

지속하중을 경험한 철근콘크리트 보의 골재 종류에 따른 휨거동 특성

Flexural Performance of Reinforced Concrete Beams with Recycled Aggregates Suffering from Sustained Load

지 상 규* 윤 현 도** 김 선 우*** 이 언 영****
Ji, Sang-Kyu Yun, Hyun-Do Kim, Sun-Woo Lee, Eon-Young

Abstract

This paper presents results of an experimental study designed to investigate the effect of sustained load on the flexural performance of reinforced recycled aggregate concrete beams. In this experimental program, three beams with recycled aggregate replacement percentages(natural 100%, recycled coarse aggregate 100%, recycled fine aggregate 50%) were tested up to failure after sustained loading($0.5M_n$) for one year. The experimental results showed that reinforced concrete beams using recycled aggregate(water absorption : 1.86~3.64%) concrete showed the same flexural performance as that of natural aggregate concrete beam. Current the ACI code underestimated experimental obtained ultimate flexural strength of beams irrespective of usage of recycled aggregates.

요 지

본 논문은 장기 지속하중을 경험한 순환골재 콘크리트 보의 휨 거동특성 평가를 위하여 수행된 실험결과를 다른 내용으로 이를 위하여 천연골재를 사용한 시험체, 순환굵은골재로 100% 대체된 시험체와 순환잔골재로 50% 대체된 시험체 등 총 3개의 보가 계획 및 제작되었다. 1년간 재하된 지속하중을 경험한 이후 파괴시까지 다시 재하된 철근콘크리트 보의 단기 휨거동에서 초기 강성 및 최대내력은 골재의 종류에 관계없이 유사하게 나타났으나 최대내력시의 강성이 순환골재를 사용한 경우 천연골재에 비해 28 및 23% 작게 나타났고 인장철근 및 압축측 콘크리트의 변형률도 순환골재를 사용한 시험체가 천연골재를 사용한 시험체보다 다소 크게 나타났다. 그러나 순환골재를 사용한 철근콘크리트 보에 대한 실험값을 ACI규준 의한 계산값과 비교한 결과 크게 나타났으며 전반적으로 천연골재를 사용한 철근콘크리트 보와 대등한 휨 성능을 보였다.

Keywords : Recycled aggregate concrete, Reinforced concrete beams, Sustained load, Flexural performance

핵심 용어 : 순환골재 콘크리트, 철근콘크리트 보, 지속하중, 휨 성능

* 학생회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 교신저자

*** 학생회원, 충남대학교 건축공학과 박사과정

**** 학생회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정, 대한주택공사 차장

Email : white4021@cnu.ac.kr 042-821-6281

•본 논문에 대한 토의를 2007년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 국내 건설 사업의 규모가 증가함에 따라 주거 환경 개선, 재건축, 재개발 사업의 활성화 등으로 건설폐기물양이 증가하고 있다. 그러나 기존 구조물의 해체시 발생하는 건설 폐기물의 처리 및 재건축시 소요되는 건자재의 확보를 위해서는 막대한 자연환경의 훼손이 필연적이라 할 수 있다. 또한 국내 건설 시장에서 여러 차례 골재의 수급문제로 인하여 건설공사가 중단되는 사태도 발생되었으며 현재 연간 소요량에 비하여 개발 가능한 골재 부존량을 고려하면 골재자원의 고갈 현상이 점차 심각한 수준에 이를 것으로 예상된다. 따라서 향후 이러한 사태가 빈번하게 발생할 우려가 있으므로 대체 골재 자원에 대한 개발이 시급히 요구되고 있다. 현 시점에서 새로운 골재 공급원으로써 재건축시 발생하는 건설폐기물에 대한 관심이 고조되고 있으며 건설폐기물 중 폐콘크리트에서 생산된 순환골재는 재활용 될 수 있는 잠재력이 있다는 것으로 연구결과에서 보고 되고 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾⁽¹⁰⁾ 최근 정부에서는 이러한 사회적 문제를 인식하고 「건설폐기물 등의 재활용 촉진에 관한 법률안」⁽⁶⁾(2003.12)을 제정하여 환경오염의 주범인 폐콘크리트로부터 생산된 순환골재를 천연골재의 대체자원으로 활용가능 하도록 법안을 마련하고 또한 일정규모 이상의 공사에 한하여 순환골재의 사용을 의무화 하고 있어, 향후 순환골재에 대한 사회적인 요구는 한층 더 증가할 것으로 예상된다. 순환골재가 건설현장에서 다양한 부위에 폭넓게 활용되기 위해서는 정부의 순환골재 촉진을 위한 정책 수립이외에 국내에서 생산되는 순환골재의 특성 및 이를 사용한 콘크리트의 특성과 구조적 성능 규명에 대한 연구를 기반으로 한 신뢰성 확보가 우선적으로 요구된다.

