

# 순환잔골재의 치환율에 따른 철근콘크리트 보의 전단성능

## Shear Performance of Full-scale Reinforced Concrete Beams with Recycled Fine Aggregates

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

### ABSTRACT

Using the recycled aggregate can reduce the landfill space, the demand for natural raw material for new construction. Some investigations have been carried out to study the shear behaviors of RC 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. In this study, four full-scaled RC beams were tested to evaluate the effects of replacement level (0, 30, 60, and 100%) of recycled fine aggregate on shear behavior of RC beams. The results showed that the beams with recycled fine aggregates show similar crack pattern and failure mode compared with the beam with natural aggregate. Also, the beams with recycled fine aggregates present the similar shear strength except the one with the replacement level of 100% recycled fine aggregates. Shear strength were compared with the provisions in current code (KCI2007) and the equation proposed by Zsutty. The KCI equations were conservative and subsequently can be used for the shear design of recycled aggregate concrete beam.

### 요 약

순환골재는 점차 증가되는 건설폐기물의 처리공간 부족문제 및 고갈되어가는 천연골재의 대체 자원으로 사용할 수 있다. 순환골재의 구조용 콘크리트 활용을 위한 많은 연구가 진행되었으나, 기존연구는 낮은 품질의 재생골재를 사용하거나 작은 크기의 부재실험에 국한되는 제한이 있었다. 본 연구에서는 순환잔골재의 치환율(0, 30, 60, 100%)에 따른 철근콘크리트 보의 전단거동을 파악하기 위하여 4개의 실험규모 보를 실험하였다. 실험결과 순환골재를 사용한 실험체는 천연골재를 사용한 실험체와 유사한 균열패턴 및 파괴양상을 보였고 순환잔골재 치환율 100%를 제외한 실험체는 천연골재 실험체와 대등한 전단강도를 나타내었다. 순환골재를 사용한 구조물의 적용성을 검토하기 위하여 현행 KCI2007 기준식 및 Zsutty의 전단강도 계산 값을 실험결과와 비교한 결과 현행 기준식은 전단강도를 안전측으로 평가하고 있어 순환골재를 사용한 실험체에도 적용 가능할 수 있는 것으로 판단된다.

\* 정회원, 충남대학교, 고기능 콘크리트 구조연구실, 석사과정

\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 연구원

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원, 책임연구원, 공학박사

## 1. 서 론

주거환경개선, 재건축, 재개발 사업의 활성화 등으로 건설폐기물 발생량이 증가하고 있고 이러한 건설폐기물의 친환경적 처리와 고갈되어가는 천연골재의 대체 자원에 대한 개발이 시급히 요구되는 현 시점에서 순환골재의 사용에 대한 관심이 고조되고 있다. 순환골재를 적용한 기존 연구결과는 현행 「순환골재 품질기준」<sup>1)</sup> 및 KS F 2573에서 요구하는 콘크리트용 순환골재의 품질기준에 미치지 못하는 순환골재를 사용한 결과이며, 대부분 실험실에서 소량의 배합을 통한 축소모형 실험체로 제작되어 실 구조부재에서 발생할 수 있는 다양한 변수를 고려하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 현장조건과 동일한 레미콘에 의해 생산된 순환골재 콘크리트를 사용하여 순환잔골재의 치환율에 따른 실규모 보부재의 전단거동을 파악하고자 한다. 또한 실험결과를 현행 구조설계기준과 비교·검토함으로써 순환잔골재 콘크리트를 사용한 콘크리트 부재의 구조설계 기준 적용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 실험 방법 및 사용재료

순환잔골재의 치환율(0, 30, 60, 100%)을 변수로 하여 전단스팬비 5인 실규모 철근콘크리트 보를 총 4개 제작하였으며 실험체의 일람 및 상세는 표 1 과 그림 1에 나타난 바와 같다. 전단보강되지 않는 실험체의 실험구간에서 전단 파괴를 유도하기 위하여 비 실험구간에 전단보강근을 배근하였다. 「순환골재 품질기준」을 최대한 만족하기 위해 5.83%의 흡수율을 갖는 순환잔골재를 제작 사용하였으며 사용된 골재의 물리적 성질 및 형상은 표 2 와 그림 2에 나타내었다. 사용된 콘크리트는 설계기준 압축강도 27MPa를 기준으로 표 3와 같이 배합 설계하였다. 콘크리트 재료실험결과는 표 4에 나타난 바와 같다. 실험체는 회전단을 사용하여 단순지지 하였으며 하중재하는 4점 가력하였다.

