

골재 종류에 따른 철근 콘크리트 보의 피로거동 특성

Fatigue Behavior of Reinforce Concrete Beams with Recycled Aggregate

지 상 규*
Ji, Sang-Kyu

전에스더**
Jeon, Esther

김 선 우**
Kim, Sun-Woo

윤 현 도***
Yun, Hyun-Do

ABSTRACT

In this study, the fatigue tests were performed on a series of reinforce concrete beams with type of aggregate to investigate the fatigue behavior. The four point loading system is used in the fatigue tests. In these tests, relations between the repeated loading cycles and mid-span deflections, number of repeated loading cycles when specimen was fractured were observed. On this basis, the mid-span deflections, the crack growth and failure mode of beams were studied. The result of tests, reinforce concrete beams with recycled aggregate were about similar failure mode with natural aggregate concrete beam.

1. 서 론

국내 건설 사업의 규모가 증가함에 따라 최근 재건축, 재개발 사업의 활성화 등으로 건설 폐기물이 빠르게 증가하고 있다. 하루 평균 약 10만톤 이상의 건설폐기물이 발생하고 있으며 지금까지 주로 매립에 의해 처리를 하고 있으나 매립지의 부족과 막대한 처리비용, 환경오염으로 인한 건설 폐기물의 처리에 대한 문제점이 대두되고 있다. 또한 환경오염 및 주민민원에 의한 골재의 채취가 제한되어 있어 골재 가격의 상승 및 수급난을 갖고 있어 대안으로 건설폐기물의 재활용 및 자원화에 관심이 모아지고 있다. 이에 정부는 「건설폐기물 등의 재활용 촉진에 관한 법률안」을 제정하여 천연골재의 대체 자원으로 활용가능한 양질의 순환골재 생산 유도 및 순환골재의 사용을 의무화하고 있어, 향후 순환골재에 대한 사회적인 요구는 한층 더 증가할 것으로 예상된다. 그러나 현재까지 대부분 비구조물로 국한되어 사용되어온 순환골재 콘크리트를 구조부재에 적용하기 위해서는 순환골재 사용에 따른 철근 콘크리트 부재의 휨, 전단 등 구조성능과 내구성에 관한 연구가 절실히 필요하나, 현재 순환골재 콘크리트를 사용한 구조부재의 휨, 전단 등 단기구조거동에 관한 연구는 일부 이루어지고 있으나 구조부재의 내구성에 관한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 재료 및 시공성능 연구결과에 따라 순환골재 중 천연골재와 유사한 재료적 특성을 나타내어 구조부재에 적용이 가능한 고품질의 순환골재를 사용하여 피로성능을 평가하고 순환골재의 구조부재 적용가능성을 검토하고자 한다.

2. 실 험

2.1 실험계획

피로하중을 받는 철근콘크리트 보에서 골재 종류에 따른 거동 특성을 파악하기 위하여 콘크리트단순보

* 정희원, 충남대 건축공학과 석사과정

** 정희원, 충남대 건축공학과 박사과정

*** 정희원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

에 천연콘크리트, 잔골재량의 50%를 순환골재로 대체한 순환콘크리트, 굵은 골재를 100% 순환골재로 대체한 순환콘크리트 등 총 3종류의 단면크기 17cm×25cm, 길이 202cm(순경간 172cm)로 시험체를 제작하였으며 시험체 일람 및 상세는 표 1 및 그림 1에 각각 나타내었다.

2.3 사용재료

본 실험에서 사용된 순환골재는 굵은골재 및 잔골재로서 실 구조물을 파쇄하여 생산한 골재를 사용하였고 골재의 입형 및 형상은 그림 2와 같고 물리적 성질은 표 3과 같다. 콘크리트는 현재 국내 건설현장에서 주로 사용되는 물-시멘트비와 잔골재율을 참고하였다. 순환잔골재 대체율 50%와 순환굵은골재 대체율 100%인 콘크리트를 압축강도 30MPa을 기준으로 배합설계하였으며, 배합표는 표 4에 나타내었고 콘크리트 압축공시체의 재료시험결과는 표5에 나타내었다. 사용된 인장철근은 SD40급으로서 D16의 철근이 사용되었으며 전단 보강근으로 D6이 사용되었다. 철근의 기계적 특성은 표 6과 같다.

