

# 파쇄횟수가 순환골재의 품질특성에 미치는 영향

## The Material Properties on the Crushing Effect of Recycled Aggregates

(2010년 2월 12일 원고접수, 2010년 3월 26일 심사완료/ Received February 12, Accepted March 26, 2010)

원 철<sup>1)</sup>, 박상준<sup>2)\*</sup>

GS건설(주) 기술연구소 책임연구원<sup>1)</sup>, (주)대우건설 기술연구원 책임연구원<sup>2)</sup>

Won, Chul<sup>1)</sup>, Park, Sang-Joon<sup>2)</sup>

GS E&C, Research Center, Gyeonggi, 449-832, Korea<sup>1)</sup>

Daewoo E&C, Research Institute, Gyeonggi, 440-210, Korea<sup>2)</sup>

### Abstract

It is necessary to re-establish the code and to control the quality of the recycled aggregate itself for ensuring the useability of the recycled aggregate using waste concrete. Generally, adhering mortar cause of the water absorption ratio increment and strength decreased at the surface of the aggregate of the recycled aggregate using waste concrete, thus removing the adhering mortar could increase the useability of the recycled aggregate in the concrete industry. In this study, as a quality control method of the recycled aggregate using waste concrete, the quality characteristic of the recycled aggregate according to the mixing proportion between the recycled and the natural aggregate is obtained. Therefore, a system is established to reuse the recycled aggregate in the construction industry.

**키워드 :** 폐 콘크리트, 순환골재, 흡수율, 압축강도

**Keywords :** Waste Concrete, Recycled Aggregate, Water Absorption, Compressive Strength

## 1. 연구의 목적

콘크리트는 구조재료로서 가장 널리 사용되고 있는 우수한 재료이지만, 이를 순환골재로 사용함에 있어서는 상대적으로 높은 흡수율을 나타내는 등 일반적인 콘크리트용 골재로 사용하기에 다소 어려운 특징을 가지고 있다. 그러나 도심지의 재개발·재건축 사업 등이 진행됨에 따라 발생하는 막대한량의 폐 콘크리트 처리는 현재 당면하고 있는 심각한 문제라 할 수 있다.

이러한 사회적 현상에 기인하여 폐 콘크리트를 활용한 순환 굵은골재의 사용성에 대한 검토는 오래전부터 활발히 진행되어 왔다.<sup>1,3,5,6)</sup> 그러나 대부분이 도로기층 보조재나 노반재 등을 대상으로 한 실용화에 한정되고 있는 실정이다. 이는 폐 콘크리트라는 부정적인 사회적 인식과 함께, 기술적으로는 폐 콘크리트를 대상으로 일정수준의 처리과정을 거치게 되면 콘크리트용 굵은골재로서, 충분한

품질성능 발휘가 가능하다는 수요자 측면의 신뢰성 제시가 다소 미흡했다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 배합조건을 알고 있는 공시체를 제작하여 6개월간 폭로시킨 후, 1~3차에 걸쳐 파쇄하고, 이를 대상으로 순환 굵은골재의 품질개선효과에 대하여 검토하고자 하였다. 또한 순환 굵은골재를 생산하는 과정에서 발생하는 잔골재 형태의 부산물을 대상으로 모르타르 단계에서의 유동성 및 강도에 대해서도 검토하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

폐 콘크리트를 활용한 순환 굵은골재의 사용성에 대해서는 이미 많은 연구<sup>1,3,5,6)</sup>가 진행되어 왔으나, 원 콘크리트의 특성이나 파쇄횟수 등이 순환 굵은골재의 품질특성에 미치는 영향에 대한 검토는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 동일한 재료 및 배합특성을 갖는 원 콘크리트를 대상으로 순환골재의 파쇄 횟수를 1~3

Corresponding author

E-mail : concrete@dwconst.co.kr

Table 1 실험요인 및 수준

실험요인		수준
I 시리즈 - 골재 단계	순환골재 파쇄횟수	1, 2, 3차 파쇄
	파쇄횟수별 평가항목	입도(조립율), 밀도, 마모감량, 흡수율, 씻기손실량, 질량감소율
II 시리즈 - 모르 타르 단계	물-결합재비	0.30, 0.54
	순환 잔골재 치환율 (%)	0, 30, 50, 70, 100
	플라이애시 치환율(%)	0, 30
	평가항목	플로우 및 압축강도 (재령 28일)

