

# 폐콘크리트 분말의 분말도가 모르타르의 품질특성에 미치는 영향

## The Effect on the Quality Properties of Mortar by Surface Area of Waste Concrete Powder

최연왕\*      문대중\*\*      김성수\*\*\*      정재권\*\*\*      김용직\*\*\*\*  
Choi, Yun Wang   Moon, Dae Joong   Kim, Sung Su   Jung, Jae Gun   Kim, Yong Jic

### ABSTRACT

Waste concrete powder(WCP) has been estimated with a great value-added material as by-product of waste concrete manufactured to fine and coarse aggregate for concrete, because it is able to utilized for cement clinker and concrete admixture. Experimental tests were performed as such plastic viscosity of paste, flow and compressive strength of mortar by surface area of WCP.

As a result, flow and 28days compressive strength of mortar was decreased according to increased replacement ratio of WCP as compared to control mortar. Also, plastic viscosity of paste used WCP1 and WCP2 was decreased with increasing replacement ratio, but WCP3 was increased with increasing replacement ratio.

### 1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 노후화 및 주위환경의 개선에 대한 필요성이 증대됨에 따라 재건축 및 재개발 사업이 활발히 진행되어 이에 따른 건설폐기물 발생량이 매년 지속적으로 증가되고 있다.

건설폐기물 중에서 폐콘크리트가 차지하는 양은 약 70% 정도이며, 이러한 폐콘크리트는 파쇄, 분리, 여과 등의 공정을 거쳐 주로 성토나 매립용 재료로 90%이상 사용되고 있으나, 2005년 1월 “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”이 시행됨에 따라 고부가가치의 콘크리트용 골재로 재활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.

그러나, 고품질의 콘크리트용 재생골재를 생산하기 위해서는 파쇄과정이 여러번인 고도의 처리과정이 수반됨에 따라 필연적으로 폐콘크리트 분말의 발생량이 크게 증가될 것으로 판단되지만, 이러한 폐콘크리트 분말은 현재 대부분 단순 매립되거나, 습식파쇄시 하수관으로 방류되어 환경오염의 원인이 되고 있어 폐콘크리트 분말을 재활용 하기 위한 연구가 시급히 요구되고 있다.

폐콘크리트 분말은 시멘트 원료 및 고유동 콘크리트의 혼화재로 다양하게 활용<sup>1,4)</sup>할 수 있는 고부가가치 재료로 평가되고 있지만, 이에 대한 연구 및 처리기술은 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 폐콘크리트를 파쇄하여 재생골재로 생산시 발생하는 건설부산물인 폐콘크리트 분말을 콘크리트용 혼화재료로 활용하기 위한 기초적 연구의 일환으로 분말도에 따른 3종류의 폐콘크리트 분말이 페이스트의 레올로지에 미치는 특성과 모르타르의 유동성 및 강도특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

\*\* 정회원, (주) 넥트 기술이사

\*\*\* 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1. 사용재료

시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였고, 혼화제는 동일한 화학성분을 갖으며, 분말도가 상이한 3종류의 페콘크리트 분말(이하 WCP로 약함)을 사용하였다. OPC 및 WCP의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같으며, 잔골재는 밀도가 2.60 g/cm<sup>3</sup>인 주문진산 표준사(이하 SS로 약함)를 사용하였다.

표 1 OPC 및 WCP의 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>2</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	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	0.26	0.26	0.21	0.03	3,539	3.15
WCP1											1,362	2.49
WCP2	24.63	7.09	2.26	1.16	1.32	1.09	0.09	0.10	44.58	17.43	3,162	2.50
WCP3											5,214	2.51

### 2.2. 비합

WCP 혼합 모르타르의 배합은 분말도가 1,362 cm<sup>2</sup>/g인 WCP1을 볼밀로 분쇄하여, 3,162 및 5,214 cm<sup>2</sup>/g의 분말도를 갖는 WCP2 및 WCP3를 제조하였으며, W/C비가 50%인 기준 모르타르에 분말도가 서로 다른 3종류의 WCP를 OPC에 대한 중량비로 각각 4수준(0, 15, 30 및 45%)으로 혼합하여 배합을 실시하였다. 또한, 페이스트의 배합은 모르타르와 동일한 조건하에서 OPC 부피에 대하여 각각 4수준(0, 15, 30 및 45%)으로 혼합하여 실시하였다.

