

# 순환골재 미분말의 최대입경 및 치환방법이 시멘트 모르타르의 공학적 특성에 미치는 영향

## Effect of Maximum Size and Contents Method of Recycled Aggregate Powder on Engineering Properties of the Cement Mortar

(Received November 30, 2010 / Revised December 20, 2010 / Accepted December 20, 2010)

한민철<sup>1)</sup> 전규남<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>청주대학교, 건축공학과

Min-Cheol Han<sup>1)</sup> Kyu-Nam Jeon<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Cheongju, 360-764, Korea

### Abstract

This study is to investigate experimentally the engineering characteristics of cement mortar according to the replacement method and contents of recycled aggregate powder (RP) by collecting the recycled aggregate powder with the maximum size of below 0.08 mm and 0.15 mm. then, the results of the study can be summarized as follows. The flow of fresh mortar represented a trend in decreasing while the recycled aggregate powder was substituted as it is compared with that of plain. In addition, in case of correlation between tests, it appeared that the correlation between flow and ring flow is big. In the case of the characteristics of hardened mortar, the strength showed more improvements as the RP was substituted to aggregate than the case, which is substituted to aggregate. In addition, it was verified that the results in which the RP was substituted to aggregate by 5% represented similar values to that of the plain according to the passage of age.

**키워드 :** 순환골재 미분말, 내할치환, 외할치환

**Keywords :** Recycle aggregate powder, Substituted to binder, Substituted to fine aggregate

## 1. 서 론

현재 도시의 재개발 및 건물의 노후화로 인해 건설 폐기물의 일종인 폐 콘크리트의 발생량이 급격히 증가하게 되면서 순환골재 생산과정에서 발생하는 미분말 발생량 또한 증가하게 되었다.<sup>1)</sup>

한편 국내의 순환골재 미분말 활용용도에 관한 연구는 초기단계로써, 아직까지 그 활용이 극히 제한되어 건설 폐기물 중간처리업체 사업장에 그대로 방치되는 등 업체의 경제적 부담을 가중시키고 있다.

그러나, 국외에서는 순환골재 미분말을 위커빌리티 개선제 및 콘크리트용 혼화제 등으로 활용하는 등 많은 연구가 진행되어지고 있어 순환골재 미분말 활용의 적극적인 연구가 필요한 실정이다.<sup>2)-3)</sup>

따라서 본 연구에서는 순환골재 미분말 생산 시 발생하는 비산분진 및 미분말 중 입경 0.08 mm이하 및 입경 0.15 mm이하 순환골재 미분말만을 포집하여 이들을 시멘트에 대한 부분 치환 그리고 잔골재에 대한 부분 치환 방법으로 시멘트 모르타르를 제조한 후 순환골재 미분말의 입자크기 및 치환방법에 따른 제반 공학적 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 모르타르 배합 사항은 Table 2와 같다.

먼저 W/B는 45%의 1수준에 대하여 배합비는 1:3이 되

\* Corresponding author  
E-mail: jkn83@nate.com

도록 계획하였고, 목표 플로우는 RP 입자크기별로 구분하였는데, 입자 최대크기가 0.08 mm이하의 경우는 150±10 mm를 만족하도록 하고, 0.15 mm이하의 경우 200±10 mm를 만족하도록 고성능 감수제 사용량을 변화시켜 배합설계를 실시하였다.

한편, RP 치환방법 및 치환률은 잔골재에 치환하는 방법과 시멘트에 치환하는 방법으로 구분하여 5, 10 및 15%의 3수준으로 변화시켰다.

