

건축설비의 단열 보온을 위한 발포세라믹 개발

이주영[†], 송영환, 신해중, 최재호, 장성철, 윤강로, 이용희*
삼원기술(주) 기술연구소, *한국건설자재시험연구원

A Foaming Ceramics for Insulation of Building Equipment

Ju Young Lee[†], Young Hwan Song, Hae Jong Shin, Jae Ho Choi,
Sung Cheol Jang, Kang Ro Yun, Yong Hee Lee*

[†] Samwon Tech co., LTD, 586-1, Gadongri, Hallimmyeon, Gimhae-si, Gyeongnam, 621-871, Korea
*KICM, 14-1, Dang-dong, Gunpo-si, Gyeonggi-Do, 405-010, Korea

ABSTRACT: This study is an inorganic foaming ceramic by sol-gel reaction in order to overcome weak point of insulator using in construction equipment. We shall be able to confirm as the existing product substitute is possible result of this study. The solution where the silicate, the ceramic powder and the additive are included which makes foaming ceramic slurry, then the insulator made by used CO₂ Sol-Gel reaction. There being will be able to manufacture the insulator where the economical efficiency is excellent confirmed at the start product which is completed. The recording gel time decreases when the silicate will increase. Uses the hydrogen peroxide and fe make foam, when additionally surface preparation the fluorine resin, the water tolerance increases and will be able to complement the weak point of the silicate which omits in the water. The case which will use the loess powder with the research method which sees specially was environment-friendly product and according to appearing, the physical properties of nonflammability.

Key words: Silica Sol(실리카졸), Na₂SiO₃(규산염), Insulation(단열), Foaming Ceramic(발포세라믹), Sol-Gel Reation(졸·겔 반응)

1. 서론

최근 환경오염 문제 및 자원고갈 문제가 심각하게 대두되고 있으며 국가 간의 에너지 및 자원 분쟁이 일어나고 있는 실정으로 국내에서도 환경 규제 강화 및 자원절약 및 고부가가치화에 대한 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 친환경 소재에 대한 기술개발도 절실히 요구되고 있다.

이에 따라 개발 위주의 국내 산업 정책은 에너지와 자원절감, CO₂ 배출 저감과 같은 친환경적인 개발정책으로 시급히 전환되어야 하는 시점에 있다. 특히, 건축 산업은 국내 전체 재료소비의 40%, 에너지소비의 24%, CO₂ 배출량의 42%, 전 산업폐기물의 30% 그리고 불법폐기물의 60%를 발생하는 환경 저해 산업임에도 불구하고 친환경

적인 연구개발은 타 산업분야에 비해 매우 낙후된 실정이다. 건설분야에서 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 단열과 보온의 목적으로 쓰여지는 단열재는 친환경 재료, 공법개발이 증가하고 있지만 이런 노력에도 불구하고 기능적, 구조적으로 다양화 되고 있는 구조물 변화에 적절한 대응을 하지 못하며, 화재발생으로 인한 치명적인 인명피해와 경제적 손실을 해결하기 위하여 친환경적인 단열재의 개발이 시급한 실정이다.

현재 사용되는 대부분의 단열재는 석유화학제품을 원료로 사용하고 있으며 화재에 취약하고 생산성이나 인체에 유해한 성분의 발생으로 사용이 제한되어지고 있다.

본 연구에서는 불연성을 가지며 친환경적인 무기질 재료만을 사용하여 현장에서 필요한 단열성과 제품 물성을 충분히 만족시키는 새로운 제품을 위한 새로운 공법으로 기공률과 물성 실험을 수행하여 친환경 단열재를 대체할 수 있는 발포세라믹을 제조할 수 있는 가능성을 확인하고자 한다.

