

재생 굵은 골재를 사용한 재생 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mechanical Properties of Concrete with the Contents of Recycled coarse Aggregate

김 호 수* 백 철 우* 반 성 수* 최 성 우** 류 득 현***
Kim, Ho Soo Baek, Chul Woo Ban, Seong Soo Choi, Sung Woo Ryu, Deuk Hyun

ABSTRACT

Owing to the deterioration of reconstruction and the construction, much of the construction waste is discharged in our construction field. By supplementing aggregate resources that are insufficient by recycling waste concrete, it is considered that the resource-preserving effect according to the saving and reuse of resource as well as eco-friendly effect that is regarded as important in recent industrial society may be expected. In this study conducted an experiment by setting up 15 levels according to the variations in the rate of substitution of recycled coarse aggregate by the water cement ratio(40, 50, 60%). As the result of it, the slump and air contents was increased by ratio of coarse aggregate, and the elapsed characteristics by the ratio of recycled coarse aggregate showed that there is no clear difference in slump and the air contents. Further, in the characteristics of strength development, the lower the water cement ratio, the higher the compressive strength at early ages, compared with crushed stone, while the compression declined according to the increase of substitution rate of recycled gravel as it was tending upward long-term ages.

1. 서 론

사회가 급속도로 발전하면서 인간의 삶의 질을 향상시키고, 편리함을 목적으로 건설되었던 건축물 및 구조물은 노후화 및 성능저하로 인하여 해체 및 재건축이 불가피하며 이 결과 많은 양의 건설폐기물이 배출되고 있어서, 건설폐기물에 의한 환경오염이 사회문제로 대두되고 있다. 한편 환경 및 자원 보호의 측면에서 골재채취 제한구역이 확산되고 있으며, 이는 콘크리트 용적의 65~80%를 차지하는 골재자원의 부족으로 인해 레미콘의 생산성 저하 및 건설시장의 활성화 저해를 초래하고 있다.^{1),2)}

이러한 사회문제의 해결방안으로서, 건설폐기물의 재활용 및 자원보호라는 측면과 원활한 원자재의 수급을 위해 건설폐기물의 재활용에 대한 연구가 진행되고 있으며, 특히 폐콘크리트에서 제조되는 재생골재의 활용 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{1),2),3)}

따라서 본 연구에서는 골재자원의 부족을 해소하기 위해 폐콘크리트의 처리과정에서 제조된 재생

* 정회원, 유진종합개발(주) 기술연구소 연구원

** 정회원, 이순산업 기술지원팀

*** 정회원, 유진종합개발(주) 기술연구소 소장

굵은 골재의 대체율 변화에 따른 콘크리트의 굳지않은 성상 및 경화 성상을 평가하고, 콘크리트 재료로서 재생 굵은 골재의 사용성 및 활용방안을 검토하는데 그 목적이 있다.

2. 실험계획

2.1 실험계획 배합설계

표 1에 실험계획을, 표 2에 실험에 사용된 콘크리트의 배합을 나타내었다.

본 연구에 사용된 콘크리트의 물-시멘트비는 40, 50, 60% 3수준을 설정하였으며, 재생 굵은 골재 대체율은 0, 25, 50, 75, 100% 5수준을 설정하였다. 혼화제의 경우 예비 실험을 실시하여 재생 굵은 골재 대체율 0%를 기본 배합으로, 목표 슬럼프를 $15 \pm 2.5\text{cm}$, 목표 공기량을 $4.5 \pm 1.5\%$ 을 만족시키는 사용량을 설정하여 모든 배합에서 고정하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용된 재료는 표 3에 나타난 바와 같이, 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를, 잔 골재는 세척사를 사용하였으며, 유동성을 확보하기 위한 혼화제는 AE감수제 표준형을 사용하였다. 굵은 골재의 경우 부순자갈 및 I사의 재생 굵은 골재를 사용하였다.

