

# 광산광미를 활용한 초유동 자기충전 콘크리트의 유변학적 특성 연구

## A study on the rheological properties of superfluidity self compacting concrete utilizing tailings from the tungsten mine

최연왕\*  
Choi, Yun Wang

김용직\*\*  
Kim, Yong Jic

최욱\*\*\*  
Choi, Wook

이광명\*\*\*\*  
Lee, Kwang Myong

### ABSTRACT

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

### 1. 서론

최근 세계적으로 대기오염, 수질오염 및 토질오염 등에 대한 관심과 환경규제가 강화됨에 따라 국내에서도 이에 따른 각종 광해(鑛害)방지 법규들이 제정되거나 시행되고 있다. 특히, 국내의 광업분야는 매장량의 저품위와 고갈, 그리고 중국을 위시한 개발도상국으로부터 저가의 광산물 수입 등으로 인해 점차 침체에 접어들어 휴·폐 광산이 늘어나고 있는 실정이며, 이들 대부분이 폐수, 폐석 유출 및 기계적·화학적 풍화작용에 노출되어 2차적 오염원으로 작용할 가능성이 제기되고 있다. 이에 따라 환경부에서는 97년 이후 1,500억원 규모의 오염방지 사업을 실시하였지만, 휴·폐 광산에 의한 피해정도에 비하여 복원대책은 미약하여 장기적이고 안정적인 해결방안이 강구되어야 할 실정이다<sup>1,2)</sup>. 따라서 본 연구에서는 폐기물인 광산광미를 초유동 자기충전콘크리트 본체로 재활용하기 위한 연구의 일환으로 광산광미의 혼합률에 따른 페이스트의 유변학적 특성을 검토하였다. 그리고 광미를 혼합한 초유동 자기충전콘크리트의 자기충전성 평가는 일본토목학회에서 제시한 기준안을 적용하여 검토하였다<sup>3)</sup>.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 사용재료

##### 2.1.1 시멘트 및 광산광미

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.

\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

\*\* 정회원, 한국시설안전기술공단 위촉연구원, 공학박사

\*\*\* 정회원, 한국시설안전기술공단 차장

\*\*\*\* 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수

표 1 시멘트 및 TA의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific Surface Area (cm <sup>2</sup> /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	1,198

### 2.1.2 골재

굵은 골재(이하 G로 약함)는 최대치수 20mm, 밀도 2.70인 부순골재를 사용하였으며, 잔골재(이하 S로 약함)는 밀도가 2.57인 강모래를 사용하였고 그 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Items Types	Gmax (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )	Solids by weight(%)
G	20	2.70	0.63	6.60	-	1,609	59.6
S	-	2.57	2.12	2.76	O.K	1,630	63.4

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 페이스트의 소성점도평가

광산광미를 분체계 초유동 자기충전콘크리트로 활용하기 위하여 TA의 혼합률을 OPC에 대하여 부피비로 0, 10, 20 및 30%, 물/결합재비를 각각 1.1, 1.2, 1.3 및 1.4로 변화시켜 시멘트 페이스트를 제조하였다. 시멘트 페이스트를 제조한 후 각각의 배합에 대하여 실린더형 스피ن들을 사용한 Brookfield viscometer(Model LVDV II\*)를 이용하여 shear rate의 변화에 따른 shear stress를 측정하였다. 이때 shear rate는 100, 60, 50, 30, 20, 12 및 5rpm의 하강계단식으로 측정하였으며, 시료와 스피ن들의 접촉면 및 용기의 사이즈를 고려한 계수 0.29를 적용하여 계산된 식의 기울기를 평균소성점도로 가정하였다.

### 2.2.2 초유동 자기충전콘크리트의 성능평가

초유동 자기충전콘크리트의 성능평가는 국내의 경우 정확한 평가 기준이 없기 때문에 일본토목학회의 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법(안)”에 의해 Slump-flow, Slump-flow 500mm 도달시간, V-funnel 유하시간 및 U-box 충전시험을 실시하였으며, 본 연구에서는 일반적인 철근 콘크리트 구조물 조건인 2등급 기준으로 평가하였다.

### 2.2.3 콘크리트 배합

초유동 자기충전콘크리트의 성능평가를 만족하는 기준배합<sup>4)</sup>을 결정하여 TA의 혼합률을 시멘트에 대하여 부피비로 0, 10, 20 및 30%로 변화시켜 성능평가를 검토하였으며, 배합표는 표 3과 같다.

