

광촉매가 첨가된 스코리아/황토/콘크리트의 VOCs 제거 특성

The photo-removal characteristic of VOCs by photocatalyst/scoria/loess concrete

고성현* 이재훈** 홍중현*** 류성필*** 김문훈*** 문경중***

Ko, Seong Hyun Lee, Jae Hoon Hong, Chong Hyun Ryu, Seong Phil Kim, Moon Hoon Moon, Kyung Jong

ABSTRACT

The environment-friendly building material, photocatalyst/scoria/loess concrete, was prepared using scoria and loess (which have merits as building materials) and photocatalyst (which has the functions to compose the environmental contaminants and of self cleaning). In order to apply this material as a building material, the compressive and flexible strengths, and water absorptivity (which have been set by Korea Industrial Standard) were measured. The optimum mixing ratio of photocatalyst/scoria/loess concrete was obtained at the condition of 393 kg/m³ of coarse aggregate, 802 kg/m³ of fine aggregate in case of scoria, 80 kg/m³ of loess, 12 kg/m³ of photocatalyst, 400 kg/m³ of cement, and 2 kg/m³ of AE water reducing agent. The photocatalyst/scoria/loess concrete prepared by above mixing ratio of raw materials showed 25 MPa of compressive strength, 3.8~4.6 MPa of flexible strength and 11.4~12.0 % of water absorptivity, indicating that the quality of this material was suitable for Korea Industrial Standard (more than 21 MPa for compressive strength, more than 2.0 MPa for flexible strength in case of lightweight aggregate, and less than 15 % for water absorptivity in case of clay brick) for using as a building material.

1. 서론

생활수준의 향상으로 인한 자동차 및 인구의 도시집중화는 대기오염을 날로 심각하게 만들고 있다. 휘발성유기화합물(VOCs, volatile organic compounds)은 광화학 스모그를 발생시키는 주요 원인물질로서 벤젠, 톨루엔, 포름알데히드(HCHO) 등 발암성 물질을 포함하고 있으며, VOCs에 의한 환경오염은 밀집도가 높은 상가, 주택지, 지하도 등에서도 건자재, 생산제품 등에서 나오는 VOCs로 인한 보건위생에 큰 지장을 받고 있다. 대기환경연구소의 보고서에 따르면 일반자재, 표면피복재료, 접착제 등의 건축자재에서 배출되는 VOCs가 연간 21만5천7백톤으로 전체 발생량의 36% 이상인 것으로 조사되었다(권, 2003). 특히, 각종 건강장애와 관련된 증상을 호소하는 사람들이 늘어나는데 두통, 안질, 후두염,

* 정회원, 영남대학교 토목공학과 박사과정

** 정회원, 영남대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 탐라대학교 토목환경공학과 교수

**** 정회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정

알레르기성 질환, 어지러움 등을 일으키는 sick building syndrome 또는 tight building syndrome 등의 문제를 일으켜 재실자의 건강을 크게 악화시키고 있다(환경부, 2003). 우리나라에서는 2004년부터 건축자재 등의 환경규제가 강화되어 건축자재의 성능 평가시 오염물질 방출량에 따른 등급제도가 적용되고 있으며, 허용기준치를 초과하는 경우에는 사용이 전면 금지되고 있다. 실내오염물질의 저감을 위해서는 오염물질을 방출하는 건축자재의 사용제한, 무공해 및 친환경 건축자재의 개발 등이 필요하다. 제습, 축열, 단열 및 방음효과가 뛰어난 황토와 제주도에 널리 분포하고 있는 스크리아(scoria)는 천연경량골재로서 요구되는 모든 요건(화학성분과 물리적 특성)이 구비되어 있다. 본 연구에서는 황토 및 스크리아가 가진 건축재료로서의 장점과 환경오염물질의 분해능 및 self cleaning 기능을 가진 광촉매를 사용하여 친환경콘크리트 제조를 위한 배합비를 제시하였다. 제조된 광촉매가 첨가된 스크리아/황토 콘크리트의 친환경적 특성을 살펴보기 위하여 원적외선 방사율, 흡음율, 대장균 및 녹농균에 의한 항균시험, 항곰팡이 시험, 암모니아 탈취 실험을 수행하였으며, 또한 VOCs 및 HCHO의 제거 특성을 파악하고자 광촉매의 치환율, 반응물질의 초기농도, 첨가된 광촉매의 종류, 광원의 종류, 태양광의 자외선 강도와 상대습도에 따른 제거효율을 조사하고, 이를 기존 콘크리트, 타일, 화장암 판석과 제거효율을 비교함으로써 제조된 친환경콘크리트로서의 성능을 평가하였다.