Table. 1 Design of experiment

Factors		Variables	
Mixture	W/B (%)	1	45
	C:S	1	1:3
	Target flow (mm)	2	150±10 (Under 0.08 mm RP) 200±10 (Under 0.15 mm RP)
	Maximum size of RP (mm)	2	0.08 0.15
	RP* contents (%)	7	B** 0(Plain), 5, 10, 15 F*** 0(Plain), 5, 10, 15
Experiment	Fresh mortar	6	· Flow · Flow cone**** · Ring flow**** · Mini slump flow**** · Air content**** · Plastic viscosity****
	Hardened mortar	2	· Compressive strength (7, 28 days) · Flexural strength (7, 28 days)

\*RP : Recycled aggregate powder, \*\*B : Substituted to Binder, \*\*\*F : Substituted to fine aggregate  
\*\*\*\*tested only at RP under 0.15 mm

Table. 2 Mixture proportions

Comp- osition	Binder		C:S	W/C (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	Unit content(kg/m <sup>3</sup> )			
	RP size (mm)	W				C	RP	S	SP
OPC	0.08	1:3	45	230	512	0	1536	5	
	0.15				512	0	1536	18	
B5%	0.08				486	26	1534	5	
	0.15				486	26	1534	18	
B10%	0.08				460	51	1530	5	
	0.15				460	51	1530	18	
B15%	0.08				433	76	1526	5	
	0.15				433	76	1526	18	
F5%	0.08				512	77	1458	5	
	0.15				512	77	1458	18	
F10%	0.08				511	153	1380	5	
	0.15				511	153	1380	18	
F15%	0.08				510	230	1302	5	
	0.15				510	230	1302	18	

실험항목으로 RP의 최대 입자크기가 모르타르의 유동성에 미치는 영향을 분석하고자 0.15 mm이하의 RP를 사용한 경우에 한하여 플로우, 플로우 콘, 링 플로우 및 미니 슬럼프 플로우 실험을 실시하였고, 경화상태의 실험으로 재령 7일 및 28일에서의 압축 및 휨강도 실험을 실시하였다.

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 Table 3~6과 같다. 먼저, 시멘트는 국내산 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 순환골재 미분말은 순환골재 제조사로부터 채취한 것을 0.08mm와 0.15mm로 구분하여 포집한 후 사용하였으며, 잔골재는 충북 청원산 강모래와 부순모래를 1:1로 혼합한 것을 사용하였다. 혼화제로서 유동성 확보를 위해 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용하였다.

Table. 3 Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Soundness (%)	Setting time(min)		Compressive strength(MPa)		
			Initial time	Final time	3 days	7 days	28 days
3.15	3 165	0.18	235	320	12.5	22.5	42.5

Table. 4 Physical and chemical properties of RP

Particle	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Ingredient(%)					
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
≤ 0.08mm	2.48	33.2	4.8	7.6	45.5	1.5	1.8
≤ 0.15mm	2.49						

Table. 5 Physical properties of fine aggregate

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	F.M	Water absorption (%)	Passing amount of 0.08 mm sieve(%)
River sand.	2.50	2.86	0.46	0.30
crushed sand	2.58	2.90	0.46	0.32

Table. 6 Physical properties of admixture

Kinds	Main ingredients	Appearance	Density (g/cm <sup>3</sup> )
SP	Naphtalene	White yellow/liquid	1.06

