

폐광미를 활용한 인공골재의 품질 특성에 관한 연구

A Study on the Quality Properties of Artificial Aggregates Using Tailing

윤성진^{**} 이정재^{*} 문경주^{**} 소양섭^{***}
Yoon, Seong Jin Lee, Jeong Jae Mun, Gyoung Ju Soh, Yang Seob

Abstract

In order to suggest recycling and handling method of a tailing, observe it's physical and chemical properties, make a quality test of aggregates which are used a tailing and then examine a applied possibility in architectural materials.

Tailing has a ununiform and many-side shape and it is organized quartz, muscovite, calcite, montmorillonite. pH is 6.86~7.28 and the result of leaching test is that Hg and Pb exceed of a standard. The specific gravity of aggregates which are used tailing is 1.95~2.23 and the absorption factor is 9~14.67%. The result of test for abrasion and crushing of aggregates which are used BFS is very excellent. The heavy metal is stabilized but a eruption property of Hg is similar to original sample.

1. 서론

2000년도 통계에 따르면 휴광 또는 폐광된 금속광산은 1,000여개소에 이르며, 방치된 금속광산 폐기물 적치량이 약 8,000만톤인 것으로 집계되고 있다. 생산활동을 중단한 광산은 광산의 채산성이 결여된 상태이고, 법적으로도 광해방지 사업에 관한 원인행위자 부담이 3년이면 소실되기 때문에 광산업자에 의한 휴·폐 광산의 환경복원조치 미흡에 따른 광해 문제는 해소되지 않고 있다.

휴·폐광산 대부분은 산림 지역에 위치해 있기 때문에 광산 폐기물에 의한 침출수와 휴·폐광산의 갭내수 등은 넓은 지역으로 확산될 소지가 많다. 또한, 금속광산 폐기물에는 Pb, Zn, Cu, As, Cd 등 여러 가지의 중금속이 함유되어 있어, 산성폐수 및 침출수 유출로 인한 산림의 황폐화 및 토양, 생활용수를 오염시킬수 있다. 이러한 광해현상은 중금속을 함유한 산성의 갭내수 유출, 광미 및 폐석에서의 침출수 유출, 광미 및 폐석의 자체유실, 분진의 비산 등이 복잡하게 작용하고 있으며, 전술한바와 같이 금속광산 대부분이 상수원의 상부에 위치하고 있어 지하수는 물론 지표수의 오염지역이 넓은 지역으로 장기간 확산되는 특징이 있다.

금속광산의 폐기물을 처리하는 방법으로 무해화를 위한 차단형 매립방법이 있으나, 이 방법도 계속적으로 유출수를 관리하여야하는 문제점이 있으며, 지역의 토지사용제한, 지역별 관리에 따른 경비 지

* 정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 전북대학교 건축공학과 박사과정

*** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공·박, 공업기술연구센터

출 등의 문제점을 수반하게 된다.

이에 본 연구에서는 대량으로 적치되어 있는 광산폐기물의 재활용 및 적절한 처리 방안을 제시하기 위해 폐광미의 물리화학적 기본 성상을 관찰하였으며, 폐광미를 이용하여 제조한 골재의 품질 시험 등을 실시하여, 건설재료로서의 이용가능성을 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

(1) 폐광미

본 실험에 사용된 폐광미(Tailing, 원광, 이하 TA라 함)는 강원도 영월군 상동면 소재의 상동광산의 광미장에서 채취한 것으로 시료의 입도 분리 작업을 실시하여 사용하였으며, 그 화학적 조성을 표 1과 같다.

(2) 시멘트 및 혼화재

시멘트는 국내 D사의 1종 시멘트(이하 OPC라 함)를 사용하였으며, 혼화재로는 K제철에서 부생되는 고로슬래그(이하 BFS라 함)와 N사에서 배출되는 인산석고(Phosphogypsum, 이하 PG라 함)를 사용하였는데 이때, PG는 140℃의 건조로에 24시간 하소시켜 사용하였다. 그 화학적 조성은 표 1과 같다.

