

# 제올라이트와 석분을 이용한 고성능 바닥재의 개발에 관한 기초적 연구

The Fundmental study on Development of high performance Floor  
materials using the Zeolite and Stone dust

류 회 정\*  
Ryu, Huy-Jung

임 병 호\*  
Lim, Byoung-Ho  
김 태 곤\*\*\*  
Kim, Tae-Gon

최 영 준\*  
Choi, Young-Jun  
박 정 민\*\*\*  
Park, Jung-Min

이 승 조\*\*  
Lee, Seung-Jo  
김 화 중\*\*\*\*  
Kim, Wha-Jung

---

## Abstract

In domestic, it is not a little results to use natural mineral, stone and sludge as a construction materials. Accordingly, it is required to study for higher application from of resources these materials in its economic and environmental aspects. So, the purpose of this study is to develop the excellent construction materials as compare with existing floor materials in material capacity and economic aspects, using natural zeolite, stone dust and sludge. In this viewpoint, this paper investigated to the required capacity such as, compressive strength, bending strength and absorption according to experiment.

---

## 1. 서론

현재 자원으로의 활용 가능성을 높게 평가받고 있는 천연광물로는 제올라이트를 예로 들 수 있는데, 이것은 부존자원의 고갈화 문제에 따른 신소재 개발 및 성자원적인 측면에 상응하고 천연광물로서의 가치를 지닌 것으로 현재 우리나라에 매장량이 풍부한 자원이며, 특히 시멘트 조제 또는 콘크리트용 혼화재료로 사용하는 경우에 있어서는 콘크리트의 강도가 증진되며 알칼리 골재반응의 억제효과가 있다고 보고되고 있다.<sup>(1)(2)(3)</sup> 하지만 이러한 신소재로서의 우수함에도 불구하고 건설 방법에서는 현재 그 이용실태가 미미한 편이며, 공업적인 이용이라는 관점에서 최근 공업용 흡착제로서의 연구대상으로 관심이 고조되고 있는 실정이다.

---

\* 경북대 건축공학과 석사과정

\*\* 경북대 건축공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 경북전문대 건축과 전임강사, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 경북대 건축공학과 부교수, 공학박사

한편, 부순돌 생산시 발생하는 석분량(부순돌 생산시 발생된 8mm 이하의 골재)은 각 관련업체들마다 그 양은 다르지만 대체적으로 부순돌의 전체생산량 중 약 30%를 차지하고 있다.

이들 석분량의 이용실태를 살펴 보면, 국내의 경우 현재로서는 조적용이나 댐 콘크리트용 잔골재로서 일부 이용되고 있으나, 일본이나 미국의 경우 아스콘이나 레미콘용 잔골재로서 일부 혼합사로 이용되고 있다. 그러나 이들 석분량의 효율적인 이용이라는 측면에서 다방면으로 연구가 진행되고 있으며 새로운 분쇄기 및 분급기의 개발에 따라 콘크리트용 잔골재로서의 이용이 점차 확대되고 있는 실정이다. 따라서 석분은 콘크리트용 골재로서 유효하게 이용할 수 있기 때문에 골재 수급문제를 완화하는 것은 물론 자원의 재활용 또는 산업폐기물 처리문제 해결등 사회적으로 커다란 효과를 거둘 수 있을 것이다. 그리고, 레미콘 공장에서는 미서의 세척 및 운반 차량의 드립세척에 의해 슬러지가 발생하는다. 이러한 슬러지수나 되돌아온 콘크리트, 남은 콘크리트에서 골재를 회수한 잔유물이 레미콘슬러지(Sludge 라고도함)인데, 그 처리에 있어 많은 문제점이 남아있다. 따라서, 건설산업과 사회환경의 상관관계의 장래를 직시하고, 환경파괴의 방지, 자원의 효율적 이용이라는 입장에서 레미콘 슬러지의 재이용 가치는 크다고 할 수 있다. 그러나, 국내의 경우 이들 천연광물과 석분, 슬러지의 이용실태는 아직 미미한 실정으로서, 경제적·환경적 측면에서 보다 높은 부가가치성을 갖는 자원으로의 활용을 위한 연구가 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 연구 성과들을 바탕으로 제올라이트, 석분, 슬러지 등을 이용하여 기존에 생산되고 있는 콘크리트 2차제품 중 바닥재에 대해 경제적, 구조재료적 측면에서 보다 우수한 건자재를 개발하고자 하는데 그 목적을 가지고 본 논문에서는 기초적으로 기본적 요구성능에 대해 검토하였다.

