

# 상동광산 광미를 혼합한 시멘트 페이스트의 레올로지 특성

## Rheological Properties of Cement Paste Containing Tailings in Sangdong Mine

최 연 왕\*                      정 문 영\*\*                      정 명 채\*\*                      구 기 정\*\*\*  
Choi, Yun Wang      Jung, Moon Young      Jung, Myung Chae      Koo, Gi Jung

### ABSTRACT

This study has focused on the possibility for recycling of tailings from the Sangdong tungsten mine as powder. The experimental tests for entrapped water ratio were carried out in accordance with the specified method by Okamura. The rheological measurements of cement paste were conducted by using a commercially digital Brookfield viscometer (Model LVDV-II+) equipped with cylindrical spindles. The results of this study, in case of cement paste mixed with tailings, entrapped water ratio was decreased with increasement of mixing ratio. Thickness of pseudo water film was increased, and mean plastic viscosity was decreased with increasing replacement.

### 1. 서론

국내의 경우 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete ; 이하 SCC로 약함) 제조 방법 중 가장 대표적인 분체계 SCC를 제조하고 있으나, 혼합되는 혼화재료의 특성에 따라 유동성 및 점성의 변화가 크므로 혼합분체에 대해 좀더 정량화된 레올로지 정수를 측정할 필요성이 제기되고 있다.<sup>1)</sup> 또한, 최근 세계적으로 환경규제가 강화됨에 따라 휴·폐광산에 적치되어 있는 광미를 콘크리트용 무반응성 분체로 활용하고자 하는 연구가 진행되고 있어 이를 검증하기 위한 필요성이 대두되고 있다. 이에 따라 상동지역 폐광산에 방치되어 각종 환경오염을 유발할 가능성이 있는 광미(Tailings)를 유변학적 관점을 통해 SCC용 무반응성 분체로서의 적용 가능성이 검토된다면 자원으로서의 활용 가능성은 극대화 될 것으로 판단되며, 분체계 혼화재료의 물리적 특성에 따른 가상수막이론을 적용할 경우 SCC 제조시 성능평가를 대변하는 유동성 및 소성점성에 대한 고찰이 이루어질 것으로 판단된다.

그러므로, 본 연구에서는 상동지역 중석광 광미를 혼합한 시멘트 페이스트의 유변학적 관점을 검토하고 일본 Okamura 교수가 제시한 구속수비를 통해 좀더 간단한 방법으로 혼화재료의 점도를 측정할 수 있는 방법을 제시하였으며, 광미의 혼합률에 따른 가상수막두께 이론을 규명하여 SCC용 혼화재료로서의 가능성을 검토하였다.

\* 정희원, 세명대학교 토목공학과 부교수

\*\* 정희원, 세명대학교 자원환경공학과 부교수

\*\*\* 정희원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

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.

표 1 OPC 및 TA의 화학성분 및 물리적 성질

Types	Items	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> (%)	Specific Gravity	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

### 2.2 실험계획 및 방법

상동광산 증석광 광미를 분체계 SCC의 혼화재료로 활용하기 위하여 TA의 혼합률을 OPC에 대하여 부피비로 4수준(0, 10, 20 및 30%), 물/분체 용적비(Vw/Vp)를 각각 4수준(1.1, 1.2, 1.3 및 1.4)으로 변화시켜 시멘트 페이스트를 제조하였으며, TA 혼합 배합표는 표 2와 같다.

최초 페이스트의 플로우시험을 실시한 후, 이 시험결과로부터 상대플로우 면적비( $\Gamma_p$ )를 산정하여 구속수비 및 변형계수를 산출하였다.<sup>2)</sup> 또한, 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(0.29)를 적용하여 계산된 식의 기울기를 평균소성점도로 가정하였다.

