

고성능 콘크리트의 특성에 미치는 재생골재 치환율의 영향

The Effect of Replacement Level of Recycled Aggregate on the Properties of High-Performance Concrete

양 근 혁* 김 용 석**
Yang, Keun-Hyeok Kim, Yong-Seok

ABSTRACT

The objective of this experimental study is to grasp the effect of replacement level of high-quality recycled aggregate on the properties of high-performance concrete. The mixing types were divided into two series based on containing 0% and 15% fly-ash. Replacement level of recycled aggregate ranged from 0% to 100%. Test results showed that the initial slump and the fluid velocity were independent on the replacement level of recycled aggregate, and the loss of compressive strength was almost 20% with the recycled aggregate only.

1. 서론

재생 조골재를 사용한 콘크리트의 특성은 골재의 품질 및 치환율에 의해 영향을 받는다. 국내에서 생산되는 기존 재생 조골재의 품질은 2등급 이하가 대부분이었으며, 재생 콘크리트의 특성에 대한 기존 연구들도 이들 2등급 이하의 재생 조골재를 이용하고 있다. 하지만, 최근 I 사에서는 1등급의 구조용 재생 조골재를 생산하고 있다. 고품질의 재생 조골재를 이용할 경우 재생 콘크리트의 품질향상 및 재생 조골재 치환율에 따른 시공성과 압축강도의 감소율도 향상 될 수 있다.

본 연구의 목적은 고품질인 1등급의 재생 조골재를 이용하여 고성능 콘크리트의 제조 가능성을 확인하고 이들 치환율에 따른 슬럼프와 압축강도 감소율을 평가하는데 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 배합계획 및 재료특성

고품질의 구조용 재생 조골재를 사용한 고성능 콘크리트 제조를 위하여 목표 슬럼프 250mm, 슬럼프 플로우 600mm로 하였다. 목표 압축강도는 천연골재 100% 사용한 경우를 기준으로 50MPa이었다. 단위수량 및 물/결합재 비는 고성능 콘크리트에 대한 기존 연구결과⁴를 참고로 165kgf/m³과 32.2%로 하였다. 유동성 향상을 위해 세골재율은 42%, 고성능 감수제 첨가율은 1.0%를 기준으로 하였다.

* 정회원, 목포대학교 건축조경토목공학부 건축공학전공, 전임강사

** 정회원, 목포대학교 건축조경토목공학부 건축공학전공, 교수

주요 실험변수는 재생 조골재 치환율, 플라이 애쉬 치환율 및 양생방법이다. 재생 조골재는 0%, 25%, 50%, 75%, 100%로 치환하였다. 플라이 애쉬 치환율은 0%와 15%이었다. 양생은 수중양생을 기본으로 일부 시험체는 대기양생을 하였다.

사용된 시멘트는 S사의 보통 포틀랜드로서 비중 3.14, 분말도 $3,200\text{cm}^2/\text{g}$ 이었다. 플라이 애쉬는 경남 하동 소재의 K사에서 가공된 것으로 비중 2.29 분말도 $3,690\text{cm}^2/\text{g}$ 이다. 천연 조골재 및 세골재는 전남 무안군에서 채취된 것이며, 재생 조골재는 경기 I사에서 생산된 것을 이용하였다. 실험에 사용된 골재의 물리적 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1. 시험체 상세 및 실험결과

골재	최대입경 (mm)	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (kgf/m^3)
세골재	5	2.62	0.98	1.668
천연 조골재	25	2.62	0.96	1.580
재생 조골재	25	2.6	1.12	1.579

2.2 실험 및 측정항목

골재는 유해 불순물 제거 및 표면건조 내부포화상태를 유지하기 위하여 24시간 침수 후 외기에서 건조시켰다. 콘크리트 혼합은 강제식 믹서기를 이용하였으며, 투입순서는 모래, 천연 조골재, 재생 조골재, 시멘트 순이었다. 믹싱시간은 건비빔 3분, 물 투입 후 3분으로 일정하게 하였다.

측정항목은 고품질 재생 조골재를 이용한 고성능 콘크리트 제조가 주안점이므로 슬럼프, 플로우 및 압축강도를 측정하였다. 플로우는 슬럼프 콘 및 L형을 이용하였다. L형 플로우 시험에서는 30cm, 50cm 및 최종도달 시 속도를 측정하였다. 압축강도는 $\Phi 10 \times 20\text{cm}$ 공시체를 기본으로 3일, 7일, 14일, 28일의 재령에서 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동성

그림 1에는 재생 조골재 치환율(R.A)과 슬럼프 및 슬럼프 플로우의 관계를, 그림 2에는 재생 조골재 치환율과 유동속도의 관계를 각각 나타내었다. 유동속도는 L형 플로우 실험에서 300mm 도달 및 최종 도달 시 속도를 나타내었다. 재생 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 재생 조골재 치환율 증가에 따라 미소하게 감소하지만 감소율은 매우 미미하였다. 유동속도는 초기에는 재생 조골재 치환율이 증가할수록 급격히 감소하지만 최종 속도는 재생 조골재 치환율의 영향을 받지 않았다. 고품질의 구조용 재생 조골재를 사용한 콘크리트는 보통 콘크리트와 동일한 단위수량에서 약간의 감수제 조절을 통하여 유동성을 확보할 수 있다고 판단되었다.

