

석분슬러지를 이용한 압출성형 콘크리트 패널의 휨강도 특성

A Flexural Strength Properties of Extruding Concrete Panel Using Stone Powder Sludge

최 훈 국* 정 은 혜* 락 은 구* 강 철* 서 정 필* 김 진 만**
 Choi, Hun-Gug Jung, Eun-Hye Kawg, Eun-Gu Kang, Cheol Seo, Jung-Pil Kim, Jin-Man

Abstract

Nowadays the using of concrete is generalized, and construction material is demanded to be lightweight according to increasing the height and capacity of buildings. Therefore, it needs to develop the products having the great quality and various performance. Extruding concrete panel made of cement, silica source, and fiber, and it is a good lightweight concrete material in durability and thermostable. The silica of important ingredient is natural material with high SiO₂ contents and difficult in supply because of conservation of environment.

On the other hand, the stone powder sludge discharged about 20-30% at making process of crushed fine aggregate and it is wasted. The stone powder sludge is valuable instead of silica use because the stone powder sludge includes water of about 20-60%, SiO₂ of about 64% and it has fine particles. This experiment is on the properties of extruding concrete panel using the stone powder sludge use instead of silica. From this experiment, we find that it is possible to replace the silica as stone power sludge up to 50%.

키 워 드 : 석분슬러지, 압출성형 콘크리트, 패널, 휨강도, 밀도

Keywords : Stone powder sludge, Extrusion molding concrete, panel, flexural strength, Density

1. 서 론

현재 건설 산업은 국민 총 생산의 큰 비중을 차지하고 있으며, 이를 안정적이고 경제적으로 수행하기 위한 품질이 우수하고 성능이 다양한 건설 자재의 활용이 시급한 실정이다 특히 21세기 건물의 고층화와 대형화에 따라 건물의 자중 증가는 구조적인 문제로 대두되어 건설 자재의 경량화가 요구되고 있는 실정이다. 그러나 국내의 경우 콘크리트의 사용이 일반화되었지만, 콘크리트 2차 제품에 대한 연구가 미흡하여 경량화, 조립화 및 다양한 디자인 등 현대 사회에서 요구하는 성능을 충족시키지 못하고 있다. 따라서 품질이 우수하고 성능이 다양한 콘크리트 제품 개발이 필요하다. 이러한 우수한 콘크리트 제품에 대응하는 자재로서 국내에서는 ALC 패널과 샌드위치 패널이 주를 이루고 있지만 ALC의 경우 흡수율이 크고, 파손율이 높은 문제점을 가지고 있으며, 샌드위치 패널의 경우, 폴리스티로폼을 사용한 패널로서 패널의 양 옆에 수밀 보드를 사용하여 원가가 상승하고 보드의 강도로 인한 시

공의 어려움이 발생하고 있다. 또한 내화 및 유기질 단열재를 사용하여 연소 시 유독가스가 발생하는 문제점을 가지고 있다. 이에 비해 콘크리트 제품 중 건축물의 내·외장재 및 도로방음벽에 사용되고 있는 진공압출성형 콘크리트는 시멘트, 규산질 원료, 섬유 등으로 진공압출성형하여 생산하는 것으로 내후

성, 내구성, 내열성이 우수한 무기질 경량 콘크리트 자재이다.

한편, 부순 골재 생산시 세척과정에 의해 폐기물로 발생하는 석분슬러지(Stone powder sludge ; 이하 SPS로 표기)는 골재 생산량의 약 20~30% 정도 발생하고 있으며, 20~60%의 함유율을 가지고 있다. 또한 사업장 내에 90일 이상 보관하지 못하며, 지정폐기물로 분류되어 정해진 규정에 따라 일정 비율로 토사와 혼합하여 매립하거나 위탁처리하기 때문에 환경오염과 처리비용 문제가 야기되고 있다.

이러한 석분슬러지는 비중이 2.5~2.6으로 골재와 유사하고 SiO₂를 약 64.32% 포함하고 있으며, 입도가 7.49 μ m로 미세하여 압출성형 콘크리트의 규사원으로 이용 가능할 것으로 사료된다. 또한, 석분슬러지를 규사 미분의 대체재로 사용할 경우 규석을 분쇄하는 데에 소요되는 비용이 감소되어 경제성을 높여 주며, 원석 채취로 인한 환경 훼손과 원석 가공 중 발생하는 환경오염을 줄일 수 있다.