90년대 후반에 이르기까지 순환골재를 천연골재 대체 재료로 활용하고자 하는 연구는 주로 순환골재를 사용한 콘크리트의 시공 및 역학적 특성에 집중적인 연구가 이루어졌으며 2000년대에 들어 순환골재 콘크리트의 구조부재로 활용성 평가를 위한 연구가 시작되었다. 특히 순환골재를 사용한 보의 단기 휨거동 특성에 대한 주봉철⁽¹⁾, 신성우⁽²⁾, 이경희⁽³⁾, 이영오⁽⁴⁾ 및 Maruyama⁽¹⁰⁾의 연구결과에 따르면 순환굵은골재의 혼입률 50%이내에서는 천연골재 콘크리트 보와 대등한 성능을 기대할 수 있으며 주근량을 균형철근비의

50~60%이내로 제한한다면 연성에 있어서도 천연골재 콘크리트 보와 대등한 안정성을 확보할 수 있다고 제안하고 있다. 아울러 천연골재 콘크리트의 휨이론(등가응력블럭)은 순환골재 콘크리트 보에 있어서 적용가능성이 있는 것으로 보고되고 있다. 그러나 현재 순환골재 콘크리트를 사용한 구조부재의 휨, 전단 등 단기구조거동에 관한 연구는 일부 이루어지고 있으나 상대적으로 장기 안정성이 중요한 순환골재 콘크리트에서 장기 휨거동 특성에 대한 연구는 전무한 실정이고 순환골재 콘크리트의 휨부재에 적용하기 위해서는 단기성능 뿐만 아니라 장기 휨성능에 대한 평가가 요구되며 이에 본 연구에서는 장기 지속하중을 경험한 순환골재 콘크리트 보의 휨거동 특성을 평가하여 순환골재 콘크리트의 구조부재 적용가능성을 검토 하고자 한다.

2. 실 험

2.1 실험계획

본 연구에서는 장기 지속하중을 경험한 철근콘크리트 보에서 골재 종류에 따른 거동 특성을 파악하기 위하여 천연 골재만을 사용한 C시리즈, 순환 굵은골재를 100% 대체한 RL시리즈, 순환 잔골재를 50% 대체한 RH시리즈 등 총 3개의 시험체를 계획 및 제작하였다. 각 시험체의 단면 크기는 170×200mm(d : 170mm), 길이는 2,300mm(순경간 2,000mm)이며 시험체 배근상세 및 일람은 Fig. 1 및 Table 1에 각각 나타내었다.

2.2 사용골재

본 연구에서 사용된 순환골재는 굵은골재 및 잔골재로써 실 구조물을 파쇄하여 생산하였으며 사용골재의 물리적 입형 및 성질은 Fig. 2 및 Table 2에 각각 나타내었다. 순환골재의 흡수율은 골재 표면에 붙어있는 시멘트 페이스트에 의해 천연골재보다 비교적 높게 나타났으나 「순환골재품질기준」⁽⁷⁾에서 제한하고 있는 순환굵은골재(흡수율 3%이하, 절건비중 2.5이상), 순환잔골재의 흡수율 5%이하, 절건비중 2.2이상)을 모두 충족시키고 있는 것으로 나타났다.

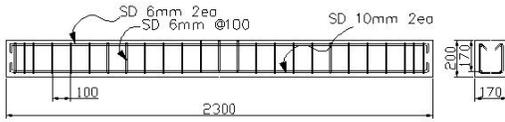


Fig. 1 시험체 상세 (단위 : mm)

Table 1 시험체 일람표

시험체 명	b×d (mm)	순경간 (mm)	f_{ck} (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	주근 (As, ρ) (cm ² , %)	전단보강근 (pitch, ρs(%))
C30*	170×170	2000	30	429	1.42, 0.49	D6@100, 0.333
RL30						
RH30						

* C 30

C : 천연굵은골재 + 천연잔골재

RL : 순환굵은골재 + 천연잔골재

RH : 천연굵은골재 + 천연잔골재(50%) + 순환잔골재(50%)

30 : 콘크리트 설계기준 압축강도

Table 2 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

2.3 철근 및 콘크리트

본 연구에서 사용된 인장철근은 SD40급의 D10와 전단보강근으로 SD30급의 D6의 이형철근이 각각 사용되었으며, 철근의 기계적 특성은 Table 3과 같다. 콘크리트의 배합조건은 현재 국내 건설현장에서 주로