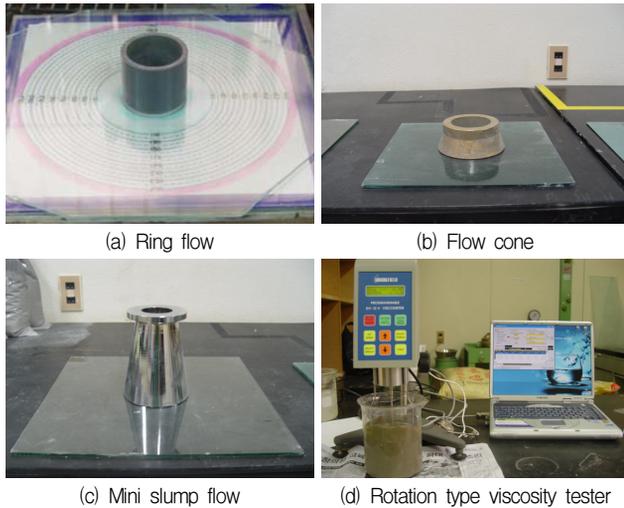


Photo. 1 Fluidity test apparatus

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르타르의 혼합은 모르타르 믹서를 사용하여 혼합하는 것으로 하였으며, 굳지 않은 모르타르의 특성 실험으로, 플로우는 KS L 5111, 링플로우 실험은 KS 링 플로우의 경우 JASS 15M-103, 미니 플로는 KS F 2474에 의거 실시하였고, 플로우 테이블은 KS L 5111의 규준에 맞는 시험기를 이용하여 낙하를 가하지 않은 상태에서 측정하였으며, 회전 점도계(Brookfield DV-11)에 의한 레올로지 정수의 측정은 JIS K 6901 규정에 의거하여 실시하였는데, 각 플로우 및 회전점도계 측정 모습은 Photo 1과 같다.

공기량은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436에 의거 실시하였고, 경화 모르타르의 특성 실험으로써 압축강도는 KS F 5105, 휨강도는 ASTM C 348에 의거 계획된 재령에서 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 모르타르의 특성

#### 3.1.1 유동성

Fig. 1은 RP입자 최대크기별 RP 치환률 및 치환방법에 따른 플로우 값을 나타낸 것으로 먼저 플레인 배합의 경우 배합설계에 의해 목표 플로어를 만족하였으나, RP 치환률이 증가함에 따라 플로우는 비례적으로 감소하였는데, 특히 잔골재에 치환한 경우가 시멘트에 치환한 경우보다

플로우 감소폭이 크게 나타났다. 이는 RP가 잔골재에 대체로 치환됨에 따라 모르타르중 미분말이 증가하여 점성이 증대되어 나타난 현상으로 판단된다.

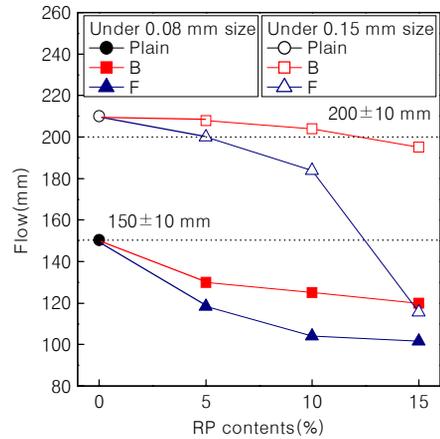


Fig. 1 Flow with contents of RP

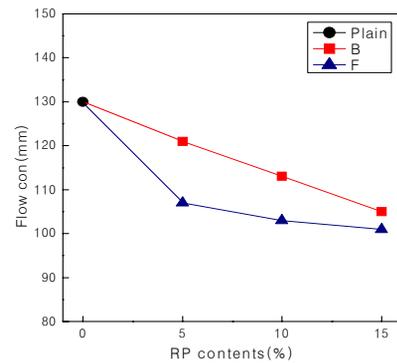


Fig. 2 Results of flow con test with RP contents with maximum size under 0.15 mm

한편 RP 입자최대 크기별 플로우 특성으로 0.08 mm이하의 RP를 치환한 경우 치환률 증가에 따라 플로우 값이 비례적으로 감소하는 경향을 나타냈으나, 0.15mm 이하의 RP를 시멘트에 치환한 경우 치환률 증가에 따른 플로우 감소가 거의 나타나지 않았고, 잔골재에 치환한 경우 치환률 10%까지는 비교적 감소폭이 작았으나, 이후 15%에서는 100 mm이상 감소되는 경향을 보였다. 이는 입자크기 0.15mm의 RP를 시멘트에 치환함에 따라 유동성의 감소폭이 작은 것으로 사료된다. 반면에 0.08mm이하의 RP를 치환한 경우 크기가 작은 미립자의 양이 증가함에 따라 점성 증대에 기인하여 플로우 저하폭이 크게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 2는 0.15mm이하의 RP치환률 변화에 따른 플로우 콘 값을 나타낸 것이다. 전반적으로 플로우 값과 동일하게 치환률이 증가함에 따라 플로우 콘 값이 감소하는 것으로 나타났고 시멘트 치환보다는 잔골재 치환의 경우가 저하 폭이 큰 것으로 나타났다.