표 3. TA 혼합 콘크리트 예비 배합표

Mix. No.	PF	S/a (%)	W/B (%)	TA / (OPC+TA)(%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )				
					W	C	TA	S	G
1	1.16	53	38	0	174	459	0	866	805
2	1.16	53	38	10	174	413	38	866	805
3	1.16	53	38	20	174	367	76	866	805
4	1.16	53	38	30	174	321	114	866	805

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 평균소성점도

그림 1, 2, 3 및 4는 평균소성점도 값을 구하기 위하여 각각 Vw/Vp 부피비 별로 TA의 혼합률 변화에 따른 전단률과 전단응력과의 관계를 정리한 것이다. 이 그림에서 직선의 기울기는 평균소성점도이다.

그림 1, 2, 3 및 4의 결과 평균소성점도는 TA의 혼합률이 증가함에 따라  $V_w/V_p$  부피비의 1.1~1.4 범위에서는 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 TA를 OPC와 혼합하여 초유동 자기충전콘크리트를 제조할 경우 점성이 감소하여 재료분리 현상의 가능성이 있을 것으로 판단된다. 초유동 자기충전콘크리트에 있어서 점성은 매우 중요한 인자이며, 만약 점성이 낮을 경우 초유동 자기충전콘크리트 배합의 충전성 및 충전속도를 저하시킬 수 있기 때문에 TA를 OPC와 혼합하여 분체로 사용할 경우 적절한 혼합률의 조절이 필요할 것으로 판단된다.

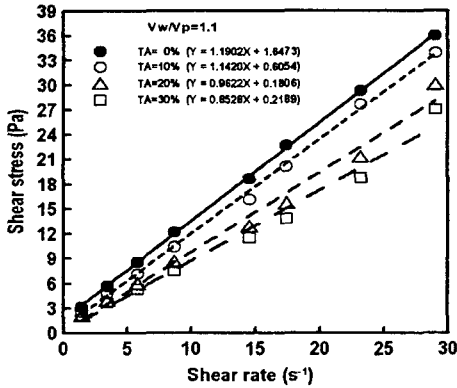


그림 1. 전단률과 전단응력의 관계( $V_w/V_p=1.1$ )

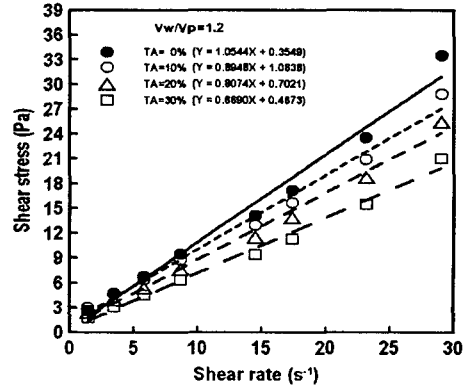


그림 2. 전단률과 전단응력의 관계( $V_w/V_p=1.2$ )

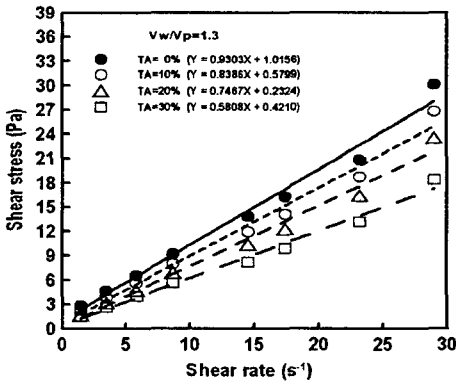


그림 3. 전단률과 전단응력의 관계( $V_w/V_p=1.3$ )

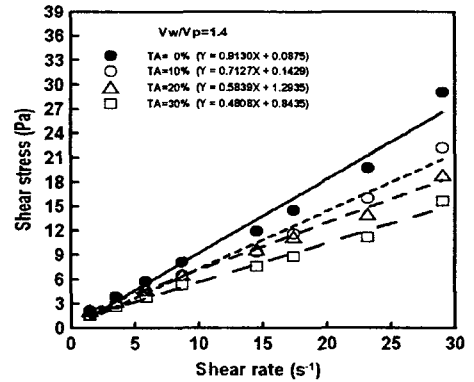


그림 4. 전단률과 전단응력의 관계( $V_w/V_p=1.4$ )

### 3.2 초유동 자기충전콘크리트의 성능평가

TA를 시멘트에 대하여 0, 10, 20 및 30%로 변화하여 제조한 굳지 않은 초유동 자기충전콘크리트의 유동성, 재료분리저항성 및 충전특성을 나타낸 것이 그림 5, 6 및 7이다.

