

상동지역 廢鑛尾를 활용한 콘크리트의 기초적 성질에 대한 연구

A Study on the Fundamental Properties of Concrete Using Tailing in Sang-Dong Area

최 연 왕* 정 문 영** 이 윤 구*** 이 영 두***
Choi, Yun-Wang Jung, Moon-Young Lee, Yoon-Gu Lee, Young-Du

ABSTRACT

The objective of this study is to examine the quality of the tailing produced in Sang-Dong area and to estimate wheter it can be useful for the fine aggregate of concreate or not.

We obtained that concreate made with tailing replacement fine aggregate showed more water content then that of concreate not containing tailing for the same workability. And also, compressive strength of concreate containing tailing showed higher value then that of concreate not containing tailing.

1. 서 론

최근 세계적으로 대기오염 및 수질오염 등에 대한 환경규제가 강화됨에 따라 국내에서도 이에 따른 각종 공해방지 법규들이 제정되거나 시행되고 있는 실정이다. 국내에서는 70년대와 80년대를 통해 산업이 급속히 발전함에 따라 이에 수반되는 산업폐기물의 양적증대 및 처리문제가 사회적인 중요한 과제로 대두되고 있다.

상동지역에는 상동광산이 회중석을 개발하면서 40년간 폐기하였던 폐광미가 폐기물 적치시설로 건설된 광미담에 약 1,200만톤(제 1담 400만톤, 제 2담 800만톤) 적치되어 있으며 최근들어 폐광미를 담고 있는 담의 국부적인 토사 유출, 표면 침식 및 담의 북부팽창 등에 의해 담전체의 구조적인 안전성이 문제되어 이에 대한 대책이 절실이 요구되고 있다. 단기적인 대책으로는 국부적으로 담을 보수하

* 정희원, 세명대학교 토목공학과 전임강사

** 세명대학교 자원환경공학과 부교수

*** 세명대학교 공업교육대학원 석사과정

는 방법이 있지만 보다 장기적인 해결책은 폐광미를 재활용하여 댐 전체를 제거하는 것이 최선의 방법이라 판단된다. 현재 상동 및 인근지역인 사북, 태백지역이 특별관광개발지역으로 지정되면서 개발에 따른 건설재료의 수요가 증가될 것으로 예상되므로 이 지역의 폐광미를 활용한 콘크리트의 개발시도는 자원재활용 및 환경보호 측면에서 바람직하다고 생각된다.

본 연구에서는 상동지역 폐광미를 콘크리트용 잔골재로 사용 가능한지 여부를 알아보기 위한 연구의 일환으로 폐광미의 물성과 잔골재로 대체한 콘크리트의 기초적 성질에 대하여 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 폐광미

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 폐광미(Tailing, TA로 약함)는 강원도 영월군 상동면 소재 중석광산에서 중석 광석을 채굴하여 포함된 회중석입자(WO₃ 0.5%)를 회수하기 위하여 원석을 분쇄와 부유선광 과정을 거친 후 폐기되는 세립질로서 그 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 및 폐광미의 화학성분 및 물리적 성질

Item Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Specific gravity	Specific surface area (cm ² /g)
O P C	21.6	6.0	3.1	61.4	3.4	2.5	3.15	3,539
TA	59.0	10.9	11.3	14.0	1.7	-	2.94	-

2.1.2 골재

골재는 충주산 강모래(이하 SA로 약함)와 강자갈을 사용하였으며 강모래와 대체하여 사용한 폐광미의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Type	Items	G _{max} (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m ³)	Solids by weight (%)
Coarse aggregate		25	2.64	0.86	7.15	-	1,692	67.4
	SA	-	2.62	1.82	2.94	O.K	1,641	63.6
	TA	-	2.94	0.33	0.90	O.K	1,565	53.2

2.2 실험 방법

2.2.1 X선 회절분석

폐광미의 광물조성 및 No.100체를 통과하는 폐광미 분말을 시멘트 중량의 0%, 30% 50%의 3단계로 혼합하고 물-결합재비를 50%로 하여 제작한 페이스트를 20°C의 수중에서 양생한 다음 분쇄하여 분말법에 따른 X선 회절분석을 실시하였다. 측정조건은 CuK(Ni, filter) 35kV, 20mA, Scan Speed 80/min,

$2\theta = 10^\circ \sim 55^\circ$ 로 측정하였다.