한편, 그림 1은 혼합물을 달린 분체계 재료를 완전 구형으로 가정하였을 때 분체입자를 둘러싸고 있는 가상수막 두께를 나타낸 것으로 D가 작을 경우 입자 사이의 마찰에 의해 유동이 발생하지 않게 되고 D가 너무 크게 되면 과잉수로 인해 자유수로 수분이 빠져나와 재료분리 및 블리딩 현상을 발생하게 된다. 그러므로 마찰이 없어져 유동을 시작하는 최소한의 수막이 형성되어야 하며, 가상수막두께를 산정하기 위한 제안된 계산식은 다음과 같다.<sup>3)</sup>

$$D = \frac{3}{a\rho} \left( \sqrt[3]{\frac{W}{C} \rho + 1} - 1 \right)$$

a : 비표면적  
ρ : 밀도

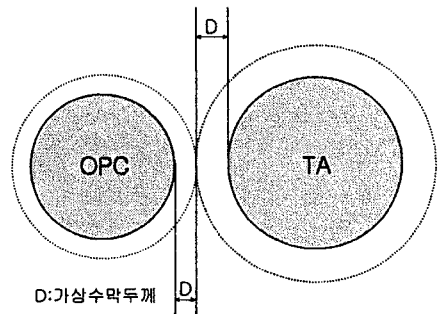


그림 1 가상수막이론

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 TA혼합률에 따른 구속수비 및 변형계수

TA혼합률 변화에 따른 Vw/Vp와 상대플로우 면적비와의 관계를 나타낸 것이 그림 2이다. TA혼합률에 따라 상대플로우 면적비와 Vw/Vp의 관계는 선형 관계이며, 상대플로우 면적비가 0이 되는 Vw/Vp를 회귀분석을 통하여 구한 직선의 y절편 값인 구속수비는 TA혼합률 0, 10, 20 및 30%에 대하여 각각 0.987, 0.968, 0.933 및 0.922로 측정되었으며, 기울기에 해당하는 변형계수는 0.093, 0.087, 0.081 및 0.072로 측정되어 TA혼합률이 증가함에 따라 구속수비 및 변형계수는 비례적으로 감소하는 것으로 나타났다.

구속수비 및 변형계수는 분체계 SCC의 유동성 및 점성 등에 영향을 미치는 분체의 특성으로서, TA혼합률이 증가함에 따라 구속수비 및 변형계수가 감소하는 것은 TA의 분말도가 낮아 결합재에 흡수되는 구속수량이 작기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 TA혼합률에 따른 가상수막두께 및 평균소성점도

TA혼합률에 따른 가상수막두께 및 빙함식(Bingham equation)을 적용하여 얻은 평균소성점도를 나타낸 것이 표 3이다.

TA혼합률이 증가함에 따라 가상수막두께는 증가하는 경향이 나타났으며,  $V_w/V_p$ 가 증가함에 따라 물량의 증가로 인해 역시 증가하는 경향이 나타났다. 반면, 평균소성점도는 TA혼합률 및  $V_w/V_p$ 의 증가에 따라 점차 감소하는 경향이 나타났다. TA혼합률 증가에 따른 혼합 페이스트의 가상수막두께 증가는 동일한  $V_w/V_p$ 에서 상대플로우 면적비의 증가와 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 평균소성점도의 감소는 구속수비의 감소와 동일하게 나타남을 알 수 있다. 또한, 항복응력은 TA혼합률 및  $V_w/V_p$ 에 관계없이 모든배합에서 유사한 결과값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

