

비세척된 재생 조골재 콘크리트의 강도특성

Strength Properties of Concrete using Non-Washed Recycled Coarse Aggregate

윤현도* 김문섭** 임경택*** 정수영**** 윤석천****
Yun, Hyun Do Kim, Mun Seop Im, Kyeng Tak Chung, Soo Young Yun, Seok Chun

ABSTRACT

This paper describes the possibility to reuse concrete waste produced by demolition of reinforced concrete structures as aggregate for concrete from the viewpoint of strength. Concrete rubble obtained from the demolished buildings at Taejon were crushed by crushing machine to reuse as coarse aggregate.

The strength properties, such as compressive strength, splitting tensile strength, bending strength and shear strength, of recycled and normal concrete were examined and compared experimentally when water cement ratio was varied.

From the results of this study, it was thought that in case of non-washed aggregate concrete, strength properties of recycled coarse aggregate is similar to that of normal concrete, In W/C 55%~45%, stress-strain curve of recycled concrete shows more stable than that of normal concrete, while in W/C 35%, it shows brittle behavior.

1. 서론

환경보호 차원에서 그린 라운드(Green Round)협약 및 그린 피스(Green Peace)운동을 전개하는 등 환경 오염물질을 줄이는 데 국내외적으로 총력을 기울이고 있는 현시점에서 건설업 부분에서도 구조물의 해체 공사가 발생되는 건설 폐기물의 60%이상을 차지하는 폐기콘크리트의 재활용 여부에 대한 관심이 고조되고 있다. 그러나 아직 폐기콘크리트의 적절한 처리방법이 없어 철근콘크리트 구조물의 노후화에 따른 해체시 발생하는 폐기콘크리트의 불법투기 및 매립으로 인하여 환경오염 뿐만 아니라 폐기콘크리트의 매립지 지하약화에 따른 건물붕괴 등 대형사고를 초래할 수도 있으므로 폐기콘크리트의 재활용은 자원절약 뿐만 아니라 도시주거 환경보호 및 건설재해 방지라는 측면에서 사회적인 문제로 대두되고 있다.

이에 본 연구에서는 그 활용방안의 모색이 시급히 요구되는 폐기콘크리트 덩이를 구조부재용 콘크리트의 조골재로 재활용 가능성 여부를 규명함으로써 재생골재 콘크리트의 구조체에 적용 및 실용화를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

본 논문에서는 이상과 같은 목적에 따라 진행된 이러한 연구의 일환으로 물시멘트비 0.35, 0.45, 0.55에서 실제 구조물을 파쇄하여 제조한 재생골재를 조골재로 100% 사용한 콘크리트와 천연 조골재

* 정회원, 건양대학교 건축학부 조교수

** 정회원, 한국구조설계사무소 사원

*** 정회원, 문경대학 건축과 조교수

**** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

표 1 콘크리트 배합조건

물시멘트비	골재종류 ¹⁾	S/a	SP제 첨가량 ²⁾ (%)	단위수량 (kg/m ³)	절대용적 (l/m ³)			단위용적 (kg/m ³)		
					C	S	G	C	S	G
0.35	N	0.45	1.2	150	136	317	387	429	814	999
	R		1.3							921
0.45	N	0.48	0.5	165	116	340	368	367	874	951
	R		0.6							877
0.55	N	0.50	-	180	104	353	353	327	907	911
	R		-							840

1) N : 천연골재, R : 재생골재 2) 슬럼프 15cm를 얻기 위하여 부여된 SP제 량

만을 사용한 콘크리트의 압축강도, 할렬강도, 휨 및 전단강도 등과 같은 강도특성을 파악하여 콘크리트 제조시 천연 조골재를 재생 조골재로의 대체 가능성을 검토하고 강도특성의 측면에서 재생골재로 대체 가능한 물시멘트비를 제안하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험계획

본 연구에서는 실제 구조물을 파쇄한 폐기콘크리트 덩이로부터 제조된 조골재로서 시공현장에서 사용되는 조건과 동일하게 세척하지 않은 재생 조골재를 조골재로 100% 대체 사용한 경우와 천연 조골재만을 사용한 콘크리트의 압축강도, 할렬강도, 휨 및 전단강도 등의 강도특성을 파악하기 위하여 표 1과 같이 계획하였다.