## 2. 실험계획 및 개요

본 연구는 제올라이트, 석분 및 슬러지를 사용한 고기능 바닥재를 개발하기 위한 것으로 본 실험에서는 시멘트의 일부를 제올라이트를 사용하여기존의 연구결과를 토대로 강도 증진면에서 우수한 수준으로 치환하고 잔골재를 일부를 석분으로 치환하여 시험체를 제작, 바닥재로서의 요구성능을 검토하여 고기능 바닥재의 개발을 위한 기초적 자료로 활용하고자 한다.

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트

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

#### 2.1.2 제올라이트

본 실험에서 사용한 제올라이트는 경북 포항산의 천연제품을 사용하였다.

#### 2.1.3 골재

잔골재의 경우 경북 낙동강산 강모래를 체가름 시험을 통하여 5mm 이하를 사용 하였으며, 굵은 골재의 경우 경북 가산산 쇄석 골재를 체가름 시험을 통하여 10mm 이하를 사용하였다. 골재의 물리적 성질을 표 4에 나타낸다.

#### 2.1.4 석분, 슬러지

석분은 체가름 시험을 통하여 잔골재의 입장에서 0.6mm 이상 5mm 이하를 이용하고, 슬러지는 레미콘 생산공장에서 필연적으로 발생하는 산업 부산물인 회수수를 물기를 완전히 건조시킨 후 남은 고형분으로써 골재의 미립분과 시멘트분체로 구성되어 있다.

표 1. 시멘트의 화학조성

성분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	lg.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 <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	0.08	3190	4-45	7-05	192	263	354

표 3. 제올라이트의 화학조성 및 물리적 성질

종류	화 학 조 성						비 중
	화 학 조 성 조성비(%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	
제올라이트		84.40	12.61	1.88	0.28	0.83	2.22

표 4. 사용골재의 물리적 성질

종류	표건비중	최대크기 (mm)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	흡수율	공극율	실적율	조립율 (F.M)
				(% )			
잔골재	2.57	5	1,560	1.05	40.1	59.9	2.8
굵은골재	2.63	10	1,556		40.9	59.1	6.8

## 2.2 시험체의 제작 및 양생

시험체는 시험체의 소요 크기에 따라 뒤비빔(플로우치=0)으로하여 제작하여 20ton의 압력으로 압축 성형하여 증기 양생기(80℃)에서 5시간 동안 양생시켰다. 성형압력은 자갈을 넣지 않은 경우는 성형 압력없이 다짐만으로 시험체를 제작하였으며, 자갈을 넣은 경우는 20ton의 압력으로 300×300mm의 플레이트 판을 시험체 면에 부착하여 시험체 전체에 균등한 압력을 받도록 압축하였다.

## 3. 실험계획 및 실험

### 3.1 실험계획 및 개요

본 실험에서는 바닥재를 개발하기 위한 기초적 단계의 연구로서 굵은 골재를 넣은 경우와 넣지 않은 경우의 2가지로 생각하여, 먼저 굵은 골재를 넣지 않은 경우에 대해 강도성능(압축강도와 휨강도)에 대한 기본 실험을 행한 후, 바닥재로 사용하기에 강도 성능이 좋은 조건을 가지는 배합에 대해 최대크기 10mm 이하의 굵은 골재를 첨가하여 300×300×60mm의 시험체를 제작하여 KS규준에서 요구되는 휨강도 실험과 흡수율 실험을 실시하였다.