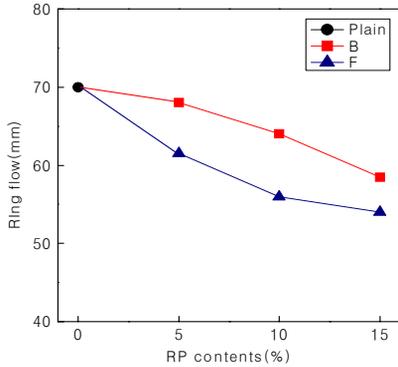


Fig. 3 Ring flow with RP contents with maximum size under 0.15 mm

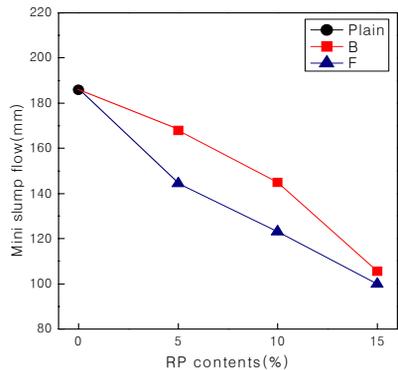


Fig. 4 Mini slump flow with RP contents with maximum size under 0.15 mm

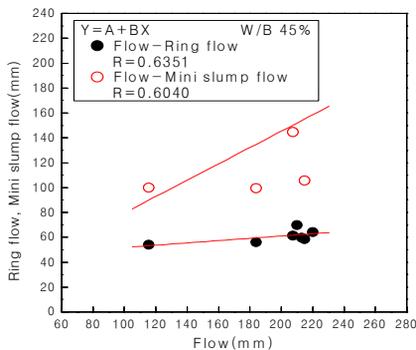


Fig. 5 Relationship of flow, ring-flow and mini slump flow

Fig.3 및 4는 0.15mm이하의 RP치환률 변화에 따른 링 플로우 및 미니 슬럼프 플로우 값을 나타낸 것이다. 전반적으로 플로우 및 플로우 콘 값과 유사한 경향임을 알 수 있었다.

Fig. 5는 플로우와 링 플로우 그리고 미니 슬럼프 플로우 값을 상호 비교한 것으로 플로우와 여타 유동성 평가 실험방법간의 연관관계를 나타내는 것인데, 플로우와 링 플로우 사이에는 일정한 연관성이 있음을 알 수 있었다.

### 3.1.2 소성점도 및 레올로지 특성

Fig.6은 0.08 mm 이하의 RP를 시멘트에 치환한 후 치환률 변화에 따른 시멘트 페이스트의 소성점도를 나타낸 것이다. 이 경우 측정기기의 특성상페이스트 상태의 시료에 대한 정밀도가 높고 모르타르 상태의 경우 민감도가 크기 때문에 시멘트 페이스트 상태의 경우만 측정을 실시하였다. 전반적으로 RP치환률이 증가함에 따라 미립자의 증가로 소성점도는 증가하는 것으로 나타났다.

