

# 재생잔골재 대체가 콘크리트 성능에 미치는 영향

## Effect of Substitution of Recycled Fine Aggregate on Concrete Performance.

정 용 일\*      양 은 익\*\*      정 기 철\*\*\*      김 학 모\*      최 중 철\*  
Yong-Il Jeong      Eun-Ik Yang      Ki-Chul Jung      Hak-Mo Kim      Joong-Chul Choi

---

### ABSTRACT

In this paper, the characteristics of fresh and hardened recycled concrete were experimentally compared to investigate the applicability of the recycled fine aggregates with the substitution ratio. Test results show that the workability of the recycled concrete decreases with the increment of substitution ratio of the recycled fine aggregates except for type-D case which has a lower absorption ratio. Also air content was increased with increasing substitution ratio. It was found that the compressive strength and elastic modulus of recycled concrete were decreased with increasing substitution ratio of the recycled fine aggregates. And, the superplasticizer was more effective on the workability recovery of the recycled concrete.

---

### 1. 서론

최근 대도시 주변에서는 도시재개발과 구조물의 경제적 및 기능수명의 단축으로 인해 철근콘크리트 구조물의 해체가 급속히 증가하고 있다. 이에 따라 많은 양의 건설폐기물이 배출되고 있으며 이러한 건설폐기물의 처리는 주로 매립에 의존하고 있지만 매립을 위한 막대한 처리비용으로 인하여 불법적으로 처리되고 있으며 심각한 환경문제를 일으키고 있다. 또한 국내 건설현장에서는 천연골재 자원의 고갈에 따른 골재 공급의 부족 현상이 발생하고 있다. 이로 인해 재생골재의 활용성에 대한 연구(이진용 외, 1998; 박재성, 1999; 남영국 외 2000)가 확산되고 있다.

본 연구에서는 건설폐기물의 일종인 폐콘크리트를 재생굵은골재로 재활용하기 위한 제조과정에서 부산되는 재생잔골재(재생굵은골재 중량비의 25%정도)의 콘크리트 재료로서의 활용 가능성을 정량적으로 조사하기 위하여 재생잔골재를 대체 사용한 콘크리트의 시공성 및 역학적 특성을 검토하였다.

---

\* 정희원, 강릉대학교 토목공학과 대학원생

\*\* 정희원, 강릉대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 영락건설(주), 이사

## 2. 실험

### 2.1 실험개요

본 실험은 재생잔골재 활용성을 조사하기 위하여 재생잔골재 대체율에 따른 재생콘크리트의 시공성 및 역학적 특성을 비교 검토하였다. 4종류의 재생잔골재를 수집하여 기초물성을 실험한 후 3종류에 대하여 치환율을 0, 20, 40, 60, 80, 100 %로 변화시켜가며 재생잔골재의 종류에 따른 시공성 및 역학적 특성을 파악하였으며 1종류에 대하여 치환율에 따른 최적혼화제량을 결정하였고, 재생잔골재 사용에 따른 시공성 악화를 개선하는 방안으로써 플라이애쉬의 가능성을 검토하였다.

기준 배합비는 설계기준강도 240 kgf/cm<sup>2</sup>을 표 1과 같이 선정하였으며, 재생잔골재 혼입에 따른 재생콘크리트의 시공성 및 역학적 특성을 파악하기 위한 실험의 변수는 표 2와 같다.

표 1 콘크리트 배합비

W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	S.P. (%)
50	45	175	350	811.9	1038	-

표 2 실험변수

실험변수	내 용	비 고
재생잔골재 종류	Type A (흡수율 : 12.16) Type B (흡수율 : 11.39) Type C (흡수율 : 10.78) Type D (흡수율 : 7.80)	-
재생잔골재 치환율	0, 20, 40, 60, 80, 100 %	잔골재 내할 혼입
플라이애쉬 혼입율	0, 10, 20 %	시멘트 중량비
콘크리트 재령	3, 7, 28 일	-

### 2.2 사용재료

#### (1) 시멘트 및 혼화재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 재생잔골재 혼입에 따른 시공성의 저하를 고려하여 J사의 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였다. 플라이애쉬는 충남 태안발전소에서 부산된 유연탄 플라이애쉬를 사용하였으며 그에 대한 화학적 성분과 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3 플라이애쉬의 화학성분 및 물리적 성질

화학성분			물리적 성질			
습분(%)	강열감량(%)	이산화규소(%)	비중	분말도(cm <sup>2</sup> /g)	단위수량비(%)	압축강도비(%)
0.18	3.50	55	2.36	3580	98	84

#### (2) 골재

본 실험에서 사용된 잔골재는 강릉시 송정지역에서 채취한 모래를 사용하였고, 굵은골재는 강릉시 임곡석산의 굵은골재 최대치수 25mm의 쇄석을 사용하였다. 사용골재의 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 4 잔골재와 굵은골재의 물리적 성질

	비중	흡수율(%)	조립율	생산지
잔 골 재	2.60	0.8	2.63	강릉시 송정지역
굵은골재	2.72	0.5	6.55	강릉시 임곡석산

#### (3) 재생잔골재

본 연구는 4종류의 재생잔골재를 수집하여 행하였으며, 각각을 Type-A, B, C, D로 칭하였다.

