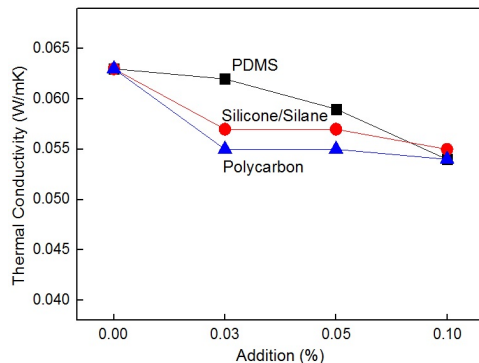
Fig. 7. Characteristic analysis of slurry viscosity

를 제조하였으며, 3시간 분쇄한 규석을 사용하였다. 기능성 첨가제의 함량은 분말대비 0.03%, 0.05% 및 0.1%로 제어하였다.

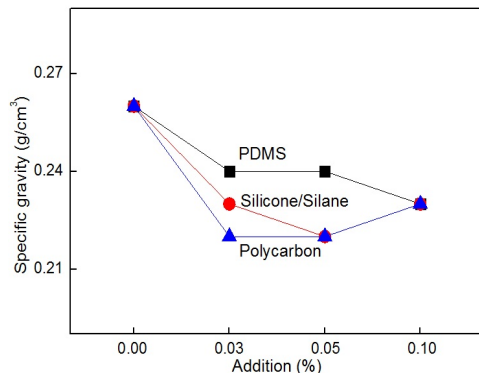
제조된 미네랄 하이드레이트 소재의 기공특성을 분석하기 위하여 Image analyzer를 사용하여 기공률 분석을 실시하였으며, 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 일반적으로 미네랄 하이드레이트 소재의 기공은 단열 성능과 밀접한 관련이 있다. 즉, 우수한 단열 성능을 발현하기 위해서는 소재의 밀도가 낮아야 하며, 이를 위해서



(a) Compressive strength



(b) Thermal conductivity



(c) Specific gravity

Fig. 8. Properties of mineral hydrate material with functional additive

기공 구조 제어 및 높은 기공률을 발현해야 한다. 기능성 첨가제 함량에 따른 미네랄 하이드레이트 소재의 기공률을 살펴보면, 폴리디메틸실록산의 경우 74~80% 수준, 실리콘·실란은 79~84%, 폴리카본산계 혼화제의 경우 82~86% 수준이었다.

기능성 첨가제의 종류 및 함량에 따른 미네랄 하이드레이트 소재의 기계적 특성 및 열적 특성을 알아보기 위하여, 밀도, 압축강도 및 열전도율 측정을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

기능성 첨가제 첨가에 따른 열전도율 측정 결과를 살펴보면, 기능성 첨가제 첨가량 증가에 따라 소재의 열전도율이 소폭 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 앞서 살펴본 기공 분석결과와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 압축강도 측정결과를 살펴보면 실리콘·실란을 첨가하였을 경우 첨가량이 증가(0.03 → 0.10%) 할수록 압축강도는 감소(0.7 → 0.5MPa)하는 경향으로 측정되었다. 폴리카본산 혼화제를 첨가하였을 경우에는 기능성 첨가제를 첨가하지 않은 경우와 유사한 압축강도를 나타내었다. 하지만 폴리디메틸실록산을 첨가하였을 경우, 압축강도가 0.9~1.3MPa로 나타났으며, 약 2배 이상의 강도증진 효과를 발현하였다. 즉, 폴리디메틸실록산 혼화제를 0.10% 첨가하였을 경우, 밀도 및 열전도율을 개선하는 동시에 탁월한 강도 증진 효과를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

#### 4. 결론

출발원료의 분말 함량은 규석 30%, 시멘트 55%, 생석회 10% 및 무수석고 5% 조건으로, 기포제 및 혼합수를 각각 분말대비 0.3%, 130%로 제어하여 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하였다. 미네랄 하이드레이트 소재의 특성은 밀도 0.26g/cm<sup>3</sup>, 열전도율 0.064 W/mK, 압축강도 0.4MPa 를 나타내었다.

본 연구에서는 상기와 같이 제조된 미네랄 하이드레이트 소재의 특성을 개선하기 위하여 “기포제 종류 및 함량, 규석 및 시멘트 입도 조건, 기능성 첨가제 종류 및 함량”을 첨가 및 제어하였다. 기포제의 경우 알루미늄 분말 형태의 Y250N을 첨가하였을 때 열적 특성이 개선되었으며, 기포제의 함량이 증가할수록 열전도율은 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 기포제의 함량이 0.4% 이상 첨가되었을 때 급격한 강도 하락 현상이 발생하였으며, 이는 시공성 불량 등의 단점으로 작용할 것으로 판단되었다. 원료 입도 조건의 경우, 원료가 미분화 될수록 밀도는 소폭 증가하며, 열전도율 변화에는 크게 관계없는 것으로 나타났다. 기능성 첨가제의 경우, 기능성 첨가제의 함량이 증가할수록 슬러리의 점도는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 폴리디메틸실록산 혼화제를 0.10% 첨가할 경

