

상동광산 광미를 콘크리트용 혼화재료로 사용하기 위한 모르타르의 품질특성

최연왕^{1)*} · 정문영²⁾ · 정명채²⁾ · 구기정¹⁾

¹⁾ 세명대학교 토목공학과 ²⁾ 세명대학교 자원환경공학과

(2003년 12월 20일 원고접수, 2004년 5월 29일 심사완료)

The Quality Properties of Mortar for Using Tailings from the Sangdong Tungsten Mine as Admixture for Concrete

Yun-Wang Choi^{1)*}, Moon-Young Jung²⁾, Myung-Chae Jung²⁾, and Gi-Jung Koo¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Semyung University, Chungbuk, 390-711, Korea

²⁾ Dept. of Earth & Environmental Geotechnics Engineering, Semyung University, Chungbuk, 390-711, Korea

(Received December 20, 2003, Accepted May 29, 2004)

ABSTRACT

This study has focused on the possibility for recycling tailings from the Sangdong tungsten mine as admixture for concrete. The XRD(X-ray diffraction analysis) and PSA(Particle size analysis) were performed to find mineralogical characteristics. As a result of XRD analysis, the tailings from the Sangdong tungsten mine were composed of quartz, chlorite, anorthite and cordierite etc. As a result of KSLT for cement mortar mixed with tailings from the Sangdong tungsten mine, most of heavy metals were determined as below the guide line for waste material.

In addition, the setting time and compressive strength of cement mortar mixed with tailings from the Sangdong tungsten mine were investigated. It was indicated that the initial and final set were retarded according to increasing replacement of tailings from the Sangdong tungsten mine. The compressive strength of mortar was decreased with increasing replacement of tailings from the Sangdong tungsten mine.

Keywords : tailings, XRD, PSA, KSLT

1. 서 론

최근 세계적으로 대기오염, 수질오염 및 토질오염 등에 대한 관심과 환경규제가 강화됨에 따라 국내에서도 이에 따른 각종 광해(鑛害)방지 법규들이 제정되거나 시행되고 있는 실정이다. 국내에서는 70, 80년대를 통해 산업이 급속하게 발전함에 따른 산업폐기물의 양적증대 및 처리문제가 사회적인 중요한 과제로 대두되고 있다^{1,2)}.

특히, 국내 사업장 폐기물 중 광산 폐기물(폐석, 광미)은 1980년대부터 시행된 산업합리화 정책에 의해 금속광산, 석탄광산 및 비금속광산을 포함하여 총 1,870개소의 광산 중 약 80%가 휴광 또는 폐광된 광산으로 방치되어 있으며 적절한 환경처리 없이 광산 주변에 그대로 적치되어 폐수와 폐석유출 및 기계적·화학적 풍화작용 등에 의한 2차적 오염원으로 작용할 가능성이 제기되고 있다³⁾. 정부는 이 자원들을 재활용하려는 적극적인 노력 없이 광산지역 환경

정화 차원에서 매년 150억원 수준의 예산을 지원하여 폐수정화 및 폐석유출 방지 등의 공해방지사업을 시행하고 있다⁴⁾. 그러나 이와 같은 방법은 폐기물을 원천적으로 처리하는 방법이 되지 못하고 방대하게 적체되어 있는 유용자원을 효율적으로 이용하지 못하는 한편 국토가 좁은 우리나라의 실정에는 토지이용에 제한이 되는 등의 많은 문제점이 발생된다. 또한, 이러한 광산 폐기물은 2002년 8월의 태풍 "루사"와 같은 집중 폭우로 유출되어 주변 하천과 지하수 및 토양에 대한 환경오염을 계속적으로 일으키고 있다⁵⁾. 이렇게 오염된 수자원이나 토양은 동식물에게 영향을 미치며 이러한 동식물을 섭취하는 인간의 건강에도 상당한 악영향을 미친다. 이러한 폐광산 폐기물이 환경학적으로 유해물이 되는 이유는 지표수 및 산성비 등에 의하여 용출이 가능한 As, Cd, Cu 및 Pb 등의 중금속 성분을 다량 함유하고 있기 때문이다. 이에 따라 환경부에서는 대규모의 오염방지 사업을 실시하였지만, 휴·폐광산에 의한 피해정도에 비하여 복원대책은 미약하여 장기적이고 안정적인 해결방안이 강구되어야 할 실정이다^{6,7)}.

한편, 산업자원부는 폐광된 국내 금속광산 가운데 오염

* Corresponding author
Tel : 043-649-1331 Fax : 043-649-1778
E-mail : crete77@semyung.ac.kr

Table 1 Chemical components and physical properties of OPC and SG

Types	Items	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Specific gravity	Specific surface area (cm ² /g)
OPC		21.60	6.00	3.10	61.40	3.40	2.50	3.15	3,539
S G		32.30	14.80	0.40	44.12	5.50	1.00	2.88	4,580