2.2 골재의 물리적 성질

본 실험에 사용된 조골재의 최대치수는 25mm이며 재생 조골재는 대전지역에서 해체한 실제 구조물을 파쇄하여 제조한 재생골재(대전재활용센터 생산)를 사용하였다. 천연 세골재는 충북 심천산, 천연 조골재는 대전 어남동산의 쇄석을 각각 사용하였다. 본 실험에 사용된 재생골재 및 천연골재를 KS

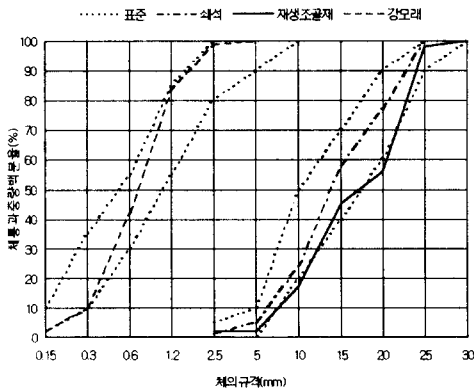


그림 1 골재의 입도분포 곡선

표 2 골재의 물리적 특성

구분	입경 (mm)	조립율 (F.M)	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	비고
세골재	2.5	2.87	2.55	1.83	62.1	1.59	강모래 (충북심천산)
천연조골재	25	6.93	2.58	1.96	64.1	1.57	쇄석 (대전광역시 어남동산)
재생조골재	25	7.23	2.38	5.73	58.0	1.39	재생자갈 (대전광역시 재활용센터)
일본규준	-	-	2.20 이상	7.00 이하	53.0 이상	-	-

F 2502에 의한 골재의 체가름 시험결과는 그림 1과 같이 표준 입도곡선에서 양호한 입도분포를 보이고 있다.

골재의 비중, 흡수율, 단위용적중량 및 실적율과 같은 골재의 물리적인 특성은 표 2와 같이 본 실험에 사용된 재생골재는 일본 건설성 건축연구소의 "재생 조골재의 품질기준(안)·동해설"에 적합한 것으로 나타났다.

2.3 실험방법

물시멘트비에 따른 압축 및 할렬강도를 파악하기 위하여 각각 KS F 2405 및 KS F 2423에 준하여 시험을 실시하였다. 압축 및 할렬강도 시험용 공시체는 $\phi 100 \times 200$ 의 실린더형 강제 몰드에 의해 제작하였다. 전단강도 및 휨강도 시험은 KS F 2408에 준하여 폭 150mm, 높이 150mm, 길이 540mm의 공시체를 제작하여 2점 가력하여 실시하였다. 모든 강도 측정용 공시체의 시험은 콘크리트 타설 후 28일 동안 수중양생한 후 시험을 실시하였다. 휨 및 전단강도 시험을 위한 시험체 설치상황은 그림 2와 같다.