[†] Corresponding author
Tel.: +82-55-340-7177; fax: +82-55-343-9038
E-mail address: lly081@31tech.com

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에서 세라믹 분말은 고창황토의 황토(700mesh) 광물을 이용하였으며, 발포세라믹의 무기바인더 역할 및 실리카 졸·겔법을 이용하기 위하여 CO₂ gas, 드라이아이스, (주)삼화공업의 액상용 규산나트륨 3종과 (주)동양제철화학의 Fe 및 과산화수소(H₂O₂)를 사용하였다.

발포 성형체의 압축강도를 위한 첨가제로 고로슬래그를 발포 성형체 표면의 내수성 향상을 위한 첨가제로 (주)니카코리아의 불소계수지(Model No. KF 77C)를 희석하여 사용하였다.

발포 성형체의 굴곡강도를 증가시키기 위한 첨가제로 (주)컴퍼지트솔루션코리아의 carbon fiber를 사용하였으며, 수분이 포함된 발포성형체는 (주)성호에서 제작한 극초단파를 이용하여 가열, 건조시켰다.

2.2 실험방법

Fig. 1에서는 발포시스템에 의해 형성된 발포체에 규산염, 세라믹 및 첨가제를 포함시켜 기포슬러리를 만들고, 기포슬러리의 타설을 위해 배출관을 통해 배출될 때 실리카 졸·겔법을 제공할 수 있는 소스를 공급한다. 소스를 공급함과 동시에 곧바로 발포시스템의 공급전환자체에 의해 발포슬러리가 몰드에 옮겨지고, 이를 밀폐된 용기에 투입시켜 드라이아이스를 같이 투입시켜 CO₂를 발생시키거나 CO₂ gas를 강제로 주입하여 실리카 졸·겔을 제공하기 위한 소스의 변화에 따른 발포세라믹의 무기단열재의 제조 속도 및 물리적 특성을 확인하였다.

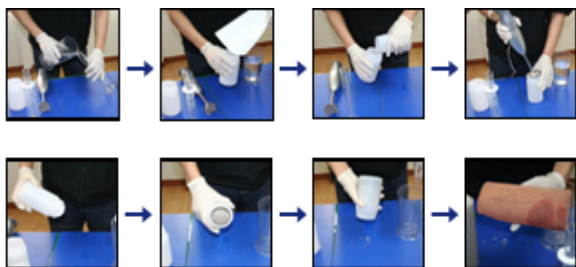
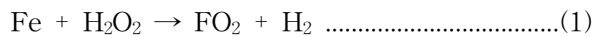


Fig. 1 Processing example of foaming ceramic by using silica gel-sol

본 연구에서는 시편의 전체에 균일한 반응을 유도하기 위해 몰드에 일정한 구멍을 내었으며, 조성물을 첨가하거나 교반하는 과정에서 몰드 외부로 조성물이 새지 않도록 바깥쪽 면에 마스킹한 후 교반을 완성하고 밀폐된 용기에 시편을 투입할 때 마스킹을 제거하였다.

일정한 규산염을 H₂O로 희석하여 A용액을 준비하고 세라믹파우더(황토)와 Fe 등을 첨가하여 B powder를 준비하였다. 준비된 A용액, B용액을 혼합하여 mixer를 사용하여 균질하게 혼합된 슬러리를 제조하였다. 이후 H₂O₂를 첨가하여 교반한 후, 졸·겔 반응을 위하여 밀폐된 용기에 시편을 넣고 드라이아이스나, CO₂ 가스를 주입하여 완성된 발포체를 유도하였다.

기포 발생을 위해 식(1)에 의하여 실험을 진행하였다.