물질 유출 가능성이 있는 50개 광산에 대해 2007년까지 5년간에 걸쳐 추가로 광해(鑛害)방지사업을 추진할 계획을 밝혔다. 그러나 유출수의 차단 및 폐시설물의 철거 등의 일시적인 대책을 강구하였을 뿐 매년 발생하는 집중호우나 태풍 등의 재해에 대하여 중급속의 용출을 원천적으로 제거할 수 있는 방안은 제시하지 못하고 있다. 특히, 강원도 상동지역의 경우 대한중석이 회중석을 개발하면서 40년간 폐기하였던 광미가 약 1,200만톤 정도 적치되어 있어 광미담의 국부적인 토사유출과 담의 복부팽창 등에 의해 담 전체의 구조적인 안정성이 문제되고 있다. 이에 대한 단기적인 대책으로는 국부적으로 담을 보수하는 방법이 있지만 보다 장기적이고 안정적인 해결방법을 위해서는 광미를 재활용하는 것이 바람직한 것으로 판단되며, 특히 콘크리트에 적용함으로써 대단위의 소비와 값싼 대체 혼합재료로서 적용이 가능할 것으로 판단된다. 더욱이 국내에 광범위하게 산재하고 있는 광산 폐재의 대부분이 미세한 분체들로 이루어져 있다는 점을 감안하여 광미의 중급속 용출특성을 파악하고 원료배합 및 특성을 연구 검토한다면 자원으로써의 활용 가능성은 극대화될 것으로 판단되며 콘크리트에 적용시 광미 속에 함유되어 있는 유해 중급속이 안정화 혹은 고형화 되어 외부환경에 영향을 주지 않아 대량으로 소비될 수 있을 것으로 판단된다.

이에 따라 본 연구에서는 상동지역 중석광 광미를 콘크리트용 혼합재료(분체계 혼합재료)로의 사용 가능성 여부를 알아보기 위한 연구의 일환으로 광미의 품질특성과 광미를 혼합재료로 사용한 모르타르의 기초적 특성에 대하여 분석 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 실험계획

본 연구의 목표는 상동지역 중석광 광미를 콘크리트용 혼합재료로의 사용 가능성 여부를 알아보기 위한 연구의 일환으로 광미의 품질특성과 혼합재료로 사용한 모르타르의 기초적 특성에 대하여 검토하였다. 먼저 광미의 광물학, 물리화학 및 활용성 검토를 통해 상동광산 폐기물의 재활용 가능성을 검증하여 무기계 폐기물 재활용의 근본적 분류인 물질회수와 물질전환에 적합한가를 평가하고 입도 분리하여 세립 또는 조립질은 대단위 혼합재료로서 재활용 할 수 있는 가능성을 검증하였다⁸⁾.

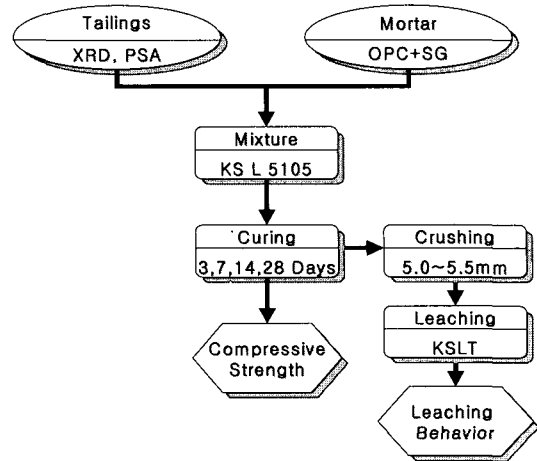


Fig. 1 Processing of experiment

최초 상동광산 구 광미적 치장의 6개 지점에서 21m 심도로 수직시추를 하여 채취한 코어시료를 자연건조 후 pH의 변화, 수분함량 및 강열감량을 측정된 후 공정시험 분석법을 적용하여 화학 분석을 실시하였다. 또한, 유도분극원자흡광광도계(ICP-AES)를 활용하여 광미의 주성분, 부성분 및 미량원소 등을 분석하였다.

한편, 광미의 기초적 품질특성 검토 후 혼합 모르타르를 제조하여 용출특성, 응결특성, 유동특성 및 강도특성을 고찰하였다⁹⁾. 실험 진행 단계는 Fig. 1과 같다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트 및 고로슬래그 미분말

시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였고, 고로슬래그미분말(이하 SG로 약함)을 혼합재료로 사용하였으며, 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.2.2 상동광산광미

광미(이하 TA로 약함)의 특성 평가는 X선 회절분석(이하 XRD로 약함)을 통하여 화학성분 및 광물조성을 분석하였으며, 입도분석을 위하여 Particle Size Analyzer(이하 PSA로 약함)를 이용하였다. TA의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 2와 같고 입도분포 곡선 및 SEM촬영 결과(×2000)는 Fig. 2 및 3과 같다.

