

폐광미 미립분의 시멘트 혼화제로의 활용

Utilization of waste fine tailing as cement mineral admixture

안 양 진* 유 승 완** 문 경 주*** 박 원 춘**** 소 양 섭****
An, Yang Jin Yu, Seung Wan Mun, Kyoung Ju Park, Won Chun Soh, Yang Seob

Abstract

The purpose of this study reutilization of waste fine tailing(FT) as admixture for cement and concrete. Various admixtures were made of Fine tailings and 2 Types of OPC, fly-ash and blast furnace slag. Cement mortars and concrete with FT are tested for fluidity and compressive strength. Also, the hydration reactivity of cement mortar with FT was examined by XRD and SEM morphology analysis.

This work showed that the waste fine tailing could be effectively utilized as replacement materials of cement without any decrease in the strength if we can control the blaine of materials like cement, blast furnace slag and fly ash.

1. 서 론

국내의 광산산업은 1980년부터 시행된 산업합리화 정책에 의해 전국 약 1,870개소의 광산 중 약 80%에 달하는 광산이 휴·폐광되었으며, 2000년 현재 약 8,800 만 톤에 이르는 광산 폐기물이 적절한 환경처리 없이 광산 주변에 그대로 적치되어 폐수와 폐석유출 및 기계적·화학적 풍화작용 등에 의한 2차적 오염원으로 작용할 가능성이 야기되고 있어 심각한 환경오염 문제를 내포하고 있다.¹⁾

광미와 같은 무기질 원료의 재활용법은 물질회수(material recovery)법과 물질전환(material conversion)을 고려할 수 있는데 물질회수는 유가자원을 회수는 할 수 있으나, 공정처리과정에서 2차오염이 발생할 수 있고 전량 재활용하기에는 어려운 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 광미를 전량 재활용할 수 있는 물질전환을 통해, 폐자원을 재활용하여 현재 물량이 부족한 플라이애시를 일부 대체할 수 있는 시멘트·콘크리트 혼화제로 사용하고자 하였다.

이를 위해 분말도 3,000cm²/g인 폐광미, 플라이애시를 주원료로 하고, 초기강도의 보상을 위해 분말도 8,000cm²/g 이상인 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬, 시멘트를 단독 또는 복합으로 사용하여 제조한 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 강도 특성과 수화 특성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 사용재료

본 실험에 사용한 폐광미(Fine Tailing, 이하 FT라 함)는 강원도 영월군 상동면 소재의 상동광산의 광미장에서 채취한 것으로, 건조 및 선별과정을 거쳐 분말도 3000cm²/g로 미분화한 것을 사용하였다.

결합재료는 국내 D사에서 생산된 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC라 함)와 국내 K제철에서 배출되는 고로슬래그(Blast-Furnace Slag, 이하 BS라 함), 비정제 플라이애시(Fly-Ash, 이하 FA라 함, 무연탄계 서천산)를 사용하였으며, 이들은 폐광미 혼입에 따른 초기강도의 보상의 확보를 위해 분말도를 약 8,000cm²/g 정도로 미분화시켜 사용하였다. 사용재료의 화학적 조성은 표 1과 같다.

콘크리트의 골재로는 굵은 골재는 20mm의 쇄석골재(조립률 6.68)를, 잔골재로는 세척사(조립률 2.58)를 사

* 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 박사과정
** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 석사과정
*** 정희원, 전북대학교 공업기술연구원 연구원, 공학박사
**** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 박사과정, 지오콘터테리얼(주) 상무이사
***** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공학박사, 공업기술연구원

용하였다.

2.2 시험 방법

본 실험의 방법은 폐광미를 주원료로 한 혼화재를 시멘트 중량의 10~15% 치환하여 제작한 시멘트 모르타르와 콘크리트의 강도 특성 및 수화 특성을 검토함으로써 폐광미의 활용 가능성을 살펴보고자 하였다.

