

제올라이트와 석분 및 슬러지를 이용한 천정재의 개발에 관한 기초적 연구

The Fundamental study on Development of Ceiling materials using the
Zeolite and Stone dust , Sludge

임 병 호*	류 희 정*	최 영 준*	이 승 조**
Lim,Byoung-Ho	Ryu,Hui-Jung	Choi,Young-Jun	Lee,Seung-Jo
	김 태 곤***	박 정 민***	김 화 중****
	Kim,Tae-Gon	Park,Jung-Min	Kim,Wha-Jung

ABSTRACT

This paper is fundamental study to develop ceiling materials, using the properties of Zeolite, stone dust and sludge for the purpose of prevention of environmental pollution and reuse of industrial wastes.

According to latin square method, We estimated to the significant level and optimum level for a significant factor, and investigated to the significant degree to extend each factor for required capacity.

Thus, we investigated for required capacity in ceiling material such as, compressive and bending strength, absorptivity and thermal conductivity

1. 서론

인류의 탄생 이후부터 인간은 천연자원을 이용하여 왔으며 그러한 천연자원의 이용률과 이용형태의 고도화가 문명지보의 척도로 인식되어 왔다. 과학기술을 배경으로 한 산업의 급속한 발전의 결과로 인간은 물질적·경제적으로 풍요롭게 되었으나 천연자원의 고갈과 발생하는 폐기물에 의한 자연환경의 파괴라는 커다란 반대 급부를 감수해야만 되었다. 따라서 이들의 해결을 위해서는 철저한 자원 리사이클링(Recycling)이 필요하다고 생각된다. 이러한 자원의 리사이클링은 환경오염 문제를 해결하고 자원을 재활용할 수 있다는 면에서 과거 어느 때보다도 중요한 과제로 큰 관심을 모으고 있는 분야이다.

이러한 배경하에서 본 연구는 합성제올라이트(Zeolite)와 부순돌 생산시 발생하는 석분(Dust Stone)

* 경북대 건축공학과 석사과정

** 경북대 건축공학과 박사과정

*** 정희원, 경북전문대 전임강사, 공학박사

**** 정희원, 경북대학교 부교수, 공학박사

및 남은 콘크리트에서 골재를 회수하여 잔유물이 발생하는 래미콘슬러지(Sludge)를 효율적으로 이용하고자 한다. 제올라이트와 석분 및 슬러지를 콘크리트에 이용할 경우 여러 가지 특성을 확보함에도 불구하고 기존의 국내 연구는 콘크리트의 시공성 및 역학적 성질에 치중됨으로써 제올라이트와 석분 및 슬러지 고유의 특성을 살린 전자재료의 개발로 이어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 환경오염의 방지 및 천연폐기물의 재활용차원에서 제올라이트와 석분 및 슬러지의 특성을 효과적으로 활용함으로써 천정재를 개발하기 위한 기초적 연구로 압축강도, 휨강도, 단위중량, 흡수율, 열전도율을 라틴방격법에 근거하여 실험하였다.

2. 사용재료

본 연구에서 사용된 각각의 재료의 물성 시험 결과는 다음과 같다.

2.1 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 S사 제품으로 화학조성 및 물리적 성질을 표 1, 표 2에 나타낸다.

표 1. 시멘트의 화학조성

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig.loss
조성비(%)	21.4	7.0	2.9	1.9	2.2	60.8	0.72	0.12	2.0

표 2. 시멘트의 물리적 성질

비중	안정도	분말도	응결시간(h-m)		압축강도(kg/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	0.08	3190	4-45	7-05	192	263	354

2.2 제올라이트

본 실험에서는 천연제올라이트를 가공한 합성제올라이트로 국내산 C사 제품으로서 화학조성 및 물리적 성질은 표 3과 같다. 사진 1에는 합성제올라이트의 SEM사진을 나타낸다.

표 3. 합성제올라이트의 화학조성 및 물리적 성질

종 류	화 학 조 성(wt%)				입경	PH
	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O		
COLITE-P	17~18	28.5~29.5	33~34.5	18~21	3.5 μ m	2.0~ 10.0 ~11.4



사진 1. 합성제올라이트 SEM 사진

2.3 석분, 슬러지

석분은 경북 왜관산으로 체가름 시험을 통하여 0.6mm이하의 입자크기를 분체의 입장으로 간주하여 천정재의 개발에 이용하였다.

