

# 폐콘크리트 분말의 혼합비에 따른 자기충전 콘크리트의 특성에 관한 연구

## A Study on the Properties of Self-Compacting Concrete according to mixing ratio of Waste Concrete Powder

최연왕\*                      문대중\*\*                      김성수\*\*\*                      최세진\*\*\*                      이성연\*\*\*  
Choi, Yun Wang      Moon, Dae Joong      Kim, Sung Su      Choi, Se Jin      Lee, Seong Yeun

### ABSTRACT

Waste concrete powder(WCP) is a secondary by-product generated while processing waste concrete manufactured to coarse and fine aggregates for concrete. In order to assess the possibility of using WCP as admixture for self-compacting concrete, self-compactability, compressive strength and durability of self-compacting concrete containing waste concrete powder were investigated.

Experimental results of this study appeared that in case of SCC mixed with WCP only, self-compactability and compressive strength decreased with increasing mixing ratio of WCP. When Blast-furnace slag(BFS) was added to SCC, self-compactability and compressive strength for a unit amount of cement increased. Also, SCC containing 15% BFS and 15%, 30% and 45% WCP, the dry shrinkage and carbonation depth appeared a tendency to decrease with increasing mixing ratio.

### 1. 서론

콘크리트 구조물의 해체시 발행하는 폐콘크리트는 건설폐기물 발생량의 약 64% 정도를 차지하고 있으며, 그 발생량은 2003년을 기준으로 일일 약 92,639톤 정도로 5년 전인 1998년과 비교하면 3배 이상 증가한 수치이다.<sup>1)</sup> 폐콘크리트 분말은 이러한 폐콘크리트를 콘크리트용 골재로 제조하는 과정에서 발생되는 2차 산업부산물로 시멘트 원료 및 고유동 콘크리트의 혼화재로 활용할 수 있는 고부가가치 재료로 일본의 경우 고유동 콘크리트의 충전재, 기반개량재 및 환경소재 등으로 재활용된 연구성과 및 적용실적이 보고되고 있다.<sup>2)</sup> 그러나 국내의 경우 폐콘크리트를 재활용한 재생골재에 대한 연구 및 적용실적은 상당히 많이 진행되었지만 폐콘크리트 분말에 대한 연구 및 활용기술은 찾아보기 어려운 실정이다.

본 연구에서는 건설폐기물에서 발생하는 폐콘크리트 분말을 자기충전 콘크리트(이하 SCC라 약함)용 혼화재료로의 사용 가능성을 알아보기 위한 연구의 일환으로 폐콘크리트 분말 혼합시 SCC의 자기충전성 및 압축강도에 미치는 영향을 검토하였으며, SCC의 자기충전성을 개선하기 위하여 고로슬래그 미분말을 사용한 SCC의 특성에 대하여 고찰하였다.

### 2. 실험계획

#### 2.1. 사용재료

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC라 약함)를 사용하였고, 분체계 결합재로 폐콘크리트 분말(이하 WCP라 약함) 및 고로슬래그 미분말(이하 BFS라 약함)을 사용하였으며, 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다. 또한, 굵은골재는 최대치수 20mm인 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 예

\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, (주) 넥트

\*\*\* 정회원, (주)삼표 기술연구소

천산 강모래를 사용하였다.

표 1 시멘트 및 분체계 결합재의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Insol. (%)	L.O.I (%)	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
OPC	61.40	21.60	6.00	3.40	3.10	2.50	0.21	0.03	3,539	3.15
WCP	11.82	58.55	10.35	1.52	4.64	0.44	-	7.43	1,360	2.49
BFS	44.12	32.30	14.80	5.50	0.40	1.00	0.62	0.54	4,580	2.88

## 2.2 콘크리트 배합

예비배합을 통하여 분체계 SCC의 성능평가를 만족하는 기준배합(PF=1.14, S/a=53%, W/C=38%)을 결정하였으며, WCP의 혼합률은 OPC에 대하여 부피비 4수준(0, 15, 30 및 45%)으로 변화시켜 굳지 않은 SCC의 자기충진성 및 경화한 SCC의 압축강도 특성에 대하여 검토하였다. 또한, WCP를 혼합한 SCC의 유동성 및 충전성과 같은 자기충진성을 개선하기 위하여 BFS를 OPC에 대한 부피비로 각각 15%씩 혼합한 SCC의 특성을 검토하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 WCP 혼합 SCC의 자기충진성

WCP 혼합물에 따른 SCC의 유동성, 재료분리 저항성 및 충전성 측정 결과를 정리한 것이 그림 1, 2 및 3이다. 유동성 측정 결과 WCP 혼합률이 15%씩 증가함에 따라 Slump-flow는 비례적으로 감소하였으며, WCP를 15% 혼합한 경우 목표성능을 만족하였지만 30 및 45%로 혼합한 경우 목표성능을 만족하지 못하였다.