표 1 실험체 일람

실험체명	b×h(d) (mm)	a/d	설계압축강도 $f_{ck}$ (MPa)	인장철근비, $\rho$	순환잔골재 치환율 (%)
BSN-A0	400×600 (525)	5	27	10-HD25 (0.0241)	0
BSN-A30					30
BSN-A60					60
BSN-A100					100

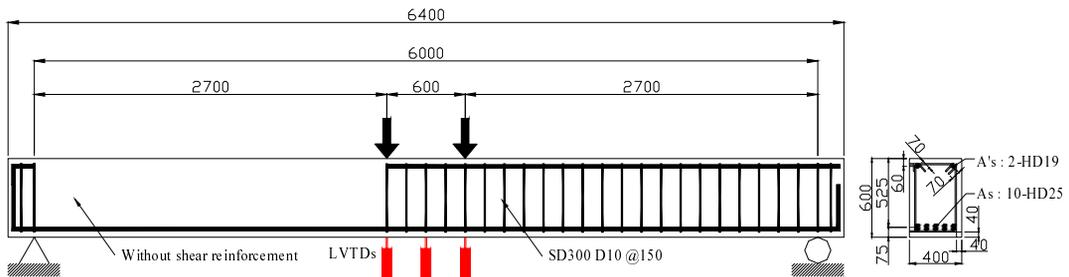


그림 1 실험체 형상 (mm)

표 2 골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	절건밀도 ( $g/cm^3$ )	흡수율 (%)
천연굵은골재 [G]	25	2.68	0.59
천연잔골재 [S1]	5	2.65	0.98
순환잔골재 [S2]	5	2.29	5.83



그림 2 골재의 형상

표 3 콘크리트의 배합조건

순환잔골재 치환율 (%)	W/C (%)	s/a (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )					AD
			W	C	G	S1	S2	
0	43.6	46.0	166	392	968	799	0	2.94
30						559	203	
60						320	405	
100		0				675		

표 4 콘크리트의 강도특성

순환잔골재 치환율 (%)	28일 압축강도, f <sub>cu</sub> (MPa)	탄성계수 E <sub>c</sub> (GPa)	쪼갠강도 f <sub>sp</sub> (MPa)
0	31.51	21.57	2.58
30	29.88	23.07	2.65
60	31.04	23.55	2.75
100	27.40	20.85	2.62

### 3. 실험 결과

#### 3.1 균열 및 파괴 양상

그림 3은 순환잔골재의 치환율에 따른 실험체의 최종 파괴양상을 각각 비교하여 나타낸 것이다. 전체적인 균열의 진행상황은 재하하중 26.15~56.26kN 범위에서 초기 휨균열이 실험체 중앙 하부에서 발생하였으며 휨균열 발생이후 점차 휨균열의 발생수가 증가하였고 보의 상부로 균열이 진전되었다. 휨균열은 사인장 균열로 진전되었으며 사인장 균열 발생 이후, 하부 인장철근과 콘크리트의 부착력이 완전히 상실되어 인장철근이 배근된 계면을 따라 콘크리트와 철근이 분리되는 전단인장 파괴양상을 나타내었다. 최종 파괴양상의 경우 사진에 나타난 바와 같이 순환잔골재 치환율에 관계없이 대체적으로 유사하게 나타났으나 순환골재 치환율 100%인 실험체는 지점의 인접부에서 다른 실험체들의 사균열각보다 큰 사균열각을 나타내며 균열이 발생하였고 큰 균열폭(21mm)을 나타내었다.