Fig.7은 RP 치환률 변화에 따른 레올로지 곡선을 나타낸 것이다. 전반적으로 RP치환률이 증가할 수록 항복치와

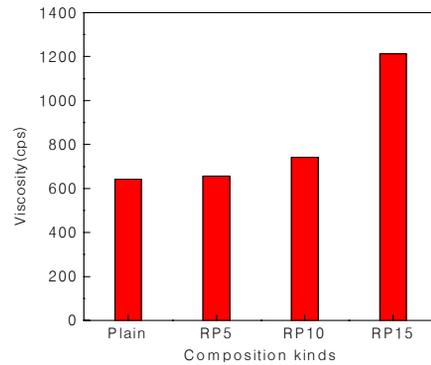


Fig. 6 Viscosity with the increase of RP contents

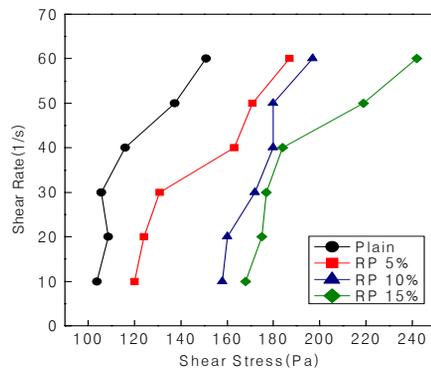


Fig. 7 Relationship between shear stress and shear rate of paste

소성점도는 확연한 차이를 나타내고 있었는데, 플레인에 비해 RP치환률이 증가함에 따라 항복치 및 소성점도는 증가하는 경향을 보였다.

### 3.1.3 공기량

Fig. 8은 RP의 최대입자크기 및 치환방법별 치환률에 따른 공기량을 나타낸 것이다. 전반적으로 치환률이 증가함에 따라 미립자의 공극충전 효과로 인해 공기량이 감소하는 경향을 보였으나 0.15mm의 RP를 사용한 경우는 약간 증가하는 경향을 보였다. 또한 0.08mm에 비해 0.15mm를 사용한 경우 공기량이 약 1%정도 감소하는 경향을 보였다.

치환 방법별로는 잔골재에 치환한 경우가 시멘트에 치환한 경우보다 차이는 있으나 낮은 공기량을 나타내었는데, 이는 잔골재보다 작은 미세립자(RP)가 잔골재에 치환됨에 따라 점성이 커져 유동성이 저하하고 잔골재사이에 공극이 충전됨에 따라 공기량이 감소된 것으로 사료된다.4)

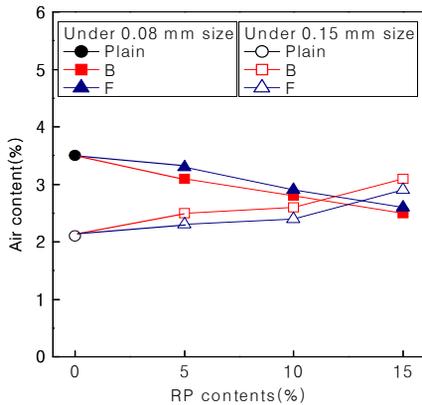


Fig. 8 Air content with contents of RP

## 3.2 경화 모르타르의 특성

### 3.2.1 압축강도

Fig. 9-10은 RP의 최대입자크기 및 치환방법별 치환률에 따른 재령 7일 및 28일에서의 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저 플레인 경우 가장 높은 강도 값을 나타내었고, RP 치환률이 증가할수록 입자 크기에 관계없이 전반적으로 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 치환률별로는 RP 치환률 5%의 경우 재령 7일에서 잔골재 치환의 경우 입자

