

상동광산 광미를 활용한 자기충전 콘크리트의 품질 특성에 관한 연구

An Experimental Study on the Quality Properties of Self-Compacting Concrete Containing Tailings in Sangdong Mine

최연왕* 정문영** 정명채** 김용직*** 구기정****
Choi, Yun Wang Jung, Moon Young Jung, Myung Chae Kim, Yong Gic Koo, Gi Jung

ABSTRACT

This study has focused on the possibility for recycling of tailings from the Sangdong tungsten mine as powder of self-compacting concrete(SCC). The experimental tests for slump-flow, reaching time to the slump-flow of 500mm, V-funnel and U-box were carried out in accordance with the specified by the Japanese Society of Civil Engineering(JSCE). The result of this study, in case of SCC mixed with tailings, slump-flow was decreased with increasing mixing ratio. But reaching time slump-flow of 500mm, V-funnel and U-box were satisfied a prescribed range.

The mechanical properties including compressive strength, splitting tensile strength and static modulus of elasticity were checked with the requirements specified by Korean Industrial Standard(KS). The compressive strength of SCC was decreased with increasing replacement, splitting tensile strength and static modulus were similar to those of normal concrete.

I. 서론

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.¹⁾ 특히, 국내의 광업분야는 매장량의 저품위와 고갈, 그리고 중국을 위시한 개발 도상국으로부터 저가의 광산물 수입 등으로 인해 점차 침체기에 접어들어 휴·폐 광산이 늘어나고 있는 실정이며, 이들 대부분이 폐수, 폐석유출 및 기계적·화학적 풍화작용에 노출되어 2차적 오염원으로 작용할 가능성이 제기되고 있다.²⁾ 특히, 상동지역의 경우 대한중석이 회중석을 개발하면서 40년간 폐기하였던 광미가 약 1,200만톤 정도 적치되어 있어 광미댐의 국부적인 토사유출과 댐의 북부팽창 등에 의해 댐 전체의 구조적인 안정성이 문제되고 있다.³⁾

이에 대한 대책으로 광산 폐재의 대부분이 미세한 분체로 이루어져 있다는 점을 감안하여 광미의 품질특성을 파악하고, 최근 국내·외적으로 활발한 연구가 이루어지고 있는 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete:이하 SCC로 약함)의 값싼 대체 혼화재료로 적용하여 배합 특성을 연구 검토한다면 자원으로써의 활용 가능성은 극대화 될 것으로 생각되며, 광미 속에 함유되어 있는 유해 중금속이 안정화 혹은 고형화 되어 외부환경에 영향을 주지 않아 대량으로 소비될 수 있을 것으로 판단된다.⁴⁾

그러므로 본 연구에서는 골재 채움율(Packing Factor, 이하 PF라 약함)을 사용한 SCC 간편배합설계

* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

** 세명대학교 자원환경공학과 부교수

*** 정회원, 세명대학교 토목공학과 강사

**** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

방법을⁵⁾ 통해 상동지역 중석광 광미를 분체로 활용한 SCC를 제조하여 일본 토목학회(JSCE)에서 제시한 성능평가 기준안에⁶⁾ 따른 성능평가와 역학적 특성에 대하여 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 분체계 결합재

시멘트는 비중 3.15의 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였고 분체계 결합재로 광미(이하 TA로 약함)를 사용하였으며, 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다. 또한, 그림 1 및 그림 2는 Particle Size Analyzer(이하 PSA로 약함)와 영국 Malvern사의 Mastersizer S를 이용하여 TA의 입도분포 및 SEM 촬영 결과를 나타낸 것이다.

표 1 시멘트 및 TA의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	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
T A	59.00	10.90	11.30	14.00	1.70	-	2.60	-

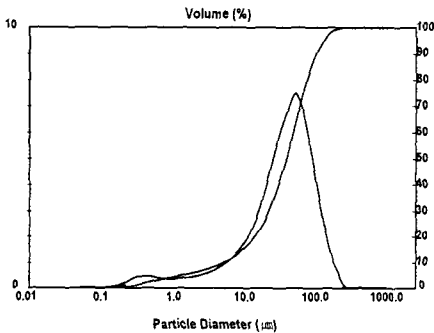


그림 1 TA 입도분포 곡선



그림 2 TA의 SEM 촬영

2.1.2 잔골재

굵은 골재 최대치수는 20mm인 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 여주산 강모래를 사용하였고 그 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Items Types	Gmax (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kgf/m ³)	Solids by weight(%)
Coarse agg.	20	2.70	0.63	6.60	-	1,609	59.6
Fine agg.	-	2.57	2.12	2.76	O.K	1,630	63.4

2.2 실험방법

2.2.1 SCC 성능평가

SCC 성능평가는 JSCE의 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법(안)” 에⁶⁾ 의해 Slump-Flow, Slump-Flow 50cm 도달시간, V-Lot 유하시간 및 U-Box 충전시험을 실시하였으며, 본 연구에서는 일반적인 철근 콘크리트 구조물 조건인 2등급 SCC를 기준으로 평가하였다.

