

# 건설용 재료로서 폐콘크리트 미분말의 활용성 연구

## A study on the application of waste concrete powder as a material for construction

(Received November 29, 2012 / Revised December 7, 2012 / Accepted December 10, 2012)

김용직<sup>1)\*</sup>, 최연왕<sup>2)</sup>, 김상철<sup>3)</sup>, 김영진<sup>4)</sup>

(주)대우건설 기술연구원, 토목연구팀<sup>1)</sup>, 세명대학교 토목공학과<sup>2)</sup>

한서대학교 토목공학과<sup>3)</sup>, (주)대우건설 기술연구원<sup>4)</sup>

Yong-Jic Kim<sup>1)</sup>, Yun-Wang Choi<sup>2)</sup>, Sang-Chel Kim<sup>3)</sup>, Young-Jin Kim<sup>4)</sup>

Daewoo E&C, Civil Engineering Research Team, Gyeonggi, 440-800, Korea<sup>1)</sup>

Semyung University, Department of Civil Engineering, Chungbuk, 390-711, Korea<sup>2)</sup>

Hanseu University, Department of Civil Engineering, Chungnam, 356-706, Korea<sup>3)</sup>

Daewoo E&C, Institute of Construction Technology, Gyeonggi, 440-800, Korea<sup>4)</sup>

### Abstract

This study is conducted to utilize waste concrete powder made as a by-product manufacturing high quality recycled aggregate. The blaine fineness of the used waste concrete powder was 928 and 1,360cm<sup>2</sup>/g. As the main characteristic of waste concrete powder, it showed an angular type similar to cement, but hydrated products were attached on the surface of particles. In addition, the size of the particles of waste concrete powder was larger than OPC and in terms of chemical components it had higher SiO<sub>2</sub> contents. The viscosity of the paste that mixed waste concrete powder decreased by 62% at the most, compared to the paste that only used OPC, and the final set time was delayed about two hours. As composition rates of waste concrete powder increased, the flow value decreased by 30% at the most according to the comparison with mortar that only used OPC, and sorptivity coefficients increased by 70%. The compressive strength of mortar decreased by 73% at the most as composition rates of waste concrete powder increased. According to the test results, it is desirable to use waste concrete powder by combining OPC appropriately (below 15%).

**키워드** : 폐콘크리트 미분말, 재생골재, 분말도, 흡수계수, 점도

**Keywords** : Recycled aggregate, Waste concrete powder, blaine fineness, sorptivity coefficients, Viscosity

### 1. 연구의 목적

전 세계적으로 급속한 산업발전과 더불어 건설된 콘크리트 구조물들은 점차 노후화되어가고 있으며, 경제성장 및 국민들의 생활수준 향상에 따른 주거 및 주위환경의 개선에 대한 요구가 증대되고 있다. 따라서 도심개발 및

노후 건축물의 재건축 사업이 급격하게 증가하고 있다. 이러한 노후된 콘크리트 구조물의 해체공사는 소음, 진동 및 분진 등을 유발시켜 도심지의 환경문제를 크게 악화시키고 있다. 또한, 막대한 양의 건설폐기물이 발생되고 있으며, 발생하는 건설폐기물의 처리문제는 사회경제적인 측면에서 큰 문제를 발생시키고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 재활용이 가능한 폐콘크리트에 관한 연구가 진행되고 있지만<sup>1-3)</sup>, 주로 골재로써의 재사용 가능성에 관한 연구가 대부분을 차지하고 있다<sup>4-6)</sup>.

\* Corresponding author

E-mail: yongjic.kim@daewoenc.com

Tel. : 031-250-1169 Fax : 031-250-1148

폐콘크리트로 제조된 재생골재는 천연골재와는 달리 원래의 골재 표면에 모르타르가 부착되어 있다. 이러한 골재 표면에 부착된 모르타르의 양에 따라 재생골재의 품질이 크게 달라지는 특성이 있다. 즉, 재생골재를 분류해 보면 천연골재, 천연골재 표면에 모르타르가 일부 부착된 골재 및 모르타르만의 골재로 분류할 수 있다. 이러한 재생골재는 밀도 및 흡수율의 변동이 크기 때문에 콘크리트용 골재로서 품질을 유지하기가 매우 어렵다. 따라서 재생골재를 사용한 콘크리트는 압축강도 및 동결융해에 대한 내구성이 천연골재를 사용한 콘크리트보다 크게 떨어지는 문제점이 있다. 이러한 문제점으로 인하여 현재 여러 국가에서는 재생골재를 단순히 성토나 매립용 재료로 90% 이상 사용하고 있다.

