

# 순환잔골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨거동 특성

## Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beam with Recycled Fine Aggregates

송 선 화\*    지 상 규\*    윤 현 도\*\*    최 기 선\*\*\*    유 영 찬\*\*\*\*    김 금 환\*\*\*\*  
Song, Seon Hwa    Ji, Sang Kyu    Yun, Hyun Do    Choi, Ki Sun    You, Young Chan    Kim, Keung Hwan

---

### ABSTRACT

These days, the amount of waste concrete has been increasing due to reconstruction and redevelopment. So, the use of recycled aggregates is recommended to solve environmental problems. Some investigations have been carried out to study the flexural behavior of reinforced concrete beams with recycled aggregates. But these have some limitation due to the use of low quality recycled aggregates and small-scale specimens in the laboratory. The purpose of this experimental study is to evaluate flexural behavior of RC beam with recycled fine aggregates. Three RC beams were manufactured with different replacement level of recycled fine aggregates. From the test results, the flexural behavior of the beam is described in terms of crack patterns and failure modes. And the flexural strength of RC beam with different types of recycled fine aggregates is compared with the provision of KCI code.

### 요 약

최근 재건축 및 재개발에 따른 폐콘크리트의 발생량이 점차 증가하고 있으며 이러한 폐콘크리트의 환경적 처리 방안으로 순환골재의 사용이 제시되고 있다. 그러나 기존연구에서는 실험실에서 낮은 품질의 순환골재를 사용하거나 작은 크기의 부재만을 연구하는 한계를 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 순환 잔골재의 사용에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동 특성을 평가하고자 순환잔골재와 재생잔골재를 사용하여 총 3개의 실험체를 제작하였다. 실험을 통하여 보의 균열 및 파괴양상에 대하여 휨거동 특성을 평가하고 순환잔골재 및 재생잔골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨성능을 KCI 규준식과 비교하였다.

- 
- \* 정희원, 충남대학교, 고지능 콘크리트 구조연구실, 석사과정
  - \*\* 정희원, 충남대학교, 건축공학과, 교수, 공학박사
  - \*\*\* 정희원, 한국건설기술연구원, 연구원
  - \*\*\*\* 정희원, 한국건설기술연구원, 책임연구원, 공학박사

## 1. 서론

순환골재 콘크리트의 재료특성치에 대한 기존의 연구결과<sup>1)</sup>에 의하면, 순환골재의 치환율에 따라 부분적인 강도저하 현상이 관측되는 것으로 보고되고 있으나, 순환골재를 30~60%까지 대체하는 경우는 천연골재 콘크리트와 동등한 성능이 발현되는 것으로 고려되고 있다. 그러나 현재까지 순환골재를 사용한 콘크리트의 적용사례가 많지 않고 순환골재 콘크리트의 재료특성에 대한 연구에 치중되어 부재에 적용하기에는 미비한 실정이다. 따라서 KS F 2573에서는 안전을 고려하여 최대 설계기준강도를 27MPa로 하도록 정하고 있다.<sup>2)</sup> 이러한 실험결과 및 분석에 따라 제정된 순환골재 품질기준에서는 콘크리트의 강도가 27MPa 이하인 범위에서 순환 골재를 총 골재 용적의 약 30% 이하의 수준으로 대체하여 사용하는 것을 권고하고 있다. 그러나 순환골재의 경우 콘크리트 강도가 21MPa 미만인 범위에서 도로 구조물기초, 강도가 요구되지 않는 채움재 콘크리트, 건축물의 비구조체 콘크리트 등으로 적용 가능 범위를 제한하고 있다. 한편, 본 연구의 재료시험 결과에 의하면 순환골재 콘크리트가 천연골재 콘크리트에 비하여 재료특성 차이가 거의 없는 것으로 나타났으나, 실물부재에서의 구조역학적 검토가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 순환골재 및 재생골재를 사용한 실물 콘크리트 부재의 구조설계 기준을 정립하기 위한 기초자료를 구축하고자 하였다.

## 2. 실험계획

표1 및 그림1은 본 연구의 실험체 계획을 나타낸 것이다. 순환골재 콘크리트를 사용한 휨부재의 휨강도 및 단기 사용성 평가를 위하여 사용골재의 종류별로 압축연단 콘크리트 변형률이 0.003에 도달할 때, 최하단 인장철근의 순인장변형률이 0.005에 도달하도록 인장철근을 배근하였다. 휨강도 평가를 위해 순환골재 치환율 100%인 BFS5-A100 실험체와 순환골재 치환율 100%에 상응하는 재생골재 치환율 70%인 BFS5-B70, 천연골재를 사용한 BFS5-A0 실험체를 계획하였다. 실험체 제작에 사용된 콘크리트용 순환골재의 특성은 표2에 나타내었다. 순환골재의 설계기준강도를 27MPa로 계획하였으며, 치환율에 따른 콘크리트의 배합조건과 강도특성치는 각각 표3, 표4와 같다. 실험은 반력프레임(Reaction frame)에 고정된 1,000kN 용량의 액추에이터(Actuator) 가력시스템을 사용하여 변위제어