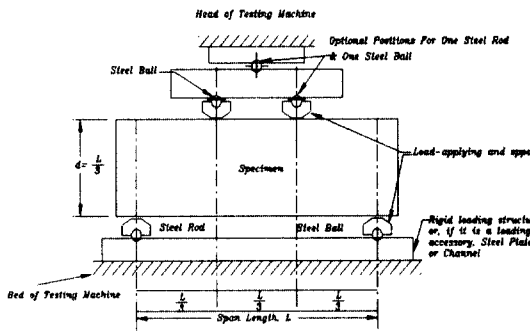


그림 2 3점 휨시험편 가력상황

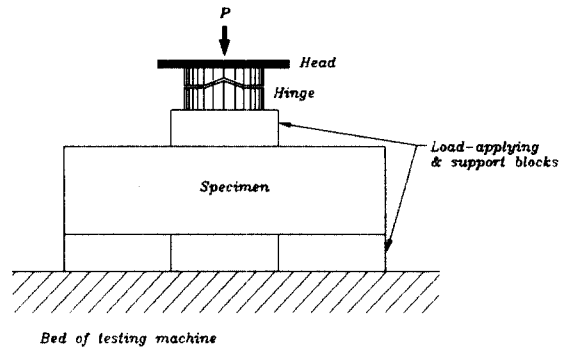


그림 3 전단시험편 가력상황

3. 실험결과

콘크리트의 조골재를 100% 재생 조골재로 대체한 경우와 천연 조골재만을 사용한 콘크리트의 각 물시멘트비별 강도특성을 규명하기 위하여 수행된 시험결과는 표 3과 같다.

3.1 압축강도

재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 표 3에 나타난 바와 같이 천연골재를 사용한 경우에 비하여 물시멘트비에 따라 1.5%~11.4% 낮게 나타났으며 그림 4 및 5와 같은 물시멘트비 0.35 및 0.55에서 천연 및 재생 조골재를 사용한 콘크리트의 대표적인 응력-변형도 관계곡선으로부터 판단하여 볼 때, 물시멘트비 0.55인 저강도 영역에서는 천연 조골재를 100% 재생 조골재로 대체하더라도 대등한 압축성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 물시멘트비 0.35의 고강도 영역에서는 재생 골재 콘크리트의 압축성능은 천연골재 콘크리트에 비하여 초기 강성 및 최대강도후 급격하게 응력이

표 3 골재종류에 따른 물시멘트비별 강도특성 시험결과

구분	골재종류	압축강도 kgf/cm ²	최대압축변형도 Micro-Strain	탄성계수 kgf/cm ²	할렬강도 kgf/cm ²	휨강도 kgf/cm ²	전단강도 kgf/cm ²
0.55	재생골재	217.32	2,355	2.37×10 ⁵	20.85	37.75	31.08
	천연골재	232.57	2,015	2.60×10 ⁵	22.59	31.88	39.78
0.45	재생골재	279.15	2,373	2.74×10 ⁵	27.30	34.56	57.43
	천연골재	283.23	2,368	2.94×10 ⁵	27.10	33.54	53.20
0.35	재생골재	393.80	2,680	2.67×10 ⁵	31.61	56.19	81.14
	천연골재	440.90	2,488	2.97×10 ⁵	31.41	53.79	81.86

저하되는 취성적인 경향을 보이고 있다. 이는 저장도 영역에서 콘크리트의 파괴는 골재와 모르타의 계면에서 발생되므로 콘크리트 강도가 골재 강도에 큰 영향을 받지 않는 반면, 고강도화 될수록 골재의 파괴로 인하여 콘크리트가 파괴되므로 상대적으로 강도가 낮은 재생골재는 동일한 조건에서 천연골재에 비하여 낮은 강도에서 급격하게 파괴되는 경향을 보이고 있는 것으로 판단된다.

표 3의 탄성계수는 할선 탄성계수로 재생골재 콘크리트의 탄성계수는 2.37~3.18×10⁵kg/cm²으로 규준치(2.1~3.9×10⁵kg/cm²)내로 나타났다. 재생골재 콘크리트의 탄성계수는 천연골재 콘크리트에 비하여 평균 7.6%정도 낮게 나타난 바 탄성계수에 있어서도 본 연구 범위내에서 재생골재 콘크리트는 천연골재를 사용한 경우와 대등한 성능을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

3.2 할렬강도

물시멘트비별 할렬강도는 각각 재생골재 콘크리트에서 압축강도의 1/12~1/10, 천연골재 콘크리트에서 압축강도의 1/14~1/10 범위 내에 있는 것으로 나타났으며, 압축강도에 대한 인장강도의 비는 재생 및 천연골재에서 저장도 영역에서 고강도로 갈수록 감소되는 경향을 보였다.

