

# 순환골재 치환률에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 실험적 연구

## Experimental Study of Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Different Types of Coarse Aggregates

이 영 오\* 전에스더\*\* 윤 현 도\*\*\* 유 영 찬\*\*\*\* 김 긍 환\*\*\*\*\* 최 기 선\*\*\*\*\*  
Lee, Young Oh Jeon, Esther Yun, Hyun Do You, Young Chan Kim, Keung Hwan Choi, Ki Sun

### ABSTRACT

This study is to evaluate flexural behavior of RC beam with different types of coarse aggregates, so called natural or recycled aggregate. Two reinforced concrete beams were manufactured with different replacement level of recycled coarse aggregates : Concrete made with 0% of coarse aggregates, concrete made with 100% of recycled coarse aggregates.

From the test, the general flexural performances of RC beams with different types of coarse aggregates such as cracking moment, crack patterns, maximum moment/crack width are discussed.

### 1. 서론

최근 건설 폐기물의 발생량 증가 및 건설 폐기물의 처리에 따른 환경오염의 문제점, 골재 수급의 어려움 등을 해결하기 위한 방안으로 순환골재의 사용에 대한 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 이러한 시점에 발맞추어 정부에서는 「건설 폐기물 등의 재활용 촉진에 관한 법률안」(2003. 12)<sup>1)</sup>을 제정하여 일정규모 이상의 건설공사에 한하여 순환골재 사용을 의무화하고 있으며, 이에 따라 구조체에 순환골재 콘크리트의 사용은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 그러나 현재 국내의 기준에는 순환골재를 구조체에 적용하기 위한 적절한 기준이 마련되어 있지 않으며, 콘크리트구조설계기준에서도 천연골재 대비 경량골재에 관한 상이 규정<sup>2)</sup>만이 규정되어 있다. 또한 국내에서 행해지고 있는 순환골재에 대한 연구도 대부분 순환골재 제조방법 및 콘크리트의 배합 등의 재료특성, 시공성능에 관한 것이며 이를 구조체에 적용하기 위한 구조성능에 관한 연구 및 기준을 정립하기 위한 성능평가 및 검증에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 순환골재 콘크리트의 활용성 증대를 위한 다양한 구조성능 평가 및 이를 통한 순환골재 콘크리트의 기준 정립에 관한 연구의 일환으로, 순환골재 치환률에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동 특성을 천연골재를 사용한 콘크리트와 연계하여 비교·평가하고자 하였다.

### 2. 실험계획

\* 정희원, 충남대학교 대학원 석사과정  
\*\*\* 정희원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 연구위원

\*\* 정희원, 충남대학교 대학원 박사과정  
\*\*\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구원  
\*\*\*\*\* 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

## 2.1 시험체 계획

본 연구에서는 그림 1에 나타난 바와 같이 단면 400×600mm, 길이 6,000mm를 갖는 실규모(Full-scale)의

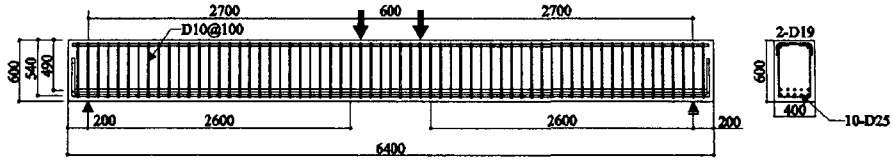


그림 1 시험체 상세 (unit :mm)

표 1 시험체 일람

시험체명	순환골재 치환율 (%)	폭×깊이(유효깊이) (mm)	길이(순경간) (mm)	설계기준강도 $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	철근의 인장강도 $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	주근비 ( $A_s, \rho$ ) (mm <sup>2</sup> , %)
B-R0.75-A0	0	400×600 (525)	6,400	27	400	D25 10ea (506.7, 2.55)
B-R0.75-A100	100		(6,000)			

표 2 콘크리트 배합조건

골재종류	$f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )			
				W	C	S	G
천연골재	27	43.6	46	132	392	823	960

표 3 사용골재의 물리적 성질

사용골재	절건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	조립율 (%)	단위용적중량 (kg/ℓ)
천연굵은골재	2.61	0.64	2.44	1.51
순환굵은골재	2.49	2.99	2.44	1.56

표 4 콘크리트의 강도특성

순환골재 치환율 (%)	압축강도(N/mm <sup>2</sup> )		탄성계수 (kN/mm <sup>2</sup> )	휨강도 (N/mm <sup>2</sup> )	조강인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )
	7일	28일			
0	29.82	36.97	24.16	4.66	2.83
100	26.91	29.17	20.83	3.89	2.65

표 5 철근의 기계적 특성

철근 종류	항복강도 $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	항복변형률 $\epsilon_y$ ( $\times 10^{-6}$ )
D10	375.23	2,620
D19	405.60	2168
D25	433.40	2,339

휨시험체를 계획하였다. 시험체는 표 1에 나타난 바와 같이 순환골재 치환율 0, 100%를 변수로 하였으며, 이에 사용된 콘크리트의 강도는 순환골재의 용도별 품질기준 및 설계 시공지침에서 규정하고 있는 콘크리트설계기준 압축강도인 27N/mm<sup>2</sup>로 하였다. 또한 소규모의 Lab배합이 아닌 레미콘 배합설계를 통해 실규모의 철근콘크리트 보를 제작하였으며, 각각의 순환골재 치환율에 따른 콘크리트 배합은 표 2와 같다.