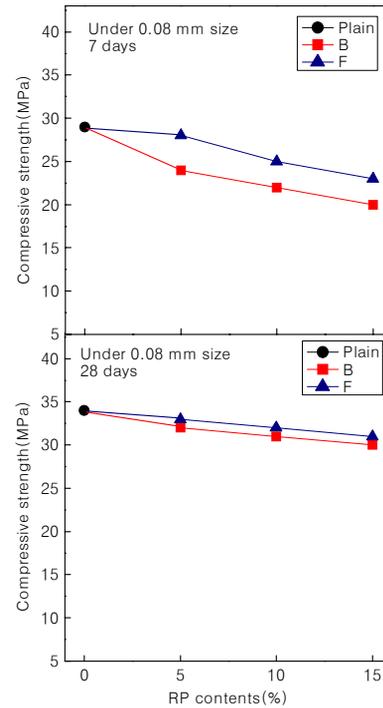


Fig. 9 Compressive strength with under 0.08mm size contents of RP

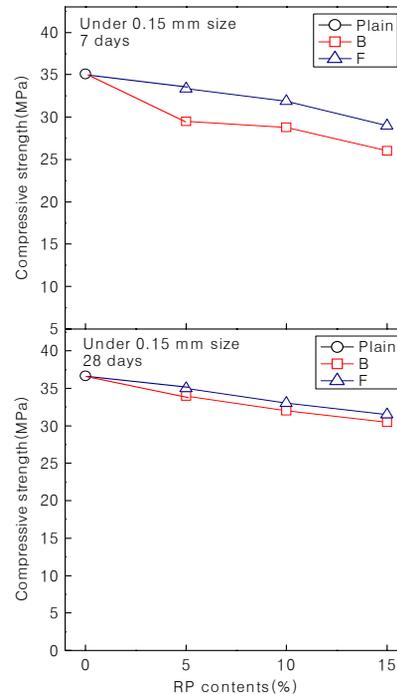


Fig. 10 Compressive strength with under 0.15mm size contents of RP

최대 크기에 관계없이 플레인에 비해 95~98%정도로 거의 차이가 없는 강도를 발휘하는 것으로 나타났으나, 시멘트 치환의 경우 83~85%정도의 강도를 발휘하는 것으로 나타났다. 이는 시멘트 치환의 경우 상대적으로 시멘트 량이 줄어들면서 강도의 발현이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 또한, RP 치환률 15%까지는 치환률이 증가함에 따라 비례적으로 강도가 저하하고 플레인 대비 73~85%정도의 강도를 발휘하고 있었다.

반면 재령 28일에서는 입자최대 크기, 치환방법 및 치환률에 관계없이 플레인 대비 92~98% 수준의 압축강도를 발휘하는 것으로 나타나 재령이 경과함에 따라 RP치환률 증가에 따른 강도저하가 상당부분 회복되는 것으로 나타났다는데, 이는 RP분말에 포함된 시멘트 성분이 수화에 기여하여 나타난 결과로 사료된다.<sup>5)</sup>

한편, 입자 최대 크기별로는 0.15 mm이하의 RP를 사용한 경우 0.08 mm이하의 RP를 사용하였을 시 보다 더 높은 강도값을 나타냈는데, 이는 공기량이 0.08 mm이하를 사용한 경우보다 1%정도 작기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

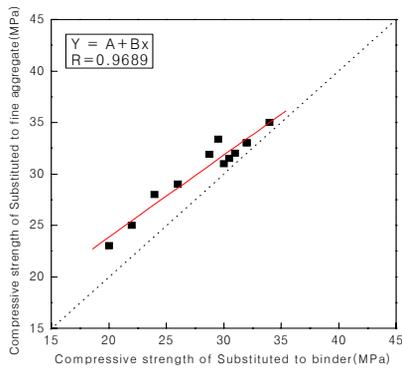


Fig. 11 Relationship between substitution method of RP

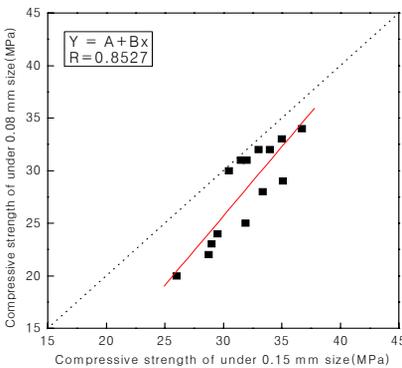


Fig. 12 Relationship between maximum size of RP

Fig.11은 RP 치환방법에 따른 압축강도를 상호비교한 것으로서 저강도에서는 잔골재에 치환한 경우가 시멘트 치환의 경우보다 높은 강도를 내고 있으나 강도가 높은 영역에서는 거의 비슷한 강도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig.12는 RP 입자최대크기별 압축강도를 비교한 것으로 30 MPa이전에서는 0.15 mm의 RP를 사용한 경우가 0.08mm를 사용한 경우보다 높은 강도를 발휘하는 것으로 나타났으나, 30 MPa 이상에서는 약간 작거나 유사한 강도를 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

### 3.2.2 휨강도

Fig. 13-14는 RP의 최대입자크기 및 치환방법별 치환률에 따른 재령별 휨강도를 나타낸 것이다.

