

# 건식제조법에 의해 생산된 고품질 재생잔골재의 활용성 검토를 위한 실험적 연구

## An Experimental Study on Investigation for Application of High Quality Recycled Fine Aggregate Produced by Dry Manufacturing Method

문형재\*      구경모\*\*      노경민\*\*      조봉석\*\*\*      김규용\*\*\*\*      김무현\*\*\*\*\*  
Moon, Hyung-Jae      Koo, Gyung-Mo      Roh, Kyung-Min      Cho, Bong-Suk      Kim, Gyu-Yong      Kim, Moo-Han

### Abstract

Recently, for the problem solution of demand and supply imbalance of fine aggregate due to the shortage of natural fine aggregate and the environment regulation on sea sand extraction in the construction field, the studies for the application of recycled fine aggregate using waste concrete are being progressed versatily.

The purpose of this study is to investigate quality of recycled fine aggregate manufactured by drying manufacturing system which is the manufacture method of high quality recycled fine aggregate, and to analyze on the hardened and durability properties of recycled concrete using it. Therefore it is to present the fundamental data for application and utilization of recycled concrete.

The results of this study are as follows:

Quality of recycled fine aggregate by drying manufacturing system is improved, and compressive strength, carbonation depth and chloride ion penetration depth of recycled concrete using high quality recycled fine aggregate are similar to those of normal concrete using natural and crashed sand. But, resistance to  $H_2SO_4$  show decreased somewhat.

키 워 드 : 건식비중분리법, 고품질 재생잔골재, 대체율, 압축강도, 내구성능

Keywords : Drying specific gravity separation method, High quality recycled fine aggregate, Replacement ratio, Compressive strength, Durability

## 1. 서 론

최근 일본에서는 2003년 일본건축학회 건축공사표준사양서 JASS 5에 천연골재의 품질기준과 유사하게 고품질 재생골재의 품질기준이 제정되어 건설현장에 실용화되고 있으며<sup>1)</sup>, 특히 2005년 3월에는 재생골재의 품질등급을 H/M/L의 3등급으로 설정하여 품질에 따른 재생잔골재의 활용을 적극 장려하고 있다.

한편 국내의 경우 건설폐기물의 재활용 및 천연골재자원의 고갈 및 환경규제 강화를 위한 대처방안으로서 재생잔골재의 콘크리트용 골재로의 적용을 위한 고품질화 제조기술 및 재생 콘크리트에 관한 연구가 다각적으로 진행되고 있는 상황이다<sup>2)</sup>.

그러나 재생잔골재를 생산하는 다양한 방식 중 현재 기술로서 건식제조법에 의해 천연골재와 유사한 수준의 재생잔골재를 생산하는 데는 한계가 있는 실정이므로, 본 연구에서는 천연골재와 유사한 수준의 고품질 재생잔골재를 제조하는 방법

으로서 건식제조법에 의해 생산된 재생잔골재의 품질을 검토한 후, 이를 사용한 재생콘크리트의 압축강도 및 내구성상에 관하여 검토·분석하고 아울러 최근 활용이 증가되고 있는 부순 잔골재를 사용한 콘크리트의 품질과 비교·검토함으로써 향후 재생잔골재의 건설산업용 대체잔골재로서의 활용가능성 및 실용화를 위한 기초자료로 제시하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 배합

표 1은 건식제조법에 의해 제조된 고품질 재생잔골재의 품질평가 항목을 나타낸 것으로 처리전, 파쇄공정만을 거친 후, 1차 건식 비중분리를 거친 후 및 2차 건식 비중분리를 거친 후 등 총 4단계로 구분하여 골재 품질에 가장 큰 영향을 미치는 체가름 시험, 비중 및 흡수율에 대하여 각각의 KS 규준에 준하여 품질을 평가하였다<sup>3)</sup>.

\* 충남대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

\*\* 충남대학교 건축공학과 학부과정, 학생회원

\*\*\* 충남대학교 건축공학과 박사과정, 정회원

\*\*\*\* 충남대학교 건축공학과 조교수·공박, 정회원,

\*\*\*\*\* 충남대학교 건축공학과 교수·공박, 정회원.