2.4 실험방법

피로실험을 위해 1,000kN 용량의 Actuator를 사용하여 2Hz의 하중재하 속도로 시험체가 파괴될 때까지 표 2에 나타난 바와 같이 반복 재하하였다. 재하시 하중비(P_{min}/P_{max})는 0.15로 반복하중의 최대값과 최소값을 일정하게 유지하면서 반복 가력하였다. 피로 실험시 재하는 그림 3에 나타난 바와 같이 4점 가력하였으며 단순보를 형상화하기 위하여 양 지점에 힌지(Hinge)와 롤러(Roller)를 각각 설치하였다. 반복가력으로 인한 시험체의 회전을 방지하기 위하여 보의 양 지점에 좌우로 볼지그(Ball jig)를 설치하였다. 시험체의 중앙부 처짐은 SDT(Strain displacement transducer)를 양단지점 부분에 고정하여 측정하였으며, 균열 폭을 정확하게 측정하기 위하여 시험체의 중앙부 밑면에 파이게이지를 설치하였다. 또한 피로하중의 반복

표 1 시험체 일람표

시험체명	b×d (mm)	순경간 (mm)	f_{ck} (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	주근비(A_s, ρ) (cm ² , %)	* C 30-0.7 C : 천연굵은골재 + 천연잔골재 RH : 천연굵은골재 + 천연잔골재 (50%) + 순환잔골재(50%) RL : 순환굵은골재 + 천연잔골재 30 : 콘크리트 설계기준 압축강도 0.7 : 피로사용하중(극한내력의 70%)
C30-0.7	170×215	1,720	30	429	5.97, 1.63	
RH30-0.7						
RL30-0.7						

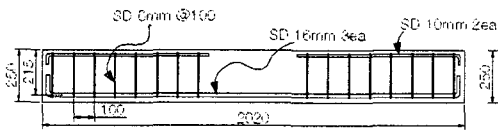


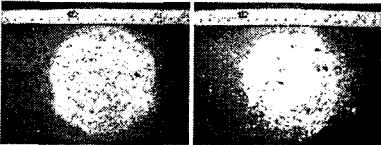
그림 1 시험체 상세 (단위 : mm)

표 2 응력수준 및 피로하중

시험체명	응력수준	P_{max} (kN)	P_{min} (kN)	응력비 (P_{min}/P_{max})	최대정적 하중(kN)
C30-0.7	70%	130	20	0.15	190.81
RH30-0.7					
RL30-0.7					



(a)천연굵은골재 (b)순환굵은골재



(c)천연잔골재 (d)순환잔골재

그림 2 골재의 입형 및 형상

표 3 사용골재의 물리적 성질

사용골재	비중	흡수율(%)	조립율
천연굵은골재	2.65	1.39	6.02
순환굵은골재	2.54	1.86	6.74
천연잔골재	2.56	1.42	2.84
순환잔골재	2.47	3.64	2.89

표 4 콘크리트 배합표

W/B (%)	기호	목 표 슬럼프 (cm)	F A 대체율 (%)	잔골재율 (%)	단위 수량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)					
						C	FA	NS	RS	RG	NG
45	C	23±2	15	46	175	331	58	763	0	0	927
50	RL	15±2	15	47	175	298	53	409	402	0	979
45	RH	23±2	15	46	175	331	58	763	0	888	0

표 5 콘크리트의 기계적 특성

	28일 압축강도 f_{cu} (N/mm ²)	탄성계수 E_c (kN/mm ²)	최대변형률 ϵ_u (%)	포아송비
C	31.61	26.25	0.304	0.15
RH	36.10	27.53	0.401	0.15
RL	39.66	28.48	0.286	0.15