Table 2 Chemical components and physical properties of TA

Items Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Specific gravity	Specific surface area (cm ² /g)
T A	59.00	10.90	11.30	14.00	1.70	2.60	1,198

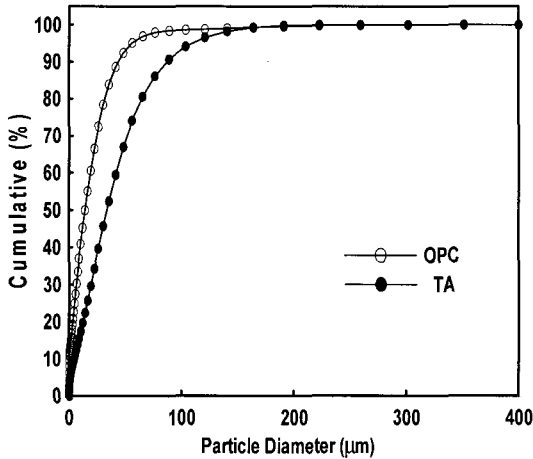


Fig. 2 Particle Size Analysis of TA

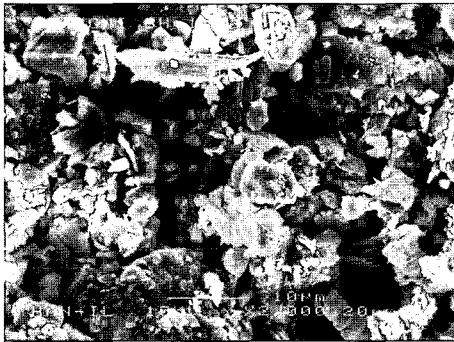


Fig. 3 Particle morphologies of TA by SEM (×2000)

2.2.3 잔골재

KS L 5100 에서 규정하고 있는 비중이 2.60인 주문진 산 표준사 (이하 SS로 약함)를 사용하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 수직시추 분석

상동광산 구 광미적치장 6개 지점 21m 심도로 시추를 실시하여 3개씩 시추코어를 회수한 후 자연건조 후 pH, 수분함량 및 강열감량을 측정하였다. 또한, 영국 Malvern 사의 Mastersizer S를 이용하여 시추심도에 따른 입도 분포 및 비표면적 분석을 실시하였고, 습식화학분석과 Rietvelt method를 적용한 TOPAS program을 이용하여 XRD 분석을 실시하였다.

Table 3 Result of analysis of variance of particle size and specific surface area

Items	Source	df	Sum of squares	Mean of squares	F Value	Significance of F
Particle size(μm)	Depth(m)	5	1902	380	1.404	0.253
	Error	28	7587	271	-	-
	Corrected total	33	9489	-	-	-

한편, 온도의 상승에 따라 TA의 흡열반응과 발열반응이 일어나는 온도와 중량감소 파악을 위해 TG-DTA (Rheometric사, STA-1600)를 이용하여 열중량분석을 실시하였다. 실험조건은 승온온도 10 °C/min, 공기분위기, α-Alumina를 표준시료로 하여 측정하였다.

2.3.2 용출시험

TA의 혼합률과 SG의 혼합률을 변화시킨 모르타르를 23±2 °C에서 표준양생 시킨 후 국내용출시험법(KSLT)에 따라 실시하였다. 제조된 모르타르는 5.0~5.5mm로 분쇄한 후 HCl을 첨가한 용매를 pH 5.8~6.3으로 조절하여 교반한 뒤 6시간이 지난 후에 중금속 순간분석기(PPV 3000, 호주산)를 이용하여 Cd, Zn, Cu 및 Pb의 용출량을 측정하였다.

2.3.3 응결시험

응결시간 변화는 KS L 5108에 따라 TA의 혼합률을 시멘트에 대하여 4수준(0, 10, 20 및 30%)으로 변화시켜 제조한 시멘트 페이스트로 측정하였다.

2.3.4 모르타르 플로우 시험

TA의 혼합률을 시멘트에 대하여 중량비로 4수준(0, 10, 20 및 30%), SG를 4수준(0, 15, 30, 45%)으로 변화시켜 제조한 모르타르의 콘систен시를 KS L 5105 플로우 시험에 준하여 실시하였다.

2.3.5 모르타르 압축강도 시험

TA 및 SG의 혼합률을 변화시켜 제조한 모르타르의 플로우 시험을 실시한 후 50×50×50 mm의 모르타르 시험체를 제조하여 23±2 °C에서 표준양생을 실시한 후 재령 3, 7, 14 및 28일에 KS L 5105에 따라 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 TA 품질 특성

3.1.1 시추심도에 따른 pH, 수분함량 및 강열감량

Fig. 4, 5 및 6은 각 시추시료에 대해 pH, 수분함량 및 강열감량 결과를 나타낸 것이다. 환경폐기물의 pH 변화는 중금속의 용출량에 가장 큰 영향을 미치는 인자로서 콘크

리트용 혼화재료로 사용하기 위해 반드시 검토되어야 한다. 시험결과 pH는 심부로 가면서 약간 증가되는 양상이 나타났고, 수분함량은 15~25% 전후, 강열감량은 1~4% 전후를 보이고 있으며, 일부 시료의 경우는 최대 46% 정도의 강열감량을 나타냈다.

3.1.2 시추심도에 따른 입도분포

Fig. 7은 상동광산 구 광미적치장에 대한 심도별 광미시료의 입도분석 결과를 나타낸 것이다. 분석결과 상동광산 광미는 중석 원광석이 미분쇄 및 부유선광 과정을 거친 후 폐기된 불규칙 형상의 세립질로서 적치장의 위치와 심도에 따라 입도범위에 차이는 있으나 뚜렷한 증가나 감소 경향은 없는 것으로 판단되었으며, 심도에 따른 입자크기를 통계적 분석을 실시하여 확인하였다. 그 결과, 표 3과 같이 심도에 따른 입자크기의 1원 분산분석은 유의수준 0.253으로 심도에 따른 입자크기의 영향은 없는 것으로 나타났고 입자크기는 평균 약 10~30 μm 정도로 분석되었다.