Type-A는 순수한 페콘크리트만을 분쇄한 것이고, Type-B는 페콘크리트, 조적조등이 섞여 있는 일반적인 건설폐기물을 분쇄한 것이다. Type-C는 일반적인 건설폐기물을 분쇄한 것이지만 Type-B와 다른 재생골재 생산업체에서 수집하였으며, Type-D는 일반적인 건설폐기물을 파쇄과정에서 2차처리한 제품을 나타낸다. 수집한 재생골재는 9mm 재생골재로 생산된 것을 5mm체로 체가름하여 사용하였으며, 체가름곡선과 물리적인 성질을 그림 1과 표 5에 나타내었다.

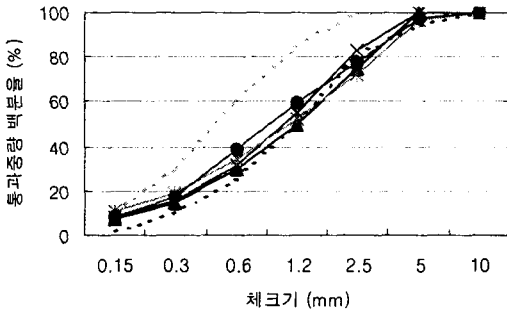


그림 4 재생골재 체가름 곡선

표 5 재생골재의 물리적 특성

Type	비중	흡수율(%)	조립율	생산지
A	2.25	12.16	3.26	양양군 S산업
B	2.24	11.39	3.07	양양군 S산업
C	2.26	10.78	3.15	강릉시 정동진
D	2.34	7.80	3.02	고양시 I산업

### 2.3 실험방법

본 연구의 콘크리트 제작에 있어 사용한 콘크리트 믹서는 팬형 강제식(용량: 60ℓ, 25 rpm)을 사용하였으며 실험에 필요한 사용량을 고려하여 25ℓ을 1회 배치량으로 정하였다. 배합은 배합수를 제외한 모든 재료를 일괄투입 후 1분간 건비빔하였으며 배합수를 투입하는 순간부터 3분간 비빔을 실시하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프(KS F 2402)와 공기량(KS F 2421)을 측정하였으며 굳은 콘크리트의 실험으로는 재령 3, 7, 28일에 압축강도(KS F 2405)와 재령 28일에 탄성계수(KS F 2438)를 측정하였다.

## 3. 재생골재 혼입이 콘크리트의 특성에 미치는 영향

### 3.1 재생골재 치환율에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성

본 실험에서는 수집한 4종류의 재생골재 중에서 흡수율과 수직환경이 비슷한 Type-B와 Type-C 중 Type-B만을 고려하여 Type-A, B, D 3종류의 재생골재를 가지고 실험을 실시하였다. 실험 전에 잔골재와 재생골재를 습윤상태로 만들어 표면수를 보정하였으며, 표면수율을 0~2 %로 조정하였다. 또한 재생골재를 첨가하지 않은 배합에 대한 목표슬럼프 12±2 cm을 맞추기 위하여 고성능감수제를 시멘트 중량의 0.7 %로 실험을 통하여 선정하였다. 그림 2는 재생골재 치환율에 따른 슬럼프 변화를 나타낸 것으로 흡수율이 높은 Type-A, B는 치환율이 증가할수록 슬럼프가 감소하는 경향을 보였으며, 이것은 배합시 페이스트덩어리와 골재에 붙어 있는 페이스트로 인해 슬럼프가 감소하는 것으로 추정된다. 이에 비해 비교적 흡수율이 낮은 Type-D는 치환율에 따른 슬럼프의 감소정도가 미비하였으며 이것은 전처리에 의해 페이스트 성분을 충분히 처리한 결과로 사료된다.