2. 시험

2.1 재료

본 실험에 사용한 제주 스크리아의 물리·화학적 특성 및 화학적 조성은 Table 1과 같다. 스크리아는 pH가 7.16, 표면적은 63 m²/g, 그리고 CEC(양이온교환능력)는 5.02 cmol/kg이었다. 또한, 스크리아는 안정된 화학조성을 갖고 있으며, SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃의 함량이 77.41%로 주를 이루고 TiO₂ 성분은 2.65%를 함유하였다. 황토의 포졸란 반응(pozzolan reaction)과 미세충진효과(micro filler effects)에 의해 콘크리트의 내구성을 높이는 효과를 기대할 수 있으며, 본 실험에서는 Table 2에 나타난 화학적 구성비에서 보여 지듯이 본 연구에서 사용된 황토의 주성분은 SiO₂ 42%, Al₂O₃ 33.9%, Fe₂O₃ 7.78% 등이었다.

Table 1. Physicochemical properties and chemical composition of Jeju scoria

pH	Surface area(m ² /g)	CEC (cmol/kg)	Chemical composition(%)										
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI*
7.16	63	5.02	47.48	16.93	13.00	7.45	4.37	1.63	3.54	2.65	0.16	0.64	2.15

* LOI : loss on ignition

Table 2. Chemical composition of loess

Classification	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI*
Ratio (%)	42.0	33.9	7.78	0.37	1.56	0.76	1.73	-	-	-	11.9

* LOI : loss on ignition

시멘트는 시중에 시판되고 있는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 콘크리트 제조시에 사용되는 물의 감소를 위해 나프탈렌계의 AE감수제를 시멘트 사용량의 0.5% 사용하였다. 사용된 시멘트의 화학적 조성, 물리·화학적 특성은 Table 3에 나타내었다. 본 연구에서 사용한 시멘트의 주성분은 CaO 61.94%, SiO₂ 23.25%, Al₂O₃ 5.43%, Fe₂O₃ 3.35% 등 이었다.

Table 3. Physicochemical properties of cement

Item		Unit	KS CODE	Test result	Test method	
Physical properties	Fineness		cm ² /g	>2,800	3,513	KS L 5201
	Stability		%	<0.8	0.20	
	Setting time (Gilmore)	initial	min.	>60	197	
		final	hr.	<10	5,31	
	Compressive strength	3-day	kgf/cm ²	>130	212	
		7-day	kgf/cm ²	>200	311	
28-day		kgf/cm ²	>290	398		
Chemical properties	L.O.I.		%	<3.0	1.67	
	MgO		%	<5.0	3.92	
	SO ₃	C3A ≤ 8%	%	<3.0	2.04	
		C3A ≥ 8%	%	<3.5	2.17	

2.2 시험방법

본 연구에서 제조한 광촉매/스코리아/황토 콘크리트의 강도 및 흡수율, 밀도 등의 특성은 KS 전자재 규격과 독일의 DIN 규격을 참조하여 수행하였다. 또한 친환경전자재로서의 기능성을 알아보기 위하여 원적외선 방출량(방사율 및 방사에너지)의 측정은 40℃에서 5~20 μ m의 파장에서 FT-IR spectrometer 분석법, 열전도율은 시험방법 KS M 3808-2003, 대장균 및 녹농균에 의한 항균시험은 KICM-FIR-1002(SHAKE FLASK법) 시험방법, 항공광이 시험은 ASTM G-21 시험방법, 그리고 암모니아의 탈취시험은 KICM-FIR-1085 시험방법에 의하여 행하였다. 또한, 흡음율의 측정은 ASTM E 1050-98 방법을 기준으로 하였으며, 실험에서는 Two-microphone Impedance measurement Tube(B&K Type 4206)을 이용하였다. 제조된 재료의 표면의 결정 형태는 주사전자현미경(SEM : Scanning Electron Microscope, S-2460N Hitachi)으로 관찰하였다. 또한 첨가된 광촉매의 혼합 여부는 FT-IR spectra는 시료를 분말로 만들어 직경 12 mm의 self-supporting pellet를 제조하여 진공펌프로 배기되는 IR cell 내에서 200℃에서 1시간 동안 처리하여 표면의 오염물질을 제거한 다음 FT-IR Spectrometer(Perkin Elmer 1720X)를 이용하여 분석하였다.

3. 시험결과

본 연구에서는 스코리아의 주기능인 원적외선 기능과 흡착기능을 충분히 활용하도록 광촉매 미분말을 삽입하여 대기정화 기능을 가지는 전자재 생산을 목표로 배합 설계하였다. 수차례의 예비실험결과를 통하여 Table 4와 같은 최적의 배합비를 도출하였다.