따라서 본 연구는 기존의 압출성형 제품에 석분슬러지를 이용하여 제품을 제작하고, 기초실험을 실시하여 석분 슬러지를 사용한 압출성형 제품의 실용화를 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

* 정회원, 공주대학교 대학원 건축공학과

** 정회원, 공주대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구는 기존 제품 제조에서 규산질의 원료로 사용되고 있는 규사미분을 석분슬러지로 대체하여 압출성형 콘크리트 패널의 제작에 대한 연구로서, 대체율별 패널의 휨강도 특성을 검토하여 적용가능성을 알아보기 위한 것이다. 실험계획은 Table 1과 같이 석분슬러지 대체율별 5수준으로 실험을 실시하였다. 또한 압출성형 콘크리트의 경우 비빔 상태가 된비빔으로 점도상의 석분슬러지와 혼합이 불충분하여 석분슬러지 함유량의 1/2를 첨가하고 슬러리화 한 후 혼합하는 것으로 하였다.

측정항목으로는 휨강도, 밀도, 흡수율, 그리고 압축강도를 상대 비교하기 위한 일환으로 상대경도(슈미트해머)를 측정하였다.

Table 1. Experimental plan

Factors	Levels (%)	Testing items
Replacement rate of SPS	0	·Density
	25	·Flexural strength
	50	·Absorption rate
	75	·Relative hardness
	100	(Schumidt hammer)

2.2 사용재료

2.2.1 화학적 특성

본 실험에 사용된 재료인 시멘트, 규사미분, 석분슬러지의 화학적 특성은 Table 2와 같다. 규사미분(이하 SP로 표기함)은 SiO₂가 95.5%이지만, 석분슬러지의 경우 SiO₂가 64.3%로 SiO₂의 함유량이 낮은 것으로 나타났다.

Table 2. The chemical properties of materials

Type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
OPC	22.73	5.93	3.37	61.73	2.53	1.97	1.74
SP	95.5	1.95	0.76	-	-	-	1.79
SPS	64.3	17.2	2.4	-	-	-	16.1

2.2.2 물리적 특성

시멘트는 밀도 3.15의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하고, 규사미분은 밀도 2.66, 비표면적 3,793cm²/g의 K사의 활성규사를 사용하였다. 또한 석분슬러지는 건조 상태의 경우 밀도 2.60이며, 경기도 N지역의 석산에서 배출되고 있는 것을 사용하였다. 각 재료별 입도 분포는 Fig. 1과 같다. 시멘트의 평균 입도는 9.44μm이며 규사미분의 경우 20.38μm인 것에 비해 석분슬러지의 경우 7.49μm로 시멘트와 유사한 입도를 가지고 있어 규사미분에 비해 시멘트와의 반응이 활성화 될 것으로 나타났다.

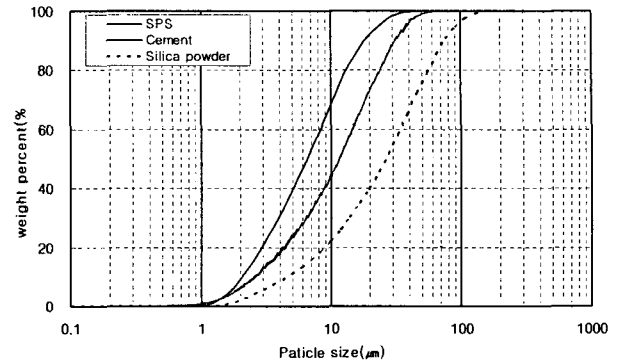


Fig. 1 Grading curve of SPS

2.3 시험체 제작, 양생, 측정방법

2.3.1 시험체 제작방법

본 실험 시험체 제작은 Fig. 2와 같다. 분체계 재료를 옴니믹서를 이용하여 건비빔을 하고 석분슬러지를 슬러리화하기 위하여 배합수의 1/2를 첨가하여 슬러리화 하고 그 후 니더믹서에서 혼합된 분체계에 슬러리화 된 석분슬러지를 투입하였다. 배합 시간은 총 15분으로 건식 배합 3분, 습식 배합을 5분 실시한 후 Picture 1과 같이 압출성형기를 이용하여 시험체를 제작하였다. 시험체는 161×37의 크기로 중앙에 두개의 중공을 가지고 있으며, 이 시험체는 실제 생산에서 사용되고 있는 형태를 축소한 모양이며 도면은 Fig. 3과 같다.