부가가치가 높은 고품질의 재생골재를 생산하기 위해서는 파쇄 및 처리 과정이 여러 번인 정밀한 제조 기술이 필요하다. 이러한 제조 기술로 생산된 재생골재는 표면에 부착된 모르타르를 최대한 제거할 수 있어 고품질의 재생골재를 생산할 수 있다. 그러나 이러한 제조 기술은 재생골재 자체의 품질을 향상시킬 수 있지만, 제조원가 상승 및 폐콘크리트 미분말의 발생량을 크게 증가시키는 문제점이 있다. 현재로서는 이때 발생하는 폐콘크리트 미분말을 전량 점토와 혼합하여 단순 매립하고 있다. 그러나 최근 들어서 매립지 확보의 어려움과 토양 및 지하수 오염 등과 같은 환경적인 측면이 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 몇몇 연구자들은 폐콘크리트 미분말을 콘크리트용 혼화재료, 지반 개량제 및 담체 등으로 적용하는 연구를 수행하고 있다<sup>7-9)</sup>.

따라서 본 연구에서는 폐콘크리트 미분말을 시멘트 대체 재료로서 사용하기 위하여 폐콘크리트 미분말 자체의 품질을 검토하고 이를 사용한 페이스트 및 모르타르를 제조하여 적용 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

보통포틀랜드 시멘트(OPC) 및 2종류의 폐콘크리트 미분말(WCP)을 사용하였으며, 각각의 밀도는 3.15, 2.48 및 2.49g/cm<sup>3</sup>인 것을 사용하였다. OPC 및 WCP의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다. 또한, 모르타르 제조시 사용한 잔골재는 밀도는 2.60g/cm<sup>3</sup>인 것을 사용하였다.

Table1. Chemical components and physical properties of OPC and WCP

Items	OPC*	WCP1**	WCP2**
SiO <sub>2</sub>	21.95	58.55	58.55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.59	10.35	10.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.81	4.64	4.64
CaO	60.10	11.82	11.82
MgO	3.32	1.52	1.52
SO <sub>3</sub>	2.11	0.44	0.44
Density(g/cm <sup>3</sup> )	3.15	2.48	2.49
Blaine Fineness(cm <sup>2</sup> /g)	3,112	928	1,360

\* OPC : Ordinary portland cement

\*\* WCP : Waste concrete powder

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 폐콘크리트 미분말의 품질

폐콘크리트 미분말의 입도분포는 M 사의 Particle Size Analyzer를 이용하여 분석하였고, 입형은 SEM을 이용하여 검토하였다.

#### 2.2.2 페이스트

폐콘크리트 미분말을 시멘트 대체 재료로 사용하기 위하여 페이스트의 특성을 검토하였다. 폐콘크리트 미분말의 사용량은 OPC 사용량에 대하여 부피비로 계산하여 0, 15, 30 및 45%로 치환하여 혼합하였고, 물/분체비를 0.55로 고정하여 진행하였다. 폐콘크리트 미분말을 혼합한 페이스트의 유동성을 검토하기 위하여 Rheology test를 수행하였다. Rheology test는 실린더형 스펀들을 사용한 Brookfield viscometer를 이용하여 shear rate(s<sup>-1</sup>)의 변화에 따른 shear stress의 변화량을 측정하여 계산하였다. 여기서 shear rate는 Hysteresis loop area에 의한 측정값의 오차를 피하기 위하여 회전속도를 100, 80, 60, 50, 30, 20, 12 및 5rpm의 하강계단식으로 회전속도를 변화시켜 측정하였다. 그리고 시료와 스펀들의 접촉면 및 용기 사이즈를 고려한 계수를 적용하여 산출된 shear stress와 shear rate(s<sup>-1</sup>)의 관계를 선형회귀분석을 하였다. 그리고 페이스트를 빙함유체로 가정하여 점도 및 항복응력을 구하였다. Fig. 1 및 2는 Hysteresis loop area와 빙함유체 모델을 정리한 그림이다<sup>9-10)</sup>. 또한, 폐콘크리트 미분말을 혼합한 페이스트의 초결 및 종결시간을 검토 하였다.