그림 3에는 재생골재 치환율에 따른 공기량 변화를 나타내었다. 그림 3에 따르면, Type-D의 경우 치환율이 증가할수록 공기량이 비례적으로 증가하는 경향을 보이고 있는데 이러한 결과는 페콘크리트를 파쇄하여 얻어진 재생골재에 존재하는 미소균열로 인한 공극의 증가가 원인인 것으로 추정된다. 한편 Type-A, B의 경우는 공기량이 너무 낮게 나타났으며 공기량의 변화도 크게 나타나지 않았다.

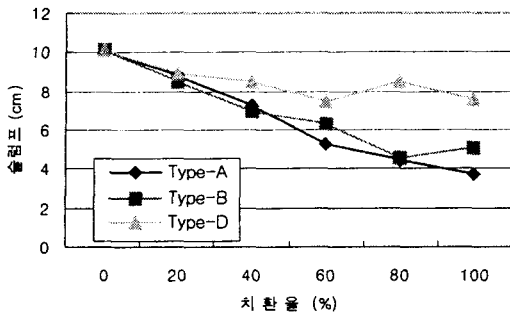


그림 5 재생잔골재 치환율에 따른 슬럼프 변화

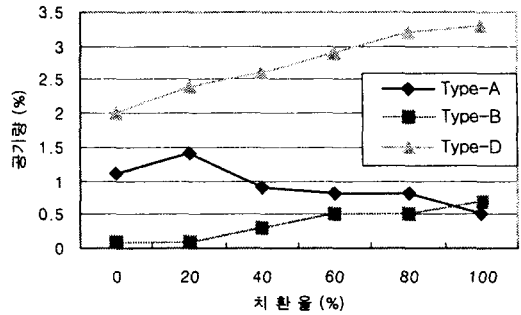


그림 6 재생잔골재 치환율에 따른 공기량 변화

### 3.2 재생잔골재 치환율에 따른 굳은 콘크리트의 특성

재생잔골재 치환율 변화에 따른 콘크리트 압축강도를 그림 4~7에 나타내었다. 먼저, 그림 4에 따르면 치환율 60%까지는 기준콘크리트에 비해 비슷한 강도발현을 보였으며 그 이상의 치환율에서는 기준콘크리트보다 낮은 압축강도를 보이고 있다. 그림 5~6에서는 초기재령에서부터 재생잔골재 치환율 증가에 따라 기준콘크리트와 비교하여 낮은 강도발현을 보이고 있으며 재령이 증가할수록 더 큰 압축강도 차이를 보였다. 그림 7을 살펴보면, 치환율에 증가에 따른 강도 감소는 거의 비례적인 경향을 보이고 있다. Type-A는 재생잔골재를 100% 치환하였을 때 12% 정도의 강도가 감소하였으며 Type-D, B의 순서로 각각 16%, 25% 감소하였다.

이와 같은 결과는 순수한 콘크리트만을 분쇄한 Type-A의 경우 포함된 모르터 성분이 콘크리트의 강도 발현에 기여한 결과로 판단된다. 또한 재령이 증가할수록 치환율 증가에 따라 압축강도가 감소하는 것은 굳은 콘크리트의 내부에서 재생잔골재가 존재하는 부분이 결합부위로서 작용하기 때문으로 판단된다.

재령 28일에서의 압축탄성계수 결과를 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 치환율이 증가할수록 콘크리트의 탄성계수가 감소하는 경향을 보이고 있는데 이것은 사용되는 재생잔골재의 탄성계수가 자연잔골재의 탄성계수에 비해 작기 때문에 잔골재를 재생잔골재로 치환하면 할수록 콘크리트의 탄성계수가 감소하는 것으로 판단된다. 재생잔골재의 탄성계수가 잔골재의 탄성계수보다 작은 주요 원인은 재생잔골재에 부착되어 있는 모르터에 포함되어 있는 미소균열에 의한 것으로서, 이 균열은 재생잔골재 생산 시 파쇄작업으로 인하여 발생한다.