(a) 천연굵은골재 (b) 순환굵은골재



(c) 천연잔골재 (d) 순환잔골재

Fig. 2 골재의 입형 및 형상

Table 3 철근의 기계적 특성

철근의 종류	항복강도 f_y (N/mm ²)	항복변형률 ϵ_y ($\times 10^{-6}$)	인장강도 f_u (N/mm ²)	탄성계수 E_s (kN/mm ²)
D6	291.19	1900	375.01	182.76
D10	413.56	2400	600.74	203.07

Table 4 콘크리트의 역학적 특성

	28일 압축강도 f_{cu} (N/mm ²)	탄성계수 E_c (kN/mm ²)	최대변형률 ϵ_u ($\times 10^{-6}$)	포아송비
C30	31.61	26.25	3040	0.15
RL30	39.66	28.48	2860	0.15
RH30	36.10	27.53	4010	0.15

사용되는 물-시멘트비 및 잔골재율하에서 설계기준강도 30N/mm²를 충족하도록 시험배합 및 예비시험결과를 근거로 결정하였으며 콘크리트 강도 특성 및 배합표는 Table 4 및 5에 나타난 바와 같다.

Table 5 콘크리트 배합표

시험체	W/C (%)	단위중량 (kg/m ³)						목표슬럼프 (mm)	FA 대체율 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)
		C	FA	NS	RS	RG	NG				
C30	45	331	58	763	0	0	927	230±20	15	46	175
RL30	45	331	58	763	0	888	0	230±20	15	46	175
RH30	50	298	53	409	402	0	979	150±20	15	47	175

2.3 실험방법

지속하중은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 시험체 중앙부에 공칭모멘트(Mn)의 50%가 작용되도록 1년동안 재하 하였다. 장기 지속하중을 경험한 이후 철근콘크리트 보의 휨성능을 평가하기 위하여 지속하중 재하 후 Fig. 4와 같이 반력프레임에 500kN 용량의 Actuator를 사용하여 시험체가 파괴 될 때까지 변위 제어로 4점 가력 하였으며 양 지점은 힌지(Hinge)상태가 되도록 하였다. 재하 실험시 시험체만의 수직 변위량을 측정하기 위하여 Fig. 3과 같은 방식으로 시험체의 양단지점부분에 앵글(Angle)을 고정하여 설치 후 앵글 위에 5개의 SDT(Strain displacement transducer)를 설치하여 시험체의 수직변형량을 측정하였다. 기존에 발생된 균열폭의 진전을 정확하게 측정하기 위하여 시험체의 중앙부 밑면과 옆면에 4개의 파이(Pi)게이지를 설치하였다. 콘크리트 변형률은 기존에 설치하였던 콘크리트 변형률 게이지 2개(보의 상부에서 20mm, 하부에서 20mm)외에도 추가로 3개(보의 상부, 보의 상부에서 40mm, 85mm 위치)를 각각 설치하여 측정하였다. 주근의 중앙부에 부착되어있던 철근 변형률 게이지로부터 재하단계별로 주근의 변형률을 측정하였다.

측정된 하중과 처짐 그리고 각 변형률 게이지에 대한 변형률은 T사의 TDS601A를 통하여 재하단계별로 일정간격으로 획득하였으며 재하하중 단계별로 균열진전 상황을 시험체에 표기하고 사진을 촬영하여 기록하였다.

3. 실험결과 및 분석

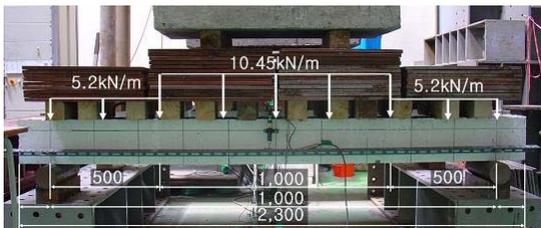


Fig. 3 지속하중 가력개념도(mm)