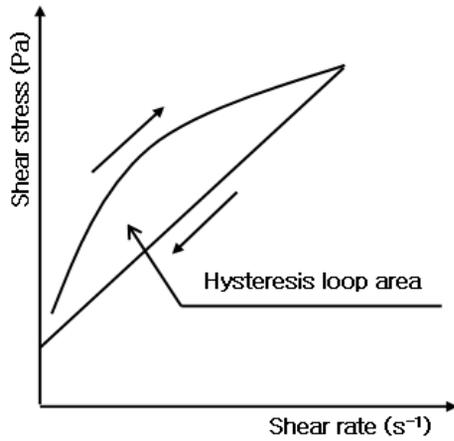


Fig. 1 Hysteresis loop area

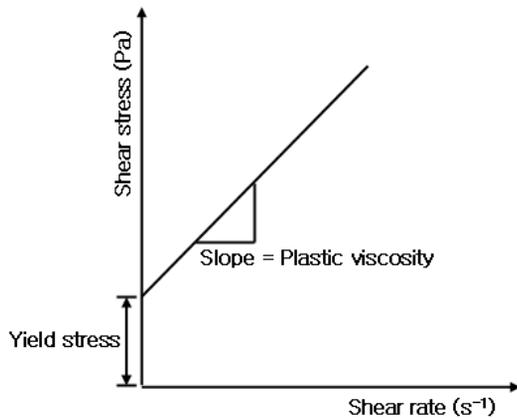


Fig. 2 Grain size distribution

### 2.2.3 모르타르

두 종류의 폐콘크리트 미분말을 사용한 모르타르 시험은 물/분체비 0.55로 고정하였고, OPC부피에 대하여 0, 15, 30 및 45%로 치환하여 유동성, 흡수특성 및 재령별 압축강도 실험을 실시하였다. Table 2는 모르타르 배합을 정리한 것이고, Fig. 3은 모르타르의 흡수특성을 측정하기 위한 실험 방법을 정리한 것이며, 결과는 식(1)에 따라서 정리하였다<sup>11-12)</sup>.

Table 2. Mixture proportions of mortar

Replacement of WCP (%)	W/B* (%)	OPC : WCP : S**
0	55	1.00:0.00:2.45
15	55	0.85:0.15:2.45
30	55	0.70:0.30:2.45
45	55	0.55:0.45:2.45

\* B(Binder) : OPC+WCP

\*\*S : Sand

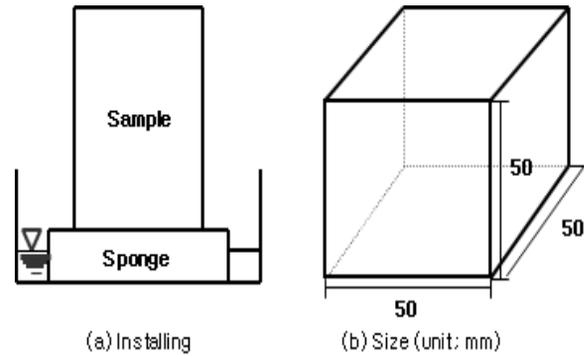


Fig. 3 The measurement of water capillary sorption

$$i = S \times t^{0.5} \quad (1)$$

여기서,

$i$  : 단위면적당 흡수량 ( $g/mm^2$ )

$S$  : 흡수특성

$t$  : 시간 (min.)

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 폐콘크리트 미분말의 특성

Fig. 4는 OPC 및 WCP들의 입도분포 곡선을 나타낸 것이다. Fig. 4의 결과 누적통과 입자량이 50%인 경우의 입자직경은 OPC는  $14\mu m$ , WCP1은  $176\mu m$  및 WCP2는  $90\mu m$ 로 나타났다. 따라서 WCP1 및 WCP2는 OPC와 비교하여 큰 입자 분포로 구성되어 있었다. 이러한 WCP들의 입자크기를 OPC와 비슷한 입자크기로 만들기 위해서는 불밀 등에 의한 추가 분쇄공정이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 5 및 6은 OPC와 WCP의 입자형상을 검토하기 위하여 SEM을 이용하여 측정한 것이다. Fig. 5의 결과 OPC는 각진 형태를 보이고 있었다. Fig. 6의 WCP는 OPC와 유사하게 각진 형태를 보이고 있었으나 입자 표면에  $Ca(OH)_2$ 와 같은 수화생성물들이 부착되어 있었다. 이러한 수화생성물들에는 미세한 모세관 공극들이 다수 포함되어 있다. 따라서 WCP는 OPC와 비교하여 다공성 재료로 판단된다.