각 재료의 사용량은 천연제올라이트의 경우 기준문헌<sup>(4)(5)</sup>에서는 제올라이트 사용량이 시멘트에 대한 10% 수준으로 치환할시 강도면에서 좋은 것으로 나타나 있으나, 본 실험에서는 5%로 정하였으며, 슬러지의 경우도 기존의 레미콘 회수수에 대한 연구보고<sup>(6)</sup>를 토대로 시멘트에 대하여 3, 6, 9%로 정하였다. 수량의 결정은 무(無)플로우치를 목표로 최소한의 물/결합재비로 30%를 선택하였으며, 석분(No 50 통과 잔류입자)의 양은 모래대체용으로 모래:석분의 비를 5:5, 4:6, 3:7의 3 종류로 하였다. 실험인자 및 수준을 표 5에 나타내었다.

표 5. 실험연자 및 수준

C	Z	SL	W/C (%)	C:S	S <sub>1</sub> :S <sub>2</sub>	S(S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )/A (%)	성형압력 (ton)
C	C×5%	C×3% 6% 9%	30	1 : 1.5	5:5 4:6 3:7	45 50	20
1	1	3	1	1	3	2	1

여기서; C:시멘트 Z:계울라이트(No 200 통과) SL:슬러지(No. 50 통과) W/C:물결합제비  
S:잔골재 S<sub>1</sub>:모래(5mm 이하) S<sub>2</sub>:석분(0.6~5mm 이하) G:자갈(10mm 이하)

### 3.2 실험결과

본 실험의 배합표를 표 6에 표 7, 8에 실험결과를 나타내었다.

표 6. 자갈을 넣지 않은 배합

C	Z	SL	W	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Spec. No.
1300	65	39	421.2	975	975	F 1
				780	1170	F 2
				585	1365	F 3
		78	432.9	975	975	F 4
				780	1170	F 5
				585	1365	F 6
		117	444.6	975	975	F 7
				780	1170	F 8
				585	1365	F 9

여기서; C:시멘트 Z:계울라이트(No 200 통과) SL:슬러지(No. 50 통과) W:물  
S<sub>1</sub>:모래(5mm 이하) S<sub>2</sub>:석분(0.6~5mm 이하) Spec. No.:시험체 명

표 7. 실험결과(굵은 골재 무첨가)

표 8. 실험결과(굵은 골재 첨가)

Spec No	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )				휨강도 (kg/cm <sup>2</sup> )				Spec No	휨강도 (kg/cm <sup>2</sup> )			흡수율 (%)
	①	②	③	평균치	①	②	③	평균치		①	②	평균치	
F 1.	426	416	427	423	61	72	76	69	F2-45	34	33	34	8.08
F 2.	375	406	327	369	77	81	81	80	F2-50	32	28	30	8.12
F 3.	434	402	386	407	68	68	70	69	F3-45	36	28	32	8.26
F 4.	390	341	354	362	78	77	69	75	F3-50	28	21	25	7.66
F 5.	384	431	393	403	80	77	80	79	F5-45	34	36	35	6.31
F 6.	428	423	398	416	69	85	84	79	F5-50	35	34	35	6.54
F 7.	366	363	380	370	78	64	70	71	F6-45	28	30	29	6.67
F 8.	419	423	420	421	78	73	78	77	F6-50	18	10	14	6.03
F 9.	431	436	448	438	73	66	82	74					

여기서; F2-45는 자갈을 넣지 않은 배합인 F2에 잔골재율 45%

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 자갈을 넣지 않은 배합

#### 4.1.1 압축강도

석분을 모래대용으로 치환하여 사용한 경우 석분의 치환율이 많아지면 압축강도가 올라가는 것으로 나타났다. 슬러지의 사용량도 6%보다는 9%가 압축강도면에서 더욱 높게 나타났다. 이는 석분의 미립분과 슬러지의 미립자가 공극을 충전시킴으로써 압축강도가 높아진 것으로 생각된다. 전체적으로 보았을 때 슬러지의 함유량이 3%, 6%, 9%로 증가함에 따라 압축강도는 높아지고 각각의 동일한 슬러지 함유량에서는 석분의 치환율이 높아질수록 압축강도는 높게 나타났다.