3.1.3 시추심도에 따른 화학성분 및 XRD분석

Table 4 및 5는 시추심도에 따른 습식화학분석결과 및 XRD분석을 통해 구성광물의 함량을 나타낸 표이다.

습식화학분석결과 광미의 화학성분은 심도별로 미소한 차이는 있으나 SiO_2 50%, Al_2O_3 와 Fe_2O_3 는 각각 13% 정도로 나타났다¹⁰⁾. 특히, CaO가 약 11%정도 함유되어 있는 것은 사장석(plagioclase)계열인 아노르다이트($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)와 중석광의 모암인 석회석의 영향으로 방해석(CaCO_3)이 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, XRD분석 결과 광미내에는 석영(quartz : SiO_2), 방해석(calcite : CaCO_3), 녹니석(chlorite), 알바이트(albite : $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), 아노르다이트(anorthite : $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), 카올리나이트(kaolinite : $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), 코디에라이트(cordierite : $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$), 엔스테타이트(enstatite: MgSiO_3) 등이 함유되어 있는 것으로 파악되었고, 구성광물의 함량분석을 실시한 결과 구성광물은 심도에 따라 다소 차이는 있으나 주 구성광물인 석영(quartz : 45%), 녹니석(chlorite : 15%), 코디에라이트(cordierite : 14%) 및 회장석(anorthite : 16%) 등이 함유되어 있으며 부 구성광물로는 알바이트, 카올리나이트, 엔스테타이트 및 방해석 등이 소량 함유되어 있음을 확인하였다.

3.1.4 열중량분석

Fig. 8은 온도의 상승에 따라 TA의 흡열반응과 발열반응이 일어나는 온도와 중량감소를 파악하기 위해 실시한

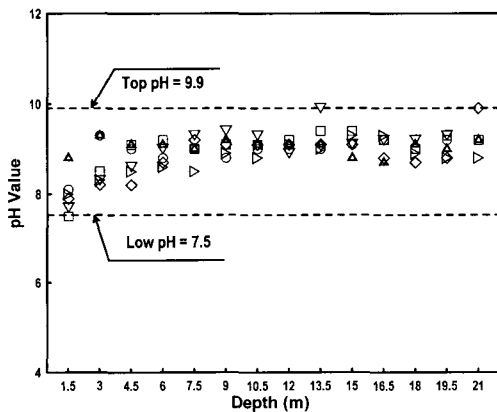


Fig. 4 pH value at sample depth

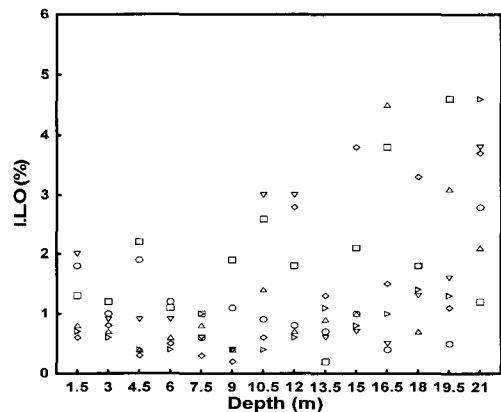


Fig. 6 I.L.O at sample depth

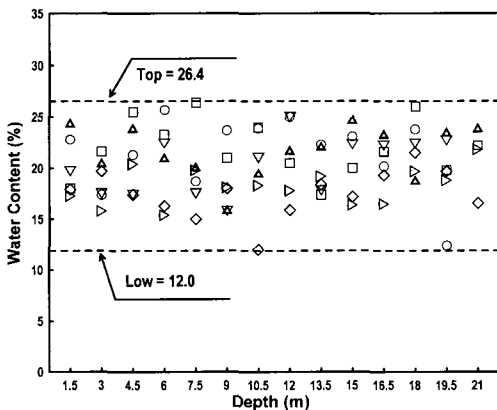


Fig. 5 Water content at sample depth

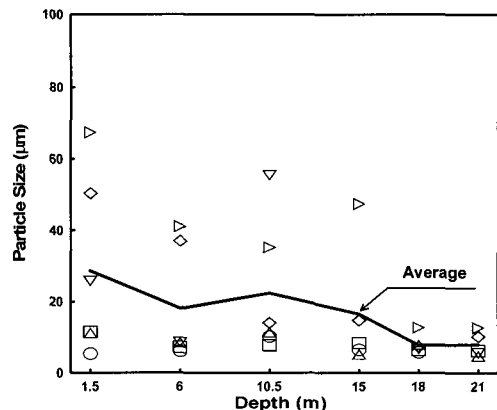


Fig. 7 Particle size at sample depth

Table 4 Chemical components of TA at sampling depth

Sampling depth	Compositions (wt.%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
1.5m	50.12	12.30	14.80	10.63	2.62	1.17
6.0m	50.82	14.88	12.00	9.48	2.42	1.21
10.5m	49.26	12.90	13.52	12.06	2.02	1.06
15.0m	52.88	11.42	12.64	11.20	2.42	1.28
18.0m	48.40	13.86	13.56	11.49	1.81	1.27
Average (wt.%)	50.29	13.07	13.30	10.97	2.25	1.19