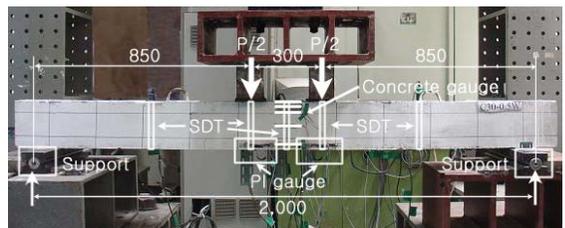


Fig. 4 단기휨성능 시험체 설치

3.1 균열 및 파괴양상

각 시험체의 지속하중 재하후 재가력 시점, 주근항복, 최대하중 및 최종파괴시의 파괴발생 양상을 Fig. 5에 비교하여 나타내었다. 시험체에 작용된 하중이 선형하여 작용되었던 지속하중에 이를때까지 기 발생된 균열폭이 증가되며 새로운 균열은 발생되지 않았다. 그러나 재하하중이 지속하중의 크기를 초과함에 따라 기존에 발생된 인장측의 휨 균열이 점진적으로 보의 중립축 상부로 진전되었으며 하중이 증가됨에 따라 이러한 경향은 보의 중앙부에서 그 이후 단부에서 나타났으며 점차 균열 수 및 균열폭이 증가하였다. 이후 재하하중이 증가됨에 따라 골재종류에 따른 철근콘크리트 보에서 Fig. 5에 나타난 바와 같이 순환골재를 사용한 시험체가 천연골재를 사용한 시험체보다 균열 폭 및 균열 깊이가 다소 크게 나타났다. 그러나 균열의 형상 및 분포는 모든 시험체에서 유사한 패턴을 보였고 모든 시험체에서 가력점 사이의 순수 휨구간에서 균열폭이 급격히 증가하면서 최종 파괴되었으며, 특히 순환골재 대체율 50%인 RH30 시험체에서는 최종 파괴시 가장 큰 균열폭(6.79mm)을 보였다.

3.2 모멘트-처짐 관계

Fig. 6은 시험체별 도입된 모멘트와 보 중앙부 처짐과의 상관관계를 비교하여 나타낸 것으로 초기 처짐에서는 동일모멘트에서 순환골재 대체율 50%인 RH30 시험체가 다른 시험체에 비해 다소 큰 처짐량을 나타내었다. 그러나 모든 시험체의 최대하중은 골재의 종류에 관계없이 유사하게 나타났다.