### 2.3. 실험방법

시멘트 모르타르의 플로우 및 압축강도 시험은 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법(KS L 5105)에 준하여 실시하였고, 압축강도의 측정은 공시체를 제작하여 24시간 후 탈형 및 표준양생(20±3℃)하여 재령별(3, 7 및 28일)로 측정하였다.

시멘트 페이스트의 소성점도 측정을 위하여 소정의 시멘트 및 WCP를 1000ml 용기에 넣은 뒤 서로 잘 섞이도록 약 30초 동안 건비빔을 하여, 혼합수를 넣고 고속으로 일정하게 2분간 믹싱한다. 믹싱이 끝나면 측정용기에 넣고, 불안정한 시료가 일정 수준의 평형 상태에 도달되도록 약 30초 동안 정지시간을 둔 뒤 측정을 시작한다.

소성점도의 시험은 각각의 WCP를 혼합한 배합에 대하여 실린더형 스피들을 사용한 Brookfield viscometer(Model LVDV II+)를 이용하여, Shear rate의 변화에 따른 Shear stress의 변화량을 측정하였으며, Shear rate는 100, 60, 50, 30, 20, 12 및 5rpm의 하강계단식으로 측정하였다.<sup>2)</sup> 이때, 시료의 침지를 방지하기 위하여 측정시간 간격은 10초로 정하여 측정하였고, 시료와 스피들의 접촉면 및 크기를 고려한 계수(0.29)를 적용하여 계산된 식의 기울기를 소성점도로 가정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 WCP 활용 시멘트 페이스트의 소성점도

WCP를 OPC 부피에 대하여 각각 0, 15, 30 및 45%로 혼합하여 제조한 시멘트 페이스트의 소성점도 측정결과를 나타낸 것이 그림 1, 2 및 3이다. 그림 1 및 2에서 WCP1 및 WCP2의 혼합률이 증가함에 따라 시멘트 페이스트의 소성점도는 OPC만을 사용한 기준 페이스트에 비하여 비례적으로 감소하는 경향을 보였으며, WCP1 및 WCP2를 45%로 혼합 할 경우 최대 39.1% 및 28.3%씩 감소하였다.

WCP2를 사용한 시멘트 페이스트의 소성점도는 OPC만을 사용한 것에 비해 감소하지만 WCP1을 사용한 페이스트의 소성점도 보다 그 감소 폭이 적어진 것을 알 수 있다. 이는 OPC의 분말도와 비교할 때 WCP2의 분말도가 WCP1보다 2배 이상 큰 분말도를 가지고 있어 WCP1에 비해 상대적인 미립

분의 양이 많기 때문으로 판단된다. 또한, 그림 3의 경우는 WCP3의 혼합률 15, 30 및 45%로 증가함에 따라 OPC만을 사용한 기준 페이스트보다 8.4, 11.1 및 14.5%씩 소성점도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 OPC보다 상대적으로 큰 분말도를 가진 WCP3의 미립분 증가로 인하여 소성점도가 증가한 것으로 판단된다.