Table 5 Mineral quantity analysis of TA at sampling depth

Sampling depth	Mineral quantity (wt.%)							
	Calcite	Quartz	Chlorite	Albite	Anorthite	Kaolinite	Cordierite	Enstatite
1.5m	1.51	45.03	16.68	1.08	16.42	2.21	12.09	4.97
6.0m	2.11	41.29	17.08	1.47	18.24	1.59	13.22	5.01
10.5m	2.12	50.35	11.35	1.97	14.57	1.00	13.61	5.03
15.0m	1.09	45.86	14.90	0.01	16.94	1.71	16.26	3.22
18.0m	2.56	43.79	16.39	1.90	14.48	1.90	14.96	4.05
Average (wt.%)	1.70	45.63	15.00	1.13	16.54	1.62	13.79	4.55

Table 6 Leaching characteristics of TA at sampling depth

Sampling depth (m)	Leaching characteristics (mg/ℓ)			
	Cd	Zn	Cu	Pb
2	0.4	2.5	0.9	0.3
4	0.6	1.0	1.0	1.0
6	0.3	1.2	1.0	1.4
8	0.4	1.1	1.1	1.1
10	0.5	3.3	0.4	1.7
12	0.6	2.3	0.7	1.6
14	0.4	1.0	3.0	1.3
16	0.7	0.9	1.3	1.3
18	0.3	1.0	0.9	3.0
20	0.3	1.6	1.3	0.9

Table 7 Guideline for KSLT

Items (mg/l)	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr+6
Standard	3	3	1.5	0.005	0.3	1.5
Items (mg/l)	CN	Zn	Organic matter	TCE	PCE	
Standard	1	0.1	1	0.3	0.1	

열중량분석 결과로서 600 °C 이하의 온도에서 TA의 중량 감소가 일어나는 것은 광물에 존재하는 흡착수 및 결정수가 제거되기 때문인 것으로 판단되며, 700 °C 이상에서 중량감소가 일어나는 것은 TA내에 함유되어 있는 방해석의 탈탄산반응에 의한 것으로 판단된다.

3.2 TA 혼합 모르타르의 특성

3.2.1 용출특성

Table 6은 상동광산 구 광미적치장의 TA 자체 용출특성을 알아보기 위하여 지표에서 시추 깊이 20m까지의 각 심도별로 중금속 용출시험을 실시한 결과이며 Fig. 9, 10, 11 및 12는 TA를 혼합한 모르타르의 중금속 용출 특성을 알아보기 위하여 재령 14일에 강도 측정 후 파쇄된 공시체를 5.0~5.5mm로 분쇄한 다음 Cd, Zn, Cu 및 Pb의 화학성분을 KSLT에 따라 분석한 결과이다. 폐기물 관리법 시행규칙에서 제한하고 있는 유해물질 함유 기준값¹¹⁾은 Table 7과 같으며, TA 자체의 중금속 측정 결과 일부 깊이에서 기준값과 같거나 높은 함량이 측정되었다.