단열재를 제조하기 위해서는 다량의 기공이 존재해야 하며 제품이 완전건조 될 때까지 제품 내에 균일한 porosity를 가져야 하며, 이를 위해 졸·겔법을 적용하여 실험하였다. 식(2)와 같이 여러 졸·겔반응 중에 Na₂SiO₃와 CO₂를 이용한 졸·겔법을 적용하여 3차원적 실리카 네트워크를 형성하는 실험을 하였다. 식(2)를 적용한 이유는 황산이나 다른 조성물을 이용한 졸·겔법을 적용한 결과 제품의 초기 물성은 양호하나 시간이 경과하여 수분이 증발되면서 시편의 표면부터 부스러지면서 강도가 급격히 떨어지는 경향이 있었다. 하지만 CO₂를 이용한 졸·겔법으로 제조된 시편은 제품으로서 충분히 만족할 수 있는 강도를 기대할 수 있었다.

본 연구에서는 황토를 이용한 세라믹 단열재의 기공 분포를 측정하기 위하여 Fig. 1의 SEM (HITACHI(Japan). S-2400)을 이용하여 기공의 분포를 측정하였으며, 압축강도 시험은 Fig. 2의 UTM (Universal Testing Machine, SHIMADZU UH-300KNI)을 사용하였다.



Fig. 2 Photographs of scanning electron microscope(HITACHI(Japan). S-2400)



Fig. 3 Photographs of universal testing machine

3. 결과 및 고찰

3.1 겔타임 측정

Table 1은 규산염의 용적비 변화에 따른 겔타임의 변화를 살펴보았다. 규산염의 용적비를 변화시켰을 때 제조된 세라믹 슬러리의 겔타임에 미치는 영향을 관찰한 결과 규산염이 증가될수록 겔타임은 짧아짐이 확인되었다.

Table 1 Analysis results of inorganic ceramic foam on the unstable silica sol conten

Na ₂ SiO ₃ content(%)	Gel time(min)
	loess powder
20	68
25	56
30	47
35	34
40	25

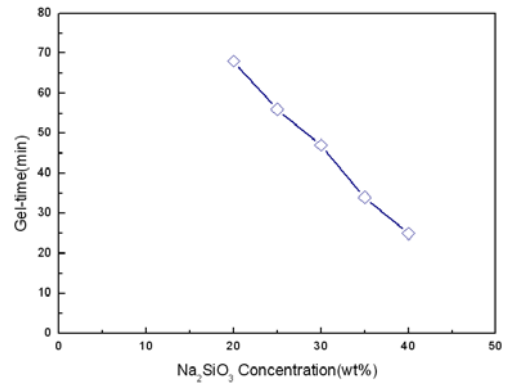


Fig. 4 Analysis results of inorganic ceramic foam on the unstable silica sol conten

일정한 CO₂를 공급하였을 때 CO₂와 반응하는 반응물질인 규산염(Na₂SiO₃)의 중량비를 증가시켰을 때 반응을 할 수 있는 기회가 높아지므로 겔화가 되는 시간이 단축되는 것을 볼 때 규산염의 양 조절로 생산공정에 용이하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 기공률 측정

Table. 2~3은 규산염, 세라믹, Fe 및 첨가제를 포함시켜 균질하게 혼합 된 슬러리를 제조 후 H₂O₂와 Fe첨가량을 조정하면서 나타나는 기공률의 변화를 살펴보았다. 기공률을 측정하기 위해서 먼저 Table 2에서와 같이 Fe 값을 고정시키고 H₂O₂의 값을 변화 시키면서 그 값을 비교하였다. 반대로 Table 3은 H₂O₂의 값을 고정시킨 후 Fe 값을 변화시키면서 기공률을 비교하였다.

완성된 시편의 기공률을 비교한 결과 H₂O₂값을 변화시켜 측정한 시편이 Fe 값을 변화시킨 시편보다 일정량 이상에 균질하고 많은 기공이 나타나는 것을 알 수 있었다.