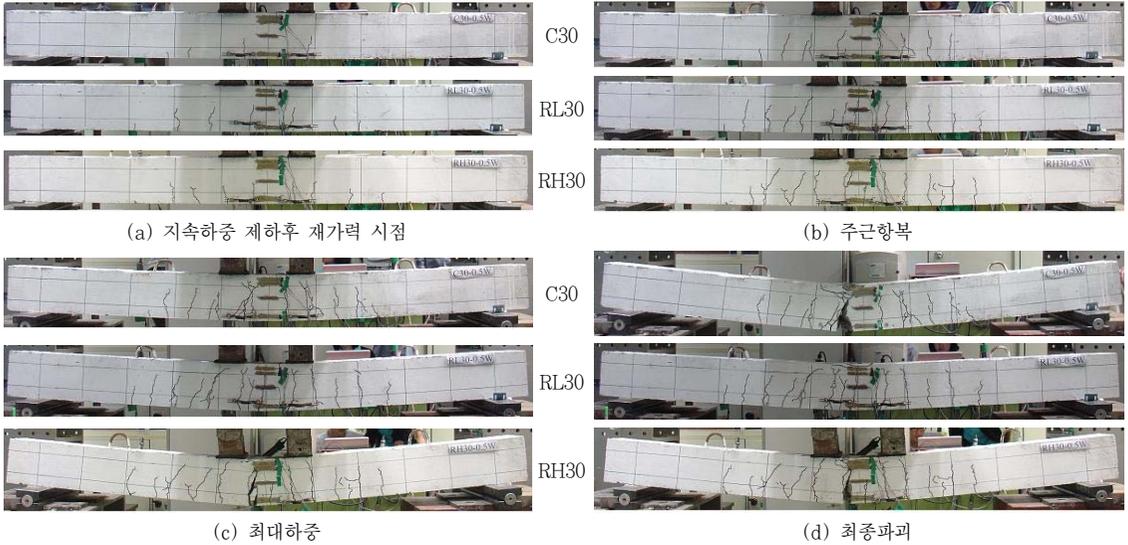


Fig. 5 균열전진 및 파괴양상

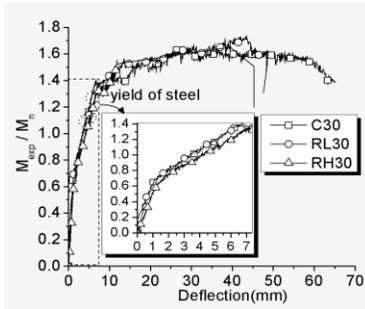


Fig. 6 모멘트-처짐 관계

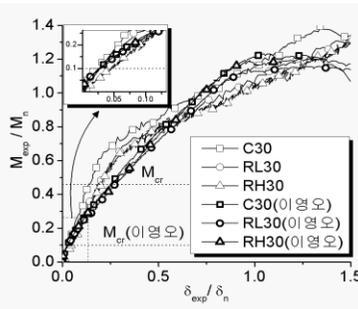


Fig. 7 손상되지 않은 시험체와 비교

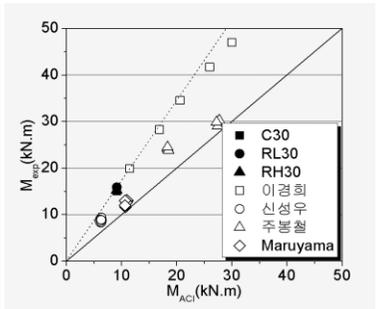


Fig. 8 ACI code와 비교

Table 7 실험결과

시험체	모멘트(kN.m)				처짐(mm)		강성(kN/mm)	
	M_y	M_{max}	M_{ACI}	M_{max}/M_{ACI}	δ_y	δ_{max}	k_y	k_{max}
C30	11.63	15.04	9.13	1.64	5.56	29.58	4.92	1.20
RL30	10.13	15.89	9.15	1.73	4.09	43.47	5.83	0.86
RH30	10.35	15.24	9.13	1.66	5.40	39.17	4.51	0.92

Table 7은 각 시험체의 주근 항복과 최대내력에 대한 계산값을 실험값과 비교하여 나타낸 것으로 주근항복 및 최대강도시 강성변화를 보면 최대내력시 강성값(k_{max})이 순환골재를 사용한 경우 천연골재에 비해 28.33 및 23.33% 작게 나타나고 주근항복 이후 강성저하가 두드러지게 나타났다.

Table 8 기존연구에 사용한 골재의 물리적 성질

연구자	사용골재	비중	흡수율(%)
주봉철 ⁽¹⁾	순환굵은골재	2.19	7.26
신성우 ⁽²⁾	순환굵은골재	2.20	2.95
이경희 ⁽³⁾	순환굵은골재	2.22	6.53
Maruyama ⁽¹⁰⁾	순환굵은골재	2.46	6.18
	순환잔골재	2.23	12.5

Fig. 7은 손상을 입은 시험체와 건전한 시험체의 비교를 위해 본 연구와 동일한 골재를 사용한 기존연구⁽⁴⁾에 나타난 모멘트값(M_{exp})과 처짐값(δ_{exp})을 각각 ACI 기준에 의해 계산된 공칭모멘트값(M_n)과 공칭모멘트의 작용시 탄성이론을 근거로 계산된 처짐값(δ_n)으로 나누어 무차원화 하여 나타낸 것이다.

그림에 나타난바와 같이 M_{exp}/M_n 비가 0.2 내외에서는 본 연구의 시험체가 장기 지속하중으로 인하여 이미 손상되었기 때문에 초기 강성이 낮아 손상을 받지 않은 시험체의 강성에 비하여 약35% 작게 나타난다. 그러나 균열발생이후에는 장기지속하중을 받은 시험체와 건전한 시험의 휨거동 특성상에 큰 차이를 나타내지 않았다.

Fig. 8은 본 연구와 기존 연구^{(1)-(3),(10)}에서 나타난 최대내력을 ACI기준에 의한 계산값과 비교하여 나타난 것으로 그림에 나타난 바와 같이 천연골재를 사용한 철근콘크리트 보의 현행 휨 설계식은 본 연구범위의 순환골재를 사용한 철근콘크리트 보에도 적용 가능한 것으로 판단된다. 또한 Table 8에 나타난 바와 같이 본 연구에서 사용된 순환골재의 품질(흡수율 및 비중)이 기존연구에서 사용된 순환골재의 품질에 비하여 우수함으로 실험값과 계산값과의 비가 높게 나타나 골재의 품질이 휨 설계식의 안전성에 영향을 끼치고 있는 것으로 평가된다.

이상과 같이 본 연구에서 사용한 순환골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨 특성은 천연골재를 사용한 철근콘크리트 보와 큰 차이를 보이고 있지 않으며, 현행 ACI 기준식에 따른 계산값에 비하여 높은 강도를 보이는 것으로 나타나 순환골재를 본 연구에서 제안한 방법에 따라 대체 사용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 공칭 휨내력의 50% 크기의 지속하중을 경험한 이후에도 순환골재 콘크리트 보는 지속하중의 경험이전과 대등한 강도 특성을 보이는 것으로 평가된다.