표1. 휨성능 실험체 일람표

실험체명	단면 (b×d) (mm)	길이 (순경간) (mm)	순환S 치환율 (%)	재생S 치환율 (%)	주철근		
					$\epsilon_s$	$\rho_s/\rho_b$	$A_s$
BFS5-A0	400×525	6,400 (6,000)	0	-	0.005	0.649	9-D25
BFS5-A100			100				
BFS5-B70			-				

표2. 골재의 특성

구분	최대 (mm)	절건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )
천연골재	25	2.68	0.59	1,568
순환골재	5	2.65	0.98	1,489
순환골재	5	2.29	5.83	1,114
재생골재	5	2.15	7.95	1,090

표3. 콘크리트 배합조건

$f_{ck}$ (MPa)	순환S 치환율 (%)	재생S 치환율 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )						
					W	C	G	S1 천연	S2 순환	S3 재생	AD
27	0	-	43.6	46.0	166	392	968	799	0	0	2.94
	100	42.2		0				675	0		
	-	46.0		944				239	0	478	

표4. 콘크리트 강도특성

순환S 치환율 (%)	재생S 치환율 (%)	28일 압축강도 $f_{cu}$ (MPa)	탄성계수 $E_c$ (GPa)	파괴계수 $f_t$ (MPa)
0	-	31.51	21.27	4.38
100	-	27.40	20.85	4.36
-	70	28.66	20.86	4.10

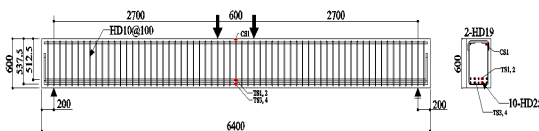


그림1. 실물모형 휨성능 실험체 상세

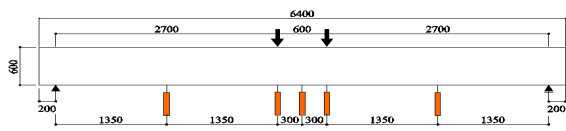


그림2. 가력 및 측정장치 설치 개념도

(Displacement control)방식에 의해 4점 가력하였으며, 반력바닥(Reaction floor)에 고정된 프레임 상부에 회전단(Hinge)을 사용하여 단순지지하였다. 또한 그림2에 나타난 바와 같이 보의 중앙부, 가력점 하부와 전단경간비의 중앙점에 변위계(LVDT)를 고정하였고, 주근 및 콘크리트의 변형률을 측정하기 위하여 철근 및 콘크리트 변형률 게이지를 필요한 부위에 부착하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1. 균열 및 최종파괴양상

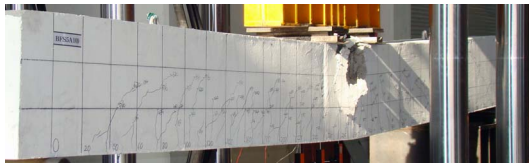
순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 따른 휨파괴형 철근콘크리트 보의 최종파괴양상을 나타내면 그림3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 따른 철근콘크리트 보의 균열발생 및 최종파괴양상은 큰 차이를 보이지 않았다. 초기 휨균열은 순환잔골재 및 재생잔골재를 치환한 실험체(BFS5-A100 : 34.02kN, BFS5-B70 : 26.28kN)가 천연골재를 사용한 실험체(BFS5-A0 : 40.56kN)보다 낮은 하중에서 발생하였으며 모든 실험체는 하중이 증가됨에 따라 휨균열이 단부로 확산되었으며, 철근 항복 이후 급격한 처짐 증가와 가력점 중앙부에서의 콘크리트 압괴가 발생하며 최종 파괴 되었다.

#### 3.2. 하중-변위 관계

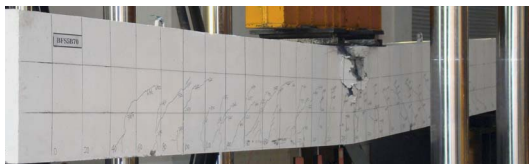
그림4는 하중과 변위와의 관계를 나타낸 것으로, 변위는 실험체 중앙하부에 설치된 변위계를 통해 측정된 수치를 사용하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 모든 실험체의 초기강성은 거의 동일하며, 최대내력과 최대변위도 7% 이내로 비교적 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 순환잔골재 치환율 및 재생잔골재 치환율에 관계없이 세 실험체는 현행 구조설계기준에서 규정하고 있는 휨내력을 6~8%정도 상회하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 순환잔골재 및 재생잔골재 치환에 따른 휨 성능의 차이는 크지 않은 것으로 판단된다.