2.3 시험방법

본 실험의 시험방법은 표 1에 나타난 바와 같이, 재생 굵은 골재의 기초 물성을 평가하였으며, 콘크리트의 경우 굳지않은 성상은 콘크리트 제조 직후 슬럼프 및 공기량을 측정하고 경시변화를 30, 60, 90분에서 측정하였다. 경화 성상으로는 압축강도를 재령 3, 7, 14, 28일에서 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 골재의 기초물성 시험결과

표 1 실험계획

실험요인	W/C (%)	40, 50, 60	
	재생 굵은 골재 대체율 (%)	0, 25, 50, 75, 100	
	목표 슬럼프 (cm)	15 ± 2.5	
	목표 공기량 (%)	4.5 ± 1.5	
실험항목	기초 물성	Gc Gr 체 가름, 밀도, 흡수율, 조립률, 단위용적중량, 실적률, 마모감량	
	콘크리트	굳지않은 성상	슬럼프, 공기량, 경시변화
		경화 성상	압축강도 ⇒ 재령 3, 7, 14, 28일)

주) Gc : 부순자갈, Gr : 재생 굵은 골재

표 2 콘크리트 배합설계

배합명	W/C (%)	S/a (%)	Gr 대체율 (%)	중량배합 (kg/m ³)					
				W	C	G1	G2	S	Ad
P4-0 P4-25 P4-50 P4-75 P4-100	40	45.1	0 25 50 75 100	170	425	943 707 472 236 0	0 236 472 707 943	767	0.5 C× (%)
P5-0 P5-25 P5-50 P5-75 P5-100	50	47.3	0 25 50 75 100	171	341	941 705 470 235 0	0 235 470 705 941	837	
P6-0 P6-25 P6-50 P6-75 P6-100	40	49.2	0 25 50 75 100	172	287	927 696 464 232 0	0 232 464 696 927	892	

P 5 - 0

표 3 재료의 물성

시멘트	1종 보통 포틀랜드 시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,454cm ² /g
혼화제	리그닌계 AE감수제 표준형
잔 골재	세척사, 비중 : 2.61 조립률 : 2.64, 흡수율 : 0.64
굵은 골재	Gc
	Gr

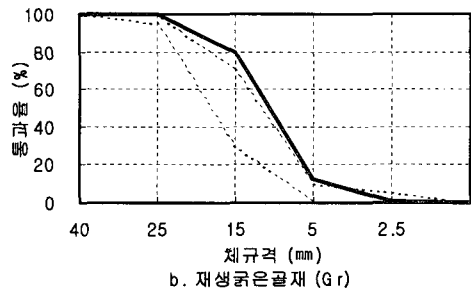
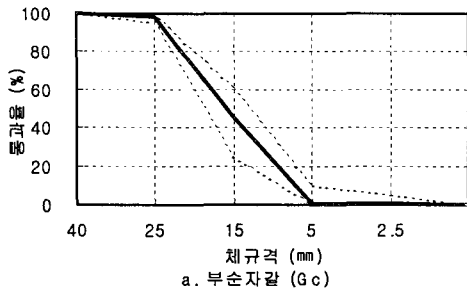


그림 1 체가름 입도 곡선표

본 실험에 사용된 굵은 골재의 입도분포곡선을 그림 1에, 기초 물성을 표 4에 나타내었다.

재생 굵은 골재의 입형은 구형을 하고 있으며, 입도 및 조립률 실험결과 Gc 및 Gr 각각 6.55, 6.08로 굵은 골재의 조립률 범위인 6~8을 만족하는 것으로 나타났으나, Gr의 경우 입도분포곡선에 나타난 바와 같이 표준입도를 벗어나고 있으며, Gc에 비해 5~15mm의 골재가 상대적으로 많아 조립률이 Gc에 비해 낮고 실적율은 Gc에 비해 높은 것으로 나타났다.

비중의 경우, Gc는 2.62, Gr은 2.49로 Gr의 경우 비중이 다소 낮게 나타나고 있으며, 이는 재생 굵은 골재 표면에 부착된 모르타르분의 비중차에 의해 골재 자체의 비중이 저하하는 것으로 사료된다.

콘크리트의 유동성에 영향을 미치는 흡수율의 경우, Gc는 1.52, Gr은 4.22로서, Gr의 흡수율은 Gc에 비해 매우 높게 나타나고 있으며, Gr의 경우 제2종 재생 굵은 골재에 해당되는 것으로 나타났다.

마모감량의 경우, Gc 및 Gr이 각각 12.90, 16.29로 콘크리트용 부순 골재 및 콘크리트용 재생 골재에서 공통적으로 규정하고 있는 마모율 40%이하를 만족하는 것으로 나타났다.