표 1 사용재료의 화학 조성 및 물리적특성

Item Type	화학 성분(%)							분말도 (cm ² /g)	비 중
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.Loss		
TA	62.84	9.06	10.56	7.70	2.11	-	-	-	2.94
OPC	21.29	5.72	3.63	66.39	1.62	0.48	0.67	3500	3.15
BFS	34.51	17.04	0.30	42.65	6.87	0.06	0.29	4500	2.92
PG	1.98	0.7	0.11	31.66	-	43.95	20.30	-	2.57

2.2 실험방법

(1) TA의 분석

TA는 30 μ m체로 체가름을 실시하여 30 μ m 미만의 시료(미립산물, 이하 FTA라 함)와 30 μ m이상 시료(조립산물, 이하 PTA라 함)의 평균 입경 및 중량비를 측정하였으며, 주사형 전자현미경(SEM)으로 TA의 표면 구조 및 입형을 관찰하였다. 또한 XRD 분석을 실시하여 조성광물을 관찰하였으며 pH 및 강열감량을 측정하였다. TA가 환경에 미치는 유해성을 평가하기 위해 한국의 용출시험방법(이하 KEPT라 표기)와 미국의 용출시험방법(Extraction Procedure Toxicity : EPT라 표기)에 따라 TA의 유해 중금속의 용출 여부를 측정하였다.

(2) 배합 및 골재의 제조

골재 제조를 위한 배합은 표 2에 나타낸 바와 같이 TA의 혼입율을 50%로 고정하고 결합재의 종류 및 배합비율을 달리하여 결합재와의 반응성을 검토하고자 하였다.

골재의 제조시 성형방법에는 압출성형, 혼합성형, 드럼성형, 디스크 성형 등의 여러 가지 방법이 있으나 인공골재의 경우 대량생산이 가능하고 입도의 조절이 간편한 방법을 선택해야 한다. 이에 본 실험에서는 디스크 타입의 성형방식의 성형기를 사용하였다.

디스크 방식의 성형기는 회전하는 디스크에 원료를 공급하면서 수분을 분무하여 성형하는 방식으로 본 실험에서 사용한 장비의 사양은 표 3과 같다.

표 2 배합비

Type	TA(wt %)			OPC(wt %)	BFS(wt %)	PG(wt %)
	FTA	PTA	TA			
1	50			50		
2	50			25	25	
3	50			2.5	40	7.5
4		50		50		
5		50		25	25	
6		50		2.5	40	7.5
7			50	50		
8			50	25	25	
9			50	2.5	40	7.5

표 3 디스크 타입 성형기의 사양

Disk diameter (cm)	Damper height (cm)	RPM	Slop (°)	Liquid spray (min)	Feed (kg/min)	Production (kg/hr)
80	10~15	5~40	35~55	0~2	0~5	100~200

(3) 양생 및 시험방법

제조된 골재는 표준 양생실(20℃, RH 60%)에서 기건 양생 한 후 20±2℃의 수중에서 28일 동안 양생하였으며, 제조된 골재의 건설재료로서의 활용가능성을 검토하기 위해서 비중 및 흡수율 시험을 실시하였으며, 골재의 정적 하중 및 충격 하중에 대한 저항성과 표면의 경도를 측정하기 위하여 마모, 파쇄시험 등을 KS 규준에 의거하여 실시함으로써 품질특성을 살펴보았다. 또한 제조된 골재의 중금속 용출 특성에 대해 살펴보았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 TA의 분석결과

표 4는 30µm체를 이용하여 TA의 입도분리를 실시한 결과로 FTA와 PTA의 중량비가 각각 53.88%, 46.22%로 평균입자의 크기가 19.04µm와 85.86µm 정도였다.

사진 1, 2, 3은 TA와 FTA, PTA의 SEM 분석 결과로 입형이 불균질하고 각이 많은 모양을 나타내고 있는데 이는 TA가 금속광물을 채굴하기 위해 원석을 분쇄하는 과정에서 산출되기 때문으로 생각

표 4 TA의 입도 실험 결과

종 류	중량비(wt, %)	평균 입자크기(µm)
PTA	46.22	85.86
FTA	53.88	19.04

된다. 그림 1은 TA의 XRD 분석결과로 석영, 백운모, 방해석, 몬모릴로나이트 등으로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

표 5는 TA의 pH, 강열감량, 중금속 용출 결과를 나타낸 것이다. TA의 pH는 6.86~7.18 정도였으며, TA의 중금속 용출 실험 결과 대부분의 중금속 이온이 용출 기준에 미치지 못하였으나, Hg는 KEPT 및 EPT의 용출기준을 모두 초과하고 있었으며, Pb 또한 EPT의 용출기준을 초과하고 있음을 알 수 있었다.