표 1. 재생잔골재의 품질평가 항목 및 결과

잔골재종류	처리전	파쇄공정	1차 건식비중 분리공정	2차 건식비중 분리공정
평가항목				
비 중	2.19	2.39	2.49	2.50
조립율 (F.M.)	3.49	3.21	3.10	3.01
흡수율 (%)	10.29	6.02	3.78	2.79

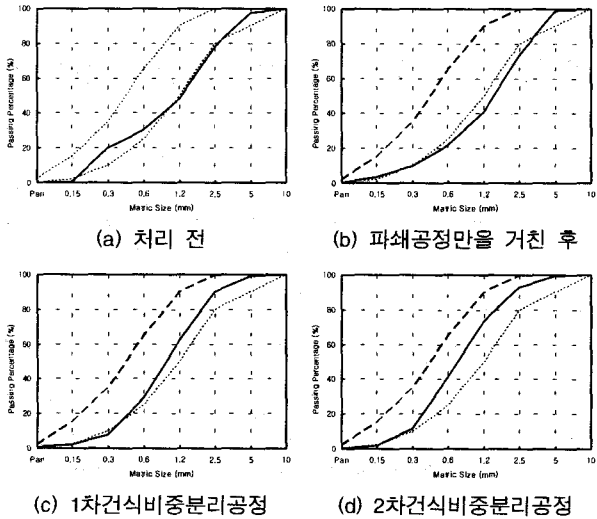


그림 1. 재생잔골재의 입도분포곡선

평가결과, 2차 건식비중분리공정을 거쳐 최종적으로 생산된 재생잔골재의 경우 천연잔골재와 유사한 수준의 재생잔골재가 생산되었고, 최종 생산된 재생잔골재의 입도는 그림 1과 같이 표준입도분포 곡선을 만족하는 것으로 나타났다.

또한 표 2는 건식제조법에 의해 생산된 고품질 재생잔골재를 사용한 재생콘크리트의 성상을 검토하기 위한 실험계획 및 배합으로서 W/B를 50%, 단위수량을 175 kg/m<sup>3</sup>, 잔골재율 47% 및 FA대체율을 15%로 설정하고, 2차 건식비중분리를 거쳐 생산된 재생잔골재를 대상으로 대체율을 0, 25, 50, 100%의 4

표 2. 실험계획 및 배합

W/B (%)	잔골재 종류	잔골재 대체율 (%)	목 표 슬럼프 (cm)	FA 대체율 (%)	S/a (%)	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	절대용적 (kg/l)			단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )				측 정 항 목 <sup>1)</sup>			
							시멘트	FA	잔골재종류	천연 굵은 골재	시멘트	FA	잔골재종류		천연 굵은 골재		
													천연			재생/부순	천연
50	재생	0	15 ± 1	15	47	175	94	24	327	0	369	298	53	838	0	979	•압축강도 (MPa) (재령 7, 28, 56일) •중성화깊이 (mm) •염화물이온 침투깊이 (mm) •황산화저항성
		245							82	369	640			204	979		
		164							164	369	420			410	979		
		0							327	369	0			818	979		
	0	327	369	0	854	979											
부순	100																

주 1) 중성화 깊이 : 4주 수중양생+1주 기건양생 후 촉진재령 1, 2, 4주  
 염화물이온 침투깊이 : 4주 수중양생+1주 기건양생 후 침지재령 1, 2, 4주  
 황산화저항성 : 5%황산수용액에 침지 후 침지재령 1, 2, 4주에 질량감소를 측정

수준과 부순잔골재 100%를 설정하여 압축강도 및 내구특성에 대하여 검토 및 분석하고자 하였다<sup>4)</sup>.