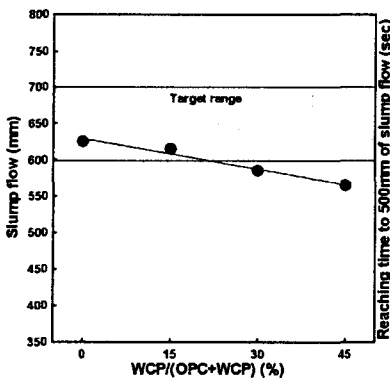


그림 1 WCP 혼합 SCC의 유동성

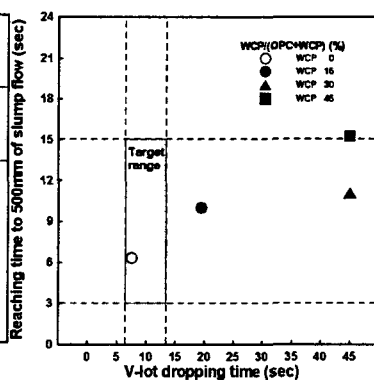


그림 2 WCP 혼합 SCC의 재료분리 저항성

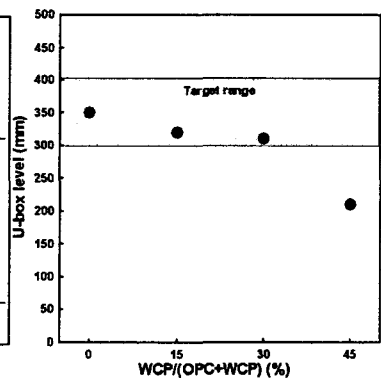


그림 3 WCP 혼합 SCC의 충전성

재료분리 저항성의 경우 Slump-flow 500mm 도달시간은 WCP 45% 혼합을 제외한 15 및 30% 혼합시 목표성능을 만족하였으나 V-lot 유하시간의 경우에는 WCP를 혼합한 모든 배합에서 목표성능을 만족하지 못하였다. 또한, 충전성 측정 결과 WCP 15 및 30% 혼합시 목표성능을 만족하였으나 45% 혼합시 충전높이는 OPC만을 사용한 것에 비하여 40%정도 감소하여 목표성능을 만족하지 못하였다.

### 3.2 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 자기충진성

WCP를 혼합한 SCC의 자기충진성을 향상시키기 위하여 WCP 15, 30 및 45%에 BFS를 15%씩 혼합한 SCC의 유동성, 재료분리 저항성 및 충전성 측정 결과를 정리한 것이 그림 4, 5 및 6이다.

BFS를 15% 혼합한 SCC의 유동성 측정 결과 OPC만을 사용한 것에 비하여 Slump-flow는 감소하

였으나 모든 배합에서 목표성능을 만족하였으며, 재료분리 저항성의 경우 Slump-flow 500mm 도달시간은 목표성능을 모두 만족하였으나 V-lot 유하시간의 경우 WCP 및 BFS를 45% 및 15% 혼합한 배합에서는 목표성능을 만족하지 못하였다. 또한, 충전성의 경우 OPC만을 사용한 SCC의 U-box 충전높이는 350mm를 나타내었고, WCP 및 BFS를 혼합함에 따라 충전높이는 감소하였으나 모든 배합에서 목표성능을 만족하는 좋은 결과를 나타냈다.

이상의 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 자기충전성을 검토한 결과 WCP만을 혼합한 것에 비하여 SCC의 자기충전성이 향상되어 유동성 및 충전성은 모든 배합에서 목표성능을 만족하였으나 WCP 및 BFS를 45 및 15%로 혼합한 V-lot 유하시간은 목표성능을 다소 초과하는 결과를 얻었다.