사진 1 TA의 SEM Image (×700)

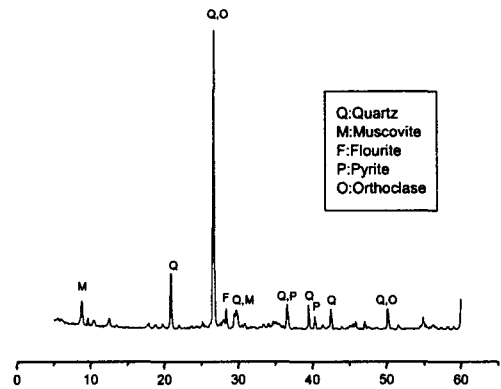


그림 1 TA의 XRD 결과

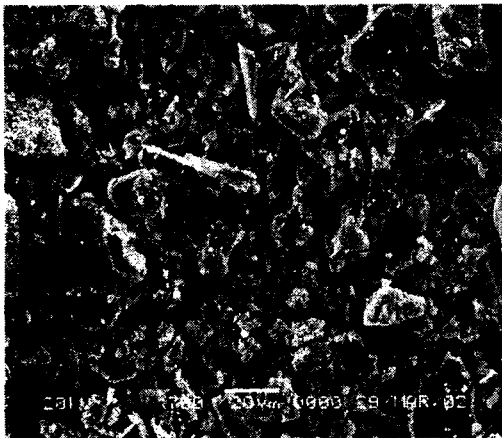


사진 2 FTA의 SEM Image (×700)

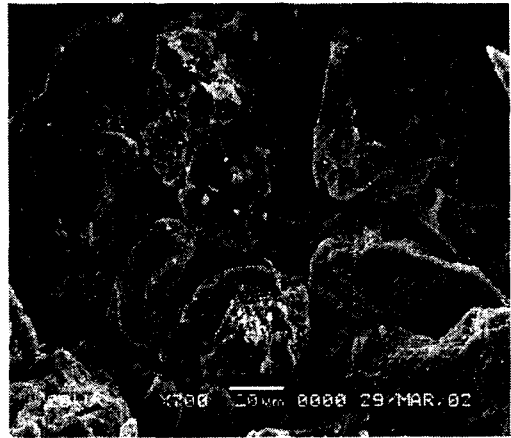


사진 3 PTA의 SEM Image (×700)

표 5 TA의 분석결과

pH	강열감량	중금속 용출실험(ppm)			
		KEPT		EPT	
		실험값	용출기준	실험값	용출기준
6.86~ 7.18	2.98	Cr : 0.156	Cr : 3.0	Cr : 1.880	Cr : 5.0
		Cu : 0.290	Cu : 1.5	Cu : 4.496	Cu : 5.0
		Zn : 0.035	Zn : -	Zn : -	Zn : -
		Cd : 0.024	Cd : 0.3	Cd : 0.420	Cd : 1.0
		Hg : 0.194	Hg : 0.005	Hg : 2.352	Hg : 0.2
		Pb : 0.446	Pb : 3.0	Pb : 8.219	Pb : 5.0

3.2 골재의 품질특성

(1) 비중 및 흡수율

그림 2와 그림 3은 제조된 인공골재의 비중 및 흡수율을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 각각의 배합비에 따른 비중은 1.95~2.23으로 나타났고 흡수율은 9.00~14.67%를 나타내고 있었다.

FTA와 TA를 혼입하여 제작한 골재의 비중이 PTA를 혼입하여 제작한 골재의 비중보다 높은 측정치를 보이고 있었으며, 흡수율은 감소하는 경향을 보이고 있었다. 결합재로 OPC만을 사용한 골재보다 BFS 및 PG를 혼입하여 제작한 골재의 비중이 낮은 측정치를 보이고 있었다.