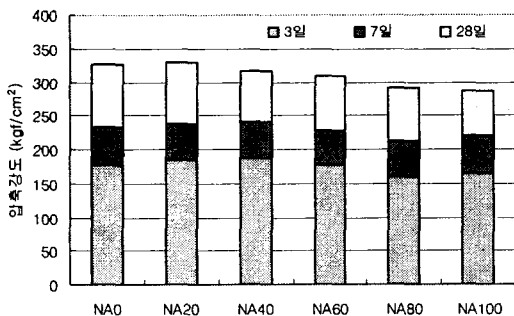


그림 7 Type-A의 혼입에 따른 압축강도 변화

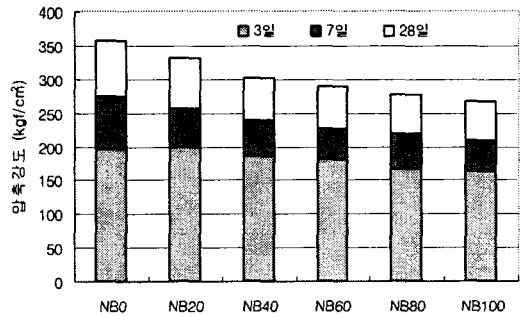


그림 8 Type-B의 혼입에 따른 압축강도 변화

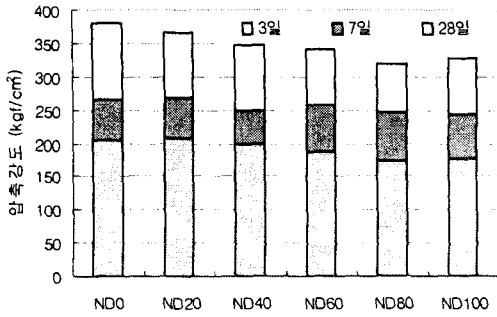


그림 9 Type-D의 혼입에 따른 압축강도 변화

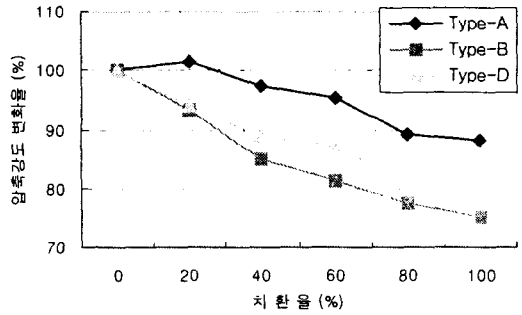


그림 10 재생잔골재 치환율에 따른 재령 28일 압축강도 변화율

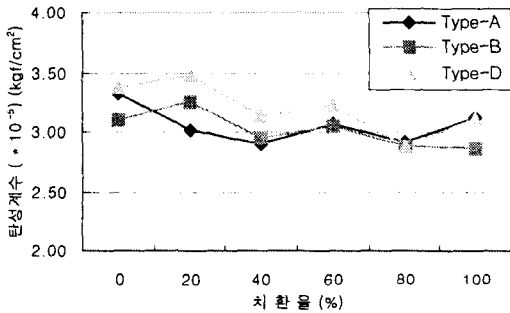


그림 11 재생잔골재 치환율에 따른 탄성계수 변화

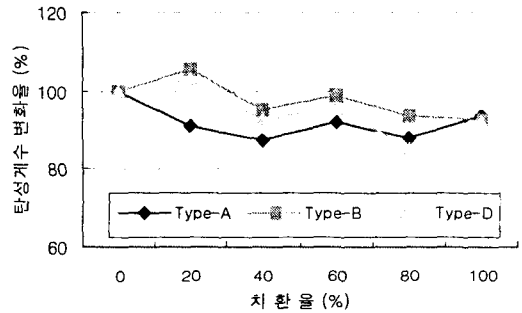


그림 12 재생잔골재 치환율에 따른 탄성계수 변화율

#### 4. 재생잔골재 치환율에 따른 최적혼화제량 결정

3종류의 재생잔골재를 고성능감수제 0.7 %로 고정시킨 후 치환율을 변화시킨 실험을 통하여 Type-A, B는 치환율이 증가함에 따라 거의 유사한 시공성 저하를 보였으나, Type-D는 재생잔골재 치환율이 증가하여도 시공성에는 큰 영향을 미치지 않았다. 따라서 최적혼화제량 결정 실험에서는 유사한 시공성 저하를 보인 Type-A, B중에서 폐콘크리트, 조적조동이 섞여 있는 일반적인 종류인 Type-B만을 선정하여 실험을 실시하였다. 그림 10에 재생잔골재 대체에 따라 목표슬럼프를 만족하는