#### 4.1.2 휨강도

휨강도 시험에 따른 결과를 살펴보면, 압축강도와 다른 양상을 보이고 있다. 슬러지 함유량 3%의 경우에는 모래:석분의 비가 4:6에서 가장 높은 휨강도를 보였다. 6%, 9%에서도 현저한 강도차는 보이지 않지만 모래:석분의 비가 4:6에서 좋은 휨강도를 보였다. 따라서 압축강도의 시험결과치로 보았을 때는 모래:석분의 비가 3:7에서 좋은 강도를 가지고 있지만 바닥재의 특성상 휨강도가 더욱 중요한 비중을 차지함으로 추후 실무제 실험에서는 모래:석분의 비가 4:6을 기준으로 휨강도시험을 행하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

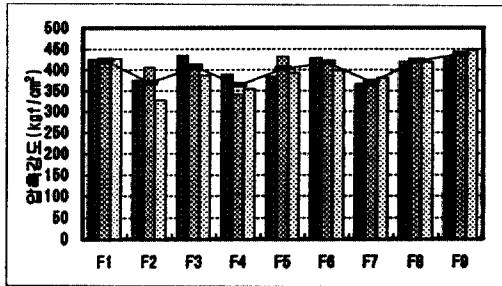


그림 1. 압축강도 결과

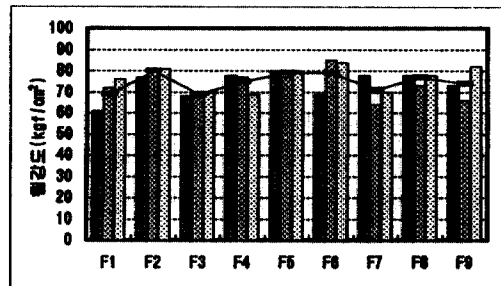


그림 2. 휨강도 결과

## 4.2 자갈을 넣은 배합

앞선 실험(자갈을 넣지 않은 배합)에서 휨강도면에서 좋은 결과치를 보인 F2, F3, F5, F6을 대상으로 굵은 골재를 10mm이하를 사용하여 각각 잔골재율(  $S(\text{모래} + \text{석분})/A = 45, 50\%$  )로 하여 실험을 행하였다.

### 4.2.1 휨강도

휨강도 시험 결과를 살펴보면, 먼저 잔골재율의 변화에 따른 영향은 잔골재율 45%가 50%보다 휨강도면에서 높은 값을 보였다. 이는 굵은 골재의 단위체적에 따른 분포면적이 늘어남으로 인하여 시험체를 압축성형 하였을 때 단면에 대한 밀실성이 커짐에 따른 결과라고 생각된다. 슬러지 함유량에 따른 휨강도 시험결과를 살펴보면, 석분의 치환율이 일정한 비율일 때 슬러지 함유량이 증가함에 따라 휨강도가 높아지나 그 값은 근소하다. 또한 일정한 슬러지 함유량에서는 석분의 양이 증가할수록 강도는 낮아지며 슬러지 함유량 3%가 6%보다 저하폭이 높다.

### 4.2.2 흡수율

흡수율실험에 의한 각 배합의 결과를 살펴보면 슬러지의 함유량이 3%보다는 6%에서 더욱 낮은 값을 보였으며, 슬러지의 함유량이 일정할 때 석분의 양이 많아질수록 즉, 잔골재율이 45%보다는 50%일때가 흡수율은 약간 높은 값을 나타내었다. 본 실험에 의한 바닥재의 흡수율은 대체적으로 6~8%범위 위로 KS 규격에 따른 보도용 콘크리트판, 콘크리트 경계 블록의 경우는 5%이하, 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록은 7%이하 규준에 비해 약간 높은 수치를 보이나, 추후 시제품 제작시에는 설비조건,

양생시간 조절, 표면 마감등을 고려하면 흡수율은 기준치에 적정값을 나타낼 것으로 사료된다.