2.2.2 모르터의 플로우 시험

폐광미의 혼합률을 강모래에 대하여 중량비로 0%, 30%, 50% 및 70%의 4단계로 변화시킨 모르터의 콘시스턴스를 KS L 5105의 플로우 시험에 준하여 실시하였다.

2.2.3 모르터의 압축강도 시험

50mm 입방의 모르터 시험체를 제작한 후 재령 7일, 28일, 56일의 압축강도를 KS L 5105에 의해 측정하였다.

2.2.4 강도시험 및 정탄성계수 측정시험

$\phi 10 \times 20$ cm 원주형공시체를 제작하여 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 표준양생하고 7일, 28일, 56일에서 각재령별로 KS F 2405에 의거하여 압축강도를 측정하였으며, 할열인장강도 및 정탄성계수는 각각 재령 28일에 KS F 2423, KS F 2438에 따라 측정하였다.

2.3 배합 및 제조방법

모르터 및 콘크리트용 배합시 폐광미를 강모래에 대하여 중량비로 0%, 30%, 50% 및 70%의 4단계로 대체하였다. 모르터는 KS L 5105의 표준배합으로 제조하였으며, 콘크리트의 강도측정용 배합의 경우 굵은골재의 최대치수는 25mm, 목표 슬럼프는 12 ± 1 cm, 공기량 1.5 ± 1 , 단위시멘트량 350kg/m^3 , 잔골재율 40%로 정하였다. 콘크리트 배합에 사용한 믹서는 50ℓ의 가경식 믹서로 시멘트, 강모래 및 폐광미를 투입하여 30초동안 건조믹싱한 후 굵은 골재를 투입하여 2분 동안 혼합하여 콘크리트를 제조하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 잔골재로서 폐광미의 품질에 대한 고찰

상동지역 중석광산의 폐광미를 콘크리트용 잔골재로 사용할 수 있는지 여부를 알아보기 위하여 폐광미의 화학성분에 대하여 정리한 것이 표 1로서 SiO_2 성분이 많은 규산염 광물로 판단되며, 조성광물을 알아보기 위하여 XRD분석을 실시하여 정리한 것이 그림 1이다. 그림 1에서 폐광미의 광물조성은 대부분 암석에서 흔히 볼 수 있는 석영, 장석, 백운모 등으로 구성되어 있음을 알 수 있다.

다음은 폐광미가 시멘트 수화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 폐광미 분말을 시멘트 중량의 50% 혼합하여 XRD분석을 실시하여 정리한 것이 그림 2이다. 그림 2에서 시멘트의 수화생성물인

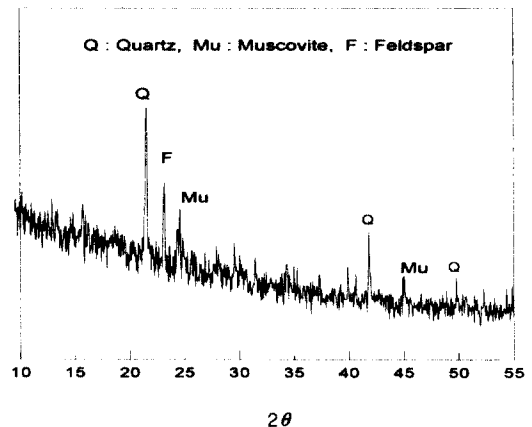


그림 1. 폐광미의 XRD 분석

C-H-S와 페광미의 주광물 조성인 석영만이 분석되고 있어 시멘트 수화에 영향을 미치는 유해한 수화생성물은 나타나지 않음을 알 수 있다.