슬러지는 레미콘 생산공장에서 필연적으로 발생하는 산업 부산물인 회수수를 물기를 완전히 건조시킨 후 남은 고형분으로써 골재의 미립분과 시멘트분체로 구성되어 있다. 한편, 석분, 슬러지에 대한 각각의 SEM사진을 아래에 나타낸다.



사진 2. 석분 SEM 사진



사진 3. 슬러지 SEM 사진

2.4 폴리프로필렌계 섬유, 기포제

본 실험에 사용한 폴리프로필렌계 섬유의 성질은 표 4와 같고 기포제는 국내 K사가 제조한 것으로 비중은 1.04, PH는 6.9이다.

표 4. 폴리프로필렌계 섬유의 성질

비중	열 전도율	내균성	밀도 (t/m ³)	색상	흡수율	인장강도 (kg/cm ²)	발화점	용융점	탄성계수 (×10 ⁴ kg/cm ²)	전기 전도성	분산성	알칼리 저항도	산 저항도
0.90~0.92	6	우수	0.89	흰색	0	5,500~7,500	538℃	163℃	3.5~3.8	낮음	양호	양호	양호

3. 실험계획 및 실험

3.1 실험계획 및 개요

본 실험은 실험계획법의 하나인 라틴방격법에 의하여 표 5에서는 물결합재비와 섬유량 및 기포제량을 고정하고 A(제올라이트), B(석분), C(슬러지)의 인자를 변화시켰다. 물결합재비와 섬유 및 기포제를 고정시키고, 3인자의 범위를 크게 하여 시멘트의 사용량을 최소한으로 줄인다는 전제에서 유의한 범위를 찾는 것을 목표로 하였다. 표 6은 각 인자의 결합 상황을 보여 주고 있다. 인자와 수준의 수로 볼 때 125번의 실험을 해야 하지만 실험계획법의 라틴방격법에 의해 25번의 실험을 랜덤하게 순서를 정하여 실험을 하였다. 실험결과로써 라틴방격법의 통계처리과정을 통해 각 특성치에 영향을 주는 주요한 인자를 찾을 수 있고 그 인자에 대한 추정신뢰구간을 구할 수 있다. 한편, 양생은 증기양생을 80℃에서 5시간을 기준으로 하였다.

표 5. 천정재의 배합인자 및 수준

인 자	수 준 (단위 : g)				
	1	2	3	4	5
A: 제올라이트첨가량	50	100	150	200	250
B: 석분첨가량	200	400	600	800	1000
C: 슬러지첨가량	200	400	600	800	1000
물결합재비(%)	35				
섬유첨가량(%)	시멘트중량 × 0.3				
기포제첨가량(%)	물중량 × 3				

표 6. 각 인자의 결합상황

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
B ₂	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₁
B ₃	C ₃	C ₄	C ₅	C ₁	C ₂
B ₄	C ₄	C ₅	C ₁	C ₂	C ₃
B ₅	C ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄

3.2 실험결과

본 연구는 제올라이트, 석분, 슬러지를 사용하여 천정재를 개발하기 위한 기초적 연구로서 표 7에 실험결과를 나타낸다.

표 7. 천정재에 대한 실험결과

시험체	압축강도 (kg/cm ²)	단위중량 (t/m ³)	흡수율 (%)	휨강도(kg/cm ²)	열전도율 (kcal/mh°C)
A1B1C1	33.6	1.11	17.2	10.87	0.426
A1B2C2	22.4	0.97	28.1	10.06	0.301
A1B3C3	18.0	0.96	28.5	9.8	0.295
A1B4C4	10.3	0.87	32.5	8.5	0.247
A1B5C5	7.3	0.83	36.9	7.1	0.286
A2B1C2	17	0.94	33.1	8.9	0.282
A2B2C3	7.2	0.86	38.3	4.5	0.350
A2B3C4	4.6	0.86	36.6	2.3	0.204
A2B4C5	4	0.71	60.8	3.3	0.249
A2B5C1	57.1	1.38	17.1	12.8	0.291
A3B1C3	16.7	0.70	51.9	7.1	0.350
A3B2C4	3.2	0.72	53.7	2.2	0.172
A3B3C5	2	0.64	67.1	2.6	0.233
A3B4C1	52.5	1.30	19.1	18.2	0.464
A3B5C2	30.4	1.15	27.6	11.8	0.327
A4B1C4	13.9	0.97	30.6	6.6	0.249
A4B2C5	29.0	1.07	29.6	8.9	0.312
A4B3C1	48.1	1.13	27.8	13.8	0.363
A4B4C2	20.9	1.03	34.0	7.5	0.319
A4B5C3	9.8	0.84	50.2	6.2	0.418
A5B1C5	18.4	0.81	48.5	3.1	0.225
A5B2C1	17.4	1.01	33.9	5.3	0.222
A5B3C2	17.8	0.98	33.4	6.7	0.275
A5B4C3	9.9	0.92	41.4	3.5	0.397
A5B5C4	4.8	0.79	55.4	3.1	0.182