모르타르의 경우 몰시멘트비는 48.5%로 고정하였으며, 제조한 모르타르의 컨시스턴시를 KS L 5015 플로우 시험에 준하여 측정하였다. 시멘트 모르타르와 같은 배합의 혼화재를 혼입한 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위한 공시체는 $\Phi 10 \times 20$ cm 실린더를 사용하여 KS F 2403에 의거하여 제작하였으며, 그 배합은 각각 표2, 표3과 같다. 또한 제작된 공시체를 1일간 표준양생(20°C, RH 60%) 후 20±3°C의 수중에서 양생한 후 각 재령의 압축강도를 측정하였다. 그리고 폐광미의 혼입이 경화체의 수화에 미치는 영향을 살펴보기 위해, 시멘트 모르타르의 28일 압축강도 측정 후 파쇄된 시편을 채취하여, 시편의 파단면에 대한 SEM 및 XRD 분석을 실시하였다.

표 1. 사용재료의 화학 구성 성분

종류	화학 성분 (%)						분말도 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ig. Loss	
FT	63.76	7.21	11.16	9.59	1.79	2.70	3000
L-OPC	21.29	5.72	3.63	66.39	1.62	0.67	3500
H-OPC	21.15	5.36	2.37	51.72	3.25	4.18	8000
H-BS	32.45	12.88	0.31	38.06	4.78	0.11	8300
L-FA	43.97	28.26	5.22	1.77	0.67	14.75	3000

표 2. 시멘트 모르타르의 배합표

NO.	배합비(%)					W/C(%)	sand
	L-OPC	FT	L-FA	H-BS	H-OPC		
T0	100					48.5	245
T1	90	10					
T2	88	5	5	1	1		
T3	85	10		2	3		

표 3. 콘크리트의 배합

W/C (%)	최대골재크기 (mm)	목표 슬럼프(cm)	잔골재비 (%)	단위수량(kg/m ³)	중량배합(kg/m ³)			AE 감수제
					결합재	잔골재	굵은골재	
30	20	8	38	117	391	647	1069	결합재 중량의 0.5%

3. 결과 및 고찰

3.1 모르타르의 압축강도 특성

그림 1은 폐광미를 혼입한 경화체의 플로우를 나타낸 것이며, 그림 2는 폐광미를 주성분으로 한 경화체의 재령별 강도 발현 성상을 나타낸 것이다.

폐광미만을 시멘트 중량의 10% 혼입한 T1의 경우 플로우 값이 124mm로, 16.4 mm를 나타낸 T0에 비하여 작은 값을 나타내었으며, 압축강도 또한 폐광미를 혼입하지 않은 T0에 비해 작은 강도 값을 나타내었다. 초기강도의 경우 3일 강도는 4.6MPa, 7일 강도의 경우에는 3.4MPa 정도 T0에 비해 작게 측정되었으며, 재령의 경과에 따른 강도 발현 성상도 낮아 장기 강도 또한 폐광미를 혼입하지 않은 경우에 비해 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 강도 저하 현상은 시멘트와는 달리 수화반응을 하지 않은 폐광미의 특성²⁾ 때문인 것으로 판단된다.

폐광미를 단독으로 시멘트 혼화재로 사용할 경우 일어날 수 있는 초기강도와 유동성의 저하의 보상과 장기강도의 확보를 위해, 폐광미를 주원료로 하고 분말도 8,000cm²/g 이상인 고로슬래그 미분말, 시멘트를 복합하여 사용하여 제조한 혼화재를 혼입한 T2와 T3의 경우, 플로우 실험결과 T0보다는 작았으나 폐광미 만

을 혼입한 T1의 경우 보다 더 나은 플로우 값을 확보할 수 있음을 알 수 있었다. 압축강도 측정 결과 또한 3일 강도는 각각 19.9, 19.1 MPa로 21.4 MPa 값을 나타낸 T0에 비해 작지만 비슷한 값을 나타냈으며, 재령이 증가할수록 강도도 꾸준히 증가하여 7일 재령이후에는 T0를 상회하는 압축 강도 값을, 56일 재령에는 50MPa 보다 큰 압축강도 값을 나타내어, 본 실험에서 목적하였던 폐광미를 단독으로 시멘트 혼화재로 사용할 경우 일어날 수 있는 초기강도 저하의 보상과 장기강도의 확보가 가능함을 확인 할 수 있었다.