표 6 철근의 기계적 특성

철근의 종류	항복강도, f_y (N/mm ²)	항복변형률, ϵ_y (%)	인장강도, f_u (N/mm ²)	탄성계수, E_s (kN/mm ²)
D6	291.19	0.19	375.01	182.76
D10	413.56	0.24	600.74	203.07
D16	487.54	0.27	586.03	188.69

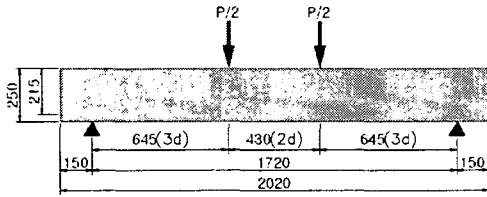


그림 3 가력 개념도(mm)

표 7 가력반복횟수에 따른 측정계획

측정	1	2	3	4	5	6	7
반복횟수	1	10	100	1,000	5,000	10,000	20,000
측정	8	9	10	11	12	13	14
반복횟수	40,000	60,000	80,000	100,000	150,000	200,000	250,000

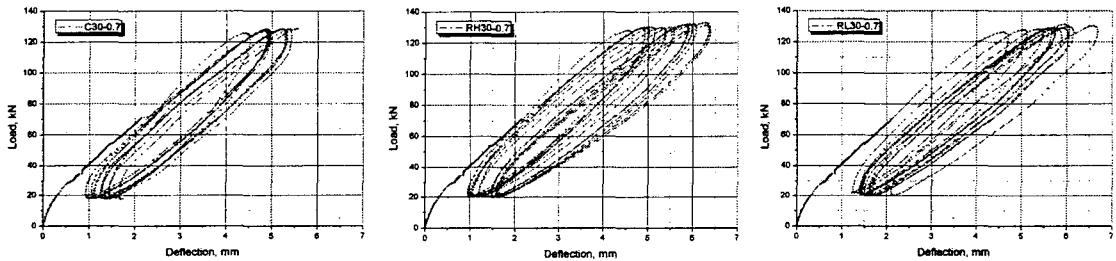


(a)C30-0.7

(b)RH30-0.7

(c)RL30-0.7

그림 4 균열양상 (1 cycle)



(a)C30-0.7

(b)RH30-0.7

(c)RL30-0.7

그림 5 하중-처짐 관계

횟수에 따른 처짐, 철근의 변형률, 파괴거동 및 균열진전 상황을 측정하기 위하여 표 7과 같이 계획된 반복횟수에 따라 균열진전 상황과 반복횟수에 따른 하중-변위, 변형률을 자료 획득 장치로 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 균열 및 파괴 양상

그림 4에 나타난 바와 같이 첫 번째 사이클에서는 골재의 종류와 무관하게 모든 시험체에서 유사한 균열 형태가 나타나고 있으며 초기 재하 횟수에 의해 거의 모든 균열이 발생한 이후 균열의 증가가 둔화되는 경향을 보였다. 가력 반복횟수가 증가하면서 균열폭 및 길이가 점진적으로 증가하다가 파괴 시점에 이르면서 기 발생된 균열의 폭이 급격하게 증가하여 최종 파괴되었다.

3.2 하중-처짐 관계

모든 시험체가 그림 5에 나타난 바와 같이 초기 반복하중에 의하여 상당량의 영구 변형량이 발생하였으며 반복횟수가 증가함에 따라 영구 변형량도 조금씩 증가하는 양상을 보였다. 따라서 초기의 과도한 처짐으로 인해 초기 강성유지에 문제점이 있는 것으로 파악되었다. 첫 회 가력에서의 처짐량은 모든 시험체에서 최종 파괴 처짐량의 약 70% 정도로 나타났다.