표 4 굵은 골재의 물성

구분	Gc	Gr
조립률	6.55	6.08
밀도	2.62	2.49
흡수율 (%)	1.52	4.22
단위용적중량 (kg/m ³)	1,575	1,505
실적률 (%)	57.26	62.97
마모감량 (%)	12.90	16.29

3.2 굳지 않은 성상 시험결과

(1) 슬럼프 및 공기량

그림 2는 물-시멘트비별 재생 굵은 골재 대체율에 따른 굳지 않은 콘크리트의 성상 중 콘크리트 제조 직후의 슬럼프 및 공기량의 변화를 나타낸 것이다.

물-시멘트비별 재생 굵은 골재 대체율에 따른 슬럼프의 변화는, 물시멘트비 40, 50%에서는 대체율 50%까지는 증가하지만, 그 이상의 경우에는 저하하는 것으로 나타났다. 물시멘트비 60%의 경우에는 재생 굵은 골재 대체한 경우 대체율 0%에 비해 슬럼프가 증가하는 것으로 나타났으며, 대체율에 따른 차이는 나타나지 않고 있다. 이는 재생 굵은 골재의 입형 및 입도분포에 의해 유동성의 차이가 나타나는 것으로 사료되며, 물시멘트비 60%의 경우 40, 50%에 비해 단위시멘트량이 적어 재생 굵은 골재 대체율의 변화에 따른 유동성에 미치는 영향은 감소되었기 때문으로 사료된다.

물시멘트비별 공기량의 변화는, 대부분의 배합에서 재생 굵은 골재의 대체율이 증가함에 따라 공기량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 재생 굵은 골재가 부순골재에 비해 잔입자가 많고 재생 굵은 골재 표면에 부착된 모르타르에 의한 골재자체의 공극이 크기 때문인 것으로 사료된다.

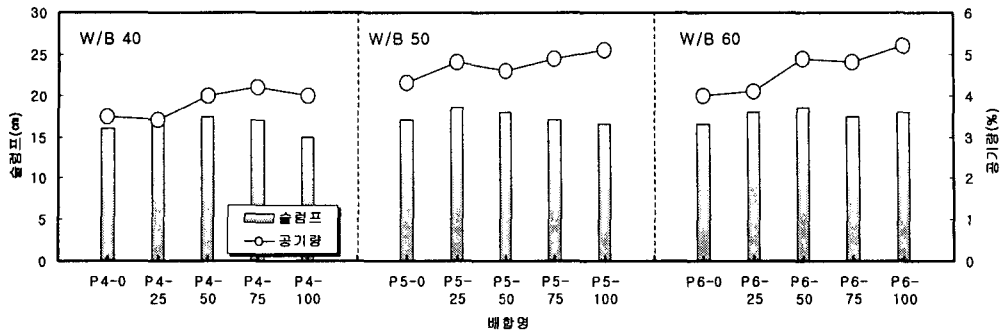


그림 2 초기 슬럼프 및 공기량의 변화

(2) 경시변화의 특성

그림 3은 물-시멘트비별 재생 굵은 골재 대체율에 따른 슬럼프의 경시변화를 나타낸 것이다.

물-시멘트비 40%의 경우에서는, 경시 30분 이후 대부분의 배합에서 목표슬럼프 15±2.5cm의 범위보다 저하하는 것으로 나타났으나, 물-시멘트비 50, 60%에서는 경시 60분까지 목표슬럼프의 범위를 유지하는 것으로 나타났다. 이는 물-시멘트비 40%의 경우 50, 60%에 비해 상대적로 단위시멘트량이 많아 점성의 증가 및 재생 굵은 골재의 대체율에 따른 혼합입도의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

재생 굵은 골재 대체율에 따른 변화는, 배합에 따라 다소 차이는 있지만, 대체율이 증가할수록 경시에 의한 슬럼프로스 변화는 증가하는 것으로 나타났다.