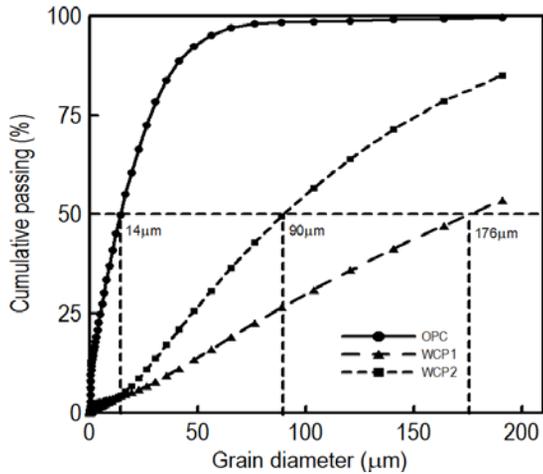


Fig. 4 Grain size distribution

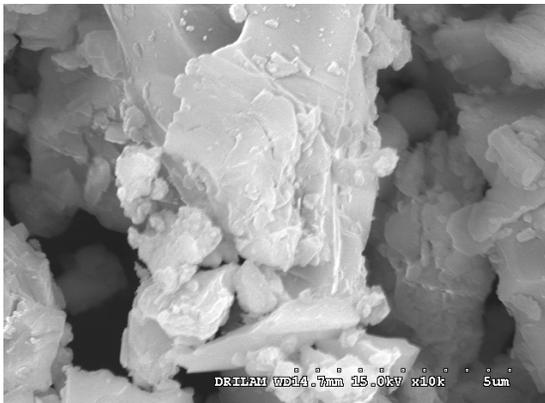


Fig. 5 Particle morphology of OPC obtained by SEM

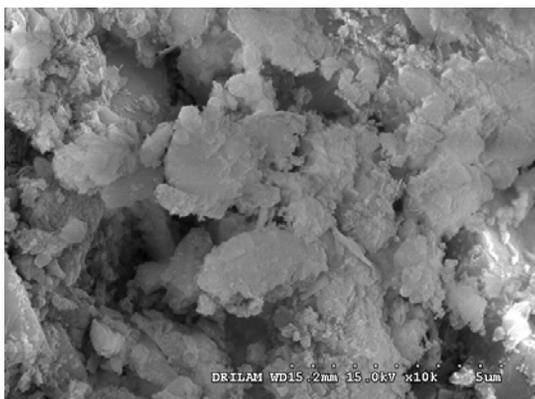


Fig. 6 Particle morphology of WCP obtained by SEM

### 3.2 페이스트의 특성

페콘크리트 미분말을 사용한 페이스트의 유변학적 특성 (점도 및 항복값)은 shear rate( $s^{-1}$ )와 shear stress의 관계

를 선형회귀분석을 이용하여 정리하였다. Fig. 7 및 8은 WCP1 및 WCP2를 혼합한 페이스트의 점도와 항복응력을 정리한 것이다. Fig. 7 및 8의 결과 WCP1의 혼합률이 15, 30 및 45%로 증가함에 따라서 OPC 만을 사용한 페이스트와 비교하여 점도는 32, 47 및 62% 감소하였다. 그리고 WCP2의 혼합률이 15, 30 및 45%로 증가함에 따라서는 23, 35 및 50% 감소하였다. 이러한 원인은 WCP2의 경우 WCP1 보다는 작은 입자들로 분포되어 있기 때문으로 판단된다. 또한, WCP1 및 WCP2의 혼합률이 15%의 경우는 OPC만을 사용한 페이스트와 비교하여 항복응력이 각각 0.2 및 5.8% 감소하였다. 그러나 WCP1 및 WCP2의 혼합률이 30 및 45%로 증가함에 따라서 약 24 및 39% 감소하였다. 이러한 원인은 OPC와 비교하여 WCP들의 분말도가 적고 입자의 직경이 크기 때문에 화학적 반응에 관여하지 못하는 물의 양이 증가 하였기 때문인 것으로 판단된다.