3.3 철근 및 콘크리트 변형률

Fig. 9는 인장철근 중앙부에서 재하단계별 주근 변형률을 비교하여 나타난 것으로 그림에 나타난 바와 같이 M_{exp}/M_n 비가 0.7을 경과시키지는 동일 하중에서의 변형률이 RL30 > C30 > RH30 시험체 순으로 크게 나타났다. 이후 순환골재를 사용한 시험체의 철근 변형률은 동일하중 하에서 천연골재 콘크리트를 사용한 시험체에 비해 다소 큰 경향을 나타냈으나 전반적으로 골재의 종류와 무관하게 유사한 경향을 보였다. 공칭 휨내력시 주근의 변형률이 항복 변형률에 이르지 않고 주근이 항복 변형률에 도달한 시점에서의 휨 강도가 공칭 휨내력의 1.1-1.4배로 높게 나타난 것은 인장강성(Tension stiffening)효과에 따른 것으로 사료된다. Fig. 9를 근거로 판단하여 보면 순환골재 콘크리트 보 주근의 인장강성 효과는 천연골재 콘크리트 보에 비하여 다소 낮게 나타나고 있으며 이와 동일한 경향이 Maruyama의 연구에서도 보고 된 바 있다. 이는 순환골재 콘크리트의 낮은 부착력 및 Fig. 5에 나타난 바와 같이 순환골재 콘크리트 보에서 천연골재 콘크리트 보에 비하여 미세하고 폭 넓은 균열 확산 등에 기인한 것으로 판단된다.

골재 종류에 따른 재하단계별 콘크리트 변형률을 평가하기 위하여 압축측과 인장측 연단에 콘크리트 변형률 게이지를 부착하여 얻은 결과를 Fig. 10(a) 및 (b)에 각각 비교하여 나타내었다. 철근 항복 이전에서 압축측 콘크리트 변형률은 동일하중 하에서 천연골재를 사용한 시험체가 순환골재를 사용한 시험체에 비해

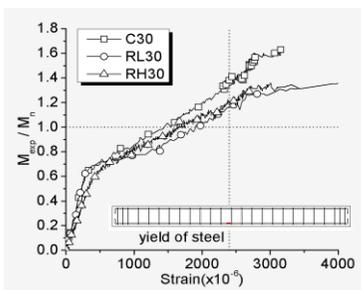
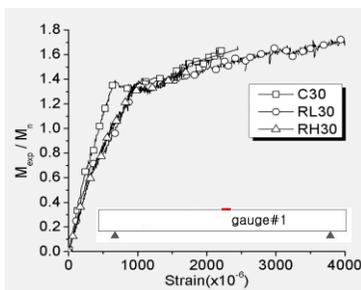
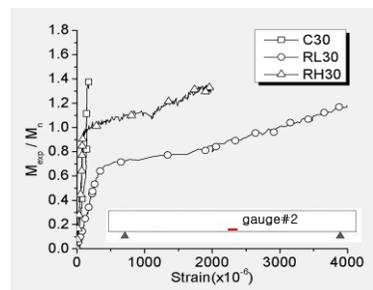


Fig. 9 인장철근 변형률 특성



(a) gauge#1



(b) gauge#2

Fig. 10 콘크리트 변형률 특성

다소 작은 경향을 나타내었으나 그 이후의 콘크리트 변형률은 사용한 골재의 종류와 무관하게 세 시험체 모두 유사하게 나타났다. 인장측 연단에서의 콘크리트 변형률은 순환골은골재 100% 대체한 RL30 시험체가 M_{exp}/M_n 비가 0.7 이후 급격하게 변형률이 증가하였고 C30과 RH30 시험체는 유사한 변형률 경향을 나타내었다. Fig. 10(b)에 나타난 바와 같이 파괴시까지 휨압축측 콘크리트의 변형률에 있어서 순환골재 콘크리트를 사용한 보는 천연골재 콘크리트를 사용한 보에 비하여 높게 나타났다.

Fig. 11은 모멘트 증가에 따른 각 위치에서의 콘크리트 변형률 변화를 비교하여 나타낸 것으로 Fig. 11(a)와 같이 M_{exp}/M_n 비가 0.6에서는 세 시험체의 변형률은 유사하게 나타났다. 그리고 M_{exp}/M_n 비가 0.8에서는 RL30시험체와 C시험체는 유사한 경향을 보이고 있으며 RH30 시험체의 변형률이 다소 크게 발생하였고 특히 인장측에서의 변형률(1694×10^{-6})이 다른 시험체에 비하여 크게 나타나 M_{exp}/M_n 비가 0.6에서 0.8로 증가하는 동안 RH30 시험체의 인장측에

서 변형이 크게 발생한 것으로 나타났다. Fig. 11(c)와 같이 주근 항복시 각 위치에서의 콘크리트 변형률은 압축측에서는 유사하게 경향을 보였으나 인장측에서의 변형률은 RL30(3556×10^{-6}) > RH30(1154×10^{-6}) > C30(147×10^{-6}) 순으로 크게 나타나 순환골재를 사용한 시험체가 천연골재를 사용한 시험체에 비해 주근 항복시의 변형률이 크게 나타났다.