3.2 압축강도

그림 3에는 재생 조골재 치환율과 상대 압축강도의 관계를 나타내었다. 상대 압축강도는 천연골재를 사용한 보통콘크리트의 강도($f_{ck, OPC}$)에 대한 재생 콘크리트 압축강도의 비이다. 재생 조골재의 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하고 있으며, 재령 3일과 28일에서 감소율은 비슷한 수준이었다. 이들 감소율은 플라이 애쉬가 15% 첨가된 시험체에서 평균 5% 작게 나타났다. 특히 재생 조골재가 100% 치환된 경우 강도 감소율은 20% 수준이었다. 재생 조골재 2등급 또는 3등급을 사용한 기존 연구결과^{3, 6} 재생 조골재가 100% 치환된 경우 압축강도 감소율은 40~50% 수준임을 고려할 때 재생 콘크리트의 강도상승을 위해서는 혼화재의 사용보다는 고품질의 구조용 재생 조골재의 활용이 요구됨을 알 수 있다.

3.3 양생방법에 따른 압축강도의 변화

그림 4에는 양생방법에 따른 28일 압축강도의 변화를 나타내었다. 양생은 평균 온도 21°C 의 수중양

생과 대기양생으로 하였다. 대기양생 시 평균 온도는 18℃이었다. 수중양생에 대한 대기양생의 압축강도 감소율은 플라이 애쉬 무첨가 시 보통 콘크리트와 재생 조골재 100% 치환된 재생 콘크리트에서 각각 5%와 8%이었다. 반면 플라이 애쉬가 15% 첨가된 경우의 감소율은 평균 3% 이었다. 일반적으로 양생방법에 따른 압축강도의 변화는 보통콘크리트보다는 재생콘크리트에서 현저하게 나타나고 있으며, 플라이 애쉬를 첨가하면 이들 양생방법에 따른 압축강도의 차이를 줄일 수 있었다.

3.4 재령 별 압축강도

그림 5에는 재령에 따른 압축강도를 나타내었다. 재생 조골재 100%를 치환한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 증가율은 보통콘크리트에 비해 평균 5% 감소하였다. 플라이 애쉬가 15% 첨가된 콘크리트의 3일 강도는 천연골재와 재생골재에서 각각 7%와 4% 감소하지만 28일 강도는 천연골재는 동등하고 재생골재에서는 15% 상승하였다. 장기강도 증가에 미치는 플라이 애쉬의 영향은 재생콘크리트에서 현저하게 나타났다. 또한 재령에 따른 압축강도 평가에 대한 ACI 209⁵ 및 콘크리트 구조설계기준¹(이하 KCI)은 플라이 애쉬가 없는 보통 콘크리트에서는 7일 강도 이후 실험결과와 잘 일치하였다. 하지만 플라이 애쉬가 첨가되거나 재생 조골재를 100% 치환한 콘크리트에서는 실험결과를 약간 과대평가하는 경향이 나타났다.

