

강섬유 혼입 순환골재 콘크리트의 구조적 특성에 관한 연구

A Study on the Structural Characteristic of Recycled Aggregate Concrete Reinforced Steel Fiber

김 정 섭* 신 용 석** 박 영 배*** 김 정 훈**** 조 창 호*****
 Kim, Jeong-Sup Shin, Yong-Seok Park, Young-Bai Kim, Jeong-Hoon Cho, Chang-Ho

Abstract

In this study, a sample was fabricated according to the recycled aggregate replacement level(0%, 30%, 60%), and the steel fiber mixing status in order to use a recycled aggregate as a concrete alternative coarse aggregate, and then the materials and structural characteristics of recycled aggregate and steel fiber which impacted the reinforced concrete were analyzed. A conclusion was derived as follows.

After considering the results of various material experiments and mock-up test, when a flexural strength and a ductility factor is increased and the replacement level is increased through mixing the steel fiber with the recycled aggregate concrete, the ductility and flexural strength reduction seems to be inhibited by adding the steel fiber.

Also, it is indicated that the recycled aggregate has almost-similar compressive strength, tensile strength flexural strength and ductility capacity to the concrete which using the general gone even though the steel fiber is used and the replacement level is increased to 30%. Accordingly, the reinforced concrete frame using the steel fiber mixture and recycled aggregate seems to apply to the actual structure.

키워드 : 강섬유, 순환골재, 구조적 특성

Keywords : Steel Fiber, Recycled Aggregate, Structural Characteristic

1. 서 론

신축, 재개발사업, 지역 개발 프로젝트 등의 건설 골재의 사용 증가로 인해 누적되어온 골재 부족현상이 더욱 심각한 상황이다. 골재 수요량은 계속 증가하고 있으나, 환경파괴를 우려한 바다모래-하천모래의 채취량 삭감, 기후조건의 악화에 따른 바다모래 채취량 감소 등으로 국내의 건설산업은 갈수록 극심한 골재난을 겪고 있지만 그에 대한 마땅한 해결책은 부족한 상황이다.

이러한 상황에서 순환골재의 필요성은 현저히 증가하고 있기에, 재활용 방안에 관한 시급한 연구가 필요하다.

특히 폐기물에서 상당부분을 차지하는 폐콘크리트를 순환골재로 재활용하는 방법에 대한 연구를 추진할 필요가 있다.

하지만 순환골재 콘크리트는 사용상 자연산 골재보다 여러 가지 물리적 성상 및 파괴시 취성적인 성질 등의 취약한 문제점이

보고됨에 따라 이점을 보완할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

따라서, 본연구에서는 순환골재 사용으로 인한 문제점을 보완하기 위한 방법으로 강섬유(Steel Fiber)재료의 사용을 검토하고자 한다.

본 연구에서는 순환골재를 사용한 콘크리트에 강섬유를 혼입하여 재료실험과 철근콘크리트 보 휨 실험을 통하여 강섬유 혼입효과 및 보 부재의 구조적 휨 거동 특성을 규명하고 강섬유 혼입 순환골재 콘크리트의 효율적인 이용에 대한 가능성을 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

실험은 표 1과 같이 강섬유 혼입 유무와 순환골재 치환율을 0%, 30%, 60%로 원주형 공시체(Ø100×200mm)와 부재 시험체(150(b)×250(h)×2,100(L)mm)를 제작하여 시험체별로 파괴 압축강도, 쪼갬 인장강도, 내화도(耐火度), 철근콘크리트 보의 휨 실험을 실시하였다.

본 실험에서 고려되는 변수는 보통 굵은골재에 대한 순환골

* 정회원, 조선대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 조선대학교 대학원 박사과정, 교신저자
(yonggari_8@hotmail.com)

*** 정회원, 송원대학 건축과 교수, 공학박사

**** 정회원, 조선대학교 군사학부 교수

***** 정회원, 전남도립대학 건축인테리어과 교수, 공학박사

재의 치환율과 강섬유 혼입 유무에 따라 원주형 공시체와 보 시험체를 제작하였으며 실험 변수는 표 1과 같다.

표 1. 실험계획

실험요인		수준
배합사항	W/C(%)	45
	순환골재 치환율(%)	0, 30, 60
	강섬유(%)	시멘트량의 1
	공기량(%)	4±1

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 잔골재와 굵은골재는 KS F 2502(골재의 체가름 실험 방법)의 규격에 적합한 골재를 사용하였으며, 잔골재는 강모래를 굵은골재는 부순 굵은골재를 사용하였다.

페콘크리트는 KS F 2573(콘크리트용 순환골재)의 1종 굵은골재의 품질기준을 만족하는 것을 사용하였으며 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 골재의 물리적 성질

골재종류	최대치수 (mm)	밀도 (g/cm³)	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적질량 (kg/cm³)
잔골재	5	2.61	1.05	2.69	1.645
굵은골재	20	2.67	1.24	6.83	1.550
페콘크리트	20	2.61	2.63	6.64	1.520

시험체에 사용된 K사의 강섬유를 사용하였으며 강섬유의 물리적 특성은 표 3과 같다.

표 3. 강섬유의 물리적 성질

밀도 (g/cm³)	파괴시 변형률 (%)	극한 변형률 (%)	인장강도 (MPa)	휨탄성계수 (MPa)
7.86	~0.3	0.5~3.5	0.77~2.1×10³	2.1×10⁵

2.3 배합계획

시험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 24MPa, 콘크리트의 배합순서는 잔골재, 시멘트, 혼화재, 굵은골재와 같은 순서로 투입하였으며, 비빔을 한 후 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험 방법)의 규격에 의하여 슬럼프를 확인한 후 부어넣기 하였다. 콘크리트 배합표는 표 4와 같다.