콘크리트용 골재를 평가하는데 기본이 되는 비중, 흡수량 및 단위용적 중량을 측정한 표 2에 의하면 페광미의 비중은 2.94로서 강모래의 비중이 2.5~2.65인 범위내에 있는 것에 비해 크며, 흡수율은 0.33%로 페광미의 비중이 크기 때문에 내부가 치밀하여 강모래의 경우보다도 작은 값을 나타내고 있다고 생각된다. 또한 단위용적중량 및 실적률은 강모래와 비교하여 다소 작은 값을 나타내었다. 일반적으로 골재가 구형에 가까울수록 실적률은 커지므로 실적률로 판단할 때 페광미의 입형은 강모래보다 좋지 않음을 알 수 있다. 이러한 원인은 페광미가 증석 광석을 채굴하기 위하여 원석을 분쇄하는 과정에서 산출되므로 입형이 불규칙하고 각이 많은 모양을 하고 있기 때문이라 생각되며, 조립률이 0.90으로 강모래에 비교하여 세립질을 많이 포함되어 있음을 알 수 있으며, 세립질중 No.200체(75 μ m)를 통과하는 미립분 함유율을 측정 한 결과 28%로 KS F 2558 (콘크리트용 바순모래)에서 제시한 미립분 함유율 7%이하를 크게 상회하고 있어 입도 및 조립률 조절을 위하여 강모래와 혼합사용하는 것이 적합하다고 판단된다.

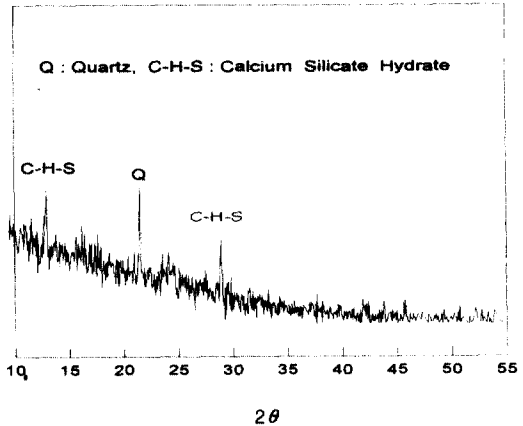


그림 2 시멘트 경화체의 XRD 분석

3.3 페광미 혼합모르터의 물성에 대한 고찰

페광미를 강모래에 대하여 중량비로 50%까지 3단계로 혼합한 모르터의 재령 56일까지 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 3이다.

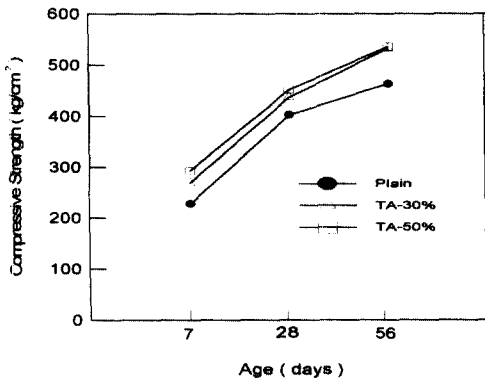


그림 3. 모르터의 재령별 압축강도

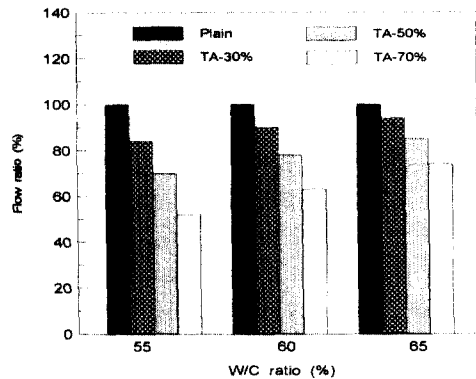


그림 4. W/C 변화에 따른 모르터의 플로우비

그림 3에서 페광미의 혼합률이 증가하는데 따라 모르터의 압축강도는 증가됨을 알 수 있으며, 초기 재령인 7일의 압축강도에서 페광미를 사용하지 않은 기준모르터와 비교해서 압축강도비가 혼합률 30% 및 50%에서 각각 118% 및 128% 증가하여 28일 및 56일의 강도증가량보다 크게 나타남을 알 수