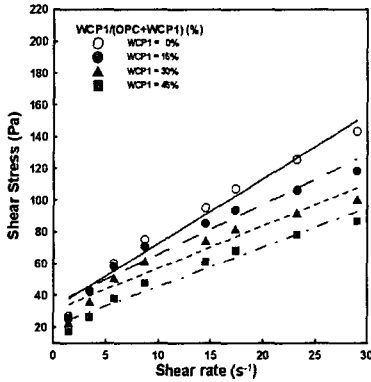


그림 1 WCP1 혼합률에 따른 소성점도

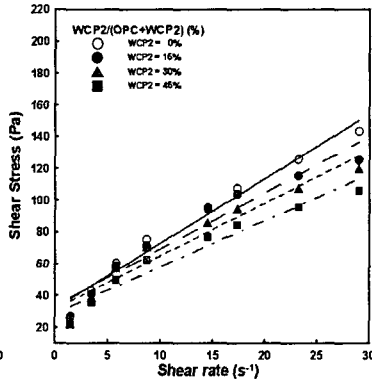


그림 2 WCP2 혼합률에 따른 소성점도

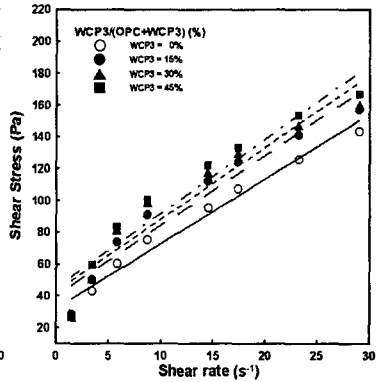


그림 3 WCP3 혼합률에 따른 소성점도

콘크리트 배합의 충전성에 있어서 점도는 중요한 요인으로 작용하며, 점도가 낮을 경우에는 굵은 골재와 모르타르 사이의 재료분리 및 굵은 골재 맞물림에 의한 간극의 폐쇄가 일어나며, 점도가 너무 커도 간극 폐쇄가 일어난다. 이러한 간극 폐쇄는 콘크리트 배합에 있어서 충전성 및 충전속도를 저하시키기 때문에 굵은 골재와 모르타르의 재료분리 및 간극 폐쇄 현상이 일어나지 않도록 페콘크리트 분말을 콘크리트용 혼화재로 사용할 경우 적절한 혼합률 및 분말도의 조절이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2 WCP 활용 시멘트 모르타르의 성질

#### 3.2.1 유동특성

3종류의 WCP를 OPC 중량에 대하여 4수준(0, 15, 30 및 45%)으로 혼합 제조한 시멘트 모르타르의 플로우 값 측정결과를 나타낸 것이 그림 4이다.

그림에서 분말도 및 WCP를 혼합률에 따라 시멘트 모르타르의 플로우 값은 OPC만을 사용한 기준 모르타르에 비하여 WCP1은 평균 약 19%, WCP2는 약 13%, WCP3는 약 10%씩 감소하는 경향을 보였으며, WCP1을 45%로 혼합한 경우에는 기준 모르타르에 비해 약 29%정도의 플로우 감소가 나타났다. 이러한 원인은 WCP 분말 자체가 미세공극이 많은 다공성 재료로 되어 있기 때문에 분말 자체가 혼합수를 흡착하여 플로우 값이 비례적으로 감소한 것으로 판단된다.<sup>3)</sup>

또한, WCP1, WCP2 및 WCP3의 혼합시 모두 플로우는 감소하지만, 분말도가 높은 WCP는 분말도가 낮은 WCP보다 상대적인 플로우 감소량이 더 작은 것을 알 수 있다. 이는 WCP3의 경우 WCP1 및 WCP2에 비하여 분말도가 높기 때문에 미세 미립분에 의한 모르타르 점성 확보가 다른 두 경우보다 상대적으로 더 좋기 때문으로 판단된다.

따라서, WCP를 콘크리트용 혼화재로 혼합할 경우 OPC만을 사용한 콘크리트와 동일한 위커빌리티 및 콘시스턴시를 얻기 위해서는 적절한 유동화제의 조절이 필요할 것으로 판단된다.