표 4. 콘크리트 배합표

종류	재료	W/C (%)	치환율 (%)	중량 배합(kg/m³)					W
				C	S	G	WC	AE제	
45	WC0-N	45	0	365	743	975	0	3.65	164.3
	WC0-S			365	743	975	0	3.65	164.3
	WC30-N		30	365	743	683	284	3.65	164.3
	WC30-S			365	743	683	284	3.65	164.3
	WC60-N		60	365	743	390	568	3.65	164.3
	WC60-S			365	743	390	568	3.65	164.3

2.4 부재 시험체의 제작 및 양생

부재 시험체는 강도설계법으로 설계하였으며, 시험체의 크기는 그림 1과 같이 제작하였다. 철근은 SD300을 사용하여 상부에는 D10, 하부에 D13을 배근하고, 스티럽은 100mm간격의 D10을 사용하였으며 축소형 시험체이므로 피복두께는 30mm로 하였다.

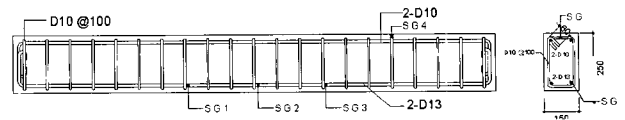


그림 1. 부재시험체 철근 배근 상세도

2.5 실험방법

실험은 그림 2 및 사진 1과 같이 만능구조시험기가 설치된 실험실에서 행하였으며 단순지지 상태로 실험체를 설치하고 2개의 집중하중을 작용하여 실험체가 완전파괴 될 때까지 가력 후 최대 내력을 결정하였다. 균열의 진행 상황은 하중을 가력하면서 발생하는 균열을 유성펜을 사용하여 위치와 하중을 표시하면서 파악하였다.

가력은 초기에는 1kN 단위의 하중 제어 방식으로, 항복 이후에는 변위 2mm마다 데이터를 측정하는 변위 제어방식으로 재하하였다. 가력판 상부에 Load Cell을 설치하여 가력단계에 따른 하중을 측정하였다.

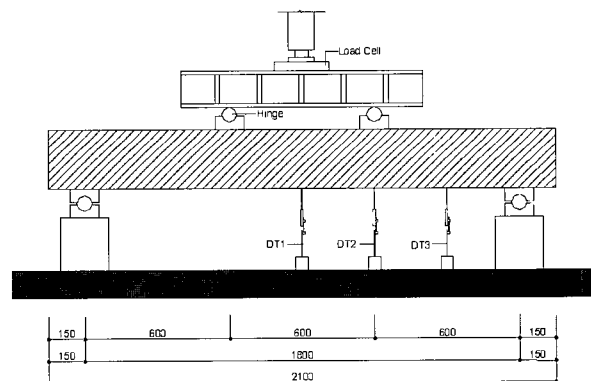


그림 2. 가력장치 및 측정장치



사진 1. 부재시험체 힘실험 전경

3. 실험결과 및 고찰

3.1 재료실험

3.1.1 압축강도 실험결과

재료실험용 공시체는 변수 및 재령별로 6개씩 제작하여 실험을 실시하였다.

압축강도 실험 결과는 표 5 및 그림 3과 같으며, WC 60 시험체를 제외한 모든 시험체가 재령 28일에서 설계기준강도 24MPa이상의 강도발현을 보였다.

압축강도 실험 결과, 강섬유를 무혼입 순환골재 시험체의 경우, 보통콘크리트에 비해 순환골재 30% 시험체는 94.9~96.9%정도, 순환골재 60% 시험체는 81.7~89.1% 정도 낮은 압축강도를 보였다.

또한 보통콘크리트와 치환율 30% 시험체가 재령 28일에 설계기준강도 24MPa 이상의 강도발현을 보였다. 치환율 60% 시험체가 설계기준강도의 89.7%인 21.5MPa로 설계기준강도 보다 10.3% 정도 강도 저하가 있었다.

표 5. 재령별 압축강도 실험결과

시험체명	순환골재 치환율(%)	압축강도(MPa)			
		7일	14일	28일	56일
WC0-N	0	21.7	22.7	25.2	26.6
WC0-S		24.1	24.6	27.6	29.2
WC30-N	30	20.6	22.0	24.3	25.3
WC30-S		22.5	23.8	26.5	27.5
WC60-N	60	17.7	20.3	21.5	22.6
WC60-S		19.3	21.7	23.3	24.6

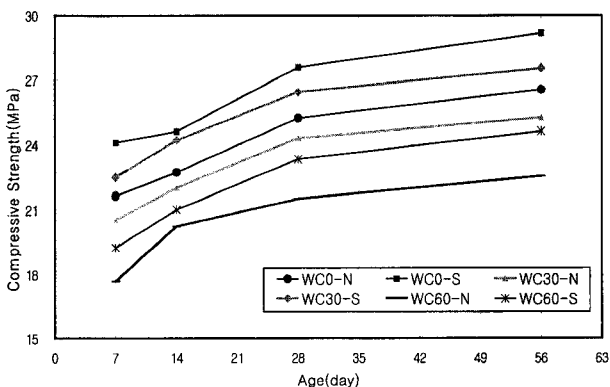


그림 3. 콘크리트의 재령별 압축강도

강섬유 혼입한 순환골재 시험체의 경우, 보통콘크리트와 순환골재 치환율 30% 시험체가 재령 28일에 설계기준강도 24MPa 이상의 강도발현을 보였으며, 치환율 60% 시험체가 설계기준강도의 97.2%인 23.3MPa의 강도 발현을 보였다.

