

# 입도분급을 실시한 폐광미 미립분의 시멘트 혼화제로의 활용

## Utilization of waste fine tailing separated coarse materials as cement mineral admixture

안 양 진<sup>\*</sup>      유 승 완<sup>\*\*</sup>      문 경 주<sup>\*\*\*</sup>      박 원 춘<sup>\*\*\*\*</sup>      소 양 섭<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
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 as admixture for cement. We observe tailing's basic properties such as shape, physical and chemical basic features. Also, various admixtures were made of 2 Types of tailings, OPC, fly-ash and blast furnace slag. The basic properties of the cement mortars incorporation with these admixtures were examined and analyzed under a verity of experimental conditions.

This work showed that the tailing separated coarse materials could be effectively utilized as replacement materials of cement without any decrease in the strength if we can control the blaine of materials like OPC, 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.<sup>1)</sup>

현재 급속광산 채굴시 발생하는 광산 폐기물을 처리하는 방법은 적치장이나 침전지에 옹벽, 흙제방 또는 폐기물 저류시설을 축조하여 매립하고 있는데 이러한 방법은 폐기물의 원천적인 처리 방법이 되지 못하는 동시에 장기간 유지 관리를 필요로 하며 이에 따른 막대한 비용이 발생함에 따라 보다 효과적인 처리 방법 및 재활용 방법이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 대량으로 적치되어 있는 폐광미를 입도분급을 실시한 후 현재 물량이 부족한 플라이 애시를 일부 대체할 수 있는 시멘트 혼화재료를 개발하고자 한다. 이를 위해 분말도 2,800~3,800cm<sup>2</sup>/g인 폐광미, 플라이애시를 주 원료로 하고, 초기강도의 보상을 위해 분말도 8,000cm<sup>2</sup>/g 이상인 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬, 시멘트를 단독 또는 복합으로 사용하여 제조한 경화체의 강도 특성 및 미세구조를 검토하였다.

### 2. 실 험

#### 2.1 사용재료

본 실험에 사용한 폐광미(Fine Tailing, 이하 FT라 함)는 강원도 영월군 상동면 소재의 상동광산의 광미장에서 채취한 것으로, 분말도를 3000cm<sup>2</sup>/g, 6000cm<sup>2</sup>/g 두 수준으로 미분화하여 사용하였다.

결합재로는 국내 D사에서 생산된 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, 이하 OPC라 함), 국내 K제철에서 배출되는 고로슬래그(Blast-Furnace Slag, 이하 BS라 함), 비정제 플라이애시(Fly-Ash, 이하 FA라 함, 무연탄계 동해산)를 사용하였으며, 이들은 폐광미 혼입에 따른 초기강도의 보상의 확보를 위해 분말도를 약 8,000cm<sup>2</sup>/g 정도로 미분화시켜 사용하였다. 사용재료의 화학적 조성은 표 1과 같다.

\*      정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 석사  
\*\*     정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 석사과정  
\*\*\*    정희원, 전북대학교 공업기술연구센터 연구원, 공학박사  
\*\*\*\*    정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 박사과정, 지오콘머테리얼(주) 상무이사  
\*\*\*\*\* 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공학박사, 공업기술연구센터

## 2.2 시험 방법

본 실험의 배합은 분말도를 달리한 두 종류의 폐광미를 주 원료로 한 시멘트 혼화제를 시멘트 중량의 10~16% 치환한 경화체를 제작하여 강도 특성을 검토함으로써 폐광미의 활용 가능성을 살펴보았다. 이때 물 시멘트비는 48.5%로 고정하였으며, 제조한 모르타르의 컨시스턴스를 KS L 5015 플로우 시험에 준하여 측정하였다. 또한 50mm×50mm×50mm 사이즈의 몰드를 이용하여 제작된 공시체를 1일간 표준양생(20℃, RH 60%) 후 20±3℃의 수중에서 양생하였으며, KS L 5105 (수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법)에 의거하여 그 압축강도를 측정하였다.