표 3 TA 혼합 배합표

Mix. No.	PF	s/a (%)	TA/(OPC+TA) (%)	W/P (%)	W/C (%)	Vw/Vp (%)	Unit Weight (kg/m ³)				SP (C×%)	
							W	P		S		G
								C	TA			
1	1.16	53	0	38	38	120	174	459	0	866	805	1.0
2	1.16	53	10	39	42	120	174	413	38	866	805	1.0
3	1.16	53	20	39	47	120	174	367	76	866	805	1.0
4	1.16	53	30	40	54	120	174	321	114	866	805	1.0
5	1.16	53	40	41	63	120	174	275	151	866	805	1.0

2.2.2. 경화한 콘크리트

Φ10×20cm 원주형 공시체를 제작하여 20±3°C에서 표준양생을 실시한 후 재령 3, 7 및 28일에 KS F 2405에 따라 압축강도를 측정하였으며, 쪼갬인장강도 및 정탄성계수는 재령 28일에 KS F 2423, KS F 2438에 따라 측정하였다.

2.2.3. 콘크리트 배합

SCC성능평가를 만족하는 기준배합(PF=1.16, S/a=53%, 물/분체비=38%)과 TA의 혼합률을 시멘트에 대하여 부피비 총 4수준(10, 20, 30 및 40%)으로 변화시킨 배합을 결정하였으며, 콘크리트 배합표는 표 3과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 굳지 않은 SCC의 성능평가

TA를 시멘트에 대하여 0, 10, 20, 30 및 40%의 5수준으로 변화하여 제조한 굳지않은 SCC의 유동성, 재료분리저항성 및 충전특성을 나타낸 것이 그림 3, 4 및 5이다.

그림 3의 결과, TA 0%의 기준배합은 SCC 성능기준인 600~700mm를 만족하는 것으로 나타났으나, TA를 혼합한 10, 20, 30 및 40%의 경우, Slump Flow가 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과의 원인은, 그림 2의 SEM 촬영 결과와 같이 TA가 입형의 크기 및 표면형상이 상당히 불균질하여 굳지않은 콘크리트의 유동을 방해하기 때문인 것으로 판단되며, 특히 TA 40%의 경우 기준배합에 비해 약 27%정도의 큰 유동성 저하와 재료분리 양상을 나타내었는데, 이것은 표 3의 배합표에서 제시된 것과 같이 TA의 혼합률이 크게 증가할 경우 W/C가 기준배합에 비해 지나치게 커졌기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 그림 4는 TA 혼합률 변화에 따른 재료분리 저항성을 나타낸 것으로 Slump Flow 500mm 도달시간의 경우 기준배합을 포함한 모든 배합이 SCC 성능기준에 만족하는 결과를 나타내었으며, TA 혼합률이 증가할수록 다소 느려지는 결과를 나타내었다. 또한, V-Lot 유하시간 역시 성능 기준에 모두 만족하는 결과를 나타내었는데, 이러한 원인은 TA가 분체로써 점성층대에 영향을 주었기 때문으로 판단된다.

그림 5는 충전성을 평가한 결과를 나타낸 그림으로써, TA 40%를 제외한 모든 배합이 소요의 기준범위를 만족하는 것으로 나타났다.

