

재생굼은골채를 사용한 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams using Recycled Coarse Aggregate

이 명 규*, 서정인**

Lee, Myung-Kue, Suh, Jung-In

ABSTRACT

The structural behavior of the members using recycled coarse aggregate is investigated in this papers. The members considered in this study are subjected to shear and bending simultaneously. A series of test beam specimens using recycled coarse aggregate is made for the structural test. These specimens are manufactured using the concrete for the compressive strength of 280kg/cm² with recycled aggregate ratio of 0%, 20%, 40%, 60%, 80% of total aggregate volume, respectively. The main object of this test is to investigate the influence of the using recycled aggregate to the cracking strength of the member subjected to flexure and shear and the post cracking behavior.

1 서론

현대 사회는 경제 성장과 국민 생활의 향상으로 인해 도시의 재개발, 생활 환경 개선 및 건물의 노후화로 인한 구조물의 철거량이 급격히 증가하고 있다. 특히, 철근콘크리트 구조물의 철거에 따른 폐 콘크리트와 같은 건설폐기물은 전국적으로 매년 막대한 량이 발생하고 있지만, 주로 매립에 의존하여 왔다. 이러한 상황에서 폐 콘크리트의 재활용은 환경 오염에 원인이 되고 있는 불법 매립을 방지 할수 있으며, 부족한 골재 자원 절약이라는 면에서 많은 효과가 기대된다.

* 경희원, 전주대학교 건축토목도시공학부 조교수

** 정희원, 우석대학교 건축토목조경학부 전임강사

폐 콘크리트를 재활용을 활성화하기 위해서는 폐 콘크리트를 분쇄하여 생산하는 재생골재의 기본적인 특성과 재생골재를 사용한 콘크리트의 물리적 특성, 역학적 특성에 대한 정보가 필요하다. 이에 본 연구진은 재생 골재 사용을 활성화하기 위한 재생골재 콘크리트의 기본적인 특성에 대한 연구와 재생골재를 사용한 구조부재의 특성에 관한 연구를 수행하고 있는 중이다. 본 논문에서는 현재까지 연구된 재생골재 콘크리트의 역학적 특성과 이를 사용해서 제작한 보시험체에 대한 전단 시험결과에 대하여 기술하기로 한다.

재생골재의 역학적 특성 실험에서는 자연굵은골재와 재생골재의 치환률(0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)에 따라 배합강도 280kgf/cm²로 재생 콘크리트 시편을 제작하고, 28일 후 콘크리트의 압축강도실험, 쪼갬 인장강도실험, 휨 강도 및 건조수축에 의한 길이변화실험을 수행하였다.

보시험체에 대한 실험에서는 자연굵은골재와 재생굵은골재 치환율에 따른 철근콘크리트 보의 전단거동 양상을 관찰하기 위하여 실험을 실시하였으며, 자연굵은골재와 재생굵은골재 치환율 0%(전단보강한 보, 전단 보강하지않은 보), 20%, 40%, 60%, 80%에 따라 부재를 제작하여 정적 실험을 수행하였다.

2. 실험 재료 및 배합설계

2.1. 시멘트

본 실험에서는 일반적으로 가장 많이 쓰고 있는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(KS L 5201)를 사용하였다.

2.2 골재

본 실험에서 사용된 잔골재와 굵은골재에 대한 물리적 성질 실험 결과는 표 1과 같다.

표 1 골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	흡수율(%)	조립율(FA)	마모감율(%)
잔골재	2.57	1.83	2.57	-
자연 굵은 골재	2.64	0.98	6.51	29
재생 굵은 골재	2.35	6.3	7.29	44

2.3 배합 설계

본 실험에서 치환율에 따른 배합설계를 자연 골재와 재생골재의 물리적 성질(비중, 흡수율 등)을 고려하여 배합설계를 했으며, 치환율에 따른 재생골재 콘크리트의 배합은 표 2와 같다.

2.4 공시체 제작 및 양생

본 연구에서는 고려한 실험 항목은 28일후의 압축강도, 인장강도, 휨강도, 건조수축으로 인한 길이변화 실험을 실시하였다. 압축강도와 인장강도의 공시체는 Ø10×20cm의 몰드를 각 4개씩, 그리고 휨강도, 건조수축실험의 공시체는 7.5×7.5×40cm의 몰드를 각 3개씩 제작하였다. 모든 공시체는 직접 손으로 배합하였으며 공시체 제작후 진동다짐을 약 1분 정도 실시하였다. 처음 24시간은 습윤 양생을 하였으며 탈형후 23±2℃로 유지되는 수조에서 소정의 기간동안 수중양생하였다.