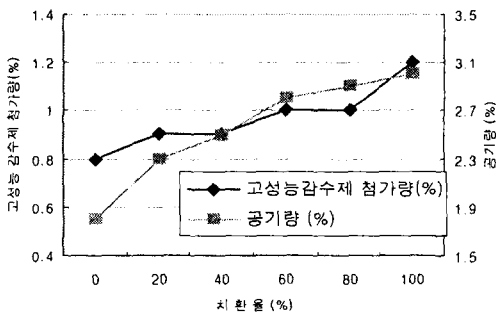


그림 13 재생잔골재 치환율에 따른 최적혼화제량 및 공기량 변화

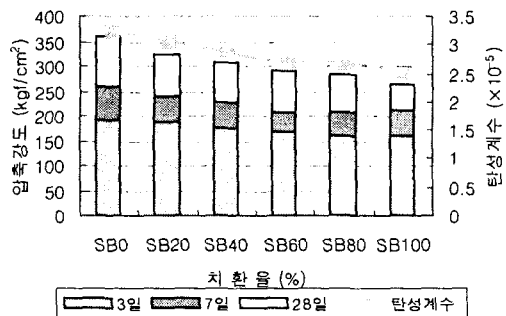


그림 14 재생잔골재 치환율에 따른 압축강도 및 탄성계수 변화

최적혼화제량 관계를 나타내었으며 그 때의 공기량을 함께 표시하였다. 그림 10에 의하면 목표슬럼프를 만족하는 고성능감수제 첨가량은 재생잔골재 치환율이 0%에서 100%로 증가할때 0.4 %정도 증가되었다. 한편 측정된 공기량은 치환율에 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 한편, 목표슬럼프를 만족하는 배합에서의 압축강도 및 탄성계수의 측정값을 그림 11에 나타내었다. 앞의 그림 5와 그림 11의 결과를 살펴보면 거의 유사한 결과를 보였으며 재생콘크리트의 시공성 개선을 위한 혼화제가 압축강도에는 기여하지 않음을 보였다.

### 5. 플라이애쉬를 첨가한 재생잔골재 혼입 콘크리트의 특성

플라이애쉬의 첨가가 재생잔골재 사용에 따른 시공성 저하를 개선하는지 검토하기 위하여 플라이애쉬와 재생잔골재 대체율에 따른 콘크리트 특성을 검토하였다.

이를 위해 재생잔골재(Type-B)의 0%, 40%, 80% 치환율에 대하여 고성능감수제량을 고정하고 플라이애쉬를 0%, 10%, 20% 첨가하였다. 이러한 실험결과를 그림 12에 나타내었다. 그림 12에 의하면 플라이애쉬 첨가에 의해 약간의 시공성 개선이 있었으며 (특히 콘크리트의 반죽질이 양호하였다.) 공기량은 저하하였다. 그러나 플라이애쉬 첨가량에 따라 시공성이 개선되지는 않았다.

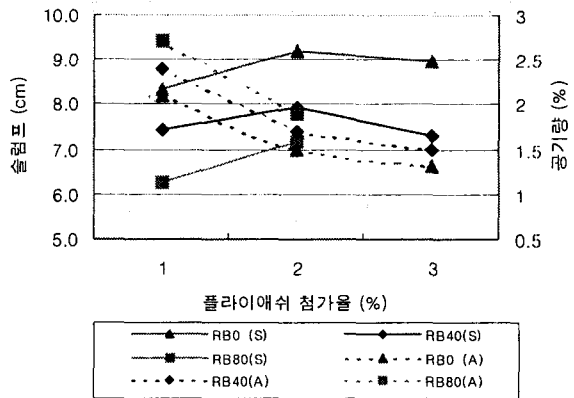


그림 15 플라이애쉬 첨가에 따른 슬럼프 및 공기량 변화

### 6. 결론

- (1) 재생잔골재 콘크리트는 재생잔골재 치환율이 증가할수록 슬럼프가 저하하였으나, 재생잔골재를 2차 처리하여 흡수율을 낮춘 재생잔골재를 사용할 경우 슬럼프 저하가 크지 않았다. 또한 공기량은 치환율이 증가할수록 커지는 경향을 보였다.
- (2) 재생잔골재를 혼입한 콘크리트의 압축강도는 치환율이 증가할수록 감소하였으며, 재령이 증가할수록 재생잔골재에 따른 강도발현의 차이가 커졌다. 순수콘크리트만을 분쇄한 Type-A의 경우에는 치환율 60%까지 압축강도의 저하가 크지 않았다.
- (3) 시공성 개선을 위해서 사용한 고성능감수제의 경우, 재생잔골재 100% 대체에 대해 약 0.4% 정도 (시멘트 중량비)의 사용량 증가가 있었으며 플라이애쉬의 경우 재생잔골재 콘크리트의 시공성 개선에 크게 기여하지는 않았다.

#### 참고문헌

1. 이진용, 이인대, " 재생콘크리트의 강도발현 및 동결융해 저항성 특성", 콘크리트학회지, 제10권 4호, 1998.8
2. 박재성, "폐콘크리트를 사용한 재생골재 콘크리트의 공학적 특성", 석사학위논문, 충북대학교, 1999.
3. 남영국, 장재영, 황효섭, 최민규, "재생콘크리트의 강도 특성에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), pp.387~390, 2000.