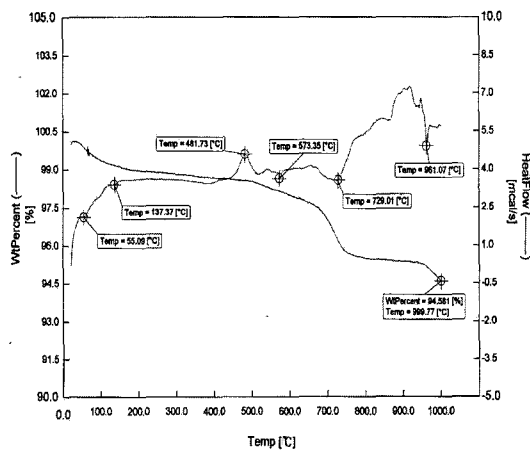


Fig. 8 TG-DTA analysis of TA

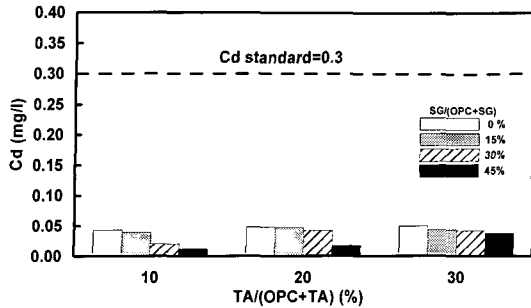


Fig. 9 Leaching characteristics of Cd

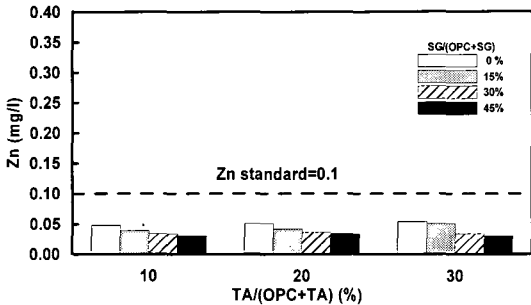


Fig. 10 Leaching characteristics of Zn

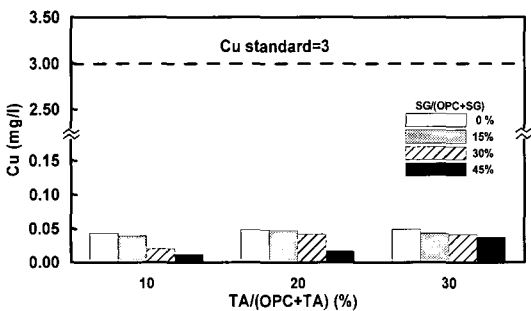


Fig. 11 Leaching characteristics of Cu

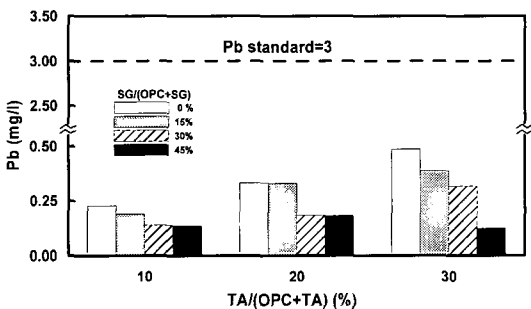


Fig. 12 Leaching characteristics of Pb

Table 8 Result of analysis of variance of mortar

Item	Age(days)	Source	df	Sum of squares	Mean of squares	F value	Significance of F
Compressive strength (MPa)	28	Replacement ratio of TA	3	893	298.0	202.151	0.000
		Error	12	18	1.5	-	-
		Corrected total	15	911	-	-	-
	28	Replacement ratio of SG	3	3	1.1	0.015	0.997
		Error	12	908	75.6	-	-
		Corrected total	15	911	-	-	-

반면, OPC 및 SG를 혼합하여 제조한 모르타르의 경우, 그 함량이 기준값보다 낮게 측정되었으며, 특히 SG의 혼합률이 증가할수록 TA 자체의 중금속 측정 농도보다 감소하는 결과를 나타냈는데, 이러한 경향은 시멘트 수화반응과 포졸란반응에 의해 중금속 이온이 chemical fixation과 encapsulation을 일으켰기 때문인 것으로 판단되며, 또한 내부 공극이 밀실하게 채워져 중금속이 안정화 및 고정화 되었기 때문인 것으로 판단된다¹²⁾.

3.2.2 응결특성

Fig. 13은 TA를 시멘트에 대하여 0, 10, 20 및 30%로 혼합하여 제조한 시멘트 페이스트의 응결시간 측정결과를 나타낸 것이다. 광미의 혼합률이 증가함에 따라 초결 및 종결 시간이 비례적으로 지연되고 있음을 알 수 있다.

3.2.3 모르타르 유동특성

Fig. 14는 TA를 시멘트 중량에 0, 10, 20 및 30%로 혼합한 후 SG를 각각 0, 15, 30 및 45%의 4수준으로 변화시켜 제조한 모르타르의 플로우 측정결과로서, TA의 혼합률이 증가할수록 플로우비가 비례적으로 감소하고 있음을 알 수 있다¹³⁾. 또한, SG를 최대 45% 혼합할 경우 기준모르타르에 비해 약 6%정도의 플로우비 증가 효과가 나타났는데 이러한 이유는, SG 표면의 불투성 산화피막 형성에 의한 윤택작용 때문인 것으로 판단된다.

3.2.4 모르타르의 강도특성

Fig. 15, 16, 17 및 18는 SG를 시멘트 중량에 0, 15, 30 및 45%의 4수준으로 변화시킨 후 TA를 각각 0, 10, 20 및 30%로 혼합하여 제조한 모르타르의 재령 3, 7, 14 및 28일 압축강도를 정리한 것이다. Fig. 15, 16, 17 및 18의 결과 TA의 혼합률이 증가함에 따라 TA를 혼합하지 않은 기준 모르타르에 비해 초기재령 및 기준재령일 모두 강도저하현상이 나타났으며, TA를 최대 30% 혼합한 재령 28일의 경우 SG의 혼합률에 관계없이 약 50%정도의 강도저하현상이 나타남을 알 수 있다. 이러한 결과를 통계적으로 확인하기 위해 TA의 혼합률과 모르타르의 28일 압축강도와의 관계를 1원 분산분석을 실시하여 정리한 것이 Table 8이다. Table 8의 결과 TA의 혼합률 변화에 따른 모르타르의 28일 압축강도는 유의수준 0으로 고도로

유의하였다. 즉, TA의 혼합률이 0, 10, 20 및 30%로 증가할수록 재령 28일 모르타르의 압축강도 저하 현상에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 각각의 TA의 혼합률에서 SG를 15, 30 및 45%까지 혼합하여 사용할 경우 재령 28일의 압축강도는 SG 혼합 0%의 기준 모르타르의 압축강도와 유사하게 나타났다.