## 2.2 사용재료 및 측정방법

본 연구에서 사용한 순환굵은골재는 「건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률」의 순환골재의 용도별 품질기준 및 설계시공지침에서 규정하고 있는 한계값(흡수율 3.0%, 절건밀도 2.49 g/cm<sup>3</sup>)을 만족하도록 생산하였으며, 골재의 물리적 특성 및 콘크리트의 강도특성은 표 3 및 표 4에 나타내었다. 인장 및 압축철근의 경우 SD40급의 D25 및 19철근을 사용하였으며, 스티럽으로 D10철근을 사용하였다. 철근의 기계적 특성을 나타내면 표 5와 같다. 순환골재 치환율에 따른 철근콘크리트 보의 휨성능을 실험적으로 평가하기 위하여 그림 2에 나타난 바와 같이 반력프레임(Reaction frame)에 고정된 1,000kN 용량의 액추에이터(Actuator)를 사용하여 변위제어(Displacement control)방식에 의해 4점 가력하였다. 또한 보의 전체적인 수직 및 가력점에서의 처짐량, 곡률을 측정하기 위하여 보의 중앙부, 가력점 하부에 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 주근 및 콘크리트의 변형률을 측정하기 위하여 변형률 게이지와 크랙게이지를 필요한 부위에 부착하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 하중-변위 및 모멘트-곡률 관계

그림 3은 순환골재 치환율 0 및 100%인 휨시험체의 하중-변위 관계를 나타낸 것으로, 순환굵은골재를

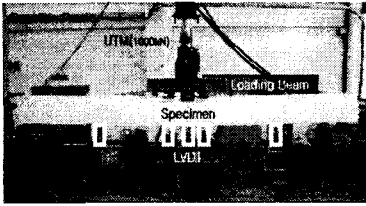


그림 2 시험체 설치상황

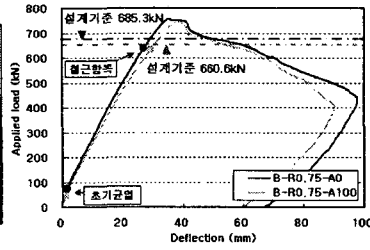


그림 3 하중-변위

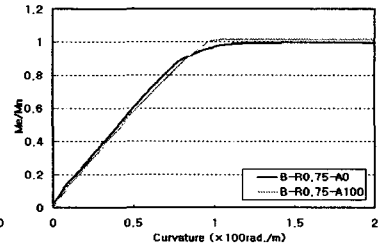
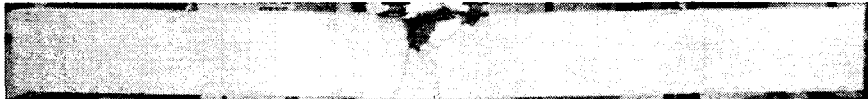


그림 4 모멘트-곡률



(a) B-R0.75-A0



(b) B-R0.75-A100

그림 5 균열 및 최종파괴 상황

사용한 시험체의 초기강성이 다소 낮은 값을 보였으나 순환골재 치환률에 관계없이 현행 국내규준에서 규정하고 있는 휨내력을 10.6~12.6% 정도 상회하고 있는 것으로 나타났다. 균열 및 항복강도에서의 강성은 천연골재를 사용한 콘크리트가 순환골재를 사용한 시험체에 비해 크게 나타났으나, 최대내력시 변위는 순환골재 시험체가 다소 큰 것으로 나타났으며, 이는 탄성계수의 저하로 인한 휨강성의 저하현상을 반영하고 있는 것으로 판단된다.

그림 4는 상부 콘크리트게이지와 인장철근의 변형률로부터 구한 모멘트와 곡률과의 관계를 나타낸 것으로 모멘트는 실험값을 공칭모멘트로 나누어 구하였다.  $M_u/M_n$ 이 0.06 이전까지 거의 유사하게 증가하였고, 이후 순환골재를 사용한 B-R0.75-A100 시험체가 동일한 모멘트에서 곡률이 상대적으로 증가하였다.

### 3.2 균열 및 최종파괴양상

그림 5는 순환골재 치환률에 따른 시험체의 최종파괴양상을 나타낸 것이다. 초기 휨균열(하중 47.58~78.50kN의 범위)은 보 중앙부의 가력점 하부에서 미세하게 발생되었고, 하중이 증가됨에 따라 발생된 휨균열이 상부로 진전되었으며 양단 지점 쪽으로 새로운 휨균열이 발생되었다. 이러한 균열발생시 순환골재는 천연골재를 사용한 시험체의 균열깊이가 천연골재에 비해 다소 깊게 나타나는 경향을 보였으나, 전반적인 균열발생 및 최종파괴양상은 큰 차이를 보이지 않았다.