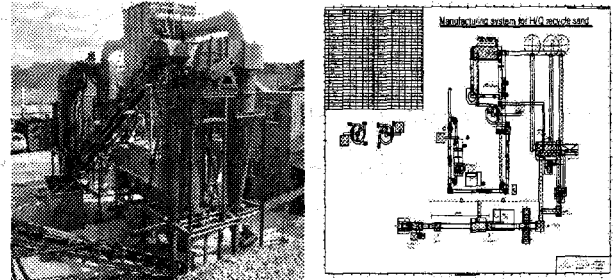


사진 1. 재생잔골재 생산 전경 및 배치도

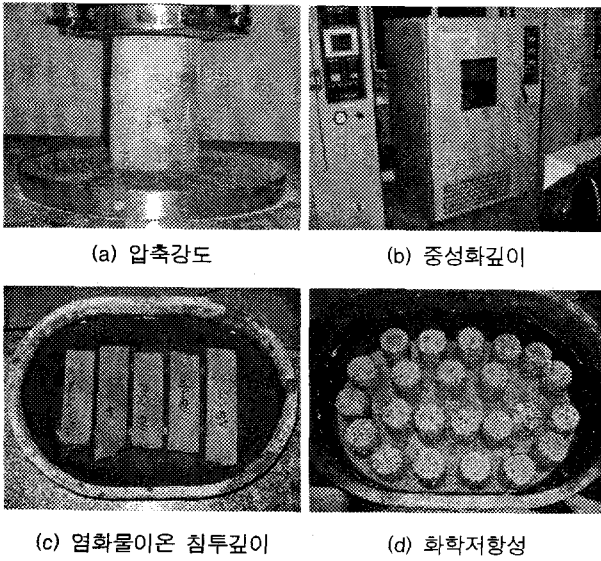
표 3. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물 리 적 성 질
시멘트	보통포틀랜드 시멘트 (비중 3.15)
혼화제	폴리카르본산계 고성능AE감수제
혼화제	플라이애시 (비중 2.13)
굵은골재	부순자갈 (비중 2.65, 흡수율 0.82%, 조립율 6.50)
잔 골 재	제염사 (비중 2.56, 흡수율 0.64%, 조립율 3.04)
	재생잔골재 (비중 2.50, 흡수율 2.79%, 조립율 3.01)
	부순잔골재 (비중 2.61, 흡수율 0.73%, 조립율 3.04)

## 2.2 사용재료 및 비빔방법

사용된 재료의 물리적 성질은 표 3에 나타난 바와 같으며, 굵은골재는 비중 2.56의 부순자갈을 사용하였고, 잔골재의 경우 비중 2.56의 제염사와 비중 2.61의 부순잔골재를 사용하였다.

또한 본 연구에서 사용된 재생잔골재의 경우 사진 1과 같은 건식 제조장치에서 생산된 비중 2.50, 흡수율 2.79%의 고품질 재생잔골재를 사용하였다.



(a) 압축강도 (b) 중성화깊이

(c) 염화물이온 침투깊이 (d) 황산화저항성

사진 2. 각종 시험 장면

재를 투입하여 60초간 비빔을 실시하였으며 총 비빔시간은 2분 30초 소요되었다.

### 2.3 시험체 제작, 양생방법 및 시험방법

시험체 제작은 압축강도를 측정하기 위하여  $\varnothing 10 \times 20$ cm의 원주형 시험체를 제작하여 약 24시간 후 물드를 탈형하고 측정 재령까지 수중양생을 실시한 뒤 콘크리트용 연마기로 평활하게 마감하였으며, 중성화 및 염화물이온 침투깊이 측정용 시험체는 각각  $7.5 \times 10 \times 40$  cm와  $10 \times 10 \times 40$  cm의 시험체로 제작하여 28일 수중양생을 실시한 후 14일간 기건양생을 실시하였다.

또한 압축강도는 KS F 2405의 규준에 준하여 실시하였고, 중성화 시험은 온도 20℃, 상대습도 50%, CO<sub>2</sub>농도 5% 조건에서 중성화 측정을 실시하였으며, 중성화 깊이는 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 표면으로부터 적자색으로 변화하지 않는 부분을 중성화깊이로서 측정하였고, 염화물이온 침투깊이 측정은 3%의 NaCl 수용액에 측정재령까지 침지한 후 할랄하여 0.1N AgNO<sub>3</sub>용액을 분무하여 표면으로부터 변색된 부위 중 5개소의 평균값을 침투깊이로 하였다.

또한 황산화저항성 시험은 시험체를 5%의 황산수용액에 침지하고 각 재령별로 건조한 후 침지전의 질량에 대한 염산에 용해된 질량의 감소율을 구하여 측정하였고, 각종 시험 장면을 사진 2에 나타내었다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 압축강도

그림 2는 잔골재 종류 및 재생잔골재 대체율에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것으로, 재령에 관계없이 부순잔골재 및 재생잔골재를 사용한 경우 천연잔골재에 비해 유사하거나 다소 향상된 압축강도를 발현하는 것으로 나타나 이와 같은 결과를 토대로 천연잔골재와 유사한 수준의 재생잔골재를 사용할 경우 강도상 문제는 거의 발생하지 않을 것으로 판단되었다.