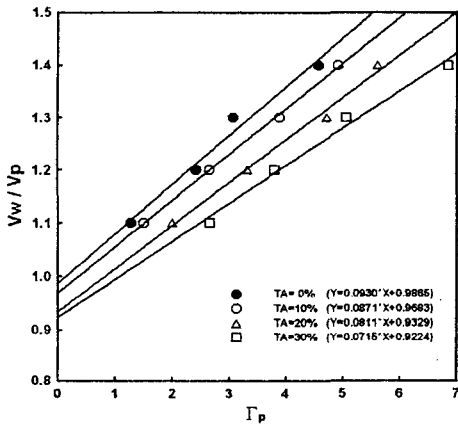


그림 2 TA 혼합 페이스트의 구속수비

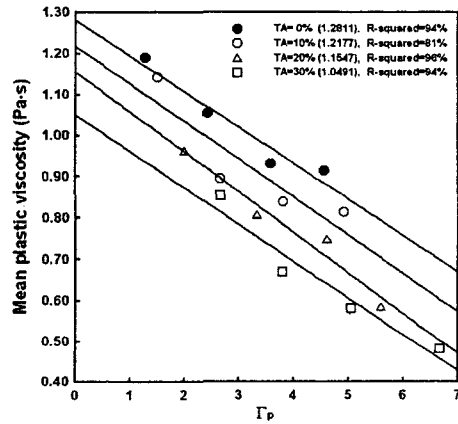


그림 3 상대플로우 면적비에 따른 평균점도

표 2 TA 혼합 페이스트 배합표

TA/(OPC+TA) (%)	$V_w/V_p$	W/C (%)	W/TA (%)	W/P (%)	W (g)	OPC (g)	TA (g)
0	1.1	35	0	35	244	700	0
	1.2	38	0	38	267	700	0
	1.3	41	0	41	289	700	0
	1.4	44	0	44	311	700	0
10	1.1	39	424	36	244	630	58
	1.2	42	462	39	267	630	58
	1.3	46	501	42	289	630	58
	1.4	49	539	45	311	630	58
20	1.1	44	212	36	244	560	116
	1.2	48	231	39	267	560	116
	1.3	52	250	43	289	560	116
	1.4	56	269	46	311	560	116
30	1.1	50	141	37	244	490	173
	1.2	54	154	40	267	490	173
	1.3	59	167	44	289	490	173
	1.4	63	180	47	311	490	173

표 3 TA 혼합 가상 수막두께 및 평균 점도

TA/(OPC+TA) (%)	Vw/Vp	Thickness of pseudo water film D ( $\mu\text{m}$ )	Yield stress (Pa)	Mean plastic viscosity (Pa · s)
0	1.1	0.756	1.647	1.190
	1.2	0.807	0.355	1.054
	1.3	0.857	1.016	0.930
	1.4	0.905	0.088	0.913
10	1.1	1.392	0.605	1.142
	1.2	1.474	1.084	0.895
	1.3	1.565	0.580	0.839
	1.4	1.640	0.143	0.713
20	1.1	1.525	0.181	0.962
	1.2	1.624	0.702	0.807
	1.3	1.716	0.232	0.747
	1.4	1.806	1.294	0.584
30	1.1	1.679	0.219	0.853
	1.2	1.780	0.467	0.669
	1.3	1.889	0.421	0.581
	1.4	1.982	0.844	0.481

이러한 결과를 통하여, 분체계 SCC 제조시 혼합분체의 유동성 및 점성을 점도계와 같은 특별한 장치를 사용하지 않고 간단한 구속수비 측정을 통해 혼합분체의 특성을 파악하는 것이 가능할 것으로 판단되며, 분체계 SCC의 slump flow, slump flow 50cm 도달시간 및 V-Lot 등의 성능평가를 만족시키기 위한 배합조정 방안으로 제시될 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 그림 3는 상대플로우 면적비에 따른 평균소성점도와의 관계를 나타낸 것으로, 상관성이 평균 90%이상으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결론

- (1) TA혼합률이 0, 10, 20 및 30%로 증가함에 따라 구속수비 및 변형계수는 비례적으로 감소하는 경향을 나타내었다.
- (2) TA혼합률 및 Vw/Vp가 증가함에 따라 가상수막두께는 증가하는 현상을 나타내었으며, 평균소성점도는 감소하는 경향을 나타내었다.
- (3) TA혼합률 증가에 따른 구속수비 및 변형계수가 가상수막두께 및 평균소성점도와 상관관계 갖고 있어 분체계 SCC 제조시 성능평가를 만족시키기 위한 배합조정의 방안으로 제시될 수 있을 것으로 판단되었다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. M. Lachemi, K.M.A. Hossain, V. Lambros, P.C. Nkinamubanzi and N. Bouzoubaa, "Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures," Cement and Concrete Research, 2003. 10.
2. 松岡康訓, "超流動コンクリート," 콘크리트工学年次論文報告集, Vol. 31, No.3, 1993. pp. 79~82.
3. 宮野和樹, 梶田佳寛, 中村成春 "セメントペーストのレオロジー特性に及ぼす調合要因の影響," 콘크리트工学年次論文報告集, vol.22, No.2, 2000, pp.355~361.