기준시험체와 순환골재 치환율에 따른 시험체를 비교했을 경우, 기준시험체에 비해 순환골재 치환율 30% 시험체는

93.4~98.3%정도, 순환골재 60% 시험체는 79.9~85.4%정도 재령별로 압축강도를 갖는 것으로 나타났다.

이는 순환골재의 표면에 붙어있는 미립분과 순환골재의 생산방식에 따른 골재내부의 공극특성, 흡수율, 순환골재 강도 등으로 인해 순환골재 혼입량이 증가할수록 압축강도는 저하하는 것으로 사료된다.

강섬유 혼입 유무에 따라 비교했을 경우, WC0-S 시험체는 WC0-N 시험체에 비해 8.3~11.3% 정도, WC30-S 시험체는 WC30-N 시험체에 비해 8.8~9.9% 정도, WC60-S 시험체는 WC60-N 시험체에 비해 3.8~9.2%정도 높게 나타나 순환골재 콘크리트에 강섬유를 혼입함으로써 압축강도의 증진 효과는 있는 것으로 사료된다.

3.1.2 쪼갠 인장강도 실험결과

인장강도 실험 결과는 표 6 및 그림 4와 같다.

쪼갠 인장강도 실험 결과, 압축강도와 마찬가지로 치환율 30% 시험체는 기준 시험체와 거의 유사한 인장강도발현을 보였으며 강섬유 혼입 유무와 상관없이 순환골재의 치환율이 증가할수록 인장강도가 저하되는 경향을 보였다.

표 6. 재령별 쪼갠 인장강도 실험결과

시험체명	쪼갠 인장강도(MPa)			쪼갠 인장강도/압축강도(%)		
	7일	14일	28일	7일	14일	28일
WC0-N	2.1	2.3	2.5	9.5	10.2	9.9
WC0-S	2.3	2.5	2.8	9.6	10.0	10.3
WC30-N	2.0	2.2	2.5	9.8	10.0	10.2
WC30-S	2.2	2.4	2.7	9.8	10.1	10.2
WC60-N	1.7	2.0	2.1	9.8	9.6	9.9
WC60-S	1.8	2.0	2.4	9.4	9.6	10.4

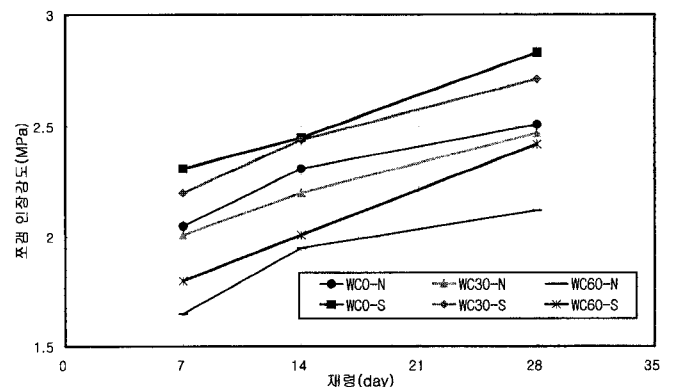


그림 4. 콘크리트의 재령별 인장강도

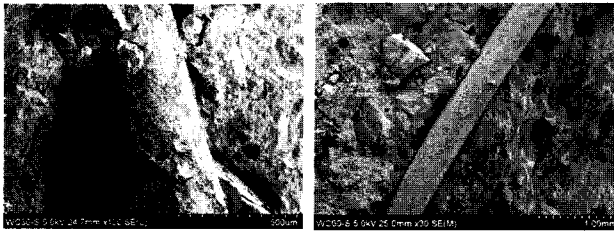
이는 압축강도 저하원인과 동일한 요인에 의한 것으로 사료된다.

또한 순환골재 콘크리트에 강섬유를 혼입함으로써 초기강도 보다는 재령 28일 강도에서 무혼입 순환골재 콘크리트보다 인장강도가 증가하는 것으로 사료된다.

조깅 인장강도의 재령별 발현율은 순환골재를 치환한 콘크리트의 경우, 재령 28일 대비 재령 7일에 78~82%로, 강섬유 혼입 순환골재 콘크리트는 74%~82%정도로 나타났다.

시험체의 압축강도와 인장강도의 비는 보통 콘크리트와 마찬가지로 순환골재와 강섬유 혼입 순환골재 콘크리트도 콘크리트의 압축강도의 약 1/10 범위 내에 있어, 보통 콘크리트와 동등한 수준의 인장강도 발현을 확인할 수 있었다.

사진 2는 강섬유 혼입 순환골재 콘크리트의 강섬유와 콘크리트의 부착된 부분을 S.E.M 촬영한 전경이다.



(a) WC30-S

(b) WC60-S

사진 2. 강섬유 혼입 순환골재 콘크리트 내부 S.E.M

3.1.3 내화도 실험결과

표 7 및 그림 5~그림 6은 재령 56일 경과 후 보통 콘크리트와 순환골재를 혼입한 시험체를 내화도 실험기로 200℃, 400℃, 600℃, 800℃의 온도별로 30분간 가열한 후 압축강도 실험결과 및 압축강도 손실률을 나타낸 것이다.