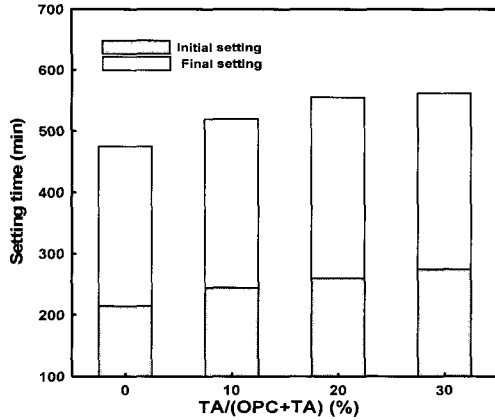


Fig. 13 Setting time of cement paste (replacement of TA)

이러한 결과를 통계적으로 확인한 결과 각각의 TA의 혼합률(0, 10, 20 및 30%)에서 SG의 혼합률(0, 15, 30 및 45%)이 모르타르 재령 28일 압축강도에 미치는 영향은 유의수준 0.997로서 SG의 혼합률은 모르타르의 재령 28일 강도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 SG의 잠재수경성의 영향으로 모르타르의 강도가 회복된 것으로 판단된다¹⁴⁾.

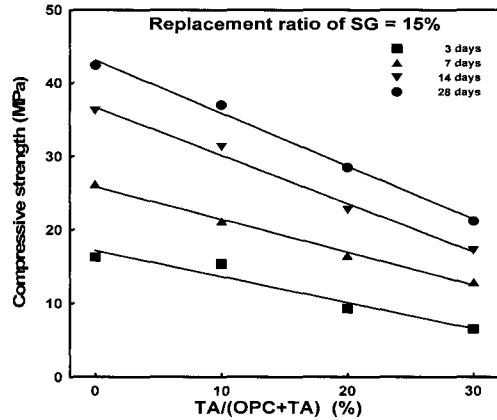


Fig. 16 Relationship of replacement ratio and compressive strength

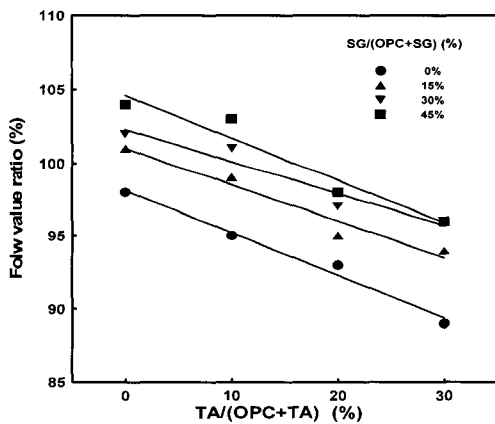


Fig. 14 Flow value ratio (replacement of TA and SG)