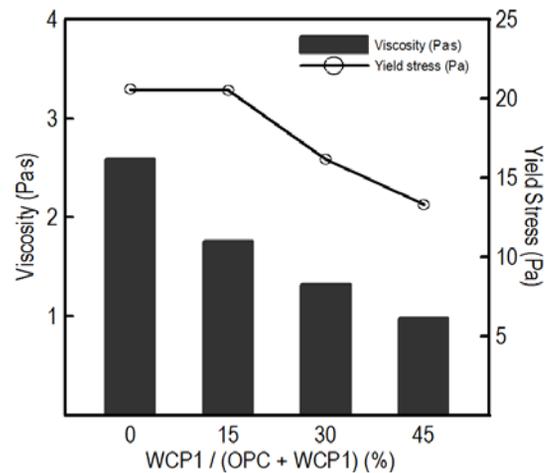


Fig. 7 Particle morphology of WCP obtained by SEM

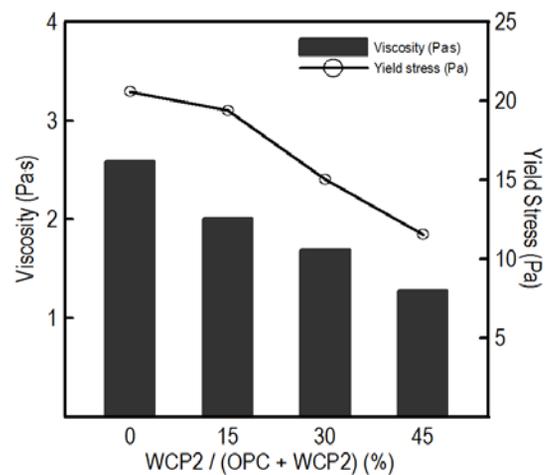


Fig. 8 Particle morphology of WCP obtained by SEM

Fig 9는 WCP의 혼합률에 따른 페이스트의 응결시간을 정리한 것이다. WCP를 혼합한 페이스트의 응결시간은 OPC 만을 사용한 페이스트와 비교하여 초결 시간은 비슷 하였으나, 종결시간은 WCP1 및 WCP2를 혼합한 페이스트 모두 2시간 이상 지연되었다. 이러한 원인은 OPC만을 사용한 페이스트와 비교하여 WCP의 혼합률이 증가함에 따라서 수화반응을 촉진시키는 C<sub>3</sub>A 및 C<sub>3</sub>S 성분이 감소하여 종결시간이 지연된 것으로 판단된다.

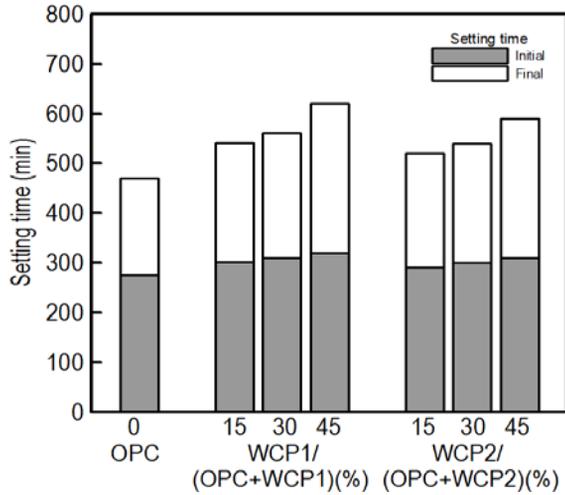


Fig. 9 Setting time of paste with WCPs

WCP의 특성에 의한 결과로 판단된다. 즉, WCP에는 수화생성물들이 포함되어 있고, 이러한 수화생성물들로 인하여 WCP는 다공질의 재료의 성격을 보이고 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 WCP 내부에 존재하고 있던 물이 재령이 경과함에 따라서 외부로 증발되고, WCP를 혼합한 모르타르의 내부에는 모세관 공극이 형성되어 WCP의 혼합률이 증가할수록 흡수계수가 비례적으로 증가한 것으로 판단된다.