표 7. 내화도 실험 후 압축강도 실험결과

시험체명	내화도 실험 후 압축강도 (MPa)				
	상온	200℃	400℃	600℃	800℃
WC0-N	26.6	24.9(6.3)	23.0(13.3)	21.8(17.7)	15.3(42.2)
WC0-S	29.2	26.6(8.9)	24.8(15.0)	22.1(24.4)	16.2(44.4)
WC30-N	25.3	24.2(4.2)	22.9(9.4)	20.7(18.2)	15.1(40.2)
WC30-S	27.5	25.9(6.0)	23.6(14.5)	21.7(21.3)	15.6(43.5)
WC60-N	22.6	21.6(4.2)	20.6(8.9)	19.6(13.3)	12.3(45.6)
WC60-S	24.6	23.7(3.9)	21.5(12.5)	20.3(17.7)	12.9(47.6)

※ 주() 안의 비율은 비내화 기준시험체의 압축강도 손실률(%)

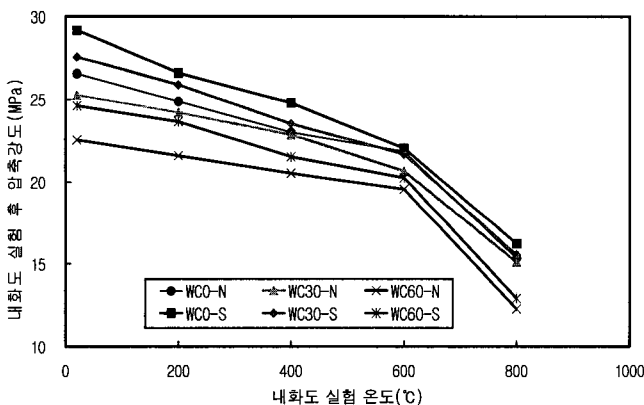


그림 5. 내화도 실험 후 압축강도

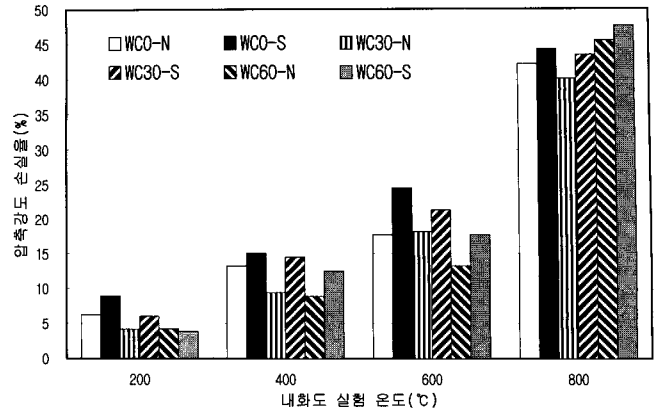


그림 6. 내화도 실험 후 압축강도 손실률

강섬유 보강 유무와 상관없이 순환골재의 치환율이 증가할수록, 가열온도가 높을수록 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다. 특히 순환골재 60% 시험체는 다른 시험체에 비해 가장 큰 압축강도 감소율을 보였다.

강섬유 무혼입 순환골재 콘크리트의 내화도 온도별 잔존압축강도는 보통콘크리트는 6.3~42.2%, 순환골재 30% 치환한 시험체가 4.2~40.2%, 60% 치환한 시험체가 4.2~45.6%로 나타났다.

강섬유 혼입 순환골재 콘크리트 시험체는 5.5~35.2% 정도, 순환골재 30% 치환한 시험체가 2.4~36.3% 정도, 60% 치환한 시험체가 3.9~39.5%로 압축강도가 감소하여 순환골재의 치환율이 증가할수록, 가열온도가 높을수록 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다.

순환골재의 치환율이 증가할수록 골재의 공극 증대에 의한 순환골재 콘크리트의 부착력 및 결합력이 보통 콘크리트에 비해 부족한 것으로 사료된다.

또한 강섬유를 혼입한 시험체는 무혼입 시험체보다 온도별로 다소 낮은 압축강도 감소율을 보여 강섬유를 보강함으로써 내화성이 증진되는 경향을 보이지 않았다. 추후 강섬유 보강 순환골재 콘크리트의 내화성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

표 8과 그림 7은 강섬유 혼입 순환골재 콘크리트의 온도별로 화해 피해를 입었을 경우 온도별 강도 저하율을 추정하기 위해 회귀분석한 것이다.

표 8. 내화도 실험 후 회귀분석 결과

시험체명	회귀분석	결정계수
WC0-N	$f_{cu} = -2E-05x^2 + 0.0004x + 26.1$	0.955
WC0-S	$f_{cu} = -1E-05x^2 - 0.0048x + 28.85$	0.984
WC30-N	$f_{cu} = -2E-05x^2 + 0.0026x + 24.929$	0.985
WC30-S	$f_{cu} = -2E-05x^2 - 0.002x + 27.286$	0.979
WC60-N	$f_{cu} = -2E-05x^2 + 0.0076x + 21.857$	0.936
WC60-S	$f_{cu} = -2E-05x^2 + 0.0042x + 24.167$	0.959

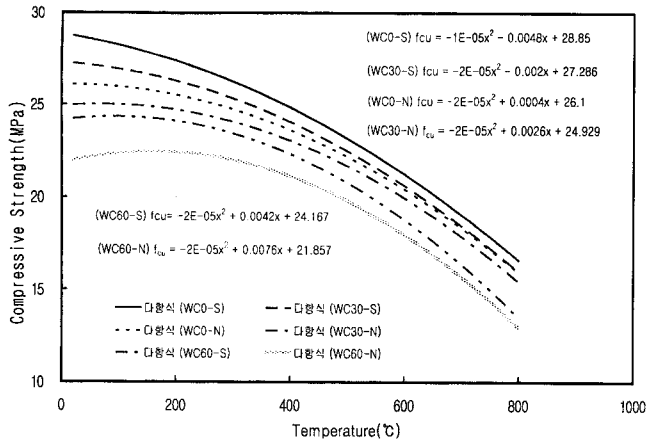


그림 7. 내화도 실험 후 회귀분석 결과

3.2 부재실험

3.2.1 실험결과

본 연구에서 엄밀해석에 의하여 인장철근이 항복할때의 강도를 항복강도로 간주하고 압축콘크리트의 연단부의 변형률이 파단 변형률에 도달했을 때의 강도를 최대강도로 간주하였다.