표 2 재생골재 콘크리트의 배합 성과표

배합량 치환률	W/C(%)	S/a(%)	단위량(kg/cm ³)					
			물(W)	시멘트(C)	잔골재(S)	굵은골재(G)		
						자연	재생	계
0	47.6	38.8	190	399	692	1095	0	1095
20	48.1		192		693	856	214	1070
40	48.5		194		693	627	418	1045
60	48.9		195		694	408	617	1025
80	49.2		197		695	199	795	994
100	49.6		198		696	0	969	969

3. 재료 실험결과 및 분석

3.1 실험 방법

압축강도의 하중 속도는 KS L 5105 규정에 따라 초당 2.0kgf/cm² 재하하였으며, 압축강도 실험과 동시에 압축 탄성계수와 포아송 비를 측정하였다. 탄성계수와 포아송 비의 측정방법은 strain gauge를 이용하였으며 data logger를 통하여 데이터를 수집하였다. Strain gauge의 위치는 압축강도 공시체 표면의 상대방향의 2매씩 4매의 게이지를 접착제를 사용하여 접착시켰다. 측정된 실험 데이터를 이용하여 응력과 변형을 곡선을 얻어 할선 탄성계수(secant Young's modulus)를 구하였으며 종방향 변형률과 횡방향 변형률을 이용하여 포아송비(Poisson's ratio)를 계산하였다. 인장강도는 KS L 5104 규정에 따라 실험했으며, 휨 강도는 중앙집중 재하 실험을 실시하였다. 건조수축에 의한 길이변화는 Whitmore strain gauge를 이용하여 공시체의 전면과 측면에 디스크를 부착하여 측정하였으며, 3개의 공시체 중 1개는 파라핀으로 sealed하였다.

3.2 강도 실험결과

재생골재 치환률에 따른 압축강도는 치환률이 증가함에 따라 압축강도는 저하하는 경향을 나타냈으며 모든 배합에서 배합강도 280kgf/cm²에 도달하였다. 치환률에 따른 압축강도의 범위가 348~286kgf/cm²로 치환률 0%에서 100%까지 강도 감소율이 약 18%정도로 나타났다. 특히, 치환률이 20%와 40%일 경우는 치환률이 0%인 경우와 비슷하였다. 압축강도 시험결과만 고려하는 경우에는 치환률 20%와 40%에서는 재생골재를 재활용성이 있다고 판단된다. 쪼갬 인장강도는 치환률에 따라 특별한 차이가 없었으며 압축강도결과와 같이 치환률이 20%, 40%인 경우 치환률이 0%인 경우보다 크게 나왔다. 휨강도는 일정한 경향없이 치환률 20%, 100%인 경우가 가장 크게 나타났으며, 압축강도와 인장강도가 큰 치환률 40%에서 휨강도가 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과로 보아, 콘크리트의 휨강도는 콘크리트 조직상태와 골재의 표면상태 등과 같은 여러 가지 요인들로 인하여 변동이 큰 것으로 판단 된다.

3.3 응력-변형률 곡선과 포아송비

콘크리트 압축강도 실험시 응력-변형률을 곡선을 보면, 일반적으로 최대 응력 근처에서의 변형률은 0.002~0.003의 범위에 있고, 파괴시의 변형률은 0.003~0.004의 범위에 있다.

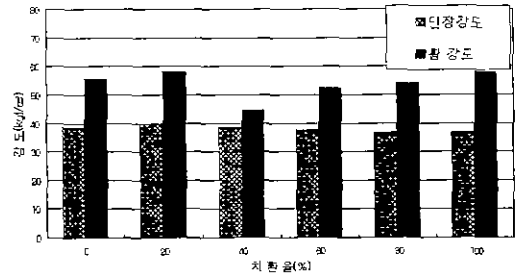
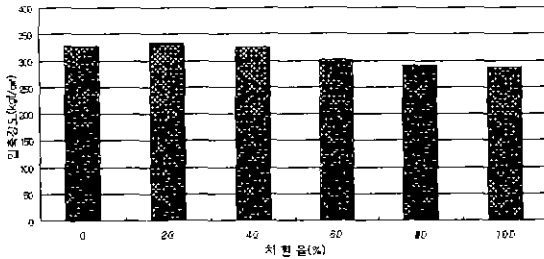