전반적으로 압축강도와 유사한 경향으로 Plain에 비해 RP의 치환률이 증가할수록 강도값이 저하하는 것으로 나타났으며, 재령이 경과됨에 따라 높은강도 발현률을 나타내었다.

또한 입자크기에 관계없이 시멘트치환의 경우보다 잔골재치환의 경우 강도값이 큰 것으로 나타났으며, 0.08 mm 이하의 RP를 5% 잔골재에 치환할 시 플레인과 유사한 강

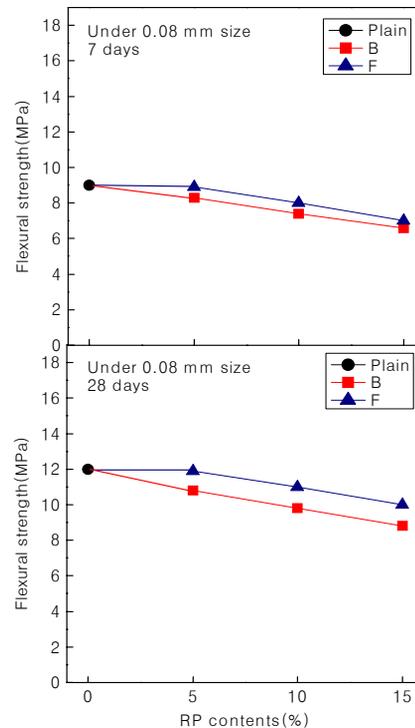


Fig. 13 Flexural strength with under 0.08 mm size contents of RP

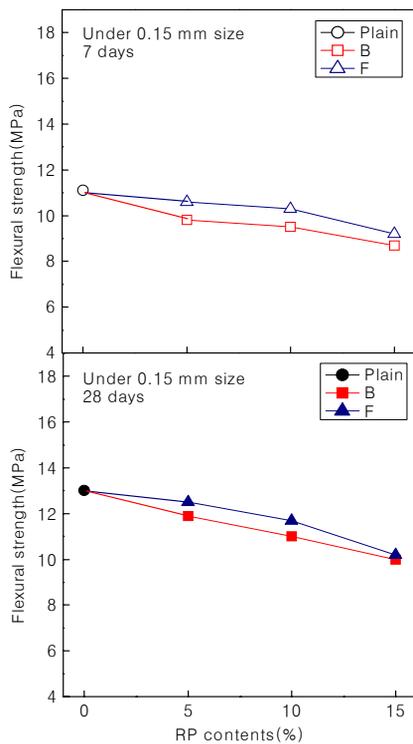


Fig. 14 Flexural strength with under 0.15 mm size contents of RP

도값을 나타내어 0.08 mm 이하 RP를 사용할 경우 강도 발현 효과가 큰 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 순환골재 미분말 생산 시 발생하는 비산 분진 및 미분말 중 입경 0.08 mm이하 및 입경 0.15 mm이하 순환골재 미분말만을 포집하여 이들의 치환방법 및 치환률에 따른 제반 공학적 특성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 유동성은 최대입자크기 0.08 mm 이하 및 0.15 mm 이하 RP 모두 입자크기에 관계없이 치환률이 증가함에 따라 전반적으로 저하하는 경향을 나타내었으며, 0.15 mm 이하의 RP를 사용할 시 다소 고성능감수제가 많이 첨가됨에 따라 감소폭은 적은 것으로 나타났으나, RP 15% 잔골재 치환의 경우 점성 증가에 따른 유동성이 큰 폭으로 저하하였다.

2) 0.15 mm 이하의 RP를 사용한 플로우, 링플로우 및 미니슬럼프 플로우의 유동성 연관관계의 경우 다소 간편

한 시험방법인 링플로우와 플로우 시험간의 연관성이 타 시험방법에 비해 높은 것으로 나타났다.