표 9. 부재 시험체별 휨 실험결과

시험체명	초기균열응력		항복강도		극한휨강도	
	σ_{cr} (MPa)	δ_{cr} (mm)	σ_y (MPa)	δ_y (mm)	σ_u (MPa)	δ_u (mm)
WC0-N1	0.70	0.94	1.83	5.05	2.13	19.72
WC0-N2	-	-	-	-	-	-
WC0-N3	0.68	0.65	1.84	5.04	2.11	19.54
WC0-S1	0.65	0.68	1.83	5.18	2.17	23.41
WC0-S2	0.70	0.90	1.84	5.25	2.17	24.21
WC0-S3	0.66	0.93	1.83	5.07	2.15	21.78
WC30-N1	0.59	0.99	1.70	5.14	2.00	18.97
WC30-N2	0.59	0.94	1.73	5.13	2.02	19.04
WC30-N3	0.61	0.87	1.74	5.14	2.00	19.24
WC30-S1	0.59	1.09	1.71	5.35	2.05	25.5
WC30-S2	0.63	0.98	1.80	5.13	2.10	23.36
WC30-S3	0.60	0.77	1.74	5.24	2.08	20.87
WC60-N1	0.51	0.75	1.66	5.30	1.89	15.20
WC60-N2	0.50	0.66	1.65	5.33	1.99	16.07
WC60-N3	0.60	0.88	1.68	5.05	1.97	19.58
WC60-S1	0.60	1.04	1.70	5.19	2.03	21.32
WC60-S2	0.53	0.76	1.65	5.04	2.05	22.30
WC60-S3	0.55	0.42	1.72	5.19	2.06	21.85

표 9 및 그림 8은 강섬유 혼입 유무에 따른 순환골재 시험체의 휨 실험 결과를 나타낸 것으로, 강섬유 무혼입 시험체의 경우, WC0-N 시험체가 2.12MPa로 극한 휨강도가 가장 높게 나왔다. WC30-N 시험체가 2.01MPa로 4.5%정도, WC60-N 시험체가 1.95MPa로 8.0% 정도 극한 휨강도가 낮게 나타났다.

강섬유 혼입 순환골재 시험체는 WC0-S 시험체가 2.16MPa로 극한 휨강도가 가장 높게 나왔다. WC30-S 시험체가 2.08MPa로 4.0%정도, WC60-S 시험체가 2.05MPa로 5.4% 정도 극한 휨강도가 낮게 나타났다.

강섬유 혼입 유무에 따라 순환골재 시험체의 휨 실험결과를 비교했을 경우, WC0-S 시험체가 WC0-N 시험체 보다 2.0% 정도, WC30-S 시험체가 WC30-N 시험체보다 3.5% 정도, WC60-S 시험체가 WC60-N 시험체보다 5.0% 정도 극한 휨강도가 증가하였다.

따라서 강섬유를 혼입함으로써 초기균열응력 및 휨내력 증대 효과가 있는 것으로 사료된다.

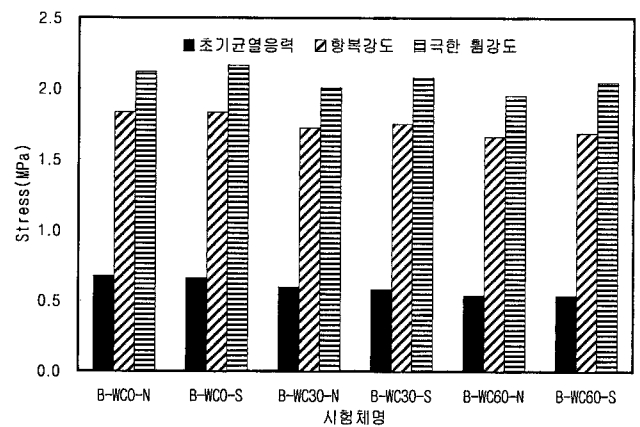
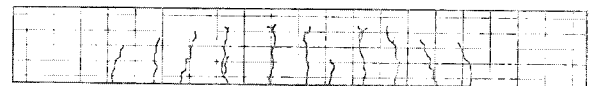


그림 8. 부재 시험체의 휨 실험결과

3.2.2 균열 및 파괴 형태

기준시험체의 경우 0.68~0.70, WC0-S 시험체는 0.65~0.70, WC30-N 시험체는 0.59~0.61, WC30-S 시험체는 0.59~0.63, WC60-N 시험체는 0.50~0.60, WC60-S 시험체는 0.53~0.60에서 초기 균열이 발생하였으며 부재의 중앙부에서 상부로 휨 균열이 발생하였다.

재하 하중의 증가에 따라 부재의 상부로 휨균열이 증대되어 압축파괴되었다.