있다. 이러한 현상은 폐광미의 미립분에 의해 미세공극이 충전됨에 따라 초기의 강도가 증진된 결과로 생각된다. 다음은 폐광미 혼합에 따른 모르타의 콘시스턴스를 물-시멘트비를 3단계, 폐광미의 혼합률을 4단계로 변화시켜 폐광미를 혼합하지 않은 모르타의 플로우값 100에 대한 플로우비를 나타낸 것이 그림 4이다. 그림 4에서 플로우값은 물-시멘트비의 변화에 상관없이 폐광미의 혼합률이 증가함에 비례하여 감소하고 있음을 알 수 있으며, 물-시멘트비가 커짐에 따라 기준 플로우값에 대한 감소율이 작아짐을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 폐광미를 잔골재로서 강모래와 혼합할 경우 동일한 콘시스턴스를 얻기 위해서는 폐광미의 혼합률이 증가할수록 수량을 증가시키거나 유동화제의 첨가가 필요하다고 생각되며, 물-시멘트비가 작아질수록 수량 또는 유동화제의 첨가량을 증가시키는 것이 필요하다고 판단된다.

3.3 폐광미 혼합콘크리트의 물성에 대한 고찰

폐광미를 혼합한 콘크리트의 경우 잔골재의 미립분이 크게 증가하여 목표 슬럼프를 만족하기 위한 단위수량의 변화 및 최적 잔골재율을 알아보기 위하여 잔골재율을 4%간격으로 4단계변화시켜 정리한 것이 그림 5이다.

그림 5에서 동일한 잔골재율에서는 폐광미를 30% 혼합한 경우가 강모래만을 사용한 콘크리트와 비교해 8%정도 단위수량이 증가되는 경향을 나타내었으며, 잔골재율이 감소됨에 따라 목표 슬럼프를 얻기 위한 단위수량은 비례적으로 감소하였으며, 폐광미를 혼합하지 않은 기준 콘크리트와 비교해 잔골재율이 작아질수록 폐광미를 혼합시 요구되는 단위수량이 잔

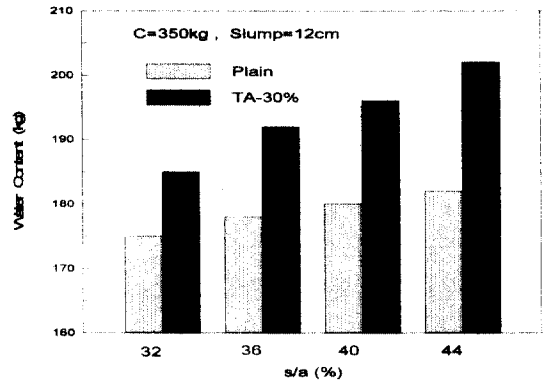


그림 5. 잔골재율 변화에 따른 단위수량

골재율 4% 감소시 단위수량은 2%정도 감소시키는 결과를 나타내었다. 이러한 실험결과는 기존에 연구되어진 부순모래의 미립분 함유량에 따른 콘크리트의 특성에 대한 보고와^(1~2) 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 폐광미 혼합시 단위수량의 증가 원인으로는 폐광미의 미립분으로 인한 잔골재의 표면적 증가와 폐광미의 각이진 입형의 영향으로 내부마찰각이 증가되기 때문이라고 판단된다.

다음은 폐광미를 강모래와 중량비로 70%까지 4단계로 혼합한 콘크리트의 압축강도, 할열인장강도 및 정탄성계수를 재령 56일까지 측정된 결과가 표 3이며, 혼합률 변화에 따른 콘크리트의 압축강도를 정리한 것이 그림 6이다. 그림 6에서 폐광미를 혼합한 경우의 콘크리트의 압축강도는 모르타의 압축강도 시험결과와 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 재령에 상관없이 모든 혼합률에서 폐광