(a) BFS5-A0 실험체



(b) BFS5-A100 실험체



(c) BFS5-B70 실험체

그림3. 중앙부 균열과 최종파괴양상

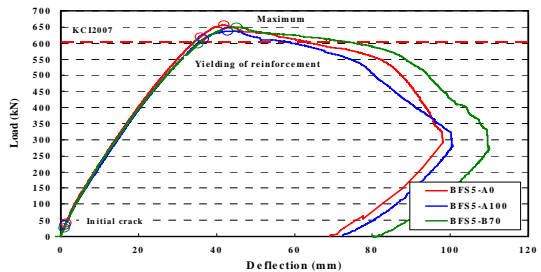


그림4. 하중과 변위와의 관계

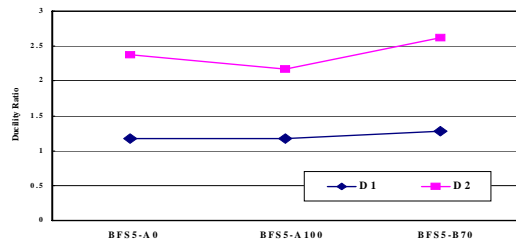


그림5. 연성비 평가

### 3.3. 연성비 평가

각 실험체의 연성비를 비교하여 나타내면 그림 5와 같다.  $D_1$ (Ductility ratio)은 최대하중에서의 변위를 철근 항복 시점에서의 변위로 나누었으며 ( $D_1 = \delta_{max} / \delta_y$ ),  $D_2$ 는 최대하중 이후 하중이 80%까지 저하된 시점의 변위에 대하여 항복하중의 변위로 나누어 계산하였다( $D_2 = \delta_{max,80\%} / \delta_y$ ). 변위 연성비  $D_1$ 은 모든 실험체가 1.16~1.27을 나타내고 있으며  $D_2$ 는 2.17~2.61로 나타났다. 순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 관계없이 유사한 연성비를 나타내었다.

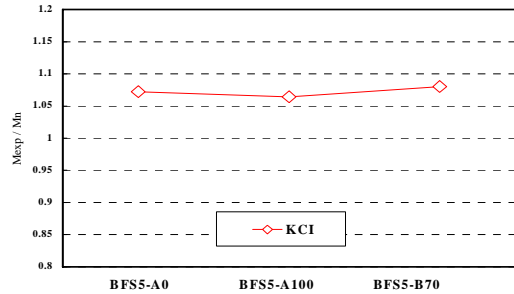


그림 6. 실험값과 기준값 비교

### 3.4. 휨거동에 대한 현행 설계기준의 적용가능성 검토

그림 6은 KCI 기준값에 대한 실험값의 비를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 순환 및 재생 잔골재 치환율에 관계없이 세 실험체 모두 안전측으로 평가하고 있어 순환잔골재 및 재생잔골재를 사용한 콘크리트 휨부재 설계에 적용 가능할 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구는 순환잔골재 콘크리트의 활용성 증대 및 기준 정립에 관한 연구의 일환으로, 순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 따른 실규모 철근콘크리트 보의 휨거동 특성을 실험적으로 수행한 것으로 본 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실물모형 보 부재의 휨 실험결과에 의하면 천연골재를 사용한 실험체와 순환잔골재를 100% 대체한 실험체 및 재생잔골재를 70% 치환한 실험체에서도 초기강성은 동등하였으며, 최대내력과 변위는 7% 이내로 큰 차이가 없이 유사한 휨거동을 나타내었다.
- 2) 실험값과 KCI 설계기준식을 비교한 결과 모든 실험체에서 기준값을 안전측으로 평가하고 있어 순환잔골재 및 재생잔골재를 사용한 콘크리트 휨부재 설계에 적용 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 순환잔골재를 100% 치환한 경우 및 재생잔골재를 70% 치환한 경우에도 콘크리트 휨부재의 성능에는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005 건설핵심기술연구개발사업 05건설핵심D07 “건설폐기물 재활용 기술 개발”의 지원비로 수행된 연구의 일부이고, 이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『2단계 BK21 사업』의 지원비를 받았으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김동석, 원철, 이상수, 권영호, 박철립(1998), 재생골재를 사용한 초유동 콘크리트의 유동특성, 대한건축학회 학술발표논문집 pp. 557-562
2. KS F 2573(2006), 콘크리트용 순환골재.