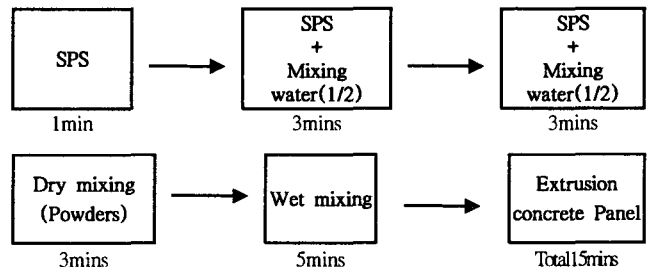


Fig. 2 The method of manufacture

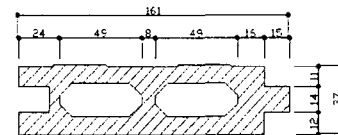
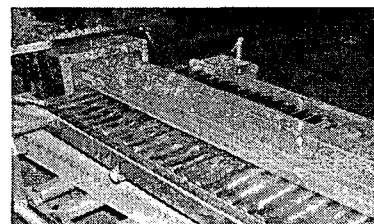


Fig. 3 Drawing of specimen



Picture 1 The method of extruding

2.3.2 양생방법

압출성형된 시험체를 5시간의 전치양생 후에 Fig. 4, 5와 같이 증기양생과 오토클레이브 양생을 실시하였다. 1차 증기 양

생은 KS에 규정되어 있는 최고 온도 65℃, 유지 2시간에 대한 것이 본 제품에 맞지 않기 때문에 최고 온도 80℃, 유지시간 4시간으로 실시하였다. 또한, 강도 발현을 높이기 위하여 오토클레이브 양생을 실시하였다. 오토클레이브양생은 최고온도 180℃, 유지시간 6시간으로 실시하여 초기 강도 증진 효과를 얻는 것으로 하였다.

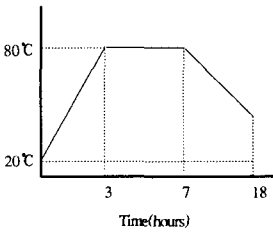


Fig. 4 The condition of steam curing

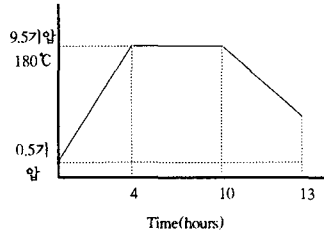
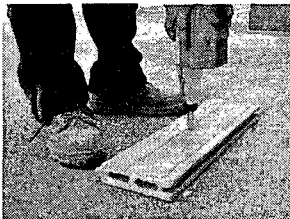


Fig. 5 The condition of autoclaved curing

2.3.3 시험방법

KS F 4735 「압출성형 콘크리트 패널」에 준하여 밀도와 흡수율을, KS F 2273 「조립용판 및 그 구조부분의 성능시험방법」에 준하여 휨강도를 측정하였다. 또한, KS에는 압축강도가 제시되어 있지 않지만, 제품의 강도 특성을 검토하기 위하여 비파괴 시험인 슈미트 해머를 이용하여 상대 경도를 비교 분석하는 것으로 하였다. 그 측정 위치는 중공부의 중앙인 기둥부분에 타격을 하였다.



Picture 2. The measurement of schmidt hammer

3. 실험결과 및 고찰

3.1 밀도 및 흡수율

Fig. 6은 석분슬러지 대체율에 따른 밀도와 흡수율의 관계를 나타낸 것으로 석분슬러지 대체율이 증가함에 따라 밀도는 낮아지며, 흡수율은 높게 나타났다. 석분슬러지 대체율 0%에서는 밀도가 1.75, 흡수율 18%로 나타났지만, 대체율 100%에서는 밀도는 1.62, 흡수율은 23%로 그 차이는 밀도 0.1이상, 흡수율 5% 이상으로 큰 차이를 보이고 있었다. 이러한 결과는 규사미분의 밀도가 2.66인 반면, 석분슬러지는 2.60으로 0.06의 밀도차이가 나기 때문에 대체율에 따라 밀도는 감소하는 것으로 나타났다. 흡수율이 증가하게 되는 것은 석분슬러지의 입도가 7.49 μ m로 규사미분에 비해 13 μ m정도 높기 때문에 비표면적의 증가로 흡수율이 증가하는 것으로 나타난 것으로 사료된다.