표 3. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도, 인장강도 및 탄성계수

Type	Title	Compressive strength (kg/cm ²)			Tensile strength (kg/cm ²)	Elastic modulus (x10 ⁵ , kg/cm ²)
		7day	28day	56day		
	Plain	215	310	331	34.5	3.28
	TA-30	239	359	391	34.1	3.06
	TA-50	271	363	423	32.2	2.97
	TA-70	252	334	372	29.2	2.89

미를 혼합하지 않은 기준콘크리트에 비해 평균 15%정도 압축강도가 증진되었으며, 혼합률 50%에서 가장 큰 압축강도 증진효과를 나타내고 있어 최적 혼합률이 존재하는 것을 알 수 있다. 이러한 실험결과는 그림 1의 XRD 분석 결과 폐광미에 의한 새로운 수화생성물이 존재하고 있지 않음으로 폐광미에 함유된 미립분이 콘크리트의 미세공극에 채워져 내부공극이 충전됨에 따른 강도 증진효과가 가장 큰 원인이라 판단된다. 한편 표 5의 폐광미 혼합률에 따른 할랄 인장강도 및 정탄성계수를 분석한 결과 탄성계수는 혼합률이 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 인장강도는 기준콘크리트와 거의 유사한 결과를 나타내었다.

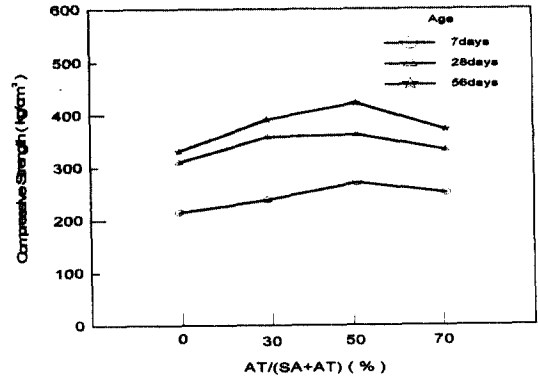


그림 6. 혼합률 변화에 따른 콘크리트의 압축강도

4. 결 론

- 1) 상동지역 폐광미의 광물조성을 분석해 본 결과 대부분 암석에서 흔히 볼 수 있는 석영, 장석, 백운모 등으로 구성되어 있으며, 폐광미가 시멘트 수화에 미치는 영향을 알아보기 위해 XRD 분석을 실시한 결과 유해한 수화생성물은 관찰되지 않았다.
- 2) 폐광미 혼합 모르타의 반죽질기는 폐광미를 혼합한 경우가 폐광미를 사용하지 않은 모르타에 비해 혼합률이 클수록 최대 48%정도 플로우값이 감소하였으며, 물-시멘트비가 작을수록 폐광미 혼합률에 따른 플로우값 저하 현상이 더 크게 나타났다.
- 3) 폐광미 혼합 콘크리트의 워커빌리티는 폐광미를 30% 혼합한 경우 폐광미를 혼합하지 않은 콘크리트와 동일한 슬럼프를 얻기 위해서는 약 8%정도의 단위수량이 더 요구되었으며, 잔골재율이 작아질수록 폐광미를 혼합시 요구되는 단위수량이 잔골재율 4% 감소시 단위수량은 2%정도 감소시키는 효과가 있었다.
- 4) 폐광미 혼합 콘크리트의 압축강도는 폐광미를 혼합하지 않은 콘크리트에 비해 약 15%정도의 압축강도 증진효과가 있었으며, 혼합률 50%에서 가장 큰 압축강도 증진효과를 나타내었다. 한편 탄성계수는 혼합률이 증가함에 따라 다소 감소하는 경향이며, 인장강도는 폐광미를 혼합하지 않은 콘크리트와 유사한 값을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. Ahmed, A. E., and El-Kour, A. A., "Properties of Concrete Incorporating Natural and Crushed Stone Very Fine Sand", ACI Materials Journal, Proceedings Vol. 86, No.4, 1989, pp.417-424.
2. 田村 博, 高橋 利一, 五十嵐 千津雄, "碎石粉のコンクリートの有効利用關する研究", 콘크리트工學年次論文報告集, 第13卷, 第1号, 1991, pp.57-62.