차로 변화시켜, 이에 따른 입도, 밀도, 마모감량, 흡수율 등 각종 기초특성에 대하여 검토하였다. 여기서 원 콘크리트의 경우는 동일한 배합조건의 Ø10×20cm 공시체를 제작하여 28일 압축강도를 측정한 후, 6개월간 폭로시킨 다음, 파쇄하여 비교용 순환골재로 하였다. 또한, 순환골재의 품질개선 방안으로 파쇄횟수 및 천연골재와의 혼합비율에 따른 재료적 특성에 대하여도 검토하였다.

한편, 순환골재라 하면 대부분이 굵은골재만을 연상시키게 되는데, 이외는 달리 폐 콘크리트의 파쇄과정에서는 순환 굵은골재와 함께, 잔골재 형태의 부산물도 다량 발생되는 특징이 있는데, 본 연구에서는 이의 활용방안을 검토할 목적으로 모르타르 단계에서의 유동성 및 강도특성에 대해서도 검토하였다.

## 2.2 사용재료

순환골재를 제조하는데 사용된 원 콘크리트의 배합조건 및 강도는 Table 2와 같고, 원 콘크리트에 사용된 재료의 물리·화학적 특성은 Table 3-5와 같다.

Table 2 원 콘크리트의 배합조건 및 강도범위

W/B	재령	대상콘크리트	28일 평균 압축강도
0.37	6개월	고유동 콘크리트	38.7MPa

Table 3 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	응결시간 (h:m)		강열 감량 (%)	안정성 (%)	압축강도(MPa)		
		초결	종결			3일	7일	28일
3.15	3,200	3:50	6:10	0.7	0.05	19.5	29.3	39.7

Table 4 플라이애시의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	단위수량비 (%)	강열감량 (%)	습분 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
2.29	3,520	100	2.59	0.20	53.0

Table 5 원 콘크리트에 사용된 골재의 물리적 특성

항목 종류	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	조립율	마모율 (%)	실적율 (%)
잔골재	2.61	1.0	1,665	2.78	-	64
굵은골재	2.63	0.96	1,546	6.89	6.04	59

원 콘크리트는 분체계 고유동 콘크리트로 제조되었기 때문에 굵은골재가 차지하는 용적비율이 전체 콘크리트 대비 50%로 일반 콘크리트에 비해 모르타르량이 다소 많은 특징을 갖고 있다.

원 콘크리트 제조에 사용된 시멘트는 국내 T사의 보통 포틀랜드 시멘트와 함께 혼화재료로 보령산 플라이애시를 30% 사용하였다. 잔골재는 바닷모래를, 굵은골재는 25mm 쇄석을 사용하였다.

## 2.3 실험방법

본 연구에서는 순환 굵은골재를 생산하기 위한 장비로서 Jaw crusher(25mm)를 사용하였는데, 이는 파쇄횟수에 따른 순환 굵은골재의 품질개선효과를 검토하기 위한 것으로서, 모르타르용 잔골재 생산을 위한 별도의 장비(임팩트 크래셔 등)에 대해서는 검토하지 않았다.

세부적으로, 순환골재의 질량감소율은 파쇄횟수별로 각각 7kg의 시료를 5%의 염산용액에 10일간 침지시킨 후, #4체에 잔류하는 골재의 질량을 측정하여 평가하는 것으로 하였다. 또한, 파쇄횟수별 제조된 순환골재의 품질시험 결과는 Table 6에서와 같이 KS F 2573(콘크리트용 순환골재)2)과 함께 일본건설성 순환골재 품질규준4) 등과 비교 평가하는 것으로 하였다.

Table 6 순환골재의 품질

항 목	KS F 2573 <sup>2)</sup>		일본 건설성 <sup>4)</sup>	
	굵은골재	잔골재	굵은골재	잔골재
절건밀도(g/cm <sup>3</sup> )	2.5 이상	2.2 이상	2.5 이상	2.2 이상
흡수율(%)	3.0 이하	5.0 이하	3.0 이하	5.0 이하
0.08mm 손실량(%)	1.0 이하	7.0 이하	1.5 이하	5.0 이하
입형관정실적율(%)	55 이상	53 이상	55 이상	53 이상
불순물량(%)	1.0 이하		1.0 이하	

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 파쇄횟수에 따른 골재별 발생비율

원 콘크리트의 파쇄횟수에 따라 제조된 순환 굵은골재, 잔골재, 그리고 미립분의 발생비율은 Table 7과 같다.