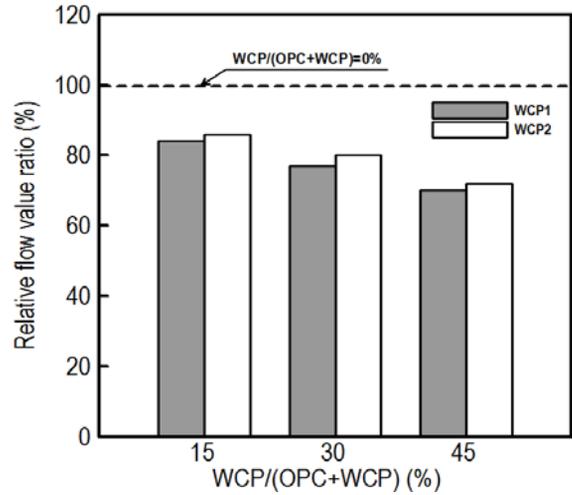


Fig. 10 Flow of mortar with WCPs

### 3.3 모르타르의 특성

Fig. 10은 WCP1 및 WCP2를 혼합한 모르타르의 플로우 값을 정리한 것이다. Fig 10의 결과 WCP의 혼합률이 증가함에 따라서 OPC만을 사용한 모르타르와 비교하여 플로우 값이 감소하는 경향을 보이고 있었다. WCP1 및 WCP2를 15% 혼합한 경우 기준 모르타르와 비교하여 각각 16 및 14% 감소하였고, WCP의 혼합률이 45%의 경우는 각각 30 및 28% 감소하였다.

Fig 11 및 12는 폐콘크리트 미분말을 사용한 모르타르의 흡수특성을 정리한 것이다. Fig 11 및 12의 결과 WCP1 및 WCP2의 혼합률이 증가함에 따라서 기준모르타르와 비교하여 흡수계수(sorptivity coefficients)가 증가하는 경향을 보이고 있다<sup>13)</sup>. 기준 모르타르의 경우 흡수계수는 8.604로 계산되었고, WCP1의 혼합률이 15, 30 및 45%로 증가함에 따라서 흡수계수는 9.849, 12.502 및 14.769로 증가하는 경향을 보이고 있었다. WCP2의 혼합률이 15, 30 및 45%로 증가함에 따라서도 흡수계수는 9.542, 11.127 및 14.117으로 증가하는 경향을 보이고 있었다. 이러한 원인은