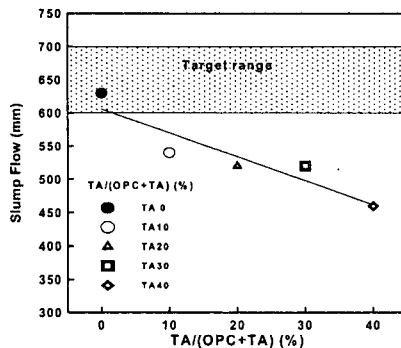


그림 3 TA 혼합률에 따른 유동성

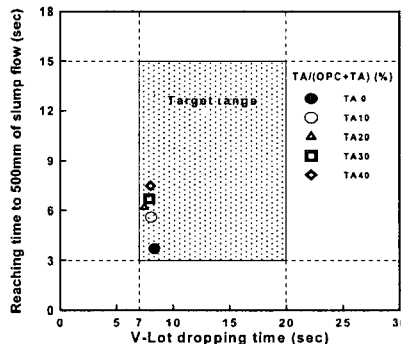


그림 4 TA 혼합률에 따른 재료분리 저항성

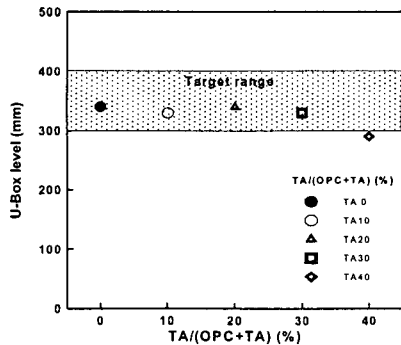


그림 5 TA 혼합률에 따른 충전성

3.2 TA를 혼합한 SCC의 역학적 특성

그림 6 및 그림 7은 TA를 혼합한 콘크리트의 재령별 압축강도와 28일후의 압축강도에 대한 조깅인장강도와 탄성계수와의 관계를 나타낸 것이다. 그림 6의 결과, 기준배합의 재령 28일 압축강도는 49MPa를 나타내었으며, TA를 10, 20 및 30% 혼합할 경우 34, 31 및 29MPa로 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과를 통해 TA는 OPC와 활성반응을 일으키지 않으므로 강도발현에 영향을 주지 않는 무반응성의 분체임을 알 수 있다. 따라서, TA를 혼합한 콘크리트는 고강도 SCC보다 중간강도 SCC에 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

한편, 그림 7의 결과 압축강도가 증가함에 따라 조깅인장강도와 탄성계수가 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있는데 이러한 결과를 통해, TA를 혼합한 SCC의 역학적 특성이 일반 콘크리트와 유사한 경향을 나타냄을 알 수 있다.

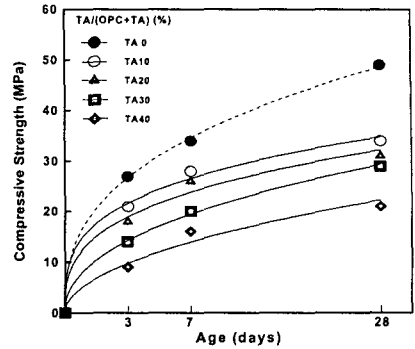


그림 6 TA 혼합률에 따른 재령별 압축강도

4. 결론

- (1) TA를 10, 20 및 30% 혼합할 경우 기준배합에 비해 약 15%의 유동성 저하를 나타내었고, 40% 혼합할 경우 27%의 유동성 저하를 나타내었다.
- (2) TA 혼합률에 관계없이 모든 배합이 재료분리저항성을 만족하는 것으로 나타났고, 충전성 시험 결과 TA 40%를 제외한 나머지 배합에서는 모두 소정의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.
- (3) TA를 혼합할 경우 재령별 압축강도는 감소하는 경향을 나타내었고, 중간강도 SCC제조에 적합함을 알 수 있었다.
- (4) 압축강도와 조깅인장강도 및 탄성계수와의 관계를 통해 TA를 혼합한 SCC의 역학적 특성이 보통 콘크리트와 유사함을 알 수 있었다.

이상의 실험 결과를 통해 상동광산 광미를 활용한 SCC적용이 가능함을 알 수 있고, 적절한 SCC 배합결정을 실시하여 중간 강도 범위의 SCC를 제조하여 활용한다면 광미를 효율적으로 재활용 할 수 있고 대단위의 값싼 대체 혼화재료로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

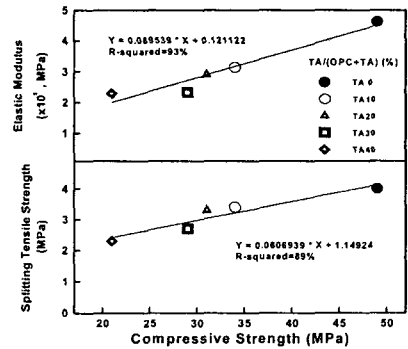


그림 7 압축강도와 조깅인장강도 및 탄성계수와의 관계

감사의 글

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

참고문헌

1. 최연왕, 정문영, “중석광 폐광미를 활용한 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 한국자원공학회지, 1998, 제35권, p.90~95.
2. 전효택, “토양오염조사 및 광해방지 시스템연구”, 광진 96~4, 대한광업진흥공사, 1996
3. 최연왕, 정문영, 정명채, 구기정, “상동광산 광미를 콘크리트용 혼화재료로 사용하기 위한 품질특성 연구”, 한국콘크리트학회지, 2003, 제15권 1호, p.781~786.
4. Violeta Bokan Bosiljkov, “SCC mixies with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler”, Cement and Concrete Research 2292, 2003.1, p.1~8.
5. 최연왕, 조선규, 최욱, 김경환, 안성일, “간편 배합설계방법을 통한 중간강도 자기충전 콘크리트의 특성”, 한국콘크리트학회지, 제15권 1호, p.83~88.
6. JSCE, 高流動コンクリート施工指針, 2000.