4. 실험고찰 및 분석

본 실험은 라틴방격법에 근거한 실험이다. 라틴방격법은 표 8과 같은 통계처리를 통해 얻어진 분산분석표에서, 90% F검정으로 $F_0 > F(0, 0.1)$ 가 되는 인자가 유의하다는 것을 알 수 있다. 그리고 아래의 식에 의해서 유의한 인자에 대한 추정신뢰구간도 구할 수 있다.³⁾

$$\text{모평균의 구간추정의 95\% 신뢰폭} = t(\psi_{Ei} \frac{a}{2}) \sqrt{\frac{V_E}{k}} \quad (1)$$

아래에 각종 시험을 통하여 각 성능에 영향을 미치는 유의한 인자를 찾고 그 인자에 대한 추정신뢰구간을 구하여 본다.

4.1 압축강도

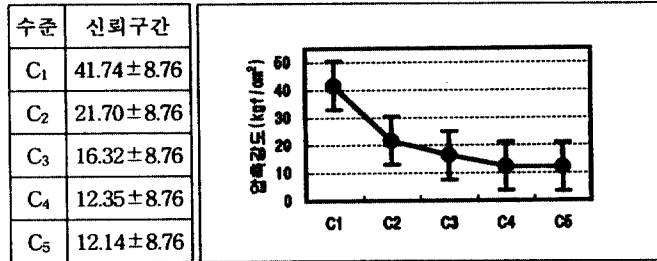
압축강도의 결과를 살펴보면 2(kg/cm²)-57.1(kg/cm²)로 낮게 나타났다. 이는 기포제의 다량 첨가로 인한 공극의 증가에 기인한 것이다.

3인자의 수준을 변화시키에 따른 분산분석표와 신뢰구간은 아래와 같다. 위의 표 8의 분산분석표에서 90%F검정에서 $F_0 > F(0.1)$ 인 C(슬러지)인자가 압축강도에 유의한 영향을 주었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 일반적으로 슬러지의 양이 증가할수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 압축강도 추정신뢰구간도 각 수준에 따라 95% 신뢰폭이 8.76이다. 그러나, A(제올라이트), B(석분)는 압축강도에 별다른 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

표 8. 분산분석표

요인	S	ψ	V	F_0	F(0, 0.1)
A	311.81	4	77.95	0.65	2.48
B	100.97	4	25.24	0.21	2.48
C	3757.78	4	939.44	7.82*	2.48
E	1440.91	12	120.08	-	-
T	5611.46	24	-	-	-

그림 1. 신뢰구간



4.2 단위중량

본 실험에서 단위중량의 범위는 0.71(t/m³)-1.38(t/m³)로 나타났다.

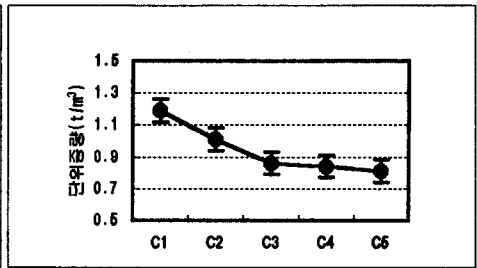
표 9의 분산분석표에서 90%F검정 $F_0 > F(0.1)$ 인 인자 C가 단위중량에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 슬러지의 단위중량이 다른 결합재에 비해 상당히 가볍기 때문에 영향을 주는 것으로 사료된다. 그리고, 그림 2에서 보는 바와 같이 전체적으로 슬러지의 양이 증가할수록 단위중량은 감소하고 수준 C₃이상에서 그 감소폭이 현저히 저하되었다. 그리고 단위중량 추정신뢰구간도 각 수준에 대해 95% 신뢰폭이 0.071로 폭이 아주 좁게 나타났다. 따라서 단위중량에 미치는 슬러지의 영향은 매우 크며 신뢰적이라고 볼 수 있다. 한편, 압축강도시험과 마찬가지로 A(제올라이트), B(석분)인자는 단위중량에 유의한 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