이는 분말도가 높은 OPC, 무연탄 플라이애시 그리고 고로슬래그의 혼입으로 인한 유동성의 보상과 폐광미의 공극 충전으로 인한 강도 보상효과^{3,4)} 때문인 것으로 판단된다.

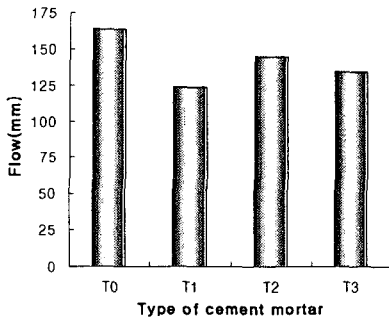


그림1. 시멘트 모르타르의 플로우

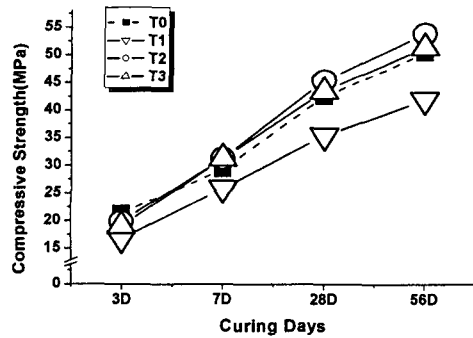


그림2. 폐광미를 혼입한 모르타르의 압축강도

3.2 콘크리트의 압축강도 특성

그림 3은 폐광미를 주원료로 하여 배합한 혼화재 T2, T3와 폐광미를 혼입하지 않은 T0를 콘크리트에 적용하여 압축강도를 측정된 결과이다.

결과를 살펴보면 시멘트모르타르의 경우와 달리 폐광미를 혼입한 콘크리트의 3일 강도부터 20.6, 19.8 MPa로 T0에 비해 크게 나타났으며, 재령이 경과할수록 강도가 지속적으로 증가하여 전 재령에서 T0보다 큰 압축강도 값을 발현하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 혼화재의 종류에 따른 강도 발현에 있어서, 플라이애시를 첨가하지 않고 폐광미 10%와 분말도가 8,000 cm²/g인 OPC와 BS를 각각 시멘트 중량에 대해 각각 2, 3%를 혼합한 혼화재 T3의 경우 3일 강도가 폐광미와 플라이애시를 5%씩 첨가한 T2에 비해 작게 나왔으나, 7일 이후의 강도는 모르타르의 경우와 달리 T2에 비해 큰 값을 보였다. 이는 폐광미 혼입율의 증가로 인한 초기강도 저하가 일어났으나, 분말도가 높은 산업부산물의 혼입에 의한 경화체 내부의 공극 충전으로 강도 보상효과와 더불어 잠재수경성의 발현으로 장기 재령에서의 강도가 증진되었기 때문으로 판단된다.

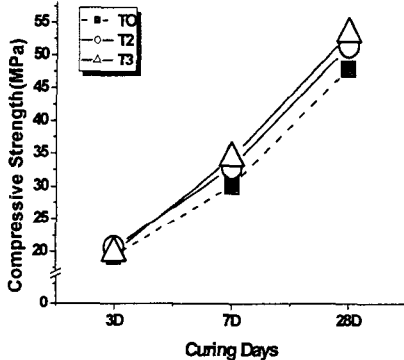


그림3. 폐광미를 혼입한 콘크리트의 압축강도

3.3 폐광미의 혼입이 경화체의 수화에 미치는 영향

그림 5에서 8까지는 폐광미를 혼입한 28일 재령 시멘트모르타르 경화체의 XRD 분석 결과이며, 사진 1에서 4까지는 미세구조를 관찰한 결과이다. XRD 분석결과를 살펴보면, 폐광의 주광물인 석영과 함께 폐광미를 혼입하지 않은 경우와 비슷한 수화물의 종류와 피크를 나타내어, 폐광미의 혼입이 시멘트의 수화반응에 직접적인 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었으며, SEM 관찰결과 폐광미를 혼입한 경화체의 경우 혼입하지 않은 경화체에 비해 밀실한 미세구조를 가짐을 확인할 수 있었다.