Table 7 파쇄횟수에 따른 골재별 발생비율

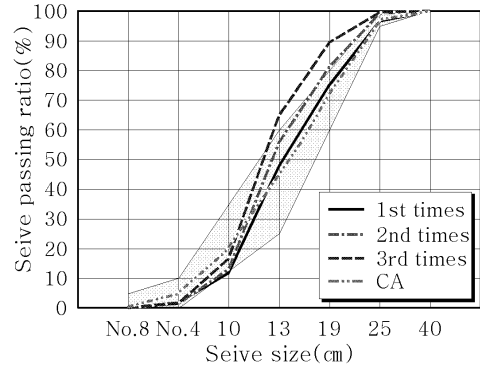
구분 종류	파쇄횟수별 골재별 발생 비율(%)		
	1차 파쇄	2차 파쇄	3차 파쇄
굵은골재	76	69.2	66
잔골재	22.9	26.8	31.9
미립분	1.1	1.6	2.1

Table 7에 의하면, 파쇄횟수가 증가될수록 잔골재량이 증가되는 것으로 나타났는데, 이는 굵은골재에 부착되어 있던 모르타르 부분이 제거되어 나타난 결과라 할 수 있다. 또한, 굵은골재나 모르타르를 포함한 잔골재 이외에도 투입된 콘크리트의 질량대비 약 2% 정도의 미립분도 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 미립분의 성분분석과 함께 이를 활용할 수 있는 방안에 대한 검토가 필요하다는 것을 의미하는 것이다.

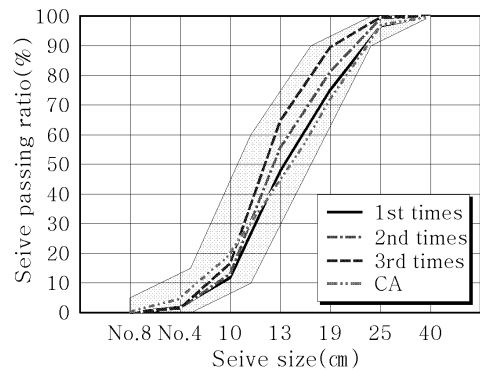
#### 3.2 파쇄횟수에 따른 입도특성

파쇄횟수에 따른 순환 굵은골재의 입도특성은 Fig 1과 같다. 원 콘크리트의 굵은골재 (CA)에 비해 순환 굵은골재의 입도는 파쇄횟수가 증가할수록 13mm와 19mm 골재의 체통과율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 파쇄횟수가 증가함에 따라 굵은골재에 부착된 모르타르가 제거되는 효과도 있겠지만, 추가적으로 굵은골재가 파쇄되는 비율도 증가하여 나타난 결과로 판단된다. 한편, KS규준에서 제시하고 있는 표준 입도범위에 대하여 비교-검토할 경우, 2차 파쇄까지만 만족하는 것으로 나타난 반면, 일본건설성 순환 굵은골재의 표준입도범위에 적용할 경우 대부분이 표준입도범위에 양호한 수준에서 포함되는 것으로 나타났다.

Fig 2는 Fig 1과 동일한 요령으로 순환 잔골재의 입도특성을 나타낸 것이다. 순환 잔골재의 경우는 순환 굵은골재에 비해 파쇄횟수에 따른 영향이 적은 것으로 나타난 반면, KS 및 일본건설성에서 제시하고 있는 입도범위를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 한편, 순환 잔골재의 경우 원 콘크리트에 사용한 잔골재(NS)에 비해 체통과율