3) 0.15 mm 이하의 RP를 이용한 페이스트 소성점도 측정의 경우는 RP의 치환률이 증가할수록 소성점도 및 항복치가 증가하는 경향을 나타내었으며, RP 15% 치환 시 점도 및 항복치가 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

4) 압축강도 및 휨강도의 경우 Plain에 비해 RP 치환률이 증가할수록 전반적으로 입자크기에 관계없이 강도값이 저하하는 경향을 나타내었고, RP를 시멘트에 치환할 경우보다 잔골재에 치환할 시 강도값이 큰 것으로 나타났다. 또한 0.08 mm이하의 RP를 5% 잔골재에 치환할 시 Plain과 유사한 강도값을 나타내어 0.08 mm 이하의 RP의 경우 강도 증진효과가 큰 것을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 산학연공동기술개발사업(충북지방중소기업청)에 선정되어 「순환골재 생산시 발생하는 순환골재 미분말을 활용한 고기능성 콘크리트용 혼화재료의 개발 및 제품화 연구」를 수행하였으며, 이 자리를 빌려 충북지방중소기업청에 감사하다는 말씀드립니다.

#### 참고문헌

- 1) 오상균, 정밀분급방법을 이용한 폐콘크리트 미분말의 고품질재생시멘트 개발, 대한건축학회논문집(구조계), Vol. 23, No. 9, pp.167~174, 2007. 9
- 2) 최희복, 강경인, 재생잔골재 대체율에 따른 보통 강도 콘크리트 특성, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 23, No. 2, pp.59~66
- 3) 최연왕, 폐콘크리트 분말을 혼합한 모르타르 및 자기충전 콘크리트의 유동 및 강도특성, 콘크리트학회 논문집, Vol. 18, No. 4, pp.517~526, 2006. 8
- 4) 한천구, 황인성, 이승훈, 김규동, 콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 혼화재료의 영향, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 19, No. 9, pp.95~102
- 5) 한천구, 레미콘 품질관리 Ⅲ, pp.53~56, 2010. 2

### 순환골재 미분말의 최대입경 및 치환방법이 시멘트 모르타의 공학적 특성에 미치는 영향

본 연구에서는 순환골재 미분말 생산 시 발생하는 비산분진 및 미분말 중 입경 0.08 mm이하 및 입경 0.15 mm 이하 순환골재 미분말만을 포집하여 순환골재 미분말의 치환방법 및 치환률에 따른 제반 공학적 특성을 분석하였다. 그 결과 유동성은 0.08 mm 이하 및 0.15 mm 이하의 RP를 치환한 경우 전반적으로 저하하는 경향을 나타내었으나, 0.15 mm 이하의 RP를 사용할 시 0.08 mm 이하의 RP를 사용한 경우보다 상대적으로 고성능감수제가 많이 첨가됨에 따라 플로우 감소 폭은 적은 것으로 나타났다. 0.15 mm 이하의 RP를 사용한 플로우, 링플로우 및 미니 슬럼프 플로우의 연관관계는 타 시험방법에 비해 플로우와 링플로우의 경우 연관관계가 큰 것으로 나타났으며, 0.15 mm 이하의 RP를 사용한 페이스트의 소성점도의 경우 RP치환률이 증가함에 따라 점도 및 항복치가 증가하는 것으로 나타났다. 압축강도 및 휨강도의 경우는 입자크기에 관계없이 RP의 치환률이 증가함에 따라 플레인에 비해 강도값이 저하하는 것으로 나타났으며, 재령이 경과함에 따라 강도 발현율이 큰 것으로 나타났다. 또한, 시멘트에 치환한 경우보다 잔골재에 치환할 시 높은 강도값을 나타내었으며, 0.08 mm 이하의 RP를 5% 잔골재에 치환할 시 플레인과 강도값이 유사함을 나타내어 0.08 mm 이하의 RP 사용시 강도 증진 효과가 큰 것을 알 수 있었다.