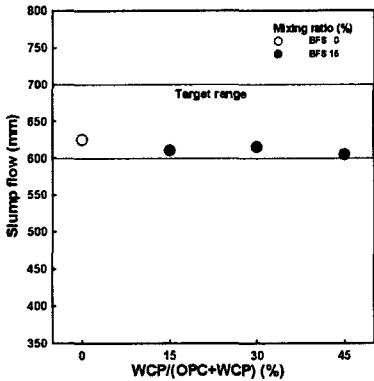


그림 4 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 유동성

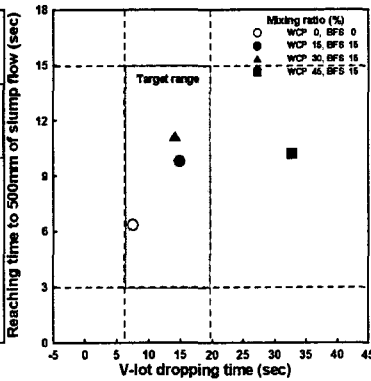


그림 5 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 재료분리 저항성

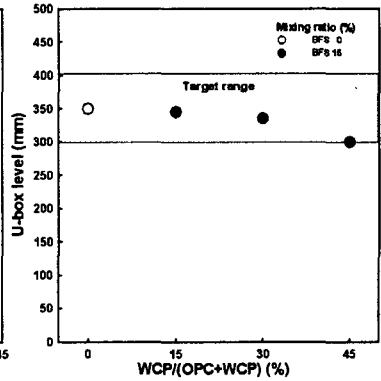


그림 6 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 충전성

### 3.3 WCP 혼합 SCC의 압축강도

WCP 혼합 경화한 SCC의 재령별 압축강도를 정리한 것이 그림 7이다. 그림 7의 결과 WCP를 혼합하지 않은 SCC의 재령 3, 7 및 28일 압축강도는 각각 27, 35 및 40MPa를 나타내었으며, WCP의 혼합률이 증가함에 따라 재령별 압축강도는 선형적으로 감소하는 경향을 나타내었다. WCP를 15% 혼합한 SCC의 재령 28일 압축강도는 36MPa로 OPC만을 사용한 것에 비하여 약 10%정도 압축강도 감소가 있었으며, 45%를 혼합한 경우는 약 45% 정도의 압축강도 감소를 나타내었다. 이러한 재령별 압축강도의 결과를 통하여 WCP 중의 미수화 OPC에 의한 2차 수화반응이 나타나고 있지 않아 WCP는 무반응성 분체임을 확인할 수 있었다. 따라서, WCP의 혼합률이 증가함에 따라 비례적으로 압축강도가 감소하는 현상을 이용하여 WCP를 SCC의 강도조절용 혼화재료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

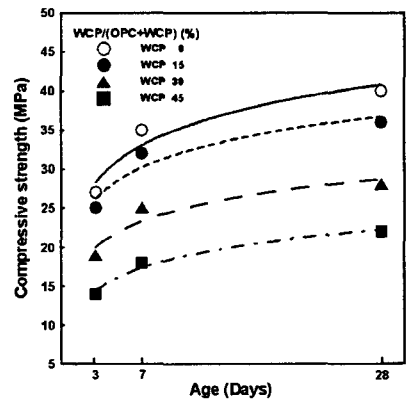


그림 7 WCP 혼합 SCC의 압축강도

### 3.4 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 압축강도

WCP 및 BFS를 혼합한 SCC의 재령별 압축강도를 정리한 것이 그림 8이다. 그림 8의 결과 OPC만을 사용한 SCC의 재령 28일 압축강도 40MPa에 비하여 WCP 및 BFS를 15%씩 혼합한 재령 28일 압축강도는 32MPa로 약 20%의 강도감소가 나타났으며, WCP를 30 및 45% 혼합한 SCC에 BFS를 15%씩 혼합한 재령 28일 압축강도는 각각 23 및 18MPa의 강도발현을 나타내었다. WCP 및 BFS를 45 및 15%로 혼합한 SCC의 압축강도가 18MPa로 OPC만을 사용한 것에 비해 45%밖에 강도발현이 되지 않은 것은 무반응성 분체로 판단되는 WCP 혼합에 BFS를 추가적으로 혼합하여 단위시멘트량이 감소하였기 때문으로 판단된다.