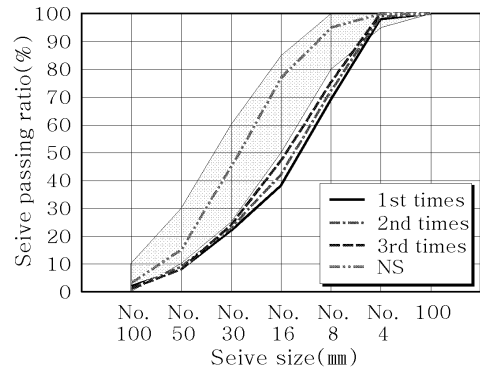


(a) KS F 2573

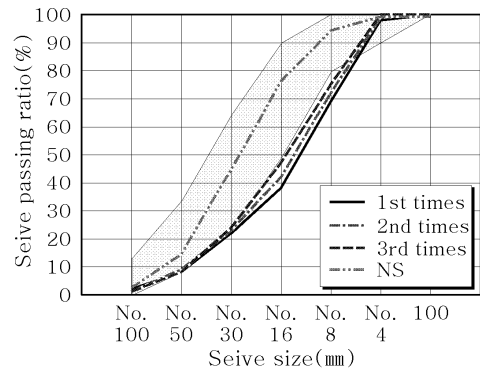


(b) 일본건설성

Fig 1 파쇄횟수별 굵은골재의 입도곡선



(a) KS F 2573



(b) 일본건설성

Fig 2 파쇄횟수별 잔골재의 입도곡선

이 다소 낮은 것으로 나타났다. 이는 금회에 사용한 Jaw Crusher가 25mm용 굵은골재를 대상으로 하는 특성에 기인한 결과로 판단된다.

### 3.3 순환골재의 질량감소를 및 마모감량

Fig 3은 압축강도 38.7MPa를 나타내는 원 콘크리트를 대상으로 순환 굵은골재의 파쇄횟수별 질량감소율 및 마모감량을 나타낸 것이다. 파쇄횟수가 증가할수록 질량감소율은 각각 13.7, 13.1, 12.2%로 감소하는 것으로 나타났으며, 마모감량도 파쇄횟수에 따라 각각 36, 34, 31%로서 유사한 경향인 것으로 나타났다. 아울러 이를 바탕으로 질량감소율과 마모감량 간에 상호관계를 분석한 결과는 식 (1)과 같다.

$$LosA = 2.4461 \times W.L + 1.558 \quad \text{식(1)}$$

여기서,  $LosA$  : 마모감량,  $W.L$  : 질량감소율

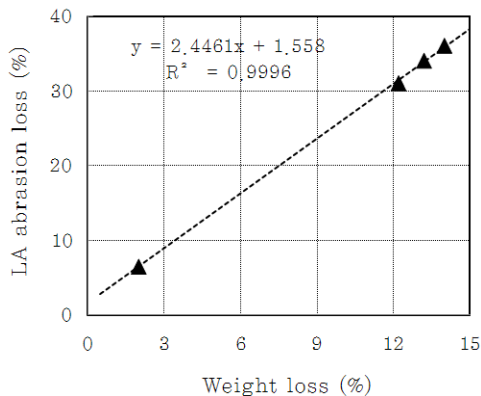
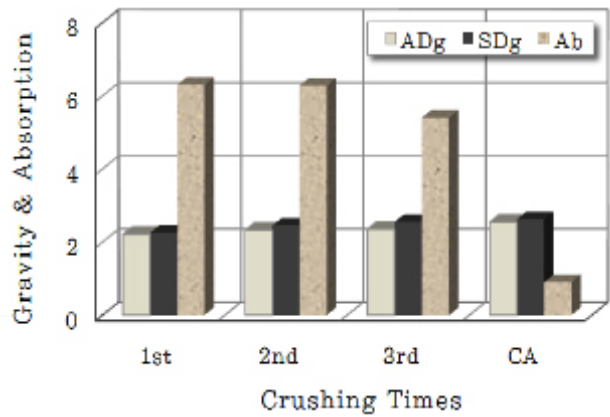


Fig 3 파쇄횟수별 질량감소율과 마모감량의 관계

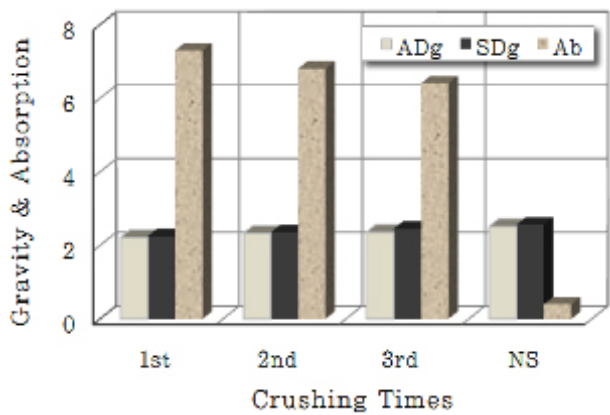
### 3.4 파쇄횟수에 따른 밀도 및 흡수율

본 연구에서는 파쇄횟수에 따른 밀도 및 흡수율의 변화 특성을 평가하고자 하였다.