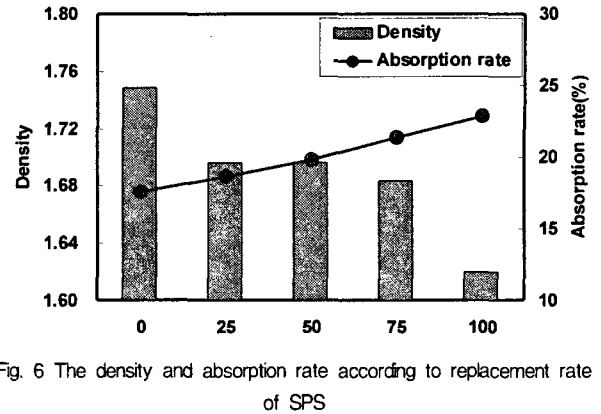


Fig. 6 The density and absorption rate according to replacement rate of SPS

3.2 휨강도

석분슬러지 대체율에 따른 휨강도를 Fig. 7에 나타내었다. 대체율이 증가함에 따라 휨강도는 감소하는 것으로 나타났으며 석분슬러지 대체율 0%에서는 18 N/mm², 대체율 100%에서는 약 10 N/mm²로 그 차이는 약 8 N/mm²로서 대체율에 따라 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 압출성형콘크리트 패널의 강도측정 시 시험체를 절건 시켜 측정하는 것이 아니라, 양생이 끝남과 동시에 측정하는 것으로 되어있어 석분슬러지 대체율이 증가함에 따라 흡수율이 증가하고 밀도가 감소하였기 때문에 강도에 영향을 준 것으로 사료된다.

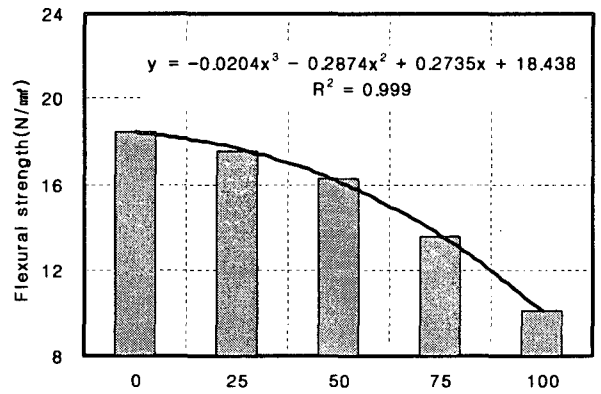


Fig. 7 The flexural strength according to replacement rate of SPS

3.3 상대경도

석분슬러지 대체율에 따른 상대경도를 Fig. 8에 나타내었다. 석분슬러지 대체율이 증가함에 따라 상대경도도 감소하는 것으로 나타났으며, 휨강도와 유사한 결과를 얻었다. 석분슬러지 대체율 0%에서는 34.2로 나타났으며, 100%일 때에는 22로 약 14 정도의 차이가 나타났다. 이러한 결과가 나타난 것은 휨강도와 같이 밀도의 감소와 흡수율을 증가로 사료된다.

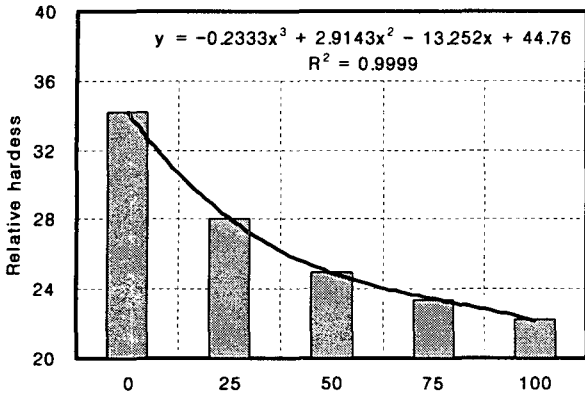


Fig. 8 The relative hardness according to replacement rate of SPS

3.4 휨강도와 밀도와의 상관관계

Fig. 9는 석분슬러지 대체율에 따른 밀도와 휨강도와의 상관관계에 대한 것으로 밀도가 증가할수록 휨강도는 증가하는 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