그림 5의 결과, TA 0%의 기준배합은 초유동 자기충전콘크리트의 성능기준인 600~700mm를 만족하는 것으로 나타났으나, TA를 혼합한 10, 20 및 30%의 경우, Slump flow가 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과의 원인은, TA가 입형의 크기 및 표면형상이 상당히 불균질하고 OPC와 비교하여 약 17.5% 적은 밀도 및 66% 감소하는 비표면적으로 인하여 굳지 않은 콘크리트의 유동을 방해하기 때문인 것으로 판단되며, 특히 TA를 20 및 30% 혼합한 경우 기준배합에 비해 약 17.5%의 유동성 저하와 재료분리 양상을 나타내었다.

한편, 그림 6은 TA 혼합률 변화에 따른 재료분리 저항성을 나타낸 것으로 Slump flow 500mm 도달 시간의 경우 기준배합을 포함한 모든 배합이 초유동 자기충전콘크리트 성능기준에 만족하는 결과를

나타내었으나, TA의 혼합률이 증가할수록 다소 느려지는 결과를 나타내었다. 또한, V-funnel 유하시간 역시 성능 기준에 모두 만족하는 결과를 나타내었다.

그림 7은 충전성을 평가한 결과를 나타낸 그림으로써, 모든 배합이 소요의 기준 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

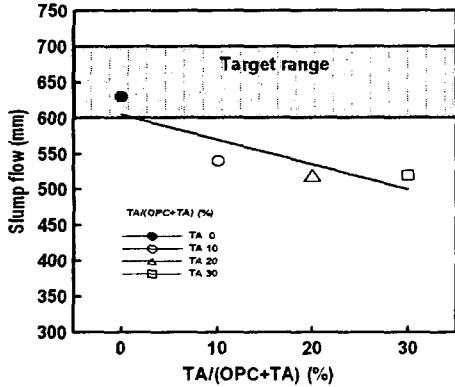


그림 5. TA의 혼합률에 따른 슬럼프 플로우

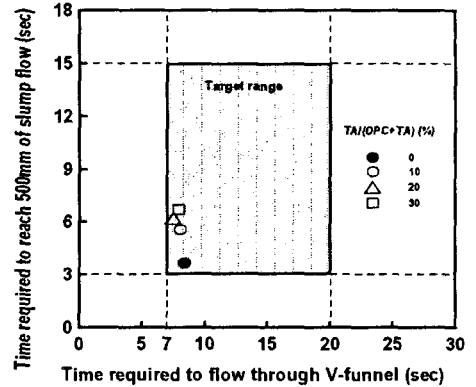


그림 6. V-funnel 유하시간과 Slump-flow 500mm 도달시간의 관계

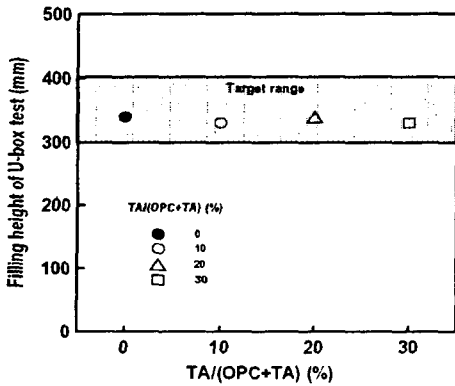


그림 7. TA 혼합률에 따른 U-box 충전높이

#### 4. 결론

- (1) 평균소성점도는 TA의 혼합률 0, 10, 20 및 30%로 증가함에 따라  $V_w/V_p$  부피비의 1.1~1.4 범위에서는 다소 감소하는 경향을 보였다.
- (2) TA를 10, 20 및 30% 혼합한 경우 기준배합과 비교하여 15~17% 정도의 유동성 저하 현상을 보였다.
- (3) TA의 혼합률 10, 20 및 30% 범위의 모든 배합에서 재료분리저항성 및 충전성 시험결과는 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 2005년도 산·학·연 과제 「고성능/다기능 콘크리트의 핵심 및 활용기술 개발」 중 「초유동 자기충전 콘크리트를 이용한 프리캐스트교량부재 개발 및 실용화」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. 박용하 “휴·폐광된 금속광산지역의 오염관리대책,” 연구보고서, KETRI/1994/RE-14, 한국환경정책·평가연구원, 1994
2. 정명채 “광산개발에 의한 환경오염 현황. 2002 광해방지 정책 및 기술심포지움,” 한국지질자원연구원, 2002, pp. 37~53.
3. 日本土木學會(2002) 高流動 콘크리트—施工指針. 2000.
4. 김용직, 최연왕, 문한영, “경량굵은골재 밀도에 따른 자기충전콘크리트의 배합설계,” 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 2005, 제 25권, 제 2A호, pp. 55~462.