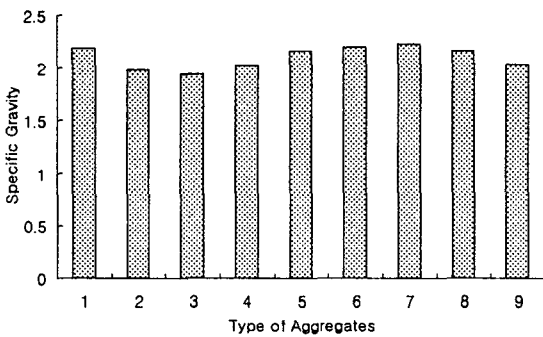


그림 2 골재의 비중

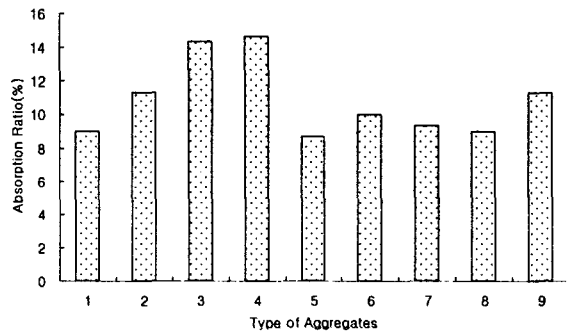


그림 3 골재의 흡수율

(2) 마모 및 파쇄시험강도적 특성

마모시험은 로스 엔젤스 시험기에 의한 굵은 골재의 닳음 저항성을 평가하는 시험으로써, 굵은 골재의 마모손실이 적을수록 콘크리트의 마모감량이 적으므로, 콘크리트의 마모저항의 우열을 나타내는 지표이며, 파쇄시험은 골재의 정적 압축하중에 대한 저항성을 나타내는 한 방법으로서 용기에 채워놓은 골재에 하중을 가해 파쇄정도를 측정하는 것이다. 각각의 시험 조건을 표 6과 7에 나타내었으며, 그 시험 결과는 표 8에 나타낸 바와 같다. 표에서 보는 바와 같이 결합재로 BFS를 첨가하여 제조한 골재의 마모율 및 파쇄율이 TA의 종류에 관계없이 낮은 측정치를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이는 BFS가 28일 재령에 있어서 충분한 수화반응이 이루어진 것으로 생각된다. 결합재로 PG를 혼입한 골재의 마모율 및 파쇄율이 OPC만을 사용한 골재와 유사한 경향을 보이고 있는데, 이는 PG의 SO_4^{2-} 의 충분한 공급에 의해 BFS의 반응성이 향상되었으며, 이로 인해 침상의 calcium sulphur aluminat($3CaO \cdot$

Al₂O₃·CaSO₄·32H₂O, ettringite)를 생성시키고 BFS의 남은 성분이 C-S-H와 calcium aluminate계의 수화물을 형성함으로써 강도를 발현한 것으로 생각된다. FTA를 혼입하여 제조한 골재의 마모율이 PTA이나 TA를 혼입하여 제조한 골재보다 약간 낮은 측정치를 보인데 반해, 파쇄율은 TA를 혼입하여 제조한 골재의 측정치가 낮음을 알 수 있었다. 마모율은 TA의 영향보다는 결합재의 영향을 많이 받았으며, 파쇄율은 결합재의 종류 및 TA의 입도의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. .

표 6 마모율 시험 조건

입자 지름의 범위	시료의 무게	구의 수	회전수	체가름 망체
5~6mm	5000g	6개	500회	1.18mm

표 7 파쇄율 시험 조건

입자 지름의 범위	원통의 지름	재하하중	재하시간	체가름 망체
5~6mm	75mm	10ton	10min.	1.18mm

표 8 골재의 품질시험 결과

실험항목 \ No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
마모율(%)	8.51	6.45	7.87	10.81	9.05	10.40	10.47	7.52	9.19
파쇄율(%)	13.04	9.73	11.45	13.03	5.61	13.45	6.29	4.53	5.52

(3) 골재의 중금속 용출 특성

제조된 골재의 중금속 용출 시험을 KEPT 및 EPT에 따라 실시한 결과, OPC와 BFS를 결합재로 사용한 골재에서는 대부분의 중금속 성분이 검출되지 않았으나, Hg만이 원시료와 유사한 중금속 용출 특성을 나타내고 있었다. 이에 반해 PG를 결합재로 첨가한 골재의 경우 결합재로 OPC와 BFS를 사용한 골재에 비해 Cu, Cd, Hg의 중금속 이온의 검출량이 많았는데, 이는 PG가 중금속을 함유하고 있으며, 강산성을 갖고 있어 용출실험에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

4. 결 론

이상의 실험에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) TA는 불균질하고 각이 많은 입형을 갖고 있었으며, 석영, 백운모, 방해석, 몬모릴로나이트 등으로 구성되어 있음을 알 수 있었다. pH는 6.86~7.18정도였고, 중금속용출 실험결과 Hg와 Pb가 기준치를 초과하고 있었다.
- (2) TA를 이용하여 제조한 골재의 비중은 1.95~2.23이었으며, 흡수율은 9~14.67%를 나타내고 있었다. 골재의 품질시험 결과 마모율은 10.81~6.45%정도 였으며, 파쇄율은 4.53~13.45%정도였다. 마모율은 TA의 영향보다는 결합재의 영향을 많이 받았으며, 파쇄율은 결합재의 종류 및 TA의 입도의 영향을 받고 있었다.
- (3) 골재의 용출실험 결과 대부분의 중금속은 고정화가 되었으나 Hg만이 원시료와 유사한 중금속 용출 특성을 나타내고 있었다.

참고문헌

1. 한국과학기술연구원, "폐광산 복원 기술," 1999.2.
2. (주)금강 중앙연구소, "경량골재 개발 및 경량콘크리트 실용화 연구," 1996. pp.43~42.
3. 전북대학교, (주)남해화학, "인산석고를 이용한 환경친화적 인공골재 등 건자재의 개발에 관한 연구," 2001.3.