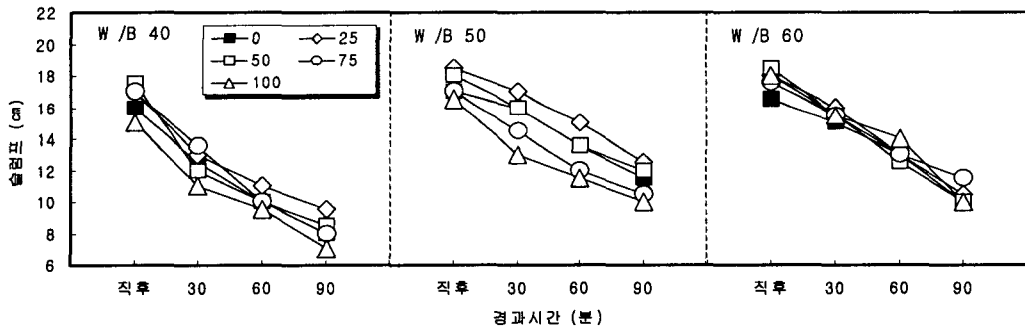


그림 3 슬럼프의 경시변화

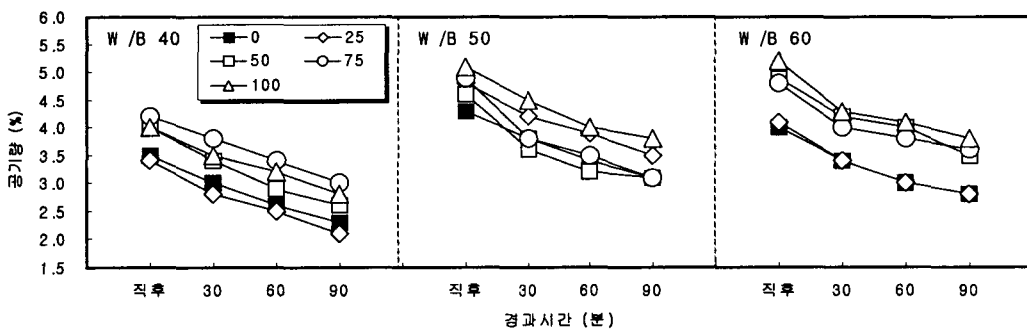


그림 4 공기량의 경시변화

그림 4는 물-시멘트비별 재생 굵은 골재 대체율에 따른 공기량의 경시변화를 나타낸 것이다.

슬럼프의 경시변화와 유사한 경향으로서, 물-시멘트비 40%에서는 경시 60분 이후에는 대체율 100%를 제외하고는 목표공기량의 범위를 벗어나는 것으로 나타났으나, 물-시멘트비 50, 60%에서는 대부분의 경우 경시 90분에서도 목표공기량의 범위를 만족하는 것으로 나타났으며, 물-시멘트비에 따른 공기량 경시변화의 차이는 재생골재의 대체에 따른 영향보다는 물-시멘트비에 의한 단위시멘트량의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

재생 굵은 골재 대체율에 따른 변화는, 모든 배합에서 대체율 0%에 비해 재생 굵은 골재를 대체한 경우경시에 따른 공기량의 손실이 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 대체율 50%에서 공기량의 손실이 다소 높은 것으로 나타났다.

3.3 압축강도 시험결과

그림 5에 재령별 압축강도를, 그림 6에 재생 굵은 골재 대체율 0%에 대한 대체율별 압축강도 발현율을 나타내었다.

물-시멘트비 40%의 경우, 초기재령에서는 재생 굵은 골재를 대체한 경우가 대체율 0%에 비해 강도 발현이 증진되는 것으로 나타났으나, 재령 28일에서는 대체율 0%에 비해 강도가 저하하는 것으로 나타났으며, 물-시멘트비 50, 60%에서는 대부분 모든 재령에서 대체율 0%에 비해 재생 굵은 골재를 사용한 경우 강도가 저하하는 것으로 나타났다. 이는 물-시멘트비 40%의 경우 50, 60%에 비해 단위시멘트량이 상대적으로 많고, 재생 굵은 골재의 대체에 따른 혼합입도의 차이에 의해 초기강도 발현에 있어서 차이가 나타나는 것으로 판단되며, 재령의 경과에 따른 강도저하는 기존의 연구결과⁶⁾에 보고된 바와 같이 골재 자체의 품질차이에 기인하는 것으로 판단된다.