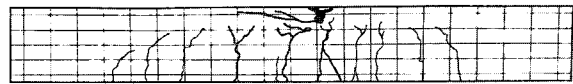
(a) WC0-N-1



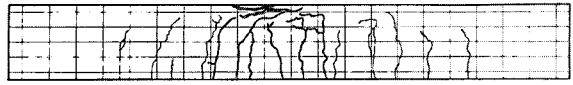
(b) WC0-N-3



(c) WC30-N-1



(d) WC30-N-2



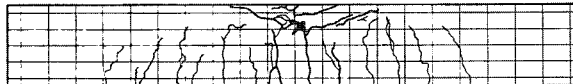
(e) WC30-N-3



(f) WC60-N-1

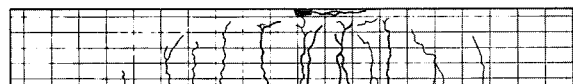


(g) WC60-N-2

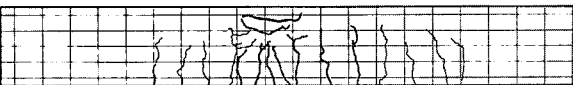


(h) WC60-N-3

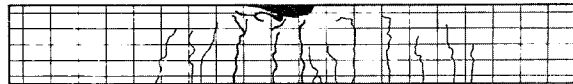
그림 9. 강섬유 무보강 순환골재 휨 시험체의 균열도



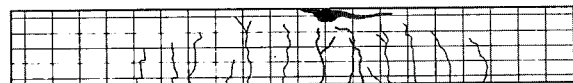
(a) WC0-S-1



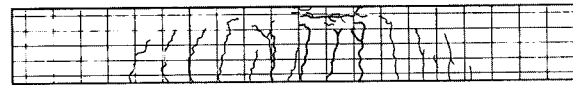
(b) WC0-S-2



(c) WC0-S-3



(d) WC30-S-1



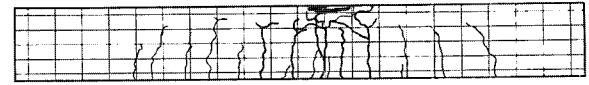
(e) WC30-S-2



(f) WC30-S-3



(g) WC60-S-1

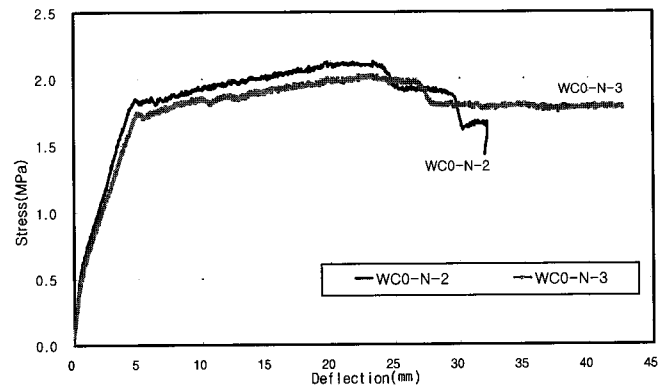


(h) WC60-S-2

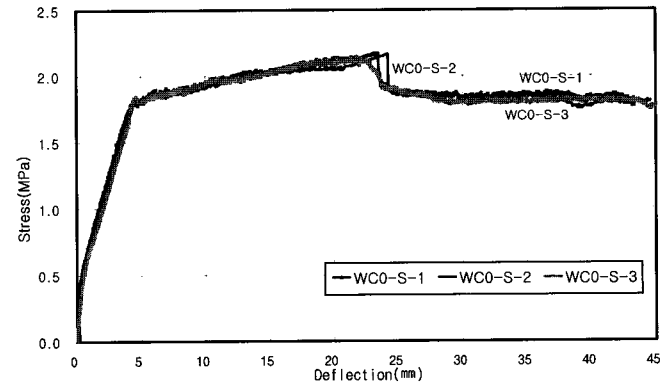


(i) WC60-S-3

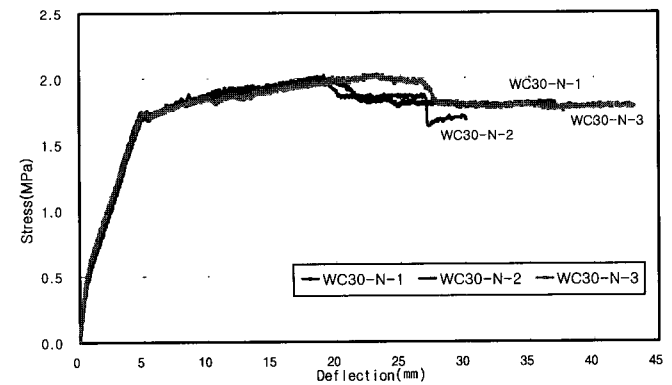
그림 10. 강섬유 혼입 순환골재 휨 시험체의 균열도



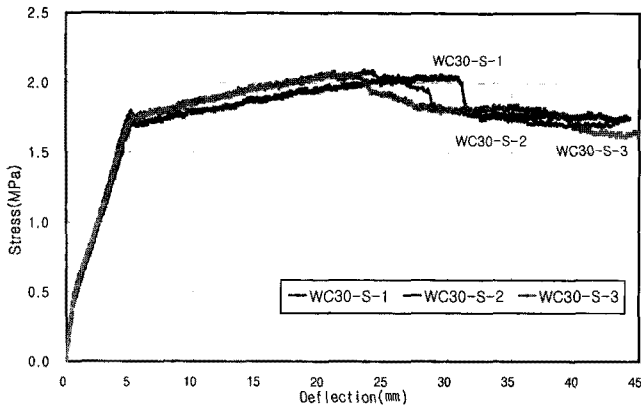
(a) WC0-N 시험체의 응력-처짐 곡선



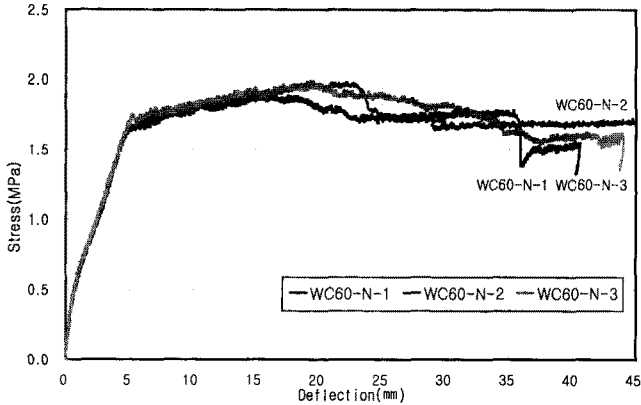
(b) WC0-S 시험체의 응력-처짐 곡선



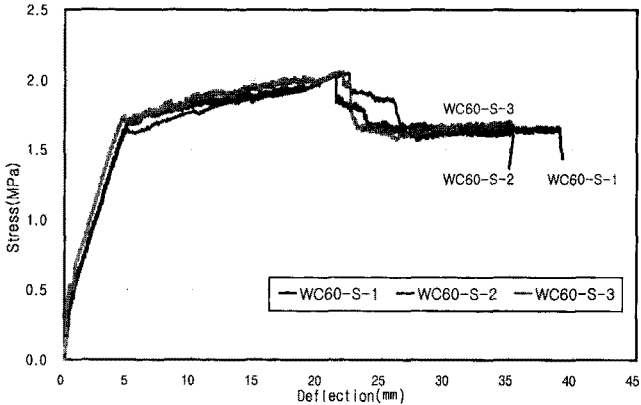
(c) WC30-N 시험체의 응력-처짐 곡선



(d) WC30-S 시험체의 응력-처짐 곡선



(e) WC60-N 시험체의 응력-처짐 곡선



(f) WC60-S 시험체의 응력-처짐 곡선

그림 11. 부재시험체별 응력-처짐 곡선

3.2.3 부재 시험체의 연성 평가

본 연구에서는 구조물이 견딜 수 있는 최대하중을 더 이상 지지할 수 없을 때 파괴된다고 하는 파괴의 개념에 따라 ACI Committee 363의 연성계수를 정의하는 다음 식을 적용한다.

$$\mu_u = \delta_u / \delta_y$$

μ_u : 최대하중시의 연성계수

δ_u : 극한하중에 대응하는 변위

δ_y : 부재항복시의 변위