표 9. 분산분석표

요인	S	ψ	V	F ₀	F(0, 0.1)
A	0.4	4	0.01	0.50	2.48
B	0.03	4	0.01	0.39	2.48
C	0.50	4	0.12	6.44	2.48
E	0.23	12	0.02	-	-
T	0.79	24	-	-	-

수준	신뢰구간
C ₁	1.19±0.071
C ₂	1.01±0.071
C ₃	0.86±0.071
C ₄	0.84±0.071
C ₅	0.81±0.071

그림 2. 신뢰구간



4.3 힘강도

힘강도의 범위는 2.2(kg/cm²)-18.2(kg/cm²)이다. 표 10의 분산분석표에서 보는 바와 같이 요인A, C가 힘강도에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났으나 B인자는 별로 유의한 영향을 주지 못하였다. 그림 3에서는 슬러지의 증가에 따라 힘강도는 저하되다가 C₄를 기점으로 다시 증가하는 것으로 나타났고 그림 4에서는 제올라이트의 증가에 따른 힘강도를 나타낸 것이다.

표 10. 분산분석표

요인	S	ψ	V	F ₀	F(0, 0.1)
A	124.26	4	31.07	4.83	2.48
B	21.43	4	5.36	0.83	2.48
C	290.73	4	72.68	11.31	2.48
E	77.14	12	6.43	-	-
T	5.14	24	-	-	-

수준	신뢰구간
C ₁	13.76±2.02
C ₂	9.10±2.02
C ₃	6.22±2.02
C ₄	4.54±2.02
C ₅	5.00±2.02

그림 3. C신뢰구간

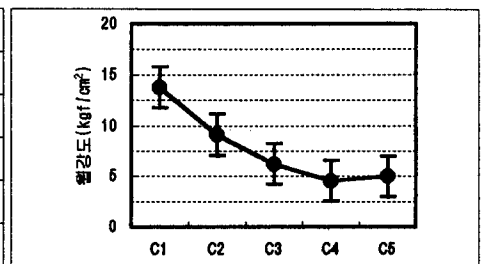
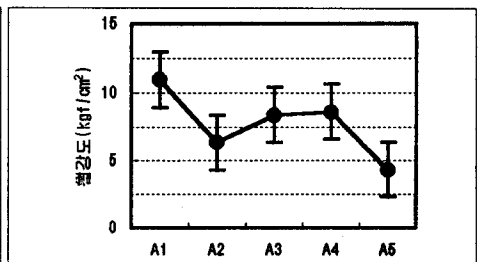


그림 4. A신뢰구간

수준	신뢰구간
C ₁	10.94±2.02
C ₂	6.36±2.02
C ₃	8.38±2.02
C ₄	8.60±2.02
C ₅	4.34±2.02



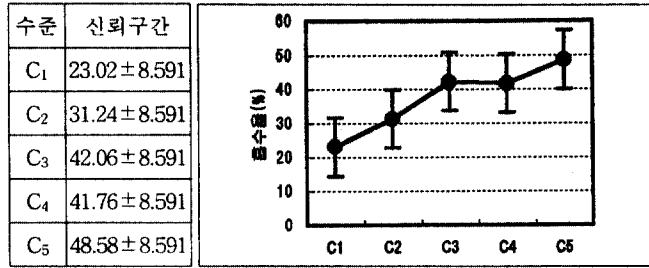
4.4 흡수율

흡수율의 범위는 17.2(%)-67.1(%)로 큰 편차가 나타났다. 이는 기포체의 첨가로 시험체 내부에 공극의 다량발생과 C인자가 흡수율에 유의한 영향을 줌으로써 수준의 증가에 따라 흡수율이 높게 나타난 것이다. 또한, 그림 5에서 보는 바와 같이 흡수율에 따른 슬러지의 영향은 전체적으로 슬러지가 증가할수록 흡수율도 증가하나 수준 C₃이상부터는 완만한 증가를 보이고 있다.