Table 4. Mixing ratio of photocatalyst/scoria/loess concrete designed in this study

Coarse aggregate	Fine aggregate	Loess	Photocatalyst	Cement	AE agent	Mix to 40~60 mm slump
393 kg/m ³	802 kg/m ³	80 kg/m ³	12 kg/m ³	400 kg/m ³	2.0 kg/m ³	approx. 150 kg/m ³

광촉매/스코리아/황토 콘크리트의 강도시험은 물-시멘트비(W/C) 35%~50% 범위와 시멘트의 단위량을 360~514 kg/m³ 범위로 설정하여 검토하였으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 W는

단위 수(water)량, C는 단위 시멘트량, S/a는 잔골재율을 의미하며, 시험 결과 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 1~5 cm 범위이고, 공기량은 4~6% 범위였다.

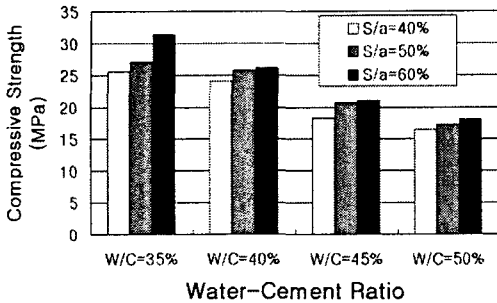


Fig. 1. Result of compressive strength

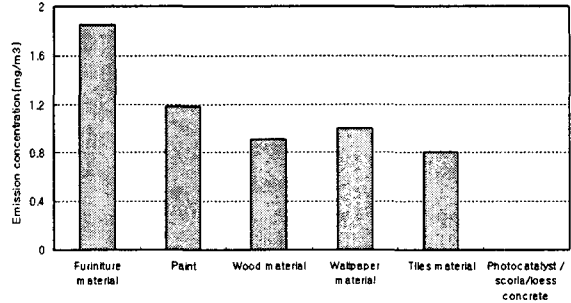


Fig. 2. Comparison of VOCs

Fig. 2는 환경부(2003)의 오염물질 방출 건자재 선정관련 연구의 가구재료, 페인트, 나무재료(바닥재), 벽지, 타일재료에 대한 VOCs 및 HCHO의 오염물질 방출량과 본 연구에서 제조된 광촉매/스코리아/황토 콘크리트의 오염물질 방출량을 비교한 그림이다. 기존의 가구재료, 페인트, 나무재료(바닥재), 벽지 그리고 타일재료에서 VOCs는 0.8~1.85 mg/m³, HCHO는 22.0~160 mg/m³의 농도를 방출되고 있으나, 광촉매/스코리아/황토 콘크리트의 경우는 VOCs 및 HCHO가 거의 방출되지 않음을 알 수 있다. 또한, 유 등(2005)의 연구에 의하면 판 보드 형태의 가구용 및 마루용 목재인 경우 VOCs는 0.027~0.240 mg/m³·h, HCHO는 0.022~0.163 mg/m³·h, 친환경 벽지인 경우 VOCs는 0.023~0.065 mg/m³·h, HCHO는 0.0007~0.0016 mg/m³·h를 방출되는 것으로 보고되고 있다. 그러나 본 실험재료인 광촉매/스코리아/황토 콘크리트는 VOCs, HCHO가 방출되지 않아 한국공기청정협회의 친환경건자재인증기준인 일반자재 최우수 등급인 TVOC 0.1 mg/m³·h이하, HCHO 0.03 mg/m³·h이하를 만족하고 있어 친환경건자재 중 최우수 등급에 속하는 것으로 사료되었다.

4. 결론

1. 광촉매/스코리아/황토 콘크리트의 최적 배합비는 스코리아(굵은 골재 393 kg/m³, 잔골재 802 kg/m³), 황토 80 kg/m³, 광촉매 12 kg/m³, 시멘트 400 kg/m³ 그리고 AE 감수제 2.0 kg/m³였으며, 28 일 동안 습윤양생 후 압축강도는 25.6 MPa, 휨강도는 3.8~4.6 MPa, 흡수율은 11.4~12.0 %로 한국산업규격의 건자재 용도로 적합한 품질을 보였다.
2. 광촉매/스코리아/황토 콘크리트는 기존의 건축재료 보다 매우 우수한 NOx, VOCs 및 HCHO 제거능을 보였으며, 광촉매 첨가율이 증가할수록, 그리고 단일 광촉매를 사용하는 경우보다 혼합 광촉매를 사용하는 것이 효과적이었다. 혼합 광촉매로는 TiO₂/WO₃/V₂O₅를 첨가하고, 광촉매 첨가율은 3 %일 때 제거 효율이 가장 우수하였다.

참고문헌

1. 감상규, 홍정연, 현성수, 안병준, 이민규, 2002, “제주 스코리아로부터 합성된 Na-p1 제올라이트에 의한 Cu 이온제거”, 한국환경과학회지, 제 11권 1호, pp 75 - 83
2. 김신도, 윤동원, 2002, 저 VOCs 배출 천연도료의 개발, KICT2001 산·학·연 공동연구개발사업 연구보고서