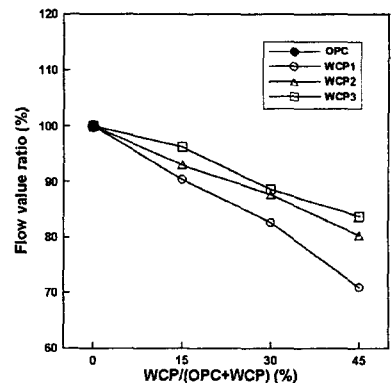


그림 4 WCP 혼합률에 따른 플로우

### 3.2.2 강도특성

분말도가 상이한 3종류의 WCP 혼합물에 따른 재령 28일 압축강도 측정 결과를 OPC만을 사용한 기준 모르타르의 압축강도(39MPa)에 대하여 정리한 것이 그림 5이다. 그림에서 기준 모르타르의 압축강도에 비해 WCP1, WCP2 및 WCP3를 혼합한 압축강도는 점차 감소하는 경향을 보이고 있으며, 각각의 WCP에 대한 혼합률(15, 30 및 45%) 증가에 따른 재령 28일 압축강도는 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한, 분말도에 따른 WCP의 상대적인 압축강도는, 기준 모르타르의 압축강도에 비하여 평균 WCP1, WCP2 및 WCP3의 압축강도 감소율은 44.8%, 42.7% 및 38.2%로 분말도가 증가함에 따라서 압축강도 감소율이 적게 나타났다.

이러한 WCP 분말도에 따른 압축강도의 차이는 분말도가 높은 WCP가 시멘트 모르타르 내부의 채움재로써 미세공극을 채워주는 역할을 했기 때문으로 판단되며<sup>5)</sup>, WCP 혼합률 증가에 따른 압축강도의 감소 원인은 WCP의 혼합률 증가에 따른 W/C비 감소 영향으로 판단됨에 따라 WCP는 내부의 미수화 생성물에 의한 활성반응이 없는 무반응성의 분체로 판단된다.

따라서, WCP를 콘크리트용 혼화재로써의 활용은 고강도 콘크리트보다 중간강도용 콘크리트에 적용하여, 강도 조절용 혼화재로 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

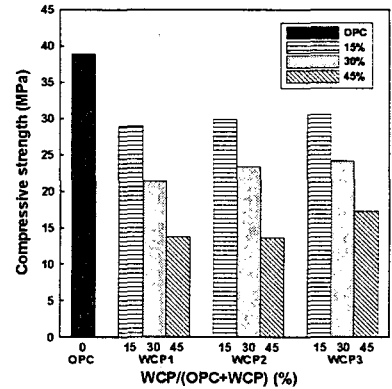


그림 5 WCP 혼합률에 따른 압축강도

### 4. 결론

- (1) WCP 혼합 시멘트 페이스트의 소성점도는 WCP1 및 WCP2를 혼합한 경우 혼합률이 증가함에 따라 감소하여 45%로 혼합한 경우 39.1% 및 28.3%정도 감소하였으며, WCP3의 경우 혼합률이 증가함에 따라 증가되어 45%로 혼합한 경우 14.5%정도 소성점도가 증가하였다.
- (2) WCP 혼합 시멘트 모르타르의 플로우 값은 WCP의 혼합률 및 분말도가 증가함에 따라 비례적으로 감소하였으며, WCP1의 혼합률 45% 경우 OPC만을 사용한 기준 모르타르에 비하여 최대 39%정도 감소하였다.
- (3) WCP 혼합 시멘트 모르타르의 재령 28일 압축강도는 WCP의 혼합률이 증가함에 따라 감소하여 기준 모르타르에 비하여 WCP1, WCP2 및 WCP3의 경우 평균 44.8%, 42.7% 및 38.2%로 감소하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 2004년 지역혁신 특성화 시범사업 「환경친화적 에너지 및 Eco 소재개발·활용시스템 혁신 특성화 시범사업」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 横山 滋, “セメント原料への利用”, 콘크리트工学, Vol.35, No.7, 1997.7, pp.49-52.
2. 최연광 외 3인, “상동광산 광미를 혼합한 시멘트 페이스트의 레올로지 특성,” 한국 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제 16권 1호, 2004, pp.616-619.
3. 문대중 외 2인, “폐콘크리트 분말 사용 모르타르의 역학적 특성,” 한국지구시스템공학회지, 제 40권 6호, 2003, pp. 438-445.
4. 최연광 외 4인, “폐콘크리트 분말을 활용한 모르타르의 기초물성에 관한 연구.” 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제16권 제1호, 2004, pp.620-623.
5. 안성일, 고강도 경량 자기충전콘크리트의 콘크리트의 특성에 관한 연구, 세명대학교 토목공학과 석사논문, 2004.