골재종류에 따른 시험체의 반복횟수에 따른 변위(각 사이클의 최대하중(130kN) 시점에서의 변위) 관계

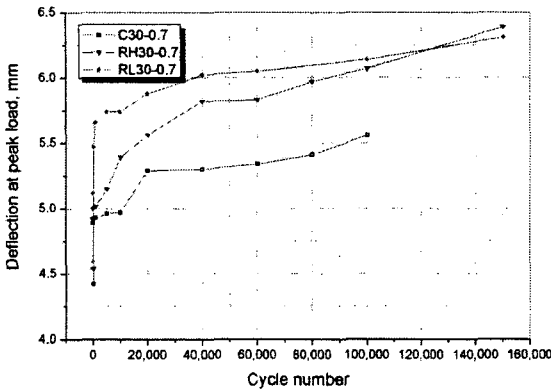


그림 6 사이클 반복에 따른 처짐증가 곡선

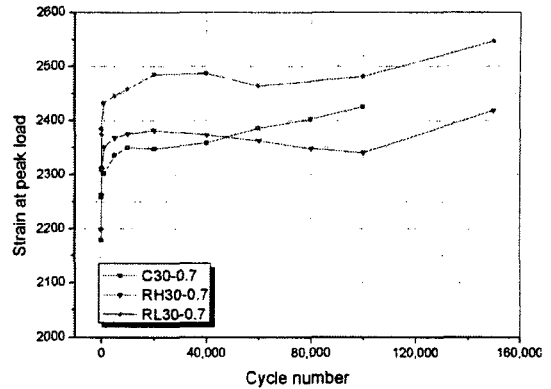


그림 7 사이클 반복에 따른 인장철근변형률 곡선

그래프는 그림 6과 같다. 재하 초기에 천연골재를 사용한 시험체 C30-0.7은 4.96mm의 처짐이 나타나고 순환골재를 사용한 시험체 RH30-0.7와 RL30-0.7는 각각 처짐이 5.15mm, 5.74mm으로 천연골재에 비하여 순환골재를 사용한 시험체에서 많은 처짐이 나타났으며 이후 천연골재와 비슷한 처짐 증가율을 보였다.

3.3 철근변형률

그림 7은 사이클 반복 횟수에 대한 철근변형률을 각각 비교하여 나타낸 것으로 그림과 같이 순환굵은골재로 100% 대체한 RL30-0.7 시험체의 인장철근 초기변형률이 천연골재를 사용한 C20-0.7 및 순환잔골재로 50% 대체한 RH30-0.7 시험체에 비해 크게 나타났다. 그러나 사이클 반복에 따른 인장철근의 변형률 증가량은 거의 대등한 수준을 보이고 있다.

4. 결 론

순환골재를 사용한 철근콘크리트 보의 피로거동을 규명하기 위한 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 피로거동에서 모든 시험체가 유사한 균열 형태를 보여주고 있으며 초기 가력횟수가 증가하면서 균열이 증가하지만 현저하게 증가하지 않다가 파괴시점에 이르면서 균열폭이 급격하게 증가하면서 파괴되었다.

(2) 재하 초기에 천연골재에 비하여 순환골재를 사용한 시험체에서 많은 처짐 및 인장철근변형률이 나타났으나 이후 천연골재와 대등하게 처짐 및 변형률 증가를 보였다.

(3) 골재 종류에 따른 철근콘크리트 보의 피로거동은 본 연구범위 내에서 큰 차이를 보이지 않았으며 고품질의 순환골재를 천연골재로 대체 사용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김문섭, 임경택, 윤현도, 정수영(1997), "재생골재 콘크리트의 역학적 특성", 대한건축학회 논문집, v.13, n.9, pp. 305-313
2. 한국콘크리트학회(2004), "콘크리트의 재활용", 한국콘크리트학회(KCI SP2)
3. J. M. Lovegrove and Salah EI Din, "Deflection and Cracking of Reinforced Concrete under Repeated Loading and Fatigue", SP-75, American Concrete Institute, Detroit, 1982
4. Collins, J. A, "Fatigue of Materials in Mechanical Design", John Wiley and Sons, Inc, New York, 1981