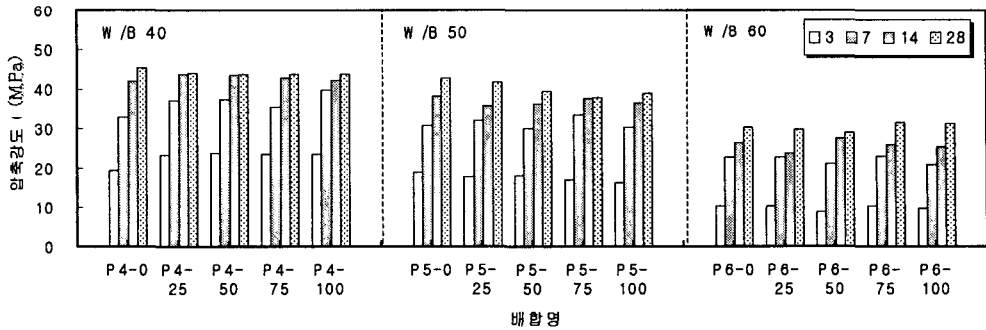


그림 5 재생 굵은 골재 대체율별 압축강도

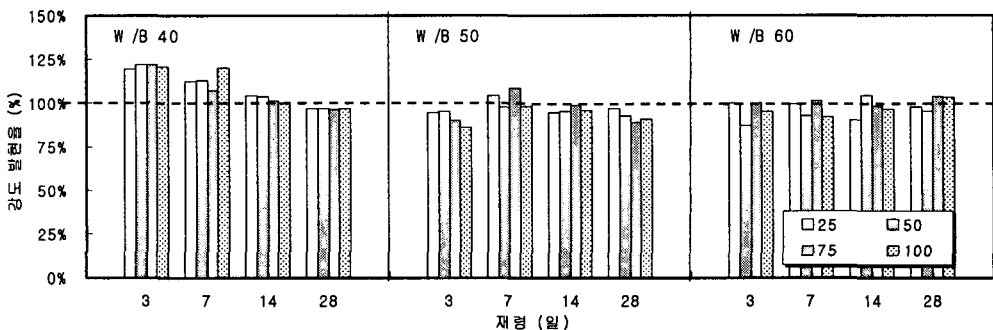


그림 6 재생 굵은 골재 무혼입에 대한 대체율별 압축강도 발현율

4. 결론

이상의 물-결합재비별 재생 굵은 골재 대체율에 따른 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 실험에 사용된 재생 굵은 골재의 경우, 기초물성의 시험결과 재생 굵은 골재 생산과정에 의해 입형이 구형을 하고 있고, 입도분포는 다소 잔입자가 많은 것으로 나타났으며, 골재에 부착된 모르타르분에 의해 밀도는 낮고, 흡수율은 높은 것으로 나타났다.
- 2) 재생 굵은 골재 대체율의 변화에 따른 슬럼프의 변화는, 물시멘트비에 상관없이 재생 굵은 골재 대체율 50%까지는 슬럼프가 증가하는 것으로 나타났으며, 공기량의 경우 대체율이 증가할수록 공기량도 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 재생 굵은 골재 대체율의 변화에 따른 경시변화는, 재생 굵은 골재를 사용한 경우 경시에 따른 슬럼프 손실 및 공기량 손실의 변화 폭이 다소 큰 경향을 나타내었다.
- 4) 재생 굵은 골재를 사용한 경우, 대부분의 배합에서 사용하지 않은 경우에 비해 강도는 저하하는 것으로 나타났으며, 재생 굵은 골재의 대체율이 증가할수록, 물시멘트비가 증가할수록 압축강도발현특성은 저하하는 경향이 나타나고 있다.

이상의 결론에서 재생 굵은 골재의 기초물성 및 재생 콘크리트의 균질성은 성상, 경화 성상을 천연 골재 콘크리트와 비교해 볼 때, 재생 굵은 골재 제조과정에서의 세심한 주의 및 품질관리를 실시하여 소요의 품질을 확보한다면, 콘크리트용 골재로서의 사용이 가능할 것으로 사료되며, 재생골재의 콘크리트용 골재로 적용을 확대하기 위해서는 재생골재의 사용방법에 대한 보다 심도 깊은 연구가 진행되어야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 문대중 외, “재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도특성”, 한국토목학회 논문집 제22권 제1-A호 2002.1 pp.141~150.
2. 신재인 외, “플라이애쉬를 혼합한 재생 골재 콘크리트의 내구성”, 한국콘크리트학회 논문집 제13권 1호 2001. pp.23~29.
3. 한천구 외, “재생골재를 이용한 식재용 콘크리트의 물리적 특성”, 한국콘크리트학회 논문집 제14권 1호 2002.2 pp.16~23.
4. “재생골재의 성능개선에 관한 연구”, 건국대학교 건축공학과 이세현 박사학위 청구논문.
5. 서상구 외, “폐콘크리트를 사용한 재생골재와 재생 골재 콘크리트의 공학적 특성 및 기준안 제시”
6. 早川 光敬 外, “再生骨材を用いたコンクリートの強度特性と耐久性”, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.24, No.1, 2003 pp.413~418.