그림 1 재생골재 치환률에 따른 압축강도

그림 2 재생골재 치환률에 따른 인장·휨강도

실험 결과에서도 최대응력점에서의 변형률은 0.002정도이며 응력-변형률곡선을 이용하여 할선탄성계수와 포아송비를 구하였다. 할선탄성계수는 치환율 0%에서 251,157 kgf/cm² 로 가장 크며, 다른 치환률에서는 거의 동일하게 나왔다. 또한, 포아송 비는 초기응력에는 감소하는 경향에서 보였으며, 최대응력에 접근할수록 증가하였다. 대체적으로, 포아송비의 범위는 0.15~0.21(최대 압축강도의 70%)이다.

3.4 건조수축에 의한 길이변화

건조수축은 치환률이 증가할수록 길이변화량은 증가하였으며, 측정은 31일간 실시하였다. sealed 공시체의 길이변화량은 0.02~0.03mm이며, 최대 길이변화량은 치환률이 100%인 공시체에서 0.09mm정도 측정되었다.

4. 전단부재실험

4.1 시험체 제작

콘크리트 보의 설계는 복철근으로 설계하였다. 철근 콘크리트 보 시험체중에서 굵은 골재와 새 생 굵은골재 치환율이 0%인 경우 전단보강 보와 전단보강을 하지 않은 보로 각각 제작하였으며, 자른굵은골재와 재생굵은골재 치환율이 20%, 40%, 60%, 80%인 경우 전단보강하지 않은 보를 제작하여 전단 파괴를 유도하였다. 시험체명은 치환율에 따라 F00(전단보강시험체), N00, N02, N04, N06, N08으로 정하였으며, 그림 4에는 시험체의 형상과 치수를 나타내었다. 시험체의 재령은 28일을 기준으로 양생포를 이용한 습윤양생하였으며, 본 실험에 사용된 시험체는 지간길이 $l=165\text{cm}$, 폭 $b=15\text{cm}$, 높이 $h=25\text{cm}$, 유효깊이 $d=22\text{cm}$, 압축철근 길이 $d'=2\text{cm}$ 이며, 철근의 경우에 인장철근

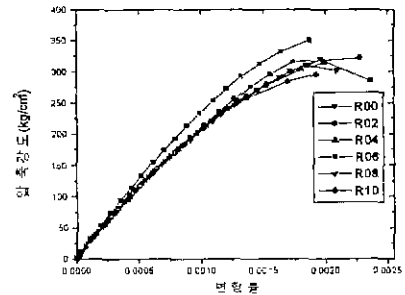


그림 3 재생골재 치환률에 따른 응력-변형률 곡선

(A_s)은 항복강도(f_y)가 3000kgf/cm^2 인 D22철근을 사용하였으며, 압축철근(A_s')은 D10, 전단철근(A_v)은 항복강도(f_y)가 4000kgf/cm^2 인 D6철근을 사용하였으며, 전단철근의 간격은 전단보강을 한 시험체 F00은 10cm간격으로 배근하였으며, 전단보강을 하지 않은 나머지 시험체는 15cm간격으로 스트립을 배근하였다.

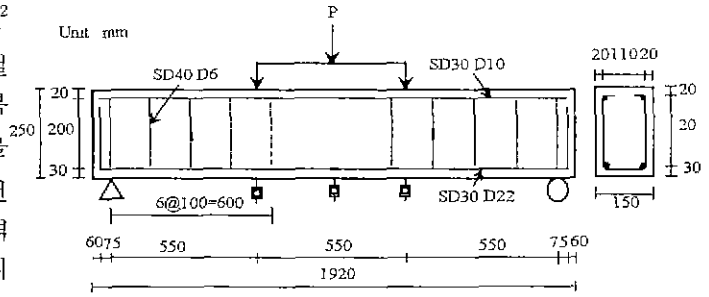


그림 4 시험체의 형상 및 치수

4.2 실험 방법

거푸집 제작, 철근조립, 콘크리트 타설 및 양생의 과정을 거쳐 완성된 철근 콘크리트 보를 그림 5와 같이 4점재하방식으로 재하하였다. 양끝단은 단순지지조건이 되도록 힌지 및 로울러 형태로 이루어졌으며, 전단지간비는 2.2이다. 하중재하는 200t급 만능재료 시험장치(UTM)를 사용하였으며, 하중 재하시 변형도 및 변위의 측정은 철근 콘크리트 보의 내부에 설치되어 있는 철근게이지와 표면에 부착한 콘크리트 게이지와 변위계를 통하여 이루어 졌다.