Table 2 Analysis results and porosity of inorganic ceramic foam on the H₂O₂ content

H ₂ O ₂ weight (g)	Fe powder (g)	loess powder porosity (%)
0.5	1.0	23
0.75	1.0	28
1.0	1.0	33
1.25	1.0	45
1.5	1.0	52

Table 3 Analysis results and porosity of inorganic ceramic foam on the Fe content

H ₂ O ₂ weight (g)	Fe powder (g)	loess powder porosity (%)
1.0	0.5	19
1.0	0.75	26
1.0	1.0	32
1.0	1.25	35
1.0	1.5	37

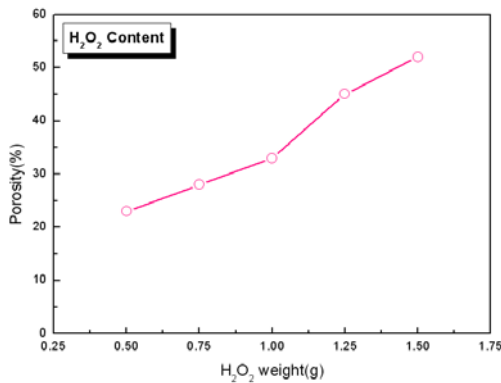


Fig. 3 Analysis results and porosity of inorganic ceramic foam on the H₂O₂ content

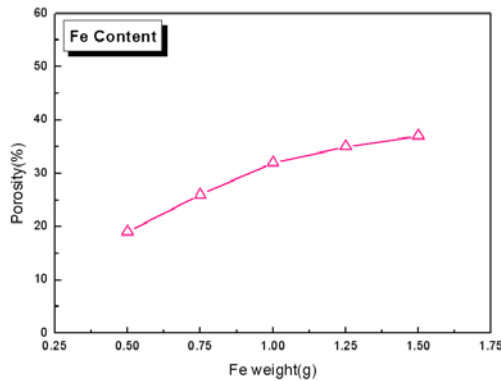


Fig. 4 Analysis results and porosity of inorganic ceramic foam on the Fe content

Powder로서 구성된 Fe의 조성물보다 액상으로 존재하는 H₂O₂의 조성량을 조절함으로써 보다 균질한 교반이 용이하며 발생하는 다량의 기공 조절하기에 유리할 것으로 여겨지며 교반 시에 발생하는 실험오차의 범위를 최소화 할 것으로 사료된다.

3.3 기공률에 따른 물성 비교

Table 4는 기공의 변화에 따른 압축강도, 열전도율, 휨강도 등의 변화를 관찰하였다. 기공률이 높을수록 낮은 열전도율을 가지므로 단열성을 기대 할 것으로 판단되지만 강도가 반비례적으로 약해짐을 확인 할 수 있었다.

또한 흡수율을 비교하기 위해 시편 표면에 불소코팅을 입혀 비교한 결과 불소코팅을 입힌 시편이 흡수율이 탁월하게 좋은 것을 알 수 있었다. 또한 세라믹(규산염)이 가지는 내수성의 약점을 보완하기 위해 시편의 표면에 희석된 불소를 코팅하여 흡수율을 확인 한 결과 코팅한 시편에서는 낮은 흡수율로 충분한 내수성을 가지는 것으로 판단된다.

Table 3 Analysis results of inorganic ceramic foam on the foaming agent content

porosity (%)	H ₂ O ₂ Content				
	Compressive strength (N/Cm ²)	Thermal conductivity (W/m.k)	Flexural strength (N/Cm ²)	Moisture absorption content (mg/Cm ²)	
				Treated by Fluoro resin	Untreated by Fluoro resin
23	114	0.042	70	16	88
28	105	0.034	68	14	90
33	93	0.028	66	14	92
45	89	0.022	60	16	90
52	75	0.018	58	18	95

porosity (%)	Fe content				
	Compressive strength (N/Cm ²)	Thermal conductivity (W/m.k)	Flexural strength (N/Cm ²)	Moisture absorption content (mg/Cm ²)	
				Treated by Fluoro resin	Untreated by Fluoro resin
19	123	0.046	74	18	89
26	112	0.036	70	15	93
32	96	0.030	69	17	94
35	94	0.026	63	20	94
37	91	0.025	59	21	86

Fig. 7에서와 같이 기공이 증가하면 단열효과는 좋아지지만 압축강도와 휨강도가 낮아지는 현상을 볼 수 있었다.