이는 폐광미가 시멘트의 수화 반응에 화학적인 영향을 미치는 것보다는 물리적 충전작용을 하고 있기 때문이며, 미세한 폐광미 입자와 분말도가 높은 고로슬래그와 시멘트의 일부가 시멘트 입자의 공극을 충전하

는 마이크로 필러 효과가 있어 이에 의해 치밀한 조직을 형성하였기 때문으로 판단된다.

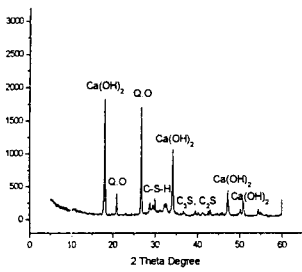


그림5. T0의 XRD 분석결과

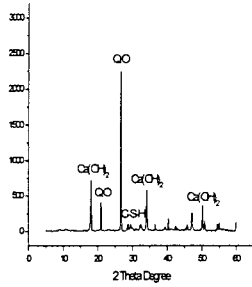


그림6. T1의 XRD

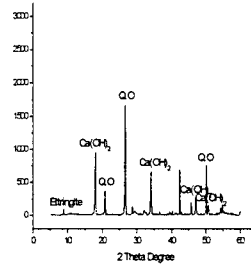


그림7. T2의 XRD

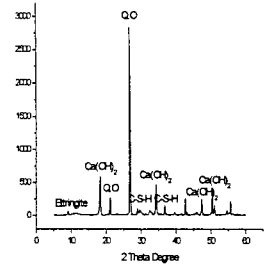


그림8. T3의 XRD

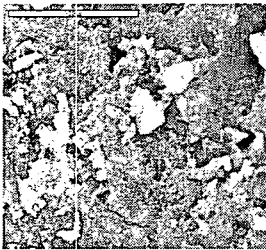


사진1. T0의 SEM Image (×1000)

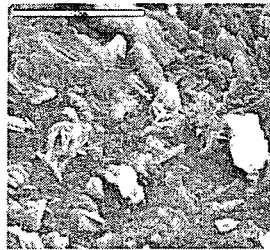


사진2. T1의 SEM Image (×1000)

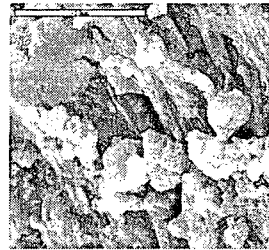


사진3. T2의 SEM Image (×1000)



사진4. T3의 SEM Image (×1000)

4. 결론

이상의 실험을 통해 얻어진 결론을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 폐광미와 서로 다른 분말도를 가진 산업부산물을 사용한 경화체의 경우, 결합재로 폐광미만을 사용한 경화체에 비해 초기강도와 유동성이 양호한 특성을 보이며, 결합재로 OPC만을 사용한 경우에 비해 동등 이상인 장기강도를 발현하여, 시멘트를 대체할 수 있는 혼화재로의 활용이 가능한 것으로 사료된다.
- 2) 폐광미의 혼입은 시멘트의 수화 반응에 직접적인 영향을 미치지 않는으나, 미세한 폐광미 입자와 분말도가 높은 고로슬래그와 시멘트의 마이크로 필러 효과에 의해 경화체 내부의 공극을 충전함으로써 치밀한 조직을 형성하므로, 염분이나 기타 유해 물질의 침투에 대한 저항성이 뛰어날 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 “중소기업기술혁신개발사업”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

- 참고문헌 -

- 1) 한국자원연구소 연구보고서(KR-95(C)-37), 광산지역 광해 대책 연구, 1995
- 2) 정문영, “상동광산 광미를 콘크리트용 혼화재료로 사용하기 위한 모르타르의 품질특성”, 콘크리트학회 논문집 제16권 3호, 2004
- 3) 소양섭, “폐광미를 혼합한 경화체의 특성”, 한국폐기물학회 2003년도 춘계학술발표논문집
- 4) 소양섭, “입도분급을 실시한 폐광미 미립분의 시멘트 혼화재료로의 활용”, 콘크리트학회 2004 가을 학술발표회