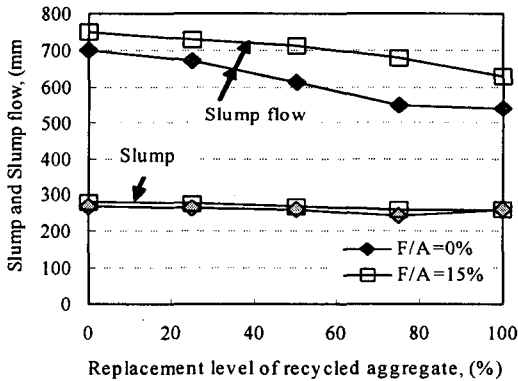


그림 1. 재생 조골재 치환율과 유동성의 관계

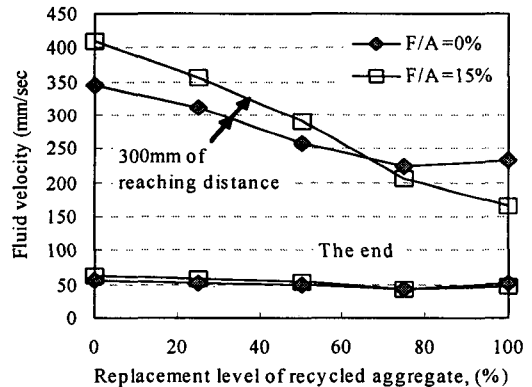


그림 2. 재생 조골재 치환율과 유동속도의 관계

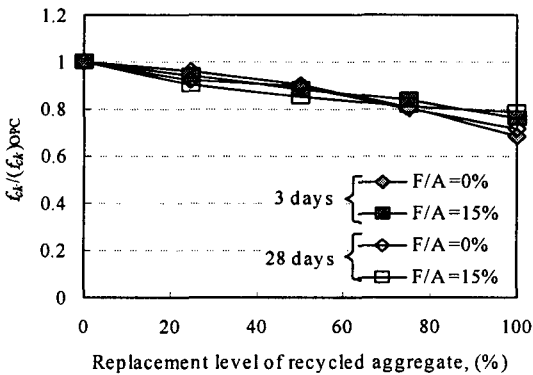


그림 3. 재생 조골재 치환율과 상대 압축강도의 관계

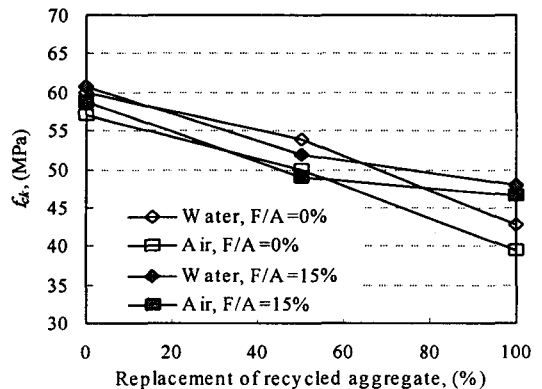


그림 4. 양생방법에 따른 압축강도의 변화

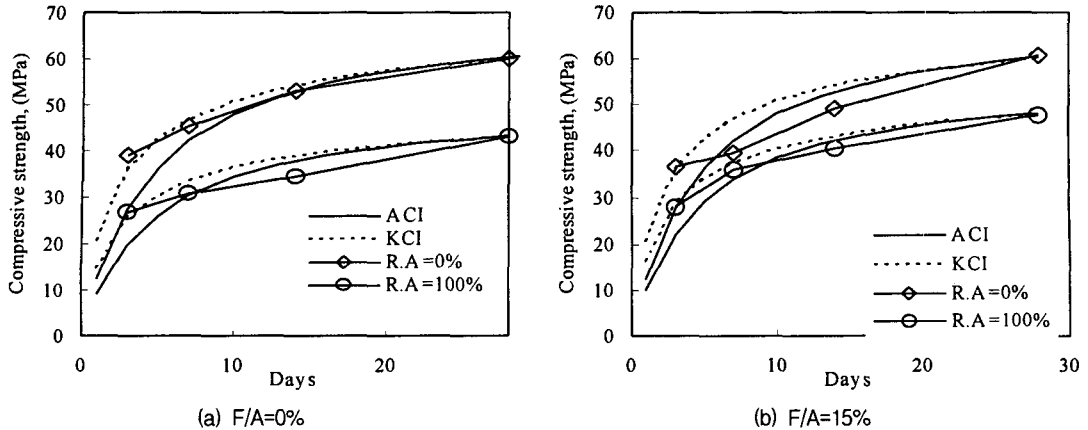


그림 5. 재령에 따른 압축강도

4. 결론

- 1) 구조용 재생골재를 사용한 콘크리트의 유동성 및 최종 유동속도는 재생골재 치환율의 영향을 받지 않았지만 초기 유동속도는 재생 조골재 치환율이 증가할수록 급격히 감소하였다.
- 2) 재생 조골재의 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하며, 이들 감소율은 플라이 애쉬가 첨가되면 완화되었다. 특히 1등급 재생 조골재가 100% 치환된 경우의 강도 감소율은 20% 수준으로서 2등급 또는 3등급의 조골재를 사용한 경우에 비해 현저히 개선되었다.
- 3) 양생방법에 따른 압축강도의 변화는 보통콘크리트보다는 재생콘크리트에서 현저하게 나타났으며, 플라이 애쉬를 첨가하면 이들 양생방법에 따른 압축강도의 차이를 줄일 수 있었다.
- 4) 재생 조골재 100%를 치환한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 증가율은 보통콘크리트에 비해 평균 5% 정도 감소하였다. 또한 장기강도 증가에 미치는 플라이 애쉬의 영향은 보통콘크리트보다는 재생콘크리트에서 현저하게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 목포대학교 산학연 컨소시엄 사업에 의해 수행되었으며, 타임레미콘(주)의 협조에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조설계기준, 2003
2. 박영식, 콘크리트 재료 및 시험, 구미서관, 2004
3. 석창훈, 재생골재 콘크리트의 비파괴강도 추정에 관한 실험적 연구, 부경대학교 석사학위논문, 2001. 2
4. 양근혁, 이영호, "고성능 콘크리트의 실용화를 위한 시공특성에 관한 실험적 연구", 한국건축시공학회논문집, 제 3권 1호, 2003. 3, pp. 139-146
5. ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures," SP-27, American Concrete Institute, Detroit, 1971, pp. 51-93
6. Ajdukiewicz, A., and Kliszczewicz, A., "Influence of recycled aggregate on mechanical properties of HS/HPC," Cement and Concrete Composites, Vol. 24, 2002, pp. 269-279
7. Oikonomou, N. D., "Recycled Concrete Aggregates," Cement & Concrete Composites, 2004, pp. 1-4