표 10 및 그림 12는 강섬유 무혼입 순환골재 휨 시험체의 연성계수를 나타낸 것으로 기준 시험체가 3.9, 순환골재 30%

치환한 시험체가 3.7, 순환골재 60% 치환한 시험체가 3.5로 기준시험체에 비해 순환골재 30% 시험체는 4.5%, 순환골재 60% 시험체는 6.4% 정도 연성계수가 낮게 나타났다.

표 10. 부재 시험체별 연성계수

시험체명	항복하중		극한 휨하중		연성계수 μ_u	연성비 (실험값/기준값)
	σ_y (N/mm ²)	δ_y (mm)	σ_u (N/mm ²)	δ_u (mm)		
WC0-N1	68.5	5.1	79.8	19.7	3.9	1.00
WC0-N2	-	-	-	-	-	-
WC0-N3	69.0	5.0	79.0	19.5	3.9	1.00
WC0-S1	68.5	5.2	81.1	23.4	4.5	1.01
WC0-S2	69.0	5.3	81.3	24.2	4.6	1.04
WC0-S3	68.7	5.1	80.5	21.8	4.3	0.96
WC30-N1	63.6	5.1	75.0	18.6	3.7	0.95
WC30-N2	64.9	5.1	75.9	19.0	3.7	0.95
WC30-N3	65.2	5.1	75.2	19.2	3.7	0.96
WC30-S1	64.1	5.4	76.9	25.5	4.8	1.16
WC30-S2	67.6	5.1	78.6	23.4	4.6	1.02
WC30-S3	65.7	5.2	78.0	20.9	4.0	0.89
WC60-N1	62.3	5.3	70.7	15.2	2.9	0.74
WC60-N2	61.8	5.3	74.5	16.1	3.0	0.78
WC60-N3	63.1	5.1	73.9	19.6	3.9	0.99
WC60-S1	63.6	5.2	76.2	21.3	4.1	0.92
WC60-S2	61.7	5.0	76.9	22.3	4.4	0.99
WC60-S3	64.5	5.2	76.8	21.9	4.2	0.95

강섬유 혼입 순환골재 휨 시험체 경우, 순환골재 0% 시험체가 4.5, 순환골재 30% 치환한 시험체가 4.4, 순환골재 60% 치환한 시험체가 4.3%로 기준시험체에 비해 순환골재 30% 시험체는 0.4%, 순환골재 60% 시험체는 4.6% 정도 연성계수가 낮게 나타났다.

강섬유 혼입 유무에 따른 순환골재 휨 시험체의 연성계수를 비교했을 경우, 강섬유 무혼입시험체에 비해 강섬유 혼입 순환골재 0% 시험체는 15.0%, 순환골재 30% 시험체는 14.0%, 순환골재 60% 시험체는 9.2% 정도 연성계수가 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 순환골재의 치환율이 증가할수록 콘크리트 강도 저하에 따라 연성이 저하되는 현상은 강섬유를 혼입함으로써 연성을 향상 시킬수 있을 것으로 사료된다.