### 3.3 하중-균열폭, 철근 및 콘크리트 변형률 관계

그림 6은 하중과 균열폭과의 관계를 나타낸 것이다. 모든 시험체에서 사용하중 상태(항복하중의 약 60%)에서의 균열폭은 현행 콘크리트구조설계기준에서 규정하고 있는 0.4mm 이하의 값을 보였으며, 오히려 천연골재를 사용한 시험체의 균열폭이 다소 큰 것으로 나타났으나, 이는 균열폭 측정위치에 따른 영향으로 판단된다. 그림 7은 보 상부에 부착한 철근게이지와 인장철근의 변형률을 비교한 것으로 그림에서 보는 바와 같이 인장철근의 경우 치환율에 관계없이 거의 유사한 변형을 보이고 있으며, 콘크리트게이지의 변형률에서 순환골재를 치환한 시험체가 다소 큰 변형률을 보이고 있는 것으로 나타났다.

### 3.4 휨강도에 대한 현행 규준식의 적용가능성 검토

순환골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨강도에 대한 설계기준의 적용가능성을 분석하기 위하여, 각 변

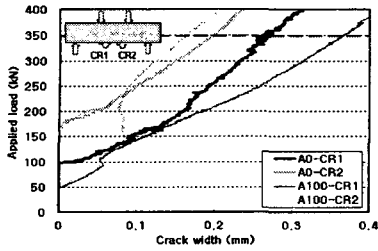


그림 6 하중-균열폭

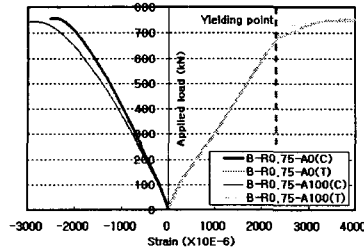


그림 7 철근 및 콘크리트 변형률

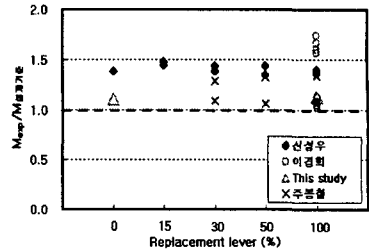


그림 8 기존 연구와의 비교

표 6 실험결과 및 규준식과의 비교

시험체	실험값								계산값		실험값/계산값
	초기 균열			철근 항복			최대내력		균열하중 (kN)	최대하중 (kN)	
	하중 (kN)	변위 (mm)	강성 (kN/mm)	하중 (kN)	변위 (mm)	강성 (kN/mm)	하중 (kN)	변위 (mm)			
B-R0.75-A0	78.50	1.84	42.46	649.13	27.64	23.49	758.03	35.34	27.71	685.3	1.11
B-R0.75-A100	48.20	1.30	36.60	642.17	29.78	21.56	744.39	38.50	31.09	660.6	1.13

수에 따른 균열강도 및 최대강도에 대한 실험값과 계산값을 비교하여 표 6에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 계산값에 대한 실험값의 비는 각각 1.11 및 1.13으로 나타나, 현재 천연골재를 대상으로 하는 국내 설계기준의 적용가능성이 높은 것으로 판단되었다. 또한 본 연구결과를 기존의 순환골재를 사용한 철근콘크리트 보의 실험값<sup>3)-4)</sup>과 비교한 결과, 기존 연구결과에 비해 다소 낮게 나타났으나, 이는 실험에 사용된 시험체의 크기효과(Size effect)에 기인한 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

- (1) 순환골재의 품질 하한치(흡수율 3.0%, 절단밀도 2.49 g/cm<sup>3</sup>)를 만족하는 골재를 이용한 철근콘크리트 보의 천연골재를 사용한 시험체와 유사한 최대강도를 보였으며, 국내 설계기준에서 규정하는 휨내력을 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 순환골재 콘크리트의 단기 휨성능에 관한 실험결과, 순환골재 콘크리트는 허용균열폭 측면에서도 안전측에 있다고 평가할 수 있으나, 1년간의 옥외 폭로 및 지속하중 재하 등을 통한 장기 휨성능에 관한 검토 후에 최종적인 안전성 평가가 가능할 것으로 판단된다.
- (3) 순환골재 콘크리트의 활용성 증대라는 측면에서 흡수율 3.0%, 절단밀도 2.49 g/cm<sup>3</sup>의 품질하한치를 만족하는 순환골재를 사용시 휨구조용 부재료의 적용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

#### 감사의글

본 연구는 건설교통부가 출원하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005 건설핵심기술연구개발사업 05건설핵심D02 “건설폐기물 재활용 기술 개발”의 일부로서, 관계제위에 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”(2003)
2. 한국콘크리트학회(2003), “콘크리트 구조설계기준 해설”, 한국콘크리트학회
3. 이경희(2002), “재생골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단성능과 휨성능에 관한 실험적 연구”, 충남대학교 대학원.
4. 김선호, 한범석, 안종문, 신성우(2002), “재생골재의 함유량에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, v.22 n.1, pp. 83-86