표 11. 분산분석표

요인	S	ψ	V	F ₀	F(0, 0.1)
A	768.65	4	192.16	1.65	2.48
B	17.02	4	4.26	0.04	2.48
C	2052.12	4	513.03	4.41*	2.48
E	1394.74	12	116.23	-	-
T	4232.53	24	-	-	-

그림 5. 신뢰구간



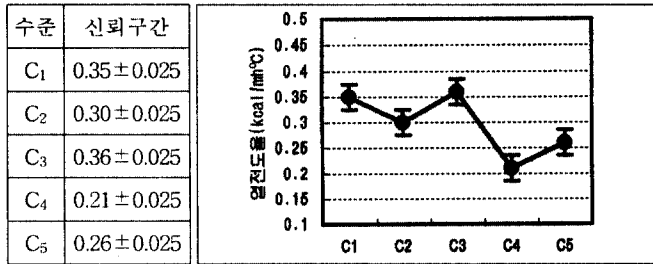
4.5 열전도율

기포제의 첨가로 인한 내부 공극의 발생으로 전체적으로 열전도율은 낮은 경향을 볼수 있었으며 표 12의 분산분석표에서 90%F검정에서 F₀>F(0.1)인 인자 C가 열전도율에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났으며, 인자A, B는 아주 미세하지만 영향을 주는 것으로 볼수 있다.

표 12. 분산분석표

요인	S	ψ	V	F ₀	F(0, 0.1)
A	0.02	4	0.001	1.72	2.48
B	0.01	4	0.001	1.38	2.48
C	0.08	4	0.02	8.13*	2.48
E	0.03	12	0.001	-	-
T	0.14	24	-	-	-

그림 6. 신뢰구간



5. 결론

본 연구는 자원의 재활용차원에서 제올라이트와 석분 및 슬러지의 활용하여 천정재를 개발하기 위한 기초적 단계의 연구로서 라틴방격법에 의한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

위의 결과들을 종합해서 천정재로서의 적정추정배합을 이끌어내야한다. 본 실험에서 물결합재비와 섬유량, 기포제의 양을 일정하게 고정시킨 조건에서의 변화된 3가지의 영향은 다음과 같다.

1. 천정재에 요구되는 성능면에서 주영향을 주는 인자는 슬러지로 나타났다. 특히 단위중량 및 열전도율에서 슬러지가 많이 첨가될수록 주영향을 주는 것으로 나타났다. 따라서, 슬러지의 양이 증가할수록 강도는 저하되며 흡수율은 증가되나 열전도율과 단위중량면에서는 수준 C₄, C₅에서 적정한 수준으로 생각된다.

2. A(제올라이트), B(석분) 인자가 전체통계분석에서 유의하지 못한 결과가 나왔지만 재료의 혼합, 특히 실험조건에서 고정시킨 섬유인자의 분포상태, 기포제의 사용에 따른 다짐의 정도에 기인한 영향이 작용하였다고 사료된다.

3. 본 실험에서 천정재의 요구성능을 만족시키는 적정배합은 본 배합표에는 나타나지 않았지만 통계추정에서 $A_2B_3C_5$, $A_3B_3C_4$ 로 추정된다. 그리고 차후에는 섬유량 및 기포제량을 변화시킨 조건에서 실험을 해보는 것도 적정결과치를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 상공부가 주관한 「'96 산·학·연 공동기술개발 지역컨소시엄」에 따라 (주)영진레미콘과 공동연구로 수행되었으며, 본 연구를 위하여 협조하여 주신 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

6. 참고문헌

1. 한국자원연구소, “石粉 슬러지 再活用 方案研究 I, II ”
2. 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학”
3. 민영사, “현대실험계획법”
4. 서승하, 이성금, “실내건축재료학”, 광문각
5. 박기청, Remicon폐수 및 폐기물 처리 시설투자와 경제 효과, 한국레미콘 공업 협회, 레미콘지, 통권 제29호 pp.63~71, 1991.
6. 최재진의 2인, 레디믹스트 콘크리트 공장에서 발생하는 폐수의 재활용에 관한 고찰, 한국공업협회, 레미콘지, 통권 제21호, pp4~11, 1989
7. 박정민, 김화중, “천연제올라이트를 이용한 콘크리트의 고강도화에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 대구·경북지부 학술논문집 제 3권 제1호, pp105~117, 1993