또한 강섬유 무혼입 시험체의 연성이 3.45인데 반해 강섬유를 혼입함으로써 4.3정도로 기준시험체보다 높은 연성을 보여 강섬유를 혼입함으로써 연성 증대효과가 명확한 것으로 사료된다.

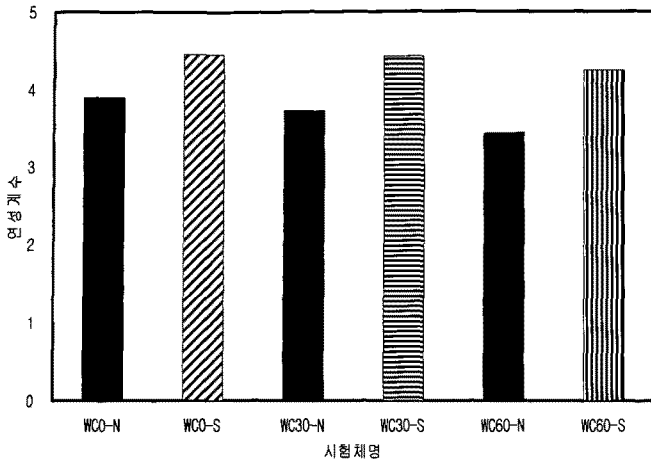


그림 12. 부재시험체별 연성계수

4. 결 론

본 연구는 순환골재를 콘크리트용 대체 굵은골재로 사용하기 위해 순환골재 치환율(0%, 30%, 60%), 강섬유 혼입 유무에 따라 시험체를 제작하여 순환골재 및 강섬유가 철근콘크리트에 미치는 재료 및 구조적 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 재령별 압축강도 실험결과, 순환골재의 치환율이 증가할수록 재령별로 강섬유 무혼입 시험체는 3.8~17.2%, 강섬유 혼입한 시험체는 4.3~18.2% 정도 저하되는 경향을 보였다.
강섬유 혼입 유·무에 따라 비교할 경우, 강섬유 혼입한 시험체가 무혼입 시험체 보다 8.4~9.3% 정도 높게 나타났다.
- 2) 재령별 쪼갬 인장강도 실험결과, 순환골재의 치환율이 증가할수록 재령별로 강섬유 무혼입 시험체는 5.0~18.4%, 강섬유 혼입 시험체는 0.4~21.8% 정도 낮은 경향을 보였다.
강섬유 혼입 유·무에 따라 비교할 경우, 강섬유 혼입 시험체가 무혼입 시험체 보다 1.1~3.0% 정도 높게 나타났다.
압축강도 결과와 인장강도 결과를 토대로 순환골재콘크리트에 강섬유를 혼입하면 압축강도 및 인장강도 증대 효과가 있는 것으로 사료된다.
- 3) 내화도 실험 후 압축강도 실험 결과, 무혼입 및 혼입 시험체에서 순환골재의 치환율이 증가할수록 압축강도는 보통 콘크리트에 비해 다소 저하하는 것으로 나타났다.

4) 부재 휨 실험결과, 순환골재 치환율이 증가할수록 항복 강도 및 극한 휨강도는 다소 저하되었으나 거의 유사한 거동을 하는 것으로 나타났다.

또한 순환골재 치환율이 증가할수록 연성계수는 저하되었으며 강섬유를 혼입한 순환골재 30% 치환 시험체는 14.5% 정도, 순환골재 60% 시험체는 25.3% 정도 연성계수가 향상 되는 것으로 나타났다.

5) 각종 재료실험과 부재실험 결과를 종합한바, 순환골재 콘크리트에 강섬유를 혼입함으로써 순환골재를 일반 쇄석에 대하여 강섬유를 혼입하여 치환율 30% 정도 까지 치환하여 사용하여도 일반 쇄석을 사용한 콘크리트와 거의 유사한 압축강도, 인장강도, 휨내력, 연성능력을 갖는 것으로 나타나 강섬유 혼입 및 순환골재를 사용한 철근 콘크리트 보의 실제 구조물에 대한 적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2007학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 구봉근외 3인, 순환골재를 사용한 콘크리트 보의 휨 거동, 한국구조물진단학회 학술발표논문집, 제15권 1호, pp.117~122.
2. 김정섭외 2인, 잔골재로 고막 폐각을 사용한 철근콘크리트 보의 휨 거동에 관한 연구, 한국구조물진단학회 논문집, 제8권 4호, pp.265~273, 2004.10
3. 김정섭외 3인, 부순 적벽돌 혼입량에 따른 철근콘크리트 보의 역학적 특성에 관한 연구, 한국구조물진단유지관리학회 논문집, 제12권 2호, pp.83~90, 2008.03
4. 김정섭외 2인, 잔골재로 고막폐각을 사용한 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구, 한국구조물진단유지관리학회 논문집, 제12권 호, pp.265~273, 2004.10
5. 양근현 외 2인, 골재의 함수상태가 순환골재 콘크리트의 특성에 미치는 영향, 대한건축학회 논문집, 제21권 10호, pp.103~110, 2005.10.
6. 윤현도의 외 1인, 재생조골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단 성능, 한국구조물진단학회 학술발표논문집, 제15권 1호, pp.129~134, 2000.8.

(접수 2008. 5. 29, 심사 2008. 7. 29, 게재확정 2008. 10. 3)