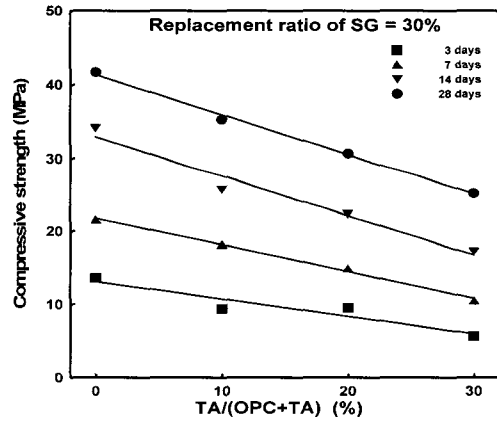


Fig. 17 Relationship of replacement ratio and compressive strength

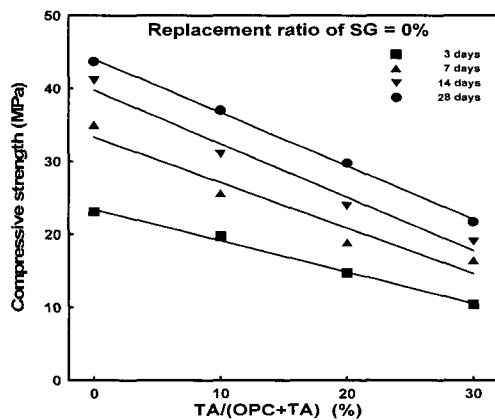


Fig. 15 Relationship of replacement ratio and compressive strength

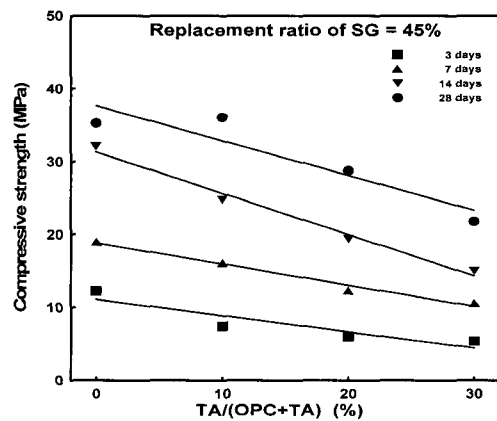


Fig. 18 Relationship of replacement ratio and compressive strength

- 1) 상동지역 중석광산 TA의 수직시추 결과 pH값은 심부로 갈수록 증가되는 양상이 나타났고 수분함량은 15~25%전후, 강열감량은 2~3%전후로 나타났다. 한편, 심도에 따른 입자크기는 평균 10~30 μ m로 분석되었고, 심도에 따른 입자크기의 영향은 없는 것으로 나타났다.
 - 2) TA의 화학성분은 심도별로 미소한 차이는 있으나 SiO₂ 50%, Al₂O₃와 Fe₂O₃는 각각 13% 정도로 나타났으며, 주 구성광물로서 석영 45%, 녹니석 15%, 코디엘라이트 14% 그리고 회장석 16% 등이 함유되어 있는 것으로 나타났다.
 - 3) TA를 혼합한 모르타르의 Cd, Cu, Zn 및 Pb의 화학성분을 KSLT에 따라 분석한 결과, 폐기물 관리법 시행규칙에 제시된 유해물질 함유 기준값 보다 낮은 결과를 나타내었으며, SG의 혼합률이 15%씩 증가함에 따라 SG를 혼합하지 않은 모르타르에 비하여 포졸란 반응에 의해 내부공극이 밀실하게 채워져 중금속의 농도가 약 10% 정도 감소함을 알 수 있다.
 - 4) TA의 혼합률이 증가함에 따라 응결시간은 비례적으로 지연되며, 모르타르의 플로우는 기준 모르타르에 비해 감소하는 경향이 나타났다. 또한, SG를 혼합할 경우 TA 혼합율에 관계없이 플로우비가 증가함을 알 수 있다.
 - 5) TA의 혼합률이 증가함에 따라 압축강도는 비례적으로 감소하여 TA를 최대 30% 혼합할 경우 약 50% 정도의 강도 저하 현상이 나타났으며, SG를 15, 30 및 45%까지 혼합할 경우 재령 28일 압축 강도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 이상의 실험결과를 통하여 상동광산 광미는 수화조절용 분체 및 강도조절을 위한 무반응성 분체로 사용하는 것이 적당할 것으로 판단되며, 상동광산 광미를 효율적으로 재활용 할 수 있어 대단위의 값싼 대체 혼화재료로서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구지원사업의 특정 기초연구지원(R01-2002-000-00357-0)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

1. 최연왕, 정문영, “중석광 폐광미를 활용한 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 한국자원공학회지, 1998, 35권, pp.90~95.
2. 김정웅, “달성광산지역 토양의 중금속함량 분석결과와 평가”, 지하수환경, 4권 1호, pp.20~26.
3. 박용하, “휴·폐광된 금속광산지역의 오염관리대책”, 한국기술개발원, 1994, pp.14.
4. 채영배, 정수복 외, “귀금속 광산폐기물로부터 유가자원 회수기술 개발 연구”, 한국지질자원연구원.
5. 정명채, “달성 Cu-W 광산 주변 수계의 하상 퇴적물과 자연수의 Cd, Cu, Pb 및 Zn 오염”, 자원환경지질, 29권, 1996, pp.305~313.
6. 박용하, “휴·폐광된 금속광산지역의 오염관리대책”, 한국환경기술개발원, 1994, pp.14.
7. Kimball, B.A., Callender, E., and Axtmann, E.V., “Effects of colloids on metal transport in a river receiving acid mine drainage, upper Arkansas River,” Colorado, U.S.A. Appl. Geochem, Vol.10, 1995, pp.285~306.
8. R.D. Hill and Janet L. Auerbach, “Solid Waste Disposal in the Mining Industry,” *Fine Particle Processing*, Vol.2, AIMM & PE, 1980, pp.1731.
9. A. K. Minocha, Neeraj Jain, and C. L. Verma, “Effect of organic materials on the solidification of heavy metal sludge,” *Construction and Building Materials*, Vol.17, No.2, 2003, pp.77~81.
10. 민정식 외, “폐광에 따른 광산지역 환경개선 연구”, 한국자원연구소, 1993, KR-93-7C-3.
11. 환경부, “지정폐기물의 유해물질함유기준”, 폐기물 관리법 시행규칙, 환경부, pp.2.
12. 윤석표, “고형화된 중금속 슬러지의 해수에 의한 용출 특성”, 한국과학기술원 석사논문, 1989, pp.3~13.
13. Ahmed, A.E. and EI-Kour, A.A., “Properties of concrete incorporation natural and crushed stone very fine sand,” *ACI Materials Journal*, Proceedings Vol.86, No.4, 1989, pp.417~424.
14. Hogan, F. J. and Meusel, J. W., “Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast Furnace Slag,” *Cement, Concrete, and Aggregates*, Vol.3, No.3, 1981, pp.40~52.

요 약

본 연구에서는 상동지역 중석광 광미를 콘크리트용 혼화재료로 사용 가능한지 여부를 알아보기 위한 연구의 일환으로 광미의 품질특성과 혼화재료로 사용한 모르타르의 기초적 특성에 대하여 검토하였다. 상동지역 중석광 광미의 품질 특성을 파악하기 위해 XRD 및 PSA를 사용하여 광물학적인 특성을 검토하였다. XRD분석 결과 상동지역 중석광 광미내에는 석영(quartz), 녹니석(chlorite), 회장석(anorthite) 및 코디엘라이트(cordierite) 등이 함유되어 있는 것으로 파악되었다. 또한, 상동지역 중석광 광미의 중금속 용출 특성을 파악하기 위해 광미를 혼합한 모르타르를 제작하여 KSLT의 규정에 의해 실험한 결과 규준범위를 만족하였다. 한편, 상동지역 중석광 광미를 혼합한 시멘트 모르타르의 응결시간과 압축강도 특성을 검토한 결과 광미의 혼합률이 증가할수록 응결시간은 지연되었고, 모르타르 압축강도는 감소하는 경향을 나타내었다.

핵심용어 : 광미, XRD, PSA, KSLT