또한 재생잔골재 대체율에 따라서는 재생잔골재의 대체율이 증가할수록 압축강도는 다소 저하하는 것으로 나타났으며, 특히 재생잔골재 대체율 25%의 경우 상대적으로 가장 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타나 향후 재생잔골재 활용시 대체율에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

#### 3.2 중성화 및 염화물이온 침투깊이

그림 3은 잔골재 종류 및 재생잔골재 대체율에 따른 중성화 깊이의 변화를 나타낸 것으로 재생잔골재를 사용한 경우 중성화 깊이는 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 재생잔골재에 비해, 재염사와 부순잔골재를 사용한 콘크리트의 경우 중성화에 대한 저항성이 다소 높은 것으로 나타났으나 변화폭이 기존의 일반재생잔골재를 사용한 경우에 비해 상대적으로 낮은 수준을 나타내었다.

또한 그림 4는 잔골재 종류 및 재생잔골재 대체율에 따른 염화물이온 침투깊이의 변화를 나타낸 것으로 염해저항성은 모

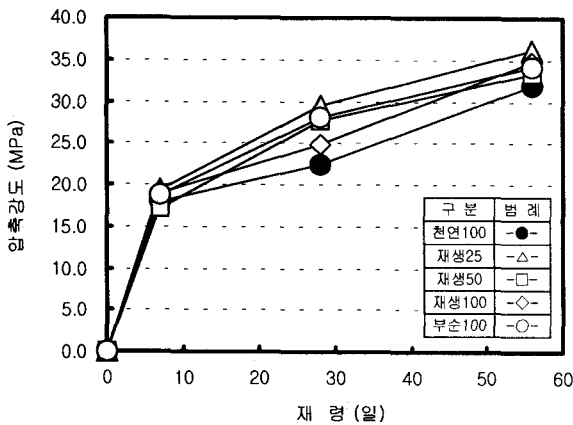


그림 2. 재령에 따른 압축강도의 변화

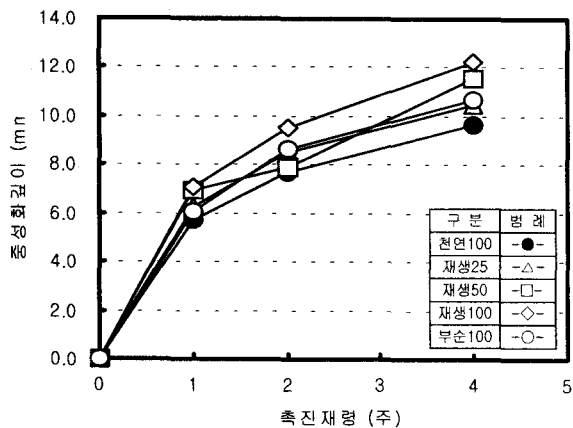


그림 3. 축진재령에 따른 중성화깊이의 변화

한편 콘크리트의 비빔은 100ℓ의 강제식 팬타입믹서를 이용하여 시멘트, 잔골재를 투입하여 30초간 건비빔한 후 물과 고성능AE제감수제를 투입하여 60초간 비빔을 실시하고, 굵은골

든 재령에 있어서 재생잔골재, 부순잔골재 및 천연잔골재를 사용한 콘크리트에서 유사하게 나타났다.

한편 재생잔골재 대체율에 따른 중성화깊이 및 염화물이온 침투깊이는 대체로 대체율이 증가할수록 중성화 및 염해에 대한 저항성이 감소하는 것으로 나타났는데 이는 천연잔골재 및 부순잔골재에 비해 상대적으로 다소 높은 흡수율로 인하여 재생골재 콘크리트의 투수성이 보통콘크리트에 비해 크기 때문인 것으로 사료된다.