3.4 모멘트-곡률 관계

Fig. 12는 순수 휨 모멘트의 작용 구간인 보 중앙부 인장철근에 설치한 철근변형률 게이지와 보 상부의 콘크리트 변형률 게이지로부터 측정된 변형률을 근거로 산정된 곡률과 단면에 작용된 모멘트의 상관관계 곡선을 골재 종류에 따라 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 동일 하중에서의 곡률은 순환 잔골재 대체율 50%인 RH30 시험체와 순환골은골재 대체율 100%인 RL30 시험체가 유사한 경향을 나타내며 순환골재를 사용한 시험체가 천연골재를 사용한

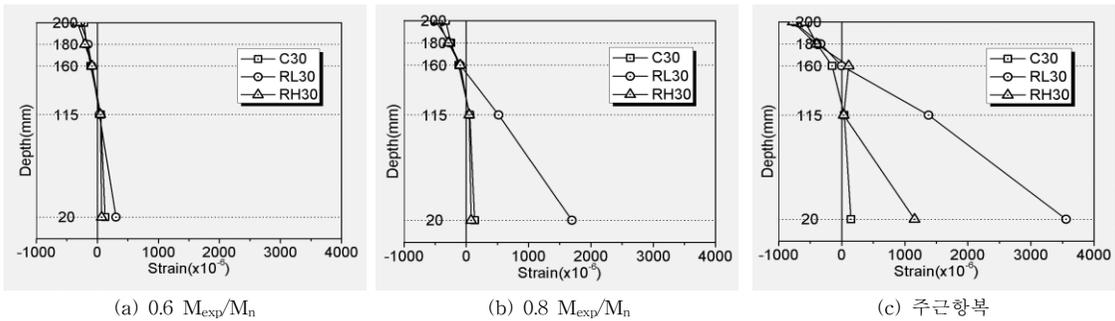


Fig. 11 변형률변화 비교

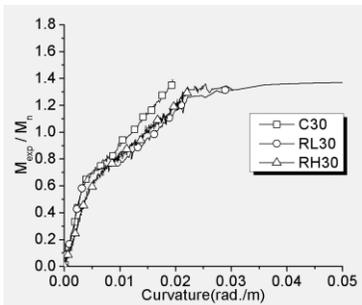


Fig. 12 모멘트 곡률 관계

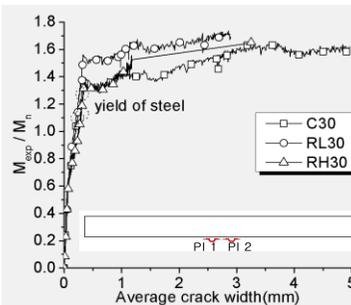


Fig. 13 평균 균열폭

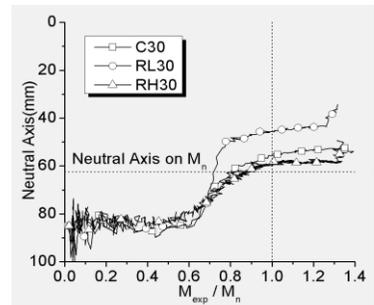


Fig. 14 중립축 변화

C30 시험체에 비해 다소 큰 곡률을 나타내었다.

3.5 모멘트-평균균열폭 관계

Fig. 13은 순환골재 종류에 따른 휨 시험체의 모멘트-평균 균열폭 관계를 비교하여 나타낸 것으로 평균 균열폭은 휨 인장측 하부에 설치된 파이게이지의 변형량을 파이게이지가 설치된 구간에서 발생된 균열수로 나누어 평균 균열폭을 산정하였다. 주근 항복시까지 RH30 > C30 > RL30 순으로 동일 하중에 대한 평균 균열폭이 크게 나타났으며 순환잔골재 대체율 50%인 RH30 시험체와 천연골재를 사용한 C30 시험체는 유사한 경향을 보였다.

3.6 중립축 변화

Fig. 14는 재하에 따른 중립축 깊이 변화를 나타낸 것으로, 실험시 측정된 압축측 콘크리트 및 철근 변형률을 이용하여 계산하였다. 그림에 나타난 바와 같이 재하초기에 다소 변화를 보이며 M_{exp}/M_n 비가 0.2에서 0.6에 이를 때까지 세 시험체 중립축 깊이는 85mm로 일정하게 유지되며 큰 변화를 보이지 않았다. 그러나 M_{exp}/M_n 비가 0.6을 경과하면서 중립축 깊이가 압축측으로 점차 진전되어 공칭모멘트(M_n)일때의 계산에 의한 중립축 깊이(62-63mm)에 비하여 실험값이 시험체별로 45-65mm로 나타나 4~28%크게 변화되었다. 순환굵은골재 대체율 100%인 RH30 시험체의 경우 중립축의 깊이 변화가 다소 크게 나타났으며 이는 장기재하시 계획된 중앙부 모멘트($0.5M_n$)하중으로 인해 손상을 입은 시점까지는 유사하게 나타났지만, 이후 순환굵은골재 대체율 100%인 RH30 시험체에서 골재계면과 모르타르의 부착성능저하에 따른 균열진전 깊이가 다른 시험체에 비해 심각하였기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