또한 폐광미의 혼입이 경화체의 미세구조에 미치는 영향을 살펴보기 위해 동일한 배합의 시멘트 페이스트를 제작하였으며, 제작한 시편의 파단면에 대한 SEM 분석을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 폐광미의 분석결과

XRF 분석 결과 폐광미는 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 CaO이 대부분을 차지하고 있었다. 그림 1은 폐광미의 XRD분석 결과를 나타낸 것으로 석영이 가장 많이 포함되어 있었으며, 방연석, 백운모 등을 확인할 수 있었는데 이는 상동광산의 광체가 석회암과 관련되어 있으며, 부유선광 과정에서 사용된 부산물에 의한 영향으로 사료된다.

사진 1, 2는 분말도별 폐광미의 SEM 분석 결과로 FT3000의 경우 입형이 불균질하고 각이 많은 모양을 나타내고 있었고, FT6000의 경우 또한 침상과 판상 등 다양한 입형이 혼재되어 있었으며 FT3000에 비해 훨씬 작은 입경을 나타내고 있다. 폐광미가 이러한 형상을 나타내는 이유는 금속광물을 채굴하기 위해 원석을 분쇄하는 과정에서 산출되기 때문으로 사료된다.<sup>2,3)</sup>

폐광미를 건설재료로 활용하기 위해서는 환경 안정성 평가가 선행되어야 하며, 이를 위해 중금속 용출 실험을 실시하였다. 표 3에 나타난 결과와 같이 폐광미의 중금속 용출치가 기준에 미치지 않고 있었으며, 폐광미의 물리화학적 특성을 살펴본 결과 건설재료로써 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

### 3.2 모르타르의 압축강도 특성

그림 2와 3은 각각 분말도가 3000cm<sup>2</sup>/g, 6000cm<sup>2</sup>/g인 폐광미를 주성분으로 한 경화체의 재령별 강도 발현 성상을 나타낸 것으로, 모든 Type의 혼화제들이 재령이 증가할수록 압축강도도 꾸준히 증가하는 경향을 나

표 1. 사용재료의 화학 구성 성분 및 물리적 특성

종류	화학 성분 (%)						분말도 (cm <sup>2</sup> /g)
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ig. Loss	
FT3000	63.76	7.21	11.16	9.59	1.79	2.70	3000
FT6000	54.89	11.59	13.94	8.96	2.68	4.29	6000
L-OPC	21.00	6.00	2.80	62.10	3.50	2.50	3500
H-OPC	20.08	5.82	2.94	68.94	3.48	2.50	8000
H-BS	34.51	17.04	0.30	42.65	6.87	0.29	8300
L-FA	43.54	32.06	4.49	12.22	0.76	1.82	3000
H-FA	41.70	30.13	4.76	16.06	0.77	1.82	8000

표 2. 배합표

NO.	배합비(%)						W/C(%)	sand	flow(mm)	
	L-OPC	FT	L-FA	H-BS	H-OPC	H-FA			FT3000	FT6000
OPC	100						48.5	245	145	
T1	90	10				100			100	
T2	89	5	5	0.5		120			118	
T3	88	5	5	1		133			131	
T4	88	5	5	1	1	140			140	
T5	88	5	5		1	115			115	
T6	88	5	5		2	143			135	
T7	85	10		2	3	135			110	
T8	85	10			3	115			110	
T9	84	7	5	2	2	115			115	