그러나 WCP 만을 혼합한 동일한 단위시멘트량에 대하여 비교하면 WCP 및 BFS를 15%씩 혼합한 SCC의 재령 28일 압축강도는 WCP만을 30% 사용한 것에 비하여 약 15%정도 크게 나타났다. 이러한 원인은 BFS의 잠재수경성에 의해 수산화칼슘이 소비되고 칼슘실리케이트 수화생성물이 생성되었기 때문으로 판단된다.<sup>3)</sup>

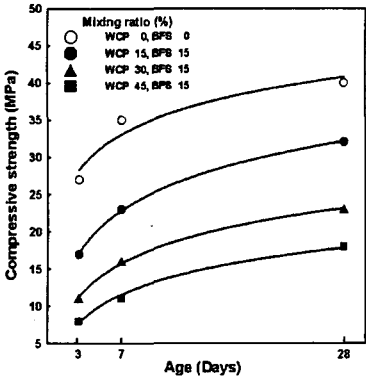


그림 8 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 압축강도

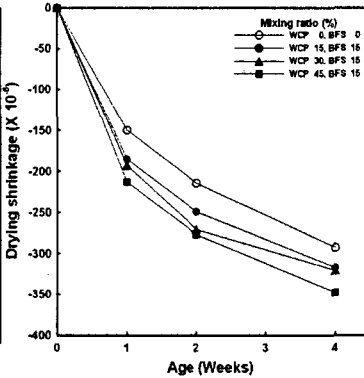


그림 9 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 건조수축

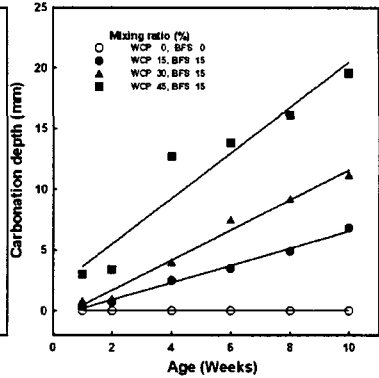


그림 10 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 탄산화 깊이

### 3.5 WCP 및 BFS 혼합 SCC의 내구 특성

WCP 및 BFS를 혼합한 SCC의 건조수축 및 탄산화 깊이 측정 결과를 나타낸 것이 그림 9 및 10이다. OPC만을 사용한 재령 4주의 건조수축률은  $29.3 \times 10^{-5}$ 을 나타내었으나 WCP 15, 30 및 45%에 BFS를 15%씩 혼합함에 따라 건조수축률은 증가하였으며, WCP 및 BFS를 45 및 15% 혼합한 경우  $34.8 \times 10^{-5}$ 으로 OPC만을 사용한 것에 비하여 약 19%정도 증가하였다. 또한, 탄산화 깊이의 경우 OPC만을 사용한 SCC의 탄산화 깊이는 재령 10주까지는 진행되지 않았으나 WCP 및 BFS를 혼합한 SCC의 탄산화 깊이는 WCP의 혼합률이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.

이러한 원인은 WCP 및 BFS를 혼합함에 따라 단위시멘트량이 감소하여 콘크리트 내부조직을 시멘트수화물이 밀실하게 채워주지 못했기 때문으로 판단되며, 탄산화에 대한 장기적인 검토 및 대책이 필요할 것으로 판단된다.

## 4. 결론

- (1) WCP를 혼합한 SCC의 자기충전성은 혼합률이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, BFS를 혼합함에 따라 WCP만을 혼합한 SCC의 자기충전성에 비하여 자기충전성이 향상되어 WCP 15 및 30%에 BFS를 15%씩 혼합한 SCC의 경우 모든 목표성능을 만족하였다.
- (2) WCP 및 BFS를 혼합함에 따라 재령별 압축강도는 OPC만을 사용한 것에 비하여 감소하였으나 WCP만을 혼합한 동일단위시멘트량에 대하여 비교하면 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다.
- (3) WCP 및 BFS 혼합 SCC의 건조수축률 및 탄산화 깊이는 혼합률이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈으며, OPC만을 사용한 재령 10주의 탄산화 깊이에 비하여 WCP 및 BFS를 45 및 15% 혼합한 경우 약 42%까지 증가하였다.

### 참고문헌

1. 환경부, "전국 폐기물 발생 및 처리현황," 환경부, 폐기물통계, 2004.
2. 横山 滋, "セメント原料への利用," 콘크리트工学, Vol.35, No.7, 1997, pp.49~52.
3. P. K. Mehta, J. M. Paulo Monteriro "Concrete structure, Properties, and Materials," Prentice Hall, 1993, pp.36~41.