기공률이 증가하면서 시편의 내부에 포함하고 있는 입자의 얇은 경계면이 증가하게 되고 따라서 압축강도나 휨강도 등 기계적인 강도면에서 약해진다고 고려되어지며 단열재로서 반드시 필요한 기공률과 강도의 제품이 사용되는 곳의 개별성을 고려하여 최적조성을 구현하여 할 것으로 판단된다.

규산염이 물에 용해성이 있으며 분자간의 결합력이 약한 반응으로 인한 낮은 내수성을 보완하기 위해서 불소코팅을 하였을 때 현저히 내수성이 증가됨을 볼 때 고분자수지 등으로도 실험할 필요가 있을 것으로 사료되나 불연성 단열재를 제조한다는 목적에 부합되기 위해서 난연성을 증가시키는 첨가물이 같이 적용되어야 할 것으로 여겨진다.

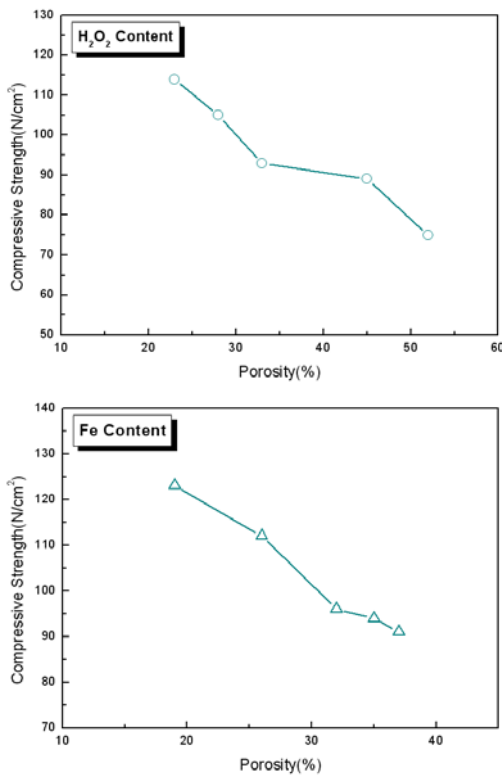


Fig. 4 Analysis results of physical properties on H₂O₂, Fe contents

3.4 단열 시편 분석

시편의 기공을 관찰하기 위하여 SEM 촬영한 결과 아래와 같이 나타났다. 내부에 포함된 기공으로 시편의 밀도가 낮아지며 수면에 부상실험을

했을때 30day 이상 부상됨을 확인하였으며 단열성과 함께 내수성도 양호함을 알 수 있었다.

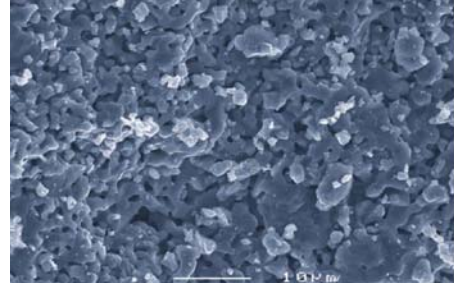


Fig. 5 SEM image of porosity



Fig. 6 Floatage foaming ceramic

본 연구에서 이산화탄소를 이용한 졸·겔법으로 제조된 시편을 확대한 결과 기공의 형태가 오픈셀로 구성되었으며 시편의 상단부가 내부의 기공보다는 조금 큰 사이즈의 기공이 형성된 것으로 보아 몰드의 제작 시에 상부에서 일정한 압력을 가하여 전체적으로 균질한 기공을 형성할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

친환경적인 무기질 재료만을 사용하여 단열성과 제품 물성을 충분히 만족시키는 졸·겔 공법으로 기공률과 물성실험을 수행한 결과 H₂O₂와 Fe에 의해 기공의 변화를 측정할 수 있었다.