우, 밀도 및 열전도율을 개선하는 동시에 탁월한 강도 증진 효과를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

상기의 실험 결과를 통해 미네랄 하이드레이트 소재는 기포제 함량, 원료 입도 조건 및 기능성 첨가제 종류 및 함량에 따라 미네랄 하이드레이트 소재의 특성이 개선되는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 기존 유기계 (발포 폴리스티렌 단열재-비드법 단열판 4호 : 0.15g/cm<sup>3</sup> 이상, 0.043W/mK 이하, 0.05MPa 이상) 및 무기계 (미네랄 울 판상 단열재-보온판 3호 : 0.16~0.30g/cm<sup>3</sup>, 0.044 W/mK 이하) 단열재 기준에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 즉, 기존에 사용되고 있는 단열재를 대체하기 위해서는 미네랄 하이드레이트 소재의 지속적인 성능 개선을 수행해야 할 것으로 판단된다. 아울러 미네랄 하이드레이트 소재의 기공 크기 제어 및 특성 개발을 수행한다면 인체에 무해하며, 시공성이 우수한 새로운 개념의 무기계 단열재로의 적용이 가능할 것이라 사료된다.

#### References

- Jeon Y.S., Kim Y.C., Kim H.T., (2008). A Study on Competitiveness and GHG Mitigation Effect of IGCC and Carbon Capture Technology According to Carbon Tax Change, *Journal of Energy Engineering* **17(2)**, 54–56.
- Cynthia S. McCullough(EDT), (2009). Evidence-Based Design for Healthcare Facilities, *Sigma Theta Tau Intl.*
- Yoon K.S., Choi K.Y., (2008). Look to limit problems to use insulation material in Korea, *The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea 2008 Summer Annual Conference*, 1139–1145.
- Shin D.Y., Han S.M., (2003). Preparation of Porous Ceramics Sound Absorbent Material Using Sewage Sludge Slag, *Journal of the Korean Ceramic Society* **40(3)**, 273–278.
- Kwon O.S., Yu Y.H., Kim H.Y., (2009). A Study on the Fire Safety of Expanded Poly-Styrene Foam Panel, *KIFSE Proceeding of 2009 Spring Annual Conference*, 513–519.
- Lee K.W., Kim K.Y., Yang S.H., (2000). Ignition Characteristics and Combustion Gas Analysis of the Plastics Foam, *JKorean Society of Safety 2000 Spring Annual conference*, 124–129
- L.Smith(1996). *Rockwool in Horticulture*/Denis.
- Patrik Johansson, (2001). Development of Test Procedure for Sandwich Panels using ISP 9705 Philosophy, *SP Fire Technology*.
- R. M. Barrer, (1992). *Hydrothermal Chemistry of Zeolite*, Academic Press INC.(London).

A. Laukaitis, B. Fiks, (2006). Acoustical Properties of Aerated Autoclaved Concrete, *Applied Acoustics*, **67**, 284-296.

Kim W.Y., Ji H.B. et al, (2010). Preparation of Porous Mullite Composites through Recycling of Coal Fly Ash, *Journal of Korea Ceramic Society*, **47**, 151-156.

#### 미네랄 하이드레이트 단열소재 제조방법 및 특성에 관한 연구 (2)

규석, 시멘트, 생석회 및 소량의 무수석고에 알루미늄 분말과 물을 첨가혼합하여 오토클레이브 중에서 고온·고압 증기양생으로 미네랄 하이드레이트 소재를 제조하였다. 수열 합성된 미네랄 하이드레이트 소재는 균일한 세포조직을 갖는 다공질 경량 기포 콘크리트이다. 미네랄 하이드레이트 소재의 대표적인 특성으로는 다수의 기공으로 인해 뛰어난 경량성 및 단열성을 들 수 있다. 제조된 미네랄 하이드레이트 소재의 특성은 각각 밀도  $0.26\text{g/cm}^3$ , 압축강도  $0.4\text{MPa}$ , 열전도율  $0.064\text{W/mK}$ 로 나타났다. 본 연구에서는 상기의 소재 특성을 증진시키기 위하여 “기포제의 종류 및 함량, 규석 및 시멘트의 입도 조건, 기능성 첨가제 종류 및 함량”에 따른 특성 평가 및 분석을 실시하였다. 그 결과 소재의 열적 특성을 개선할 수 있었으며, 특히 기능성 첨가제인 폴리디메틸실록산 혼화제를 첨가할 경우 밀도 및 열전도율을 개선하는 동시에 탁월한 강도 증진 효과를 나타내었다.