Fig 4는 원 콘크리트의 파쇄횟수에 따른 순환 굵은골재와 잔골재의 절건밀도(ADg), 표건밀도(SDg), 그리고 흡수율(Ab) 특성을 나타낸 것이다. 먼저, 순환 굵은골재의 경우 파쇄횟수가 증가할수록 흡수율이 감소하는 것으로 나타난 반면, 밀도는 다소 증가되는 것으로 나타났다. 즉, 밀도의 경우 원 콘크리트에 사용된 굵은골재(CA)와 거의 유사한 값을 나타낸 반면, 흡수율의 경우는 일반골재(CA)에 비해 매우 높은 값을 나타내어, KS F 2573의 흡수율



(a) 굵은골재



(b) 잔골재

Fig 4 파쇄횟수별 잔굵은골재의 밀도 및 흡수율

규정을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 일본건설성에서 제시하고 있는 기준(7%이하)은 만족하고 있기 때문에, 순환골재의 사용성에 대한 추가검토가 필요하다는 결론을 얻었다.

한편, 순환 잔골재의 경우도 순환 굵은골재와 유사한 경향으로서 국내 기준은 만족하지 못하나, 일본건설성의 흡수율 기준(13%이하)은 만족하는 것으로 나타났다.

### 3.5 입형판정실적을 및 씻기시험결과

파쇄횟수에 따른 순환 굵은골재의 입형판정 실적을 및 0.08mm 통과량은 Table 8과 같다.

먼저, 순환 굵은골재의 입형판정 실적율은 KS F 2573의 기준 (55%이상)을 만족하는 것으로 나타났으며, 파쇄횟수가 증가할수록 다소 증가하는 경향으로 나타났다. 그러나 0.08mm 통과량의 경우는 굵은골재만이 3차 파쇄에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 8 파쇄횟수에 따른 순환골재의 실적율 및 손실율

파쇄횟수		KS F 2573	1차	2차	3차	원골재
굵은 골재	입형판정 실적율(%)	55 이상	58.0	59.0	59.0	58.2
	0.08mm 통과량(%)	1.0 이하	1.70	1.50	0.90	0.5
잔골재	0.08mm 통과량(%)	7.0 이하	8.20	7.90	7.30	2.0

### 3.6 마모감량과 밀도/흡수율 특성

Fig 5는 순환 굵은골재의 마모감량과 밀도 및 흡수율간의 상호관계를 선형으로 회귀분석한 결과를 나타낸 것이다.

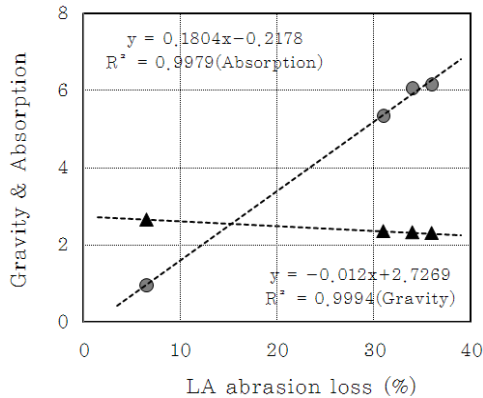


Fig 5 순환골재의 마모감량과 밀도 · 흡수율의 관계

분석결과, 마모감량이 증가할수록 흡수율은 비례하여 증대되는 반면, 밀도는 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 다음 식2, 3과 같다.