1) 장기 지속하중을 경험한 철근콘크리트 보의 단기휨 거동에서 균열발생 및 파괴양상을 관찰한 결과, 순

환골재를 사용한 RL30 및 RH30 시험체가 천연골재를 사용한 C30 시험체에 비하여 비교적 압축측까지 깊이 진전하는 특성을 보였으나, 전반적인 균열양상은 유사하게 나타났다.

- 2) 모든 시험체에서 초기 강성 및 최대내력은 골재의 종류에 관계없이 유사하게 나타났으나 최대내력시의 강성이 순환골재를 사용한 경우 천연골재에 비해 28 및 23% 작게 나타났다.
- 4) 기존연구의 손상을 받지 않은 시험체와 본 연구에서의 장기 지속하중을 경험한 시험체를 비교한 결과 손상을 입은 시험체가 장기 지속하중으로 인하여 이미 손상되었기 때문에 초기 강성이 낮아 손상을 받지 않은 시험체의 강성에 비하여 약 35% 작게 나타났다. 그러나 균열발생이후에는 지속하중을 받은 시험체와 지속하중을 경험하지 않은 건전한 시험체의 휨거동 특성과 유사한 경향을 보였다.
- 4) 순환골재를 사용한 철근콘크리트 보에 대한 실험값을 ACI 기준에 의한 계산값과 비교한 결과 크게 나타나 본 연구범위 내에서 순환골재 콘크리트 보의 휨설계시 현행 기준식의 적용 가능성이 높은 것으로 판단된다. 또한 기존 연구의 실험값과 계산값의 비를 비교하여 본 결과 본 연구에서 사용된 순환골재의 품질이 우수하여 실험값과 계산값의 비가 높게 나타나 골재의 품질이 휨 설계식의 안전성에 영향을 끼치고 있는 것으로 나타났다.
- 5) 중립축의 변화는 장기재하시 계획된 중앙부 모멘트($0.5M_n$)하중으로 인해 손상을 입은 시점까지는 모든 시험체가 유사하게 나타났지만, 이후 공칭모멘트시의 중립축계산값에 비해 실험값이 4~28%크게 변화되었고 순환굵은골재 대체율 100%인 RH30 시험체에서 중립축의 변화가 다소 크게 발생하였다. 이는 골재계면과 모르타르의 부착성능저하에 따른 균열깊이가 다른 시험체에 비해 심각 진전하였기 때문으로 판단된다.
- 6) 본 연구에서 장기 지속하중을 경험한 순환골재 콘크리트 보의 단기 휨거동을 천연골재를 사용한 콘크리트 보와 비교한 결과, 본 연구범위 내에서 큰 차이를 보이지 않았으며 이러한 결과를 근거로 품질규준에 적합한 순환골재를 천연골재로 대체 사용

시 장기 구조성능 차원에서도 적용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 주봉철, "재생골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨 및 전단거동 특성", 충북대학교 대학원, 2000.
2. 김선호, 한범석, 안중문, 신성우, "재생골재의 함유량에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 22(1), 2002, pp. 83-86.
3. 이경희, "재생골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단성능과 휨성능에 관한 실험적 연구", 충남대학교 대학원, 2002
4. 이영오, 김선우, 윤현도, 김규용, 최경렬, 강선중, 김대중, "순환 잔골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨거동 및 인장철근의 이음 특성", 대한건축학회 춘계학술 발표 논문집, 25(1), 2005, pp. 429-432.
5. 한국콘크리트학회, "콘크리트의 재활용", 한국콘크리트학회(KSI SP2), 2004.
6. 환경부, "건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률", 2005.
7. 건설교통부, 건설환경과, "순환골재 품질기준", 2005.
8. 김문섭, 임경택, 윤현도, 정수영, "재생골재 콘크리트의 역학적 특성", 대한건축학회 논문집, 13(9), 1997, pp. 305-313.
9. 한국콘크리트학회, "콘크리트 구조설계기준 해설", 한국콘크리트학회, 2003.
10. I. Maruyama, M. Sogo, Takahisa Sogabe, R. Sato, K. Kawai, "Flexural Properties of Reinforced Recycled Concrete Beams", The International Center for Numerical Methods in engineering.
11. ACI Committee 318, "Building Code Requirement for Reinforced Concrete", ACI-318-05, American concrete Institute, Detroit, 2005.

(접수일자 : 2006년 11월 24일)