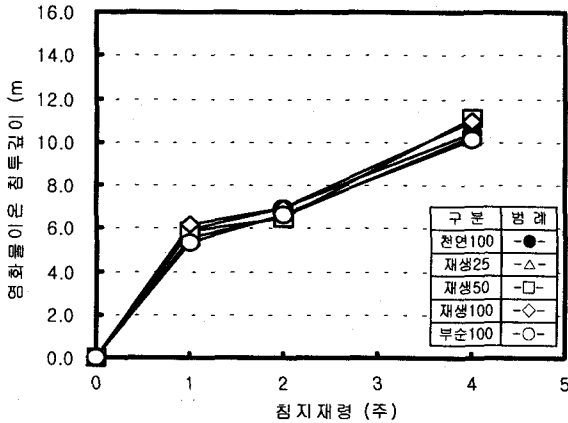


그림 4. 침지재령에 따른 염화물이온 침투깊이의 변화

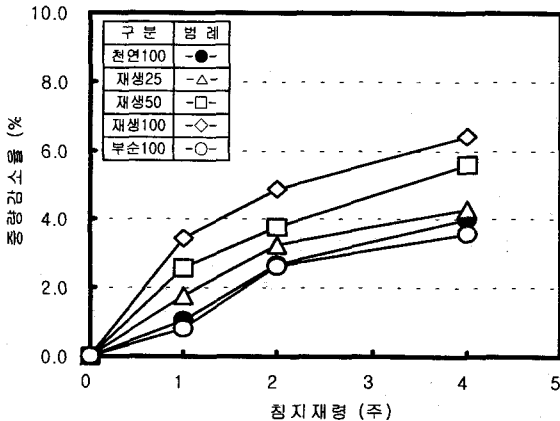


그림 5. 침지재령에 따른 중량감소율의 변화

### 3.3 황산화저항성

그림 5는 잔골재 종류 및 재생잔골재 대체율에 따른 화학저항성 시험결과 중 5% 황산수용액에 침지한 시험체의 중량감소율을 나타낸 것으로 중량감소율은 부순잔골재 ≤ 천연잔골재 < 재생잔골재의 순으로 크게 나타났는데 이는 천연이나 부순 잔골재에 비해 재생잔골재의 미립분량이 크기 때문이며, 재생 잔골재 대체율에 따라서는 대체율이 증가할수록 중량감소율이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 대체율이 증가할수록 재생 잔골재의 표면에 부착된 시멘트페이스트량이 상대적으로 많기 때문인 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

건식제조법에 의해 생산된 고품질 재생잔골재의 품질 검토 및 이를 사용한 재생콘크리트의 공학적 특성 및 내구성능에 관한 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 건식제조법에 의해 재생잔골재는 각 공정단계를 거칠수록 품질이 향상되는 것으로 나타났으며, 비중 및 흡수율 등이 천연잔골재의 품질기준 및 JASS 5의 건축구조용 재생잔골재의 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 고품질 재생잔골재를 사용한 재생콘크리트의 압축강도는 천연 및 부순잔골재를 사용한 경우에 비해 유사하거나 다소 높은 강도를 발현하였으며, 특히 재생잔골재 대체율 25%일 때 가장 우수한 압축강도 발현성능을 나타내었다.
- 3) 내구성상 중 중성화와 염화물이온침투깊이는 재생잔골재를 사용한 경우 천연 및 부순잔골재에 비해 다소 크게 나타났으나, 기존에 비해 차이가 작게 나타난 반면 황산화저항성은 상대적으로 크게 나타나 향후 재생잔골재의 품질 향상에 있어서 미립분량 등에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 삼성물산(주) 건설부문 「고품질 재생골재콘크리트의 개발 및 건설생산현장 적용성 평가에 관한 연구」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 日本建築學會, 建築工事標準仕様書-同解説 (JASS 5 鐵筋コンクリート工事), 2003
2. 최민수, "건설폐기물의 재활용 촉진을 위한 법제 정비 방안", 한국건설산업연구원, 2002
3. 김무한 외, "건식제조방식에 의해 생산된 재생잔골재의 품질 및 모르타르 특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제15권 제2호, 2003, pp.229-232
4. 김무한 외, 폐기콘크리트를 활용한 재생골재의 각종 물성에 관한 실험적 연구, 한국폐기물학회지, 제15권 제3호, 1998, pp. 203-209