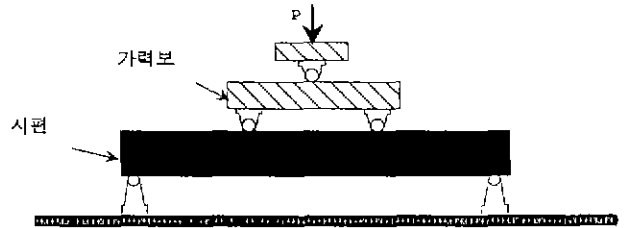


그림 5 시험체 가력장치

5 전단부재 실험 결과

5.1 하중-치짐 관계

앞에서 제시한 방법으로 자연굽은골재와 계생굵은골재 치환율에 따라 부재를 제작하여 재하실험을 수행하여, 철근콘크리트 보에 사용한 각 게이지로부터 변형도 및 작용하중과의 관계를 비교·분석하였다. 표 2는 철근 콘크리트 부재의 재하실험 결과 및 파괴양상을 비교하였다.

5.2 파괴 양상

시방서 규정에 따라 복부철근을 보강한 F00부재의 경우에는 휨균열이 먼저 발생하고 13tonf의 하중에서 복부전단균열이 발생하였으나 전단보강을 상대적으로 적게한 그 밖의 보에서는 작용하중이 10tonf인 경우에 복부전단균열이 발생하는 결과를 보이고 있다.

그림 6은 시험체별 파괴양상을 나타내고 있다

표 3 재하실험 결과 및 예상파괴하중

부재	P _u (tonf)	P _{crack} (tonf)	복부전단 균열(tonf)	인장철근 항복(tonf)	스트립 항복(tonf)		처짐(mm)	
					S1	S2	중앙	하중점
F00	20.40	4.75	13.00	-	16.62	14.06	11.220	9.456
N00	19.80	3.80	10.22	19.01	16.53	10.56	8.331	7.337
N02	19.50	3.53	9.87	-	16.95	10.47	11.788	10.026
N04	19.74	4.50	9.00	19.01	15.60	12.52	9.875	8.147
N06	19.50	4.30	10.50	18.41	-	13.54	12.448	9.600
N08	19.43	4.80	10.70	18.92	14.47	15.51	10.000	8.657



그림 6(a) 시험체 F00의 파괴양상

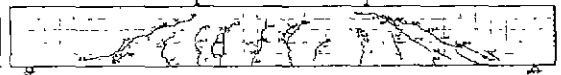


그림 6(b) 시험체 N00의 파괴양상



그림 6(c) 시험체 N02의 파괴양상

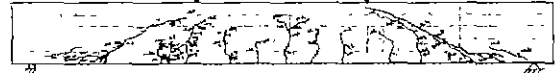


그림 6(d) 시험체 N08의 파괴양상

6 결론

본 연구에서는 재생골은골재를 사용한 콘크리트의 특성과 철근콘크리트 보의 전단거동을 실험을 통하여 관찰하였다. 본 연구로부터 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 재생골재의 치환율이 20%인 경우가 여러 가지 역학적 특성이 가장 좋은 것으로 나타났다.
- 2) 재생골은골재를 치환한 철근콘크리트 보의 초기균열은 3.5t~4.8t범위내에 있었으며, 치환율에 따른 특별한 경향은 없었다.
- 3) 재생골은골재를 치환한 철근콘크리트 보의 파괴 최대 하중은 치환율이 0%이고, 전단을 보장한 보가 가장 컸으며, 치환율이 증가할수록 파괴 하중은 대체로 감소하는 경향을 보였으나 그차이는 크지 않았다. 결과적으로, 재생골은골재를 토목구조물이나 기타 목적으로 사용성은 있다고 판단되나, 재생골은 골재의 여러 가지 상황들을 충분히 검토와 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 김생빈(1999), "철근콘크리트공학," 기문당.
2. 구봉근, 이상근, 김창운, 류택은, 박재성(1999), "폐콘크리트를 사용한 재생콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제 11권 1호.
3. 윤진수, 류금성, 정영수(1999), "재생콘크리트 보의 휨 및 전단 거동에 대한 실험연구," 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제11권 1호.