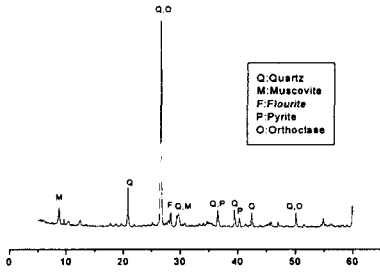


그림 1. FT(원광)의 XRD 결과

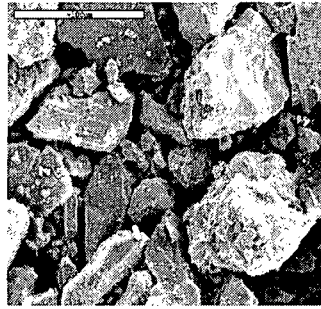


사진 1. FT3000의 SEM ×500

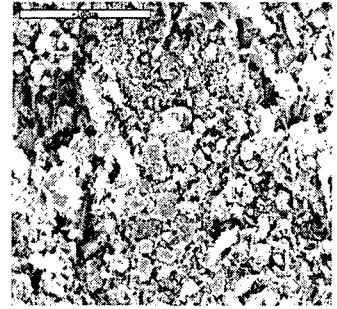


사진 2. FT6000의 SEM ×500

표 3. 중금속 용출결과

(단위 : ppm)

	KSLT					EPT				
	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb
용출기준치	1.5	3.0	-	0.3	3.0	5.0	5.0	-	1.0	5.0
FT3000	0.11	0.23	ND	0.05	0.69	0.10	0.24	ND	0.05	0.69
FT6000	0.11	0.24	ND	0.05	0.69	0.10	0.23	ND	0.04	0.70

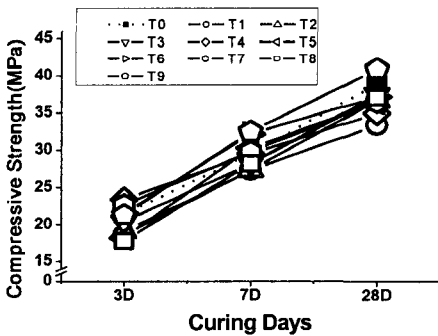


그림2. FT3000을 혼입한 경화체의 재령별 강도

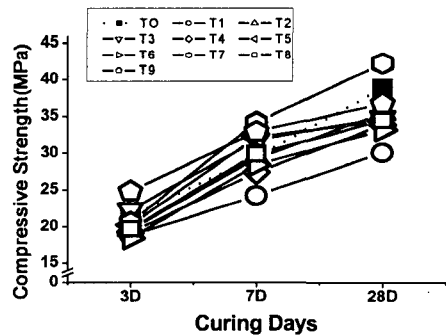
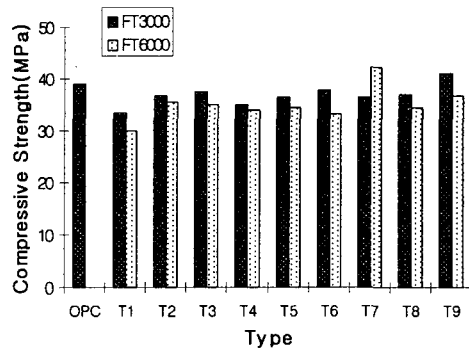


그림3. FT6000을 혼입한 경화체의 재령별 강도

타내었다. 초기재령의 강도를 살펴보면 두 경우 모두 폐광미만을 시멘트 중량에 대해 10% 혼입한 T1, T1-1 경화체의 3일 강도가 OPC에 비해 약 10~15% 정도 낮게 측정되었으며, 플로우 또한 100mm으로 OPC에 비해 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 폐광미가 수화반응에 기여하지 못하고 단지 충전 역할 만을 한다는 것을 의미한다. 또한 폐광미를 혼입한 경화체의 유동성의 저하는, 폐광미가 금속광물 채굴시 원석을 파쇄하는 과정에서 발생되어 입형이 불규칙하고 각이 많기 때문으로 판단된다.