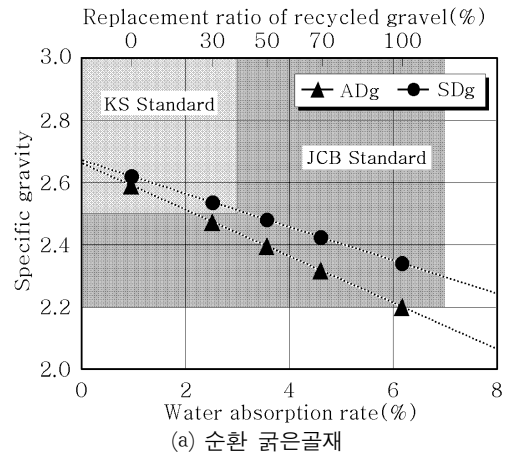
$$Gr = -0.012 \times LosA + 2.7269 \quad \text{식(2)}$$

$$Ab = 0.1804 \times LosA - 0.2178 \quad \text{식(3)}$$

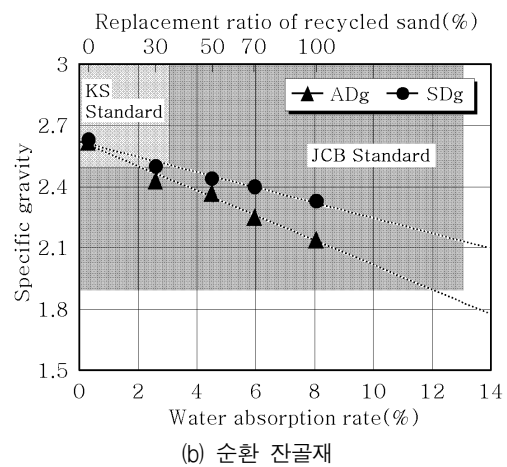
여기서, Gr: 밀도, LosA: 마모감량, Ab: 흡수율

### 3.7 순환골재 치환율에 따른 품질특성

파쇄횟수가 증가할수록 순환골재의 품질은 점차 개선되는 것으로 나타났으나, 입도나 흡수율 등은 일부 미흡한 부분이 있다. 따라서 실제 콘크리트에 사용하기 위한 방법으로 천연골재와 혼합하여 사용하는 방법에 대해 검토하



(a) 순환 굵은골재



(b) 순환 잔골재

Fig 6 순환 잔 · 굵은골재의 치환율에 따른 품질특성

였으며, 이때 혼합방법은 천연골재의 일부분을 순환골재로 치환하는 방법으로 하였다. Fig 6은 순환골재의 치환율 변화에 따른 밀도 및 흡수율 특성을 나타낸 것이다.

검토결과, 순환 잔 · 굵은골재의 치환율 30%까지는 KS F 2573(콘크리트용 순환골재)의 밀도(2.5g/cm³ 이상) 및 흡수율(3.0% 이하)을 만족하는 것으로 나타난 반면, 일본건설성의 기준을 적용하였을 경우 순환골재의 치환율이 100%인 범위까지도 밀도 및 흡수율을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 순환골재의 활용성을 극대화하기 위해서는 국내기준에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 4. 순환잔골재를 사용한 모르타르 특성

순환 잔골재를 사용한 모르타르의 유동특성을 평가할 목적으로 플라야에서 0%, 30%와 함께 순환 잔골재 치환율 0, 30, 50, 70, 100%에 대한 플로우 시험을 실시하였는데, 그 결과는 Fig 7과 같다. 전반적으로 순환 잔골재의 치환율이 증가할수록 유동성은 감소하는 것으로 나타났는데,