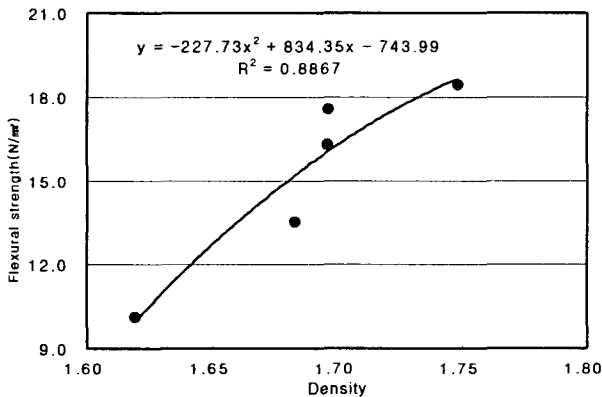


Fig. 9 The flexural strength according to density

4. 결론

석분슬러지 대체율에 따른 압출성형 콘크리트 패널의 시험결과 다음과 같다.

- 1) 석분슬러지의 대체율이 증가함에 따라 밀도는 낮아지며, 흡수율은 높게 나타났다. 이는 규사미분의 밀도는 2.66인 반면에 석분슬러지의 밀도는 2.60으로 0.06의 밀도차이를 가지고 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한 흡수율이 증가하는 것은 석분슬러지의 평균입도가 규사미분에 보다 높기 때문에 비표면적의 증가로 인한 흡수율의 증가로 사료된다.
- 2) 휨강도의 경우 석분슬러지 대체율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 이러한 실험결과는 압출성형콘크리트 패널의 강도측정 시 절건 시켜 측정하는 것이 아닌 양생이 끝남과 동시에 측정하여 석분슬러지 대체율이 증

가함에 따라 대체율 증가에 따른 흡수율의 증가와 밀도의 감소로 인해 강도에 영향을 준 것으로 사료된다.

- 3) 압출성형콘크리트 패널에서 가장 중요시하고 있는 휨강도에 대해 KS F 4735을 고려할 경우 규사미분에 대한 석분슬러지의 대체율은 50%까지 가능할 것으로 사료되며, 석분슬러지를 대체하여 사용할 경우 친환경적인 제품 생산이 가능하게 되고 내구성, 내후성뿐만 아니라 경제성까지 겸비한 전자재를 보급할 수 있게 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2005년 중소기업청 기술혁신개발사업으로 (주)익성택과 공주대 RIC/NMR이 공동으로 수행한 연구의 일부로 관계 기관에 감사의 말씀을 올립니다.

참고 문헌

1. 대한주택공사, 콘크리트용 부순모래의 실용화방안 연구, 1996. 12, pp.23~38
2. 김진만, 정은혜, 강철, 김재원, 이정구, 최훈국, 세피올라이트를 이용한 압출성형 콘크리트 패널의 휨강도 및 밀도 특성, 한국 콘크리트학회 봄 학술 발표회 논문집, 2006
3. 정상진, 공민호, 임남기, 김영진, 혼화재료를 혼입한 압출성형경량 콘크리트 패널의 개발을 위한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 20권 4호, 2004. pp.85~92
4. 한천구, 신병철, 김기철, 이상태, 석산에서 발생하는 슬러지 미립분의 혼입률 변화에 따른 시멘트 모르타르의 강도 및 흡수 특성, 한국 콘크리트학회 논문집, Vol. 13 No. 6, 2001. pp.561~567
5. 정지용, 수열합성반응을 이용한 석분 슬러지의 재활용 기술에 관한 연구, 공주대학교 대학원 석사학위논문, 2006. pp. 35~38
6. 김치권, 배광현, 수열양생법에 의한 석분슬러지로부터 인조석판재의 제조, Korean J. Crystallography, Vol. 16 No. 2, 2004. 11. pp.525~528
7. 한국건설기술연구원, "압출성형 시멘트 창호재의 석면대체 제조기술 개발", 산업자원부, 2000