3.3 휨강도

표 3에 나타난 바와 같이 휨강도는 물시멘트비에 따라 각각 재생골재에서 압축강도의 1/8~1/6, 천연골재에서 압축강도의 1/8~1/7 범위 내에 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 압축강도에 대한 휨강도의 비는 골재의 종류와 무관하게 대등한 것으로 판단된다.

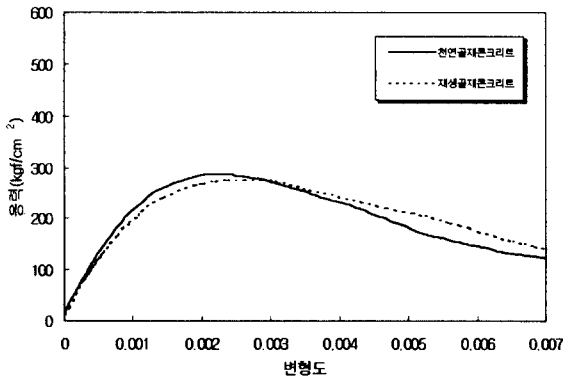


그림 4 물시멘트비 0.55에서 응력-변형도 관계

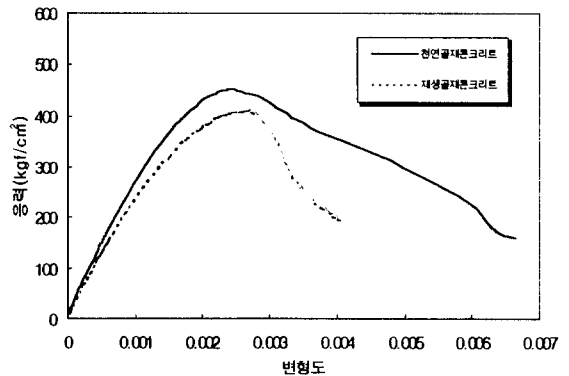


그림 5 물시멘트비 0.35에서 응력-변형도 관계

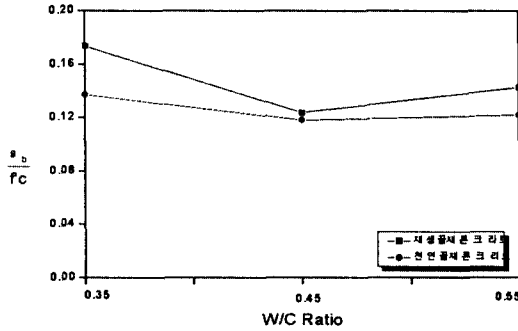


그림 6 물시멘트비별 휨강도와 압축강도의 비

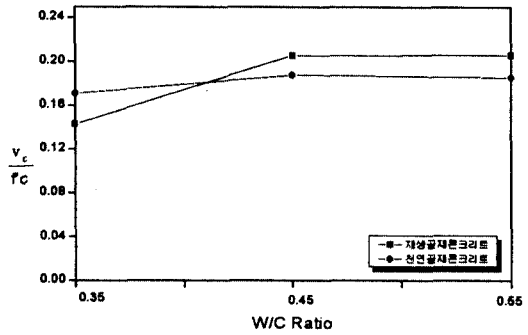


그림 7 물시멘트비별 전단강도와 압축강도의 비

3.4 전단강도

전단강도는 물시멘트비에 따라 각각 재생골재에서 압축강도의 1/8~1/5, 천연골재에서 압축강도의 1/8~1/6 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 재생골재 콘크리트와 천연골재 콘크리트의 압축강도 특성을 비교하여 천연골재를 재생골재로 대체 가능성에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구범위내에서 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 천연골재를 사용한 경우에 비하여 물시멘트비에 따라 1.5%~11.4% 낮게 나타났다.