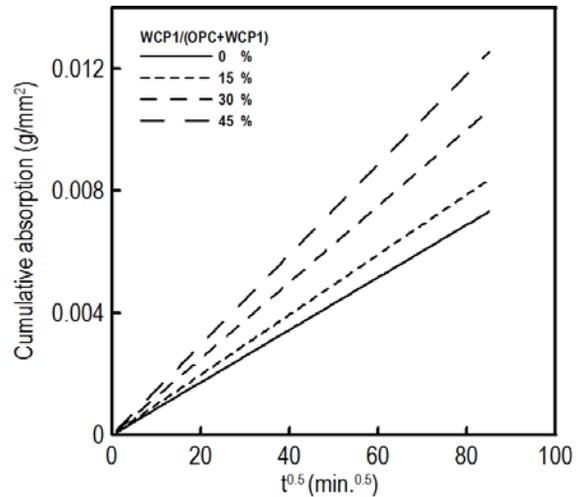


Fig. 11 Water capillary sorption test of mortars with WCP1

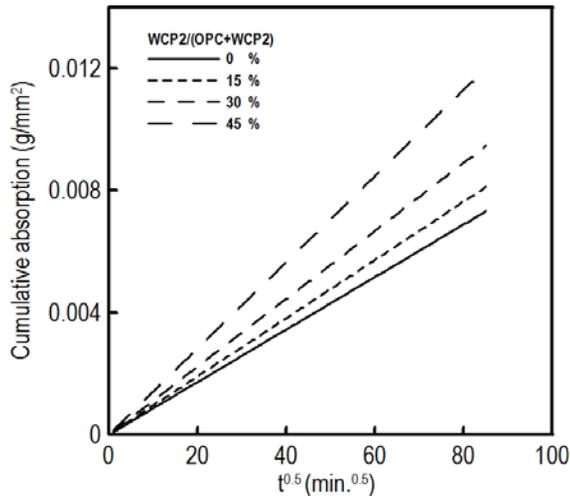


Fig. 12 Water capillary sorption test of mortars with WCP2

Fig. 13 및 14는 WCP1 및 WCP2를 혼합한 모르타르의 재령별 압축강도를 정리한 것이다. Fig 13 및 14의 결과 WCP의 혼합률이 15, 30 및 45%로 증가함에 따라서 재령별 압축강도는 감소하는 경향을 보이고 있었다. 재령 28일의 경우는 WCP1 및 WCP2의 혼합률이 15%일때 기준 모르타르와 비교하여 각각 28 및 25% 감소하였다. 또한 WCP1 및 WCP2의 혼합률이 45%일 경우에는 73 및 64%의 압축강도가 감소하였다. 따라서 WCP는 무반응성 분체로 판단되며, sorptivity와 압축강도는 반비례관계가 있다는 기존의 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

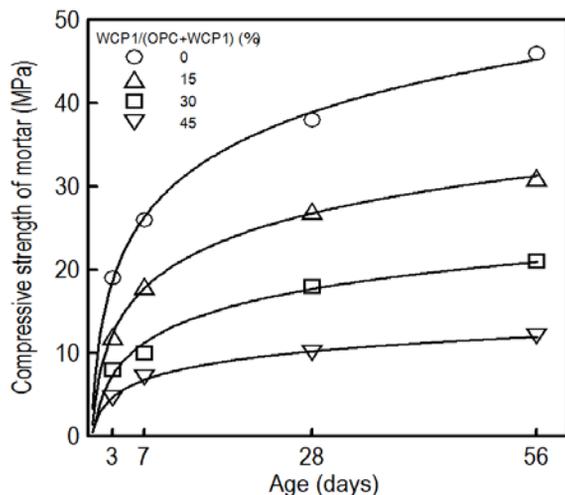


Fig. 13 Compressive strength of mortar with WCP1

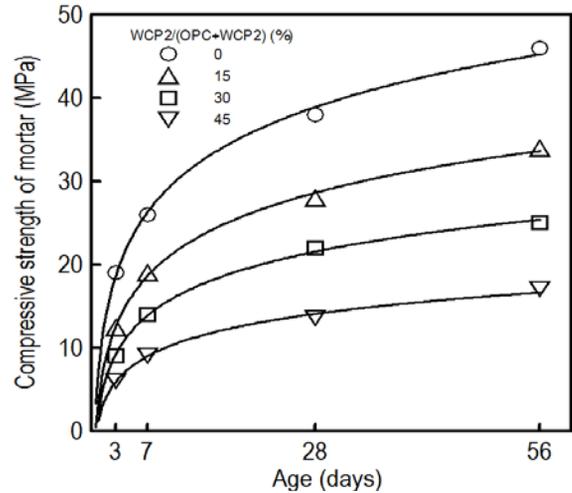


Fig. 14 Compressive strength of mortar with WCP2

#### 4. 결론

본 연구의 범위 내에서 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 페콘크리트 미분말은 시멘트와 비교하여 SiO<sub>2</sub> 함량이 높으며, 입자 형상은 각진 형상을 나타내고 있었으나 입자 표면에 수화생성물 등이 부착되어 다공성 구조를 나타내었다. 또한 누적통과 입자량이 50%인 경우의 입자직경은 WCP1 및 WCP2 각각 176 및 90 $\mu$ m로 나타났다.

2) 페콘크리트 미분말을 혼합한 페이스트의 점도는 시멘트만을 사용한 페이스트의 점도와 비교하여 감소하는 경향을 보였다. 즉, 시멘트만을 사용한 페이스트와 비교하여 WCP1을 혼합한 페이스트는 최대 62% 감소하였고, WCP2를 혼합한 페이스트는 50% 감소하였다.

3) 페콘크리트 미분말을 혼합한 모르타르의 플로우는 시멘트만을 사용한 모르타르와 비교하여 플로우 값이 최대 30% 감소하는 경향을 보였다. 또한 페콘크리트 미분말을 45% 혼합한 경우의 흡수계수는 시멘트만을 사용한 모르타르와 비교하여 70% 증가 하였다.