시험결과 Fe, H₂O₂ 값을 변화하여 실험한 결과 Fe, H₂O₂ 모두 성분 함량이 증가할수록 기공률이 증가하는 현상을 발견할 수 있었으며, Fe의 성분보다 H₂O₂의 성분 함량에 따른 변화가 기공률에 미치는 영향이 더 효과적으로 나타났다. 일정 조성 이상에서 H₂O₂가 첨가될수록 기공이 발

생하는 정도가 현저히 차이가 남을 알 수 있었다. 이때 CO₂를 이용한 졸·겔반응(sol-gel reaction)을 이용하여 단열재를 제조함으로써 기공이 표면으로 표출되어 나오지 않고 시편의 내부에 남아 있는 상태로 건조되어 자체적으로 가진 공극으로 단열의 효과를 기대할 수 있다. 또한 이러한 공정으로 기존의 발포 단열재를 제조할 때 복잡한 공정(고온고압을 이용한 오토클레이브)보다 많이 개선됨으로 에너지효율적인 측면에서 경제적 효과도 기대된다.

기존 건축 단열재의 경우 화재발생으로 인한 치명적인 인명피해를 야기하는 반면 본 논문에서 개발한 황토를 이용한 무기질 단열재는 불연성을 가지며 열전도율도 기존 제품 못지않은 충분한 단열성을 나타낼 뿐만 아니라 친환경 제품으로서 개발되어 사용이 가능할 것이다.

사회적으로 친환경이 지향되고 있는 시대적 흐름에 맞추어 무기질 재료를 사용함으로써 자연 친화적 가치와 원가절감이라는 파급효과가 기대된다.

후 기

본 논문은 2008년 중소기업청 이전기술개발사업(S0806As6-A0120074-10000011)에 의해 연구가 진행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. Zanto, E. J., Al-Muhtaseb, S. A., Ritter, J. A., 2002, "Sol-Gel-Derived Carbon Aerogels and Xerogels: Design of Experiments Approach to Materials Synthesis," *Ind. Eng. Chem. Res.*, (Article), Vol. 41(13), pp. 3151-3162.

2. R. N. Miller, C. D. Bailey, S. M. Freeman, R.T. Beall, E. F. Coxe, 1962, "Properties of Foams, Adhesives, and Plastic Films at Cryogenic Temperatures," *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, Vol. 1(4), pp. 257-261.
3. KELLYN S. BETTS, 2001, "Environmental ews : Mounting concern over brominated flame rdants," *Environ. Sci. Technol. A-Pages*; Vol. 35(13), pp. 274 A-275 A.
4. Edwin J. Quinn, 1970, "Properties and Stability of Fire-Retardant Rigid Polyurethane Foams from Phosphonopropionate Polyols," *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, Vol. 9(1), pp. 48-53.
5. Glen W. Hedrick, Acy J. Green, 1973, "Flammability Characteristics of Rosin Polyol Derived Rigid Polyurethane Foams," *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, Vol. 12(4), pp. 319-321.
6. Anthony J., 1970, "Reactive Flame Retardants for Polyurethane Foams," *Papa Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, Vol. 9(4), pp. 478-496.
7. Phair, J. W., van Deventer, J. S. J., 2002, "Characterization of Fly-Ash-Based Geopolymeric Binders Activated with Sodium Aluminate," *Ind. Eng. Chem. Res.*, (Article); Vol. 41(17), pp. 4242-4251.
8. Ren, Y.; Lodge, T. P.; Hillmyer, M. A., *J. Am. Chem. Soc.*, 1998, "A New Class of Fluorinated Polymers by a Mild, Selective, and Quantitative Fluorination," *Communication*, Vol. 120(27), pp. 6830-6831.