그러나 폐광미와 분말도가 8000cm<sup>2</sup>/g인 고로슬래그를 혼입한 T7, T9-1의 경우와 거기에 분말도가 4000cm<sup>2</sup>/g인 플라이애시를 혼입한 T3-1, T4의 경우에는 OPC보다 약 1.0~3.0MPa 정도 더 높은 강도 값을 보였으며, T7의 경우 플로우 또한 135mm로 폐광미만을 혼입한 T1의 경우 보다 더 나은 유동성을 확보할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 대개의 혼화제



확보할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 대개의 혼화제

들은 OPC 보다는 낮으나 폐광미만을 혼입한 T1, T1-1에 비해 높은 강도 값을 보여 최고 25% 정도의 초기 강도 보상효과를 나타내었다.

그림 4는 폐광미 분말도에 따른 경화체의 28일 재령의 압축강도 실험 결과이다. 결과를 살펴보면 T7을 제외한 모든 Type에서 FT3000을 혼입한 경화체의 강도가 FT6000을 혼입한 경화체의 강도보다 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 폐광미의 분말도의 증가에 따른 비표면적의 증가로 인한 시멘트 수화물과 폐광미의 결합력 부족인 것으로 사료된다.

폐광미만을 혼입한 T1의 경우 초기강도는 낮았으나 28일 재령에서는 OPC와 비슷한 강도 값을 보였으며, 폐광미와 분말도가 4000cm<sup>2</sup>/g인 플라이애시를 혼합한 T3, T4 그리고 T6의 경우 OPC와 비슷한 초기강도를 보이는 동시에, 분말도 8,000cm<sup>2</sup>/g의 OPC를 더한 혼화재인 T6의 플로우 값이 143mm를 기록하여 OPC와 비슷한 유동성을 나타내었다. 이는 분말도가 높은 OPC의 초기 강도 보상효과 및 무연탄 플라이애시의 유동성 보상효과<sup>3,4)</sup> 때문인 것으로 사료된다. 실험결과 40MPa 이상의 높은 압축강도 값을 보인 것은 폐광미, L-FA 그리고 H-BS를 혼합한 T7-1과 T9로 플라이애시와 고로슬래그의 혼입의 결과인 포졸란효과에 의한 조직의 치밀화와 높은 분말도를 가진 혼화재의 사용으로 인한 강도 보상효과로 판단된다.

### 3.4 경화체의 미세구조 관찰

사진 3~6은 경화체의 미세구조를 관찰한 결과로, 폐광미를 혼입한 경화체의 경우 OPC에 비해 밀실한 미세구조를 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 폐광미가 시멘트의 수화 반응에 직접적으로 관여하지는 않으나, 분말도가 높은 폐광미의 일부가 공극 충전의 역할을 하며 플라이애시, 고로슬래그와 시멘트의 수화에 의해 치밀한 조직을 형성하였기 때문으로 판단된다.



사진3. OPC의 SEM Image (×1000)

사진4. T1의 SEM Image (×1000)

사진5. T7의 SEM Image (×1000)

사진6. T9의 SEM Image (×1000)

## 4. 결론

이상의 실험을 통해 얻어진 결론을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 분급된 폐광미를 시멘트 혼화재료로 이용 시 분말도 3000cm<sup>2</sup>/g인 폐광미가 6000cm<sup>2</sup>/g 보다 유동성, 강도 및 경제성 면에서 유리하다.
- 2) 폐광미와 서로 다른 분말도를 가진 산업부산물을 사용한 경화체의 경우, 결합재로 폐광미와 OPC만을 사용한 경화체에 비해 초기강도와 유동성이 양호한 특성을 보이며, 장기강도에 있어서도 OPC와 유사하거나 높은 강도 값(최대 42.3MPa)을 보임으로써 시멘트를 대체할 수 있는 혼화재료의 활용이 가능한 것으로 사료된다.

### 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) 이동휘, “금은광의 침출 및 침전 기술”, 대한광산학회, 20권, 1983
- 3) 소양섭, “폐광미를 혼합한 경화체의 특성”, 한국폐기물학회 2003년도 춘계학술발표논문집
- 4) 정문영, “상등광산 광미를 콘크리트용 혼화재료로 사용하기 위한 모르타르의 품질특성”, 콘크리트학회 논문집 제16권 3호, 2004