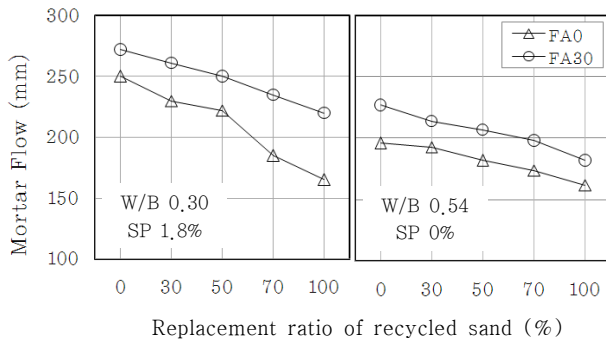


Fig 7 순환 잔골재 혼입에 따른 유동특성

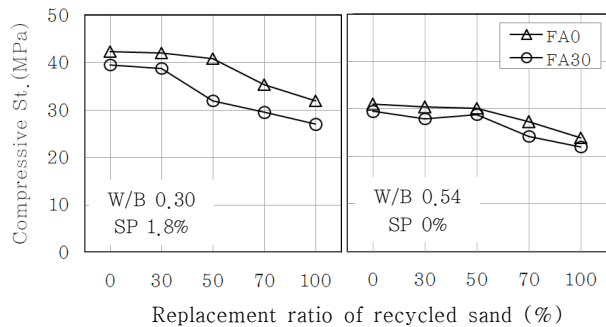


Fig 8 순환 잔골재 혼입에 따른 강도특성 (재령 28일)

이는 순환 잔골재의 높은 흡수율에 기인된 것으로 사료된다. 그러나 이러한 특성은 물-결합재비가 높은 범위에서 둔화되는 것으로 나타나고 있어, 일반강도 범위의 콘크리트에 대상으로 활용하는 방안도 유효할 것으로 판단된다.

Fig 8은 순환 잔골재를 혼입한 모르타르의 재령 28일 압축강도특성을 나타낸 것이다. 전반적으로 순환 잔골재의 혼입율이 증가할수록 강도는 낮아지는 것으로 나타났다. 특히 혼입율 50%를 기점으로 급격히 감소하는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 순환 잔골재를 양질의 일반 잔골재와 혼합하여 사용함에 있어 적정의 혼입율이 존재한다는 것을 의미하는 것이다.

## 5. 결론

원콘크리트의 파쇄횟수별 및 치환율에 따른 순환골재의 재료특성에 관한 품질관리 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 1회 파쇄한 순환 굵은골재의 입도는 규준을 만족하지만, 파쇄횟수가 증가할수록 천연골재와 혼합사용이 권장된다.
- (2) 파쇄횟수가 증가할수록 밀도·흡수율·마모감량 및 질량 감소율이 개선되어, 순환골재 품질규준을 만족하였다.
- (3) 모르타르 실험결과, 양질의 천연골재와 함께 적정비율 혼합하고, 여기에 물-결합재비가 다소 큰 일반강도 범위의 콘크리트에 대상으로 활용하는 것이 유효하다는 결론을 얻었다.

## 참고문헌

1. Mostafa Tavakoli and Parviz Soroushian, "Strengths of Recycled Aggregate Concrete Made Using Field-Demolished Concrete as Aggregate", ACI Material Journal, 3~4, 1996
2. KS F 2573 : 콘크리트용 순환골재, 2006
3. 阿部道彦, "再生骨材を用いたコンクリート", 콘크리트工学, Vol. 33, No. 12, 1995. 12, pp. 110~116.
4. 建設省技調發 第88號, 建設大臣官房技術調査室長通達, "コンクリート副産物の材利用に関する用途別品質基準(案)", 1994. 4. 11
5. 河野廣隆, "コンクリート副産物の再利用促進にむけて", セメント・コンクリート, No.572, pp.52~55, 1994.10
6. 河野廣隆, "再生材の品質基準(案)の制定について", 月刊生コンクリート, Vol.13, No.11, pp.25~30

### 파쇄횟수가 순환골재의 품질특성에 미치는 영향

최근 천연골재의 부족현상과 더불어 도심지의 재개발·재건축 사업 등이 진행됨에 따라 발생하는 막대한량의 폐콘크리트는 현재 당면하고 있는 심각한 문제라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 원콘크리트의 배합조건 및 골재특성이 콘크리트의 유동 및 강도특성에 미치는 영향을 평가할 목적으로 동일 배합조건의 공시체를 제작하여 6개월간 폭로시킨 후, 파쇄하여 순환 골재로 사용함으로써 원콘크리트에 적용된 콘크리트의 특성이 순환골재의 기초특성에 미치는 영향을 평가하고, 아울러 천연골재와의 혼합비율에 따른 품질개선 효과 등에 대하여 검토하였다. 검토결과, 순환골재를 단독으로 사용하는 방안보다는 양질의 천연골재와 함께 적정비율 혼합하고, 여기에 물-결합재비가 다소 큰 일반강도 범위의 콘크리트에 대상으로 활용하는 것이 유효하다는 결론을 얻었다.