#### 3.2 하중-처짐 관계

그림 4는 순환잔골재 치환율에 따른 실험체의 하중-처짐 관계곡선을 비교하여 나타낸 것으로 그림

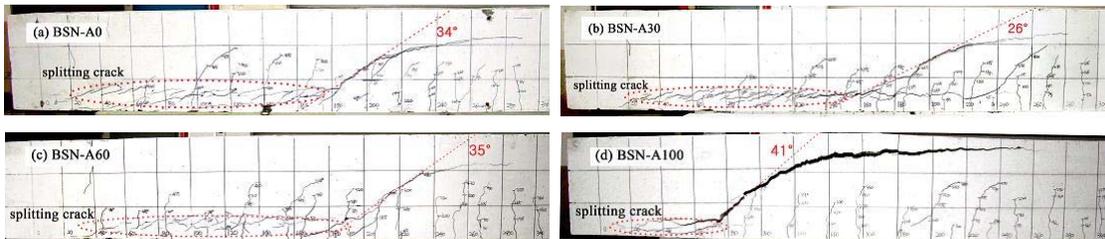


그림 3 균열 및 파괴양상

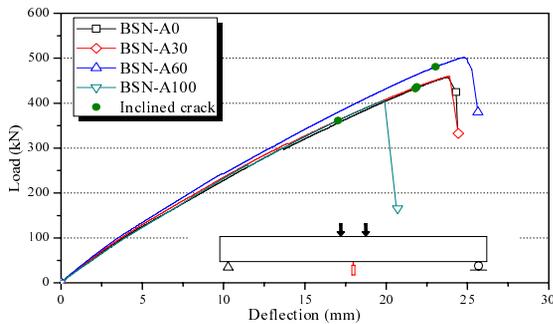


그림 4 하중-변위 관계

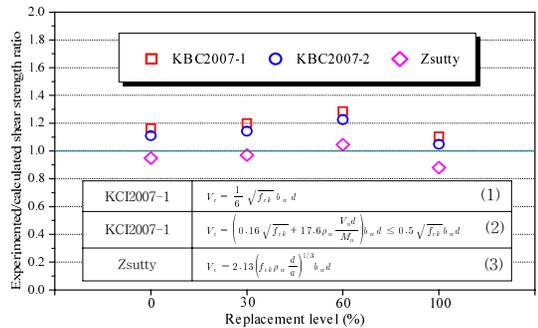


그림 5 실험값과 기준식 비교

에 나타난 바와 같이 모든 실험체에서 최대 내력의 5.11% 범위에서 초기 휨균열이 발생하였으며 순환 잔골재 치환율 100%인 실험체는 다른 실험체에 비하여 다소 적은 하중에서 사인장 균열이 발생하였다. 모든 실험체는 사인장 균열이후 하중범위 404.92~501.13kN에서 최종파괴 되었다. 순환잔골재 치환율 100%를 제외한 다른 실험체(30, 60%)는 순환 잔골재 치환율에 따른 내력저하가 나타나지 않았으며 순환잔골재 치환율 60% 실험체는 천연골재를 사용한 실험체보다 다소 큰 내력을 나타내었다. 이는 표 5에 나타난 바와 같이 순환잔골재 치환율 60%인 콘크리트의 압축강도는 천연골재 콘크리트와 유사하나 탄성계수와 쪼갬 인장강도가 천연골재를 콘크리트보다 다소 크게 나타났기 때문에 최대 내력이 높게 나타난 것으로 판단된다.

### 3.3 실험값과 현행 설계기준 비교

그림 5는 순환잔골재 치환율에 따른 실규모 보 실험체로부터 얻어진 전단강도 실험값을 현행 설계기준식(KCI2007)<sup>2)</sup>에 의한 기준식 및 Zsutty<sup>3)</sup>의 제안식과 상호 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 최대내력이 낮게 나타난 순환잔골재 치환율 100%인 실험체는 천연골재를 사용한 실험체보다 다소 작은 값을 나타내고 있으나 순환잔골재의 치환율에 관계없이 전단내력에 대한 현행 설계기준을 만족하는 것으로 나타났다. Zsutty의 제안식은 순환잔골재 치환율 100%인 실험체의 전단강도 실험값과 약 10%의 오차를 보이고 있으나 다른 실험체의 전단강도는 좋은 예측을 나타내고 있다.

## 4. 결 론

- 1) 전단보강되지 않은 실험체의 최종파괴양상은 순환잔골재 치환율에 관계없이 대체적으로 유사하게 나타났으며 인장철근이 배근된 계면을 따라 콘크리트와 철근이 분리되는 전단인장 파괴양상을 나타내었다.
- 2) 실험결과 나타난 최대내력은 순환잔골재 치환율 100%인 실험체의 경우 다소 낮게 나타났으나 다른 실험체는 순환잔골재의 치환율에 관계없이 유사하게 나타났다. 순환잔골재 치환율 100%를 제외한 순환잔골재의 사용은 본 연구에서 수행된 전단파괴형 철근콘크리트 보의 내력저하에 영향이 없는 것으로 판단된다.
- 3) 각 실험체에서의 최대내력을 현행 설계기준 및 제안식에 의한 계산값과 비교한 결과, 순환잔골재 치환율에 관계없이 전단내력에 대한 현행 설계기준을 만족하는 것으로 나타났다.

## 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. 건설교통부, 순환골재 품질기준, 2005
2. 콘크리트구조설계기준, 한국콘크리트학회, 2007
3. Zsutty T.C., Shear strength prediction for separate categories of simple beam test, ACI Journal, 68(02), 138-143, 1971