4) 페콘크리트 미분말의 혼합률이 증가할수록 모르타르의 압축강도는 비례적으로 감소하였다. 즉, 시멘트만을 사용한 모르타르와 비교하여 WCP1을 혼합한 모르타르는 최대 73% 감소하였고 WCP2를 혼합한 모르타르는 최대 64% 감소하였다.

이상의 연구 결과를 통하여 폐콘크리트 미분말의 활용 가능성에 대하여 검토하였고, 현재 일반강도용 콘크리트에 적용하기 위한 연구를 수행중에 있으며, 향후 구조용 콘크리트 제조시 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(11기술혁신 F04-탄소저감형연구단)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 1) 문대중, 문한영, 재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도특성, 대한토목학회논문집, 제 22권, 제 1-A, pp. 141-150, 2002
- 2) Jiusu L., Hanning X., Yong Z., Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials, Vol. 23, pp. 1287-1291, 2009
- 3) Tsung Y.T., Yuen Y.C., Chao L.H., Properties of HPC with recycled aggregates, Cement and Concrete Research, Vol. 36, pp. 943-950, 2006
- 4) Vivian W.Y.T., Gao X.F., Tam C.M., Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach, Cement and Concrete Research, Vol. 35, pp. 1195-1203, 2005
- 5) Ahmad S., Aimin X., Performance and Properties of Structural Concrete Made with Recycled Concrete

Aggregate, ACI Materials journal, Vol. 100-M42, pp. 371-380, 2003

- 6) Rohi M.S., Edwin G.B., Mike J., Resistance to Freezing and Thawing of Recycled Aggregate Concrete, ACI Materials journal, Vol. 100-M25, pp. 216-221, 2003
- 7) Berndt M.L., Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate, Construction and Building Materials, Vol. 23, pp. 2606-2613, 2009
- 8) Kim Y.J., Choi Y.W., Utilization of waste concrete powder as a substitution material for cement, Construction and Building Materials, Vol. 30, pp. 500-504, 2012
- 9) 김용직, 김영진, 시멘트 대체 재료로서 폐기물의 활용성 검토, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, Vol. 24, No. 1, pp. 161-162, 2012
- 10) 김용직, 전세진, 김영진, 폐기물을 사용한 모르타르의 점도 특성, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, Vol. 23, No. 1, pp. 327-328, 2011
- 11) Sabir B.B., Wild S., O' Farrell M., A water sorptivity test for mortar and concrete, Materials and Structures, Vol. 31, pp. 568-574, 1998
- 12) Christopher H., Thomas K.M.T., Water movement in porous building materials-VII. The sorptivity of mortars, Building and Environment, Vol. 21(2), pp. 113-118, 1986
- 13) Hall C., Water sorptivity of mortars and concretes : a review, Magazine of Concrete research, Vol. 41(147), pp. 51-56, 1989

### 건설용 재료로써 폐콘크리트 미분말의 활용성 연구

본 연구는 고품질의 재생골재 제조시 발생하는 폐콘크리트 미분말을 콘크리트용 혼화재료로 활용하기 위한 연구이며, 분말도는 928 및 1,360cm<sup>2</sup>/g인 두 종류의 폐콘크리트 미분말에 대하여 검토하였다. 폐콘크리트 미분말의 주요 특징은 시멘트와 유사한 각진 입형을 나타내고 있었으나 입자 표면에 수화생성물들이 부착되어 있었다. 또한 시멘트와 비교하여 폐콘크리트 미분말의 입자 크기는 크게 나타났으며, 화학성분은 SiO<sub>2</sub> 함량이 높게 나타났다. 폐콘크리트 미분말을 혼합한 페이스트의 점도는 시멘트만을 사용한 페이스와 비교하여 최대 62% 감소하였고, 종결시간은 2시간 지연되었다. 모르타르는 시멘트만을 사용한 경우와 비교하여 폐콘크리트 미분말의 혼합률이 증가함에 따라서 플로우 값이 최대 30% 감소하였고, 흡수계수는 70% 증가 하였다. 모르타르의 압축강도는 폐콘크리트 미분말의 혼합률이 증가함에 따라서 최대 73% 감소하였다. 이러한 실험 결과를 통하여 폐콘크리트 미분말은 시멘트와 적절히 혼합(15% 이내)하여 사용하는 것이 바람직할것으로 판단된다.

핵심용어 : 재생골재, 폐콘크리트 미분말, 분말도, 흡수계수, 점도