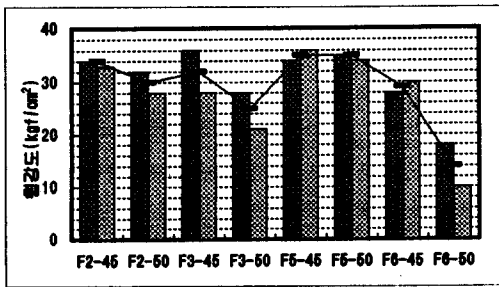


그림 3. 휨강도 결과

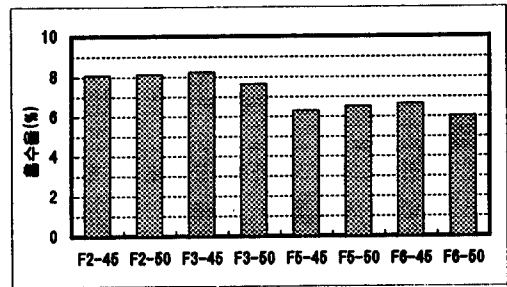


그림 4. 흡수율 결과

## 5. 결론

본 연구는 제올라이트, 석분, 슬러지 등을 이용하여 기존에 생산되고 있는 바닥재에 비해 경제적, 구조재료적 측면에서 보다 우수한 건자재를 개발하기 위한 기초적 단계의 연구로서 현재까지 수행된 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 휨강도 면에서 슬러지의 영향에 대하여 살펴본 결과 슬러지의 함유량이 시멘트에 대하여 3% 첨가 시 보다는 6%에서 더욱 좋은 휨강도를 보였다. 석분의 영향은 모래:석분의 비가 낮을수록 휨강도는 높은 것으로 나타났다.
2. 흡수율 실험에서는 슬러지의 영향에 대하여 살펴 본 결과, 슬러지의 함유량이 시멘트에 대하여 3% 첨가 시 보다는 6%에서 흡수율이 낮아 좋은 것으로 나타났다. 석분의 영향은 미소하나 모래:석분의 비가 낮을수록 흡수율은 낮아지는 것으로 나타났다.
3. 휨강도 및 흡수율 실험을 토대로 살펴본 결과, 건자재의 성능에 양호한 배합은 슬러지의 함유량이 3%보다는 6%인 것으로 나타났고, 석분의 영향은 모래:석분의 비가 4:6이 3:7보다 좋은 것으로 나타났다. 추후 본 연구 결과를 바탕으로 마모율, 화학 저항성 등과 같은 기타 부족한 부분의 보완연구를 계속 수행할 예정이다.

본 연구는 1996년도 대구지역 컨소시엄 산·학·연 공동기술개발 과제의 연구비에 의해 연구한 내용의 일부로서 이에 감사드립니다.

## 6. 참고문헌

1. 向井 毅, 馮 乃謙, 江 原恭 “콘크리트의 강도증진材としてのゼオライトの有効性に關する研究(第1報)”, 日本建築學會構造係論文報告集, 第388號, 昭和63年6月, pp 9-16.
2. 王 宗玉 外 3人, “天然ゼオライトを發泡源として用いた氣泡コンクリートの強度特性に關する研究”, セメントコンクリート 論文集, Vol. 44, 1990, pp 210-215
3. 金 淙澤 外 1人, “東海地方의 天然 Zeolite의 乾燥劑로서의 吸着特性”, The Journal of the Research Institute of Industrial Technology Kyungpook National University, Vol.16, Dec. 1988.
4. 學術振興財團, “고강도콘크리트의 실용화에 관한 연구”, 1991.
5. 韓國科學財團, “고강도 경량콘크리트의 개발과 활용에 관한 연구”, 1993.
6. 韓國資源研究所, “석분 슬러지 재활용 방안 연구(I),(II)”.
7. 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학”..