2) 물시멘트비 0.35 및 0.55에서 천연 및 재생 조골재를 사용한 콘크리트의 대표적인 응력-변형도 관계곡선으로부터 판단하여 볼 때, 물시멘트비 0.55인 저강도 영역에서는 천연 조골재를 100% 재생 조골재로 대체하더라도 대등한 압축성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 천연 및 재생골재 콘크리트의 물시멘트비에 따른 탄성계수는 각각의 물시멘트비에서 재생골재 콘크리트의 탄성계수가 천연골재 콘크리트의 약 92.4%의 수준으로 나타났다.

4) 물시멘트비별 활렬강도는 각각 재생골재 콘크리트에서 압축강도의 1/12~1/10, 천연골재 콘크리트에서 압축강도의 1/14~1/10 범위 내에 있는 것으로 나타났으며, 압축강도에 대한 인장강도의 비는 재생 및 천연골재에서 저강도 영역에서 고강도로 갈수록 감소되는 경향을 보였다.

5) 휨강도는 물시멘트비에 따라 각각 재생골재에서 압축강도의 1/8~1/6, 천연골재에서 압축강도의 1/8~1/7 범위 내에 있는 것으로 나타났다. 전단강도는 물시멘트비에 따라 각각 재생골재에서 압축강

도의 1/8~1/5, 천연골재에서 압축강도의 1/8~1/6 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

이러한 결과로부터 압축강도에 대한 휨강도 및 전단강도의 비는 골재의 종류와 무관하게 대동한 것으로 판단된다.

이상과 같은 본 연구범위내에서 재생골재 및 천연골재 콘크리트의 강도특성에 관한 실험결과로부터 재생골재를 천연골재로의 대체 가능성이 있는 것으로 판단된다.

다만, 재생골재 콘크리트를 구조체에 적용하기 위해서는 재생골재를 사용한 부재의 이력특성 규명 및 현행 기준식의 재생골재 콘크리트를 사용한 부재에 적용 가능성 검토에 관한 연구 등이 지속되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정수영, 윤현도, 임경택, 김문섭, 윤석천, "물시멘트비에 따른 재생골재 콘크리트의 역학적 특성", 대한건축학회 춘계학술발표논문집, 제17권 제1호, 1997,4
2. 김문섭, "재생골재 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 보의 전단성능", 충남대학교 대학원, 1998, 2
3. 김무한외, "콘크리트의 공학적 특성에 미치는 골재 종류의 영향에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 춘계학술발표논문집, 제17권 제 1호, 1997,4
4. 남상일, "재생골재콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구", 충남대학교 대학원, 1995. 2
5. 오상근 외 "재생조골재에 부착된 미세분말이 재생골재 콘크리트의 성질에 미치는 영향에 관한 연구" 대한건축학회 춘계학술발표논문집, 제 15권 제2호, 1995.10
6. Buck, A.D., "Recycled Concrete," Highway Research Record 430, 1973.
7. Itoh, T. and Frondistou-Yannas, S., "Economic Feasibility of Concrete Recycling," ASCE Journal of the Structural Division, Vol.103, April, 1977
8. Ravindrarajah, R.S., and Tam, T.C. "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate" Magazine of Concrete Research, 37, NO. 130. 1985
9. Hansen, T.C., " Recycling of Demolished Concrete and Masonry", Report of Technical Committee.
10. Geradu, J.J.A., and Hendriks, C.F. "Recycling of road pavement materials in the Netherlands," Rijkswaterstaat Communication NO.38, the Hague, 1985.
11. 日本建設業協會 建設廢棄物處理再利用委員會, 再生骨材および再生コンクリートの使用規準(案), 콘크리트工学, Vol.16, NO.7, 1978
12. 國土開發 技術研究センター "再生コンクリートの 利用技術の 開發" Vol.3, 1995, 3