



순환골재와 고로슬래그 미분말을 치환한 강섬유 보강 RC보의 구조성능 평가

하기주¹⁾ · 이동렬²⁾ · 하재훈^{2)*}

¹⁾경일대학교 건축공학과 ²⁾(사) 건설기술정책연구원

Evaluation of Structural Performance of RC Beams Retrofitted Steel Fiber consequential Replacement of Recycled Coarse Aggregate and Ground Granulated Blast Furnace Slag

Gee-Joo Ha,¹⁾ Dong-Ryul Yi,²⁾ and Jae-Hoon Ha^{2)*}

¹⁾Dept. of Architecture Engineering, Kyungil University, Kyeongsan 712-701, Korea

²⁾Construction Technology & Policy Institute, Daegu 706-852, Korea

ABSTRACT In this study, eleven reinforced concrete beams, ground granulated blast furnace slag, replacing recycled coarse aggregate (BRS series) and recycled coarse aggregate with steel fiber (BSRS series), and standard specimen (BSS) were constructed and tested under monotonic loading. Experimental programs were carried out to improve and evaluate the shear performance of such test specimens, such as the load-displacement, the failure mode and the maximum load carrying capacity. All the specimens were modeled in 1/2 scale-down size. Test results showed that test specimens (BSRS Series) was increased the compressive strength by 9%, the maximum load carrying capacity by 1~6% and the ductility capacity by 1.02~1.13 times in comparison with the standard specimen (BSS). And the specimens (BSRS Series) showed enough ductile behavior and stable flexural failure.

Keywords : replacement ratio, recycled coarse aggregate, ground granulated blast furnace slag, steel fiber, structural performance

1. 서 론

1.1 연구의 목적

제철산업의 용광로에서 철광석으로부터 선철을 만들 때 부산물로 생기는 고로슬래그와 건설산업에서 건축물의 해체로 생성되는 폐콘크리트 발생량이 지속적으로 증가되고 있다. 특히, 1970년대 이후 고도성장시기에 건설된 많은 공동주택과 업무용 건물 등이 노후화되기 시작하여 현재 재건축 및 재개발 단계에 이르렀으며 도시개발의 가속화와 재개발 사업의 급속한 팽창으로 인해 건설부산물은 급격히 증가할 것으로 예상되며, 향후 건설부산물 처리에 대한 중요성이 더욱 증대될 것이다. 따라서 노후건축물의 해체시 발생할 막대한 양의 건설부산물을 그대로 폐기하는 것은 국가적 낭비가 될 것으로 판단된다.^{1,2)}

국립환경과학원의 2008년도 전국 건설폐기물 발생 및

처리 현황에 의하면 전체 건설부산물 중 폐콘크리트의 비중은 68.5%로 가장 많은 비율을 차지하고 있다.²⁾ 폐콘크리트의 경우 대부분 재자원화로 인하여 순환골재로 생산된다. 하지만 도로 포장용 보조재나 도로 굴착 후 뒷채움재로 사용되고 있는 실정이며, 순환골재를 구조물에 재활용한 실적은 거의 미비한 상황이다. 또한 매년 급격하게 증가하는 건설폐기물을 처리하기 위하여 여러 가지 연구와 방법들을 모색하고 있는 실정이다.^{2,3)} 그래서 최근 국내에서는 폐콘크리트에서 생산된 순환골재의 재활용에 대해 많은 연구 결과가 보고되고 있고,^{4,7)} 정부에서도 이러한 사회적인 문제를 인식하고 1999년에 콘크리트용 순환골재의 품질규격인 “KS F 2573 콘크리트용 순환골재”를 제정하였다.⁸⁾ 이후, 2003년 12월에 “건설폐기물 등 재활용 촉진에 관한 법률안”을 제정하여 천연골재 대체 자원으로 활용 가능한 순환골재 생산을 유도하고 일정규모 이상의 공사에 대하여 순환골재 사용을 의무화하고 있다.^{3,9-11)}

순환골재를 사용한 콘크리트는 보통콘크리트에 비해 불순물이 포함될 가능성이 크며, 골재 표면에 시멘트 페이스트가 부착되어 있어 골재 자체가 높은 흡수율을 가지게 되는 등 밀도, 마모감량 등의 물리적 특성이 저하되

*Corresponding author E-mail : skygns4500@naver.com

Received October 22, 2012, Revised August 31, 2013,

Accepted September 4, 2013

©2013 by Korea Concrete Institute

어 배합시 단위수량이 많이 소요된다.⁶⁾ 이로 인하여 강도 특성과 탄성계수가 낮아지고 건조수축 및 크리프가 증대된다. 한편 섬유보강콘크리트는 섬유를 활용함으로써 콘크리트의 건조나 동결에 의해 수축 시 발생하는 인장응력 및 균열을 억제하고, 인성의 증가와 충격, 마모, 피로에 대한 저항성과 내구성을 증대시키는 등의 많은 재료에 대한 역학적 장점을 지니고 있다.¹²⁻¹⁷⁾ 강섬유의 혼입률은 기존연구와 선행연구에서 0.5~1.5%의 강섬유를 콘크리트에 혼입할 시 내력 및 연성 등의 성능이 개선되는 것으로 알려져 있다.

따라서 이 연구에서는 순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 내력과 연성능력을 향상시키기 위하여 인장강도, 균열에 대한 저항성 등의 개선효과 특성을 지닌 강섬유를 활용하여 사용성, 안정성, 신뢰성이 우수한 재료를 개발하고자 한다. 그리고 이를 철근콘크리트 보 부재에 적용하여 파괴양상, 연성능력 등을 고찰하여 구조 성능을 개선하고 철근콘크리트 구조물의 설계시 기초 자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

이 연구에서는 콘크리트의 결합재인 굵은골재와 시멘트를 천연골재 자원의 고갈 및 건자재 부족 등의 문제점을 개선하고 대체할 수 있는 산업부산물인 순환골재 및 고로슬래그로 치환하여 철근콘크리트 보 실험체를 제작하였다.

고로슬래그의 치환율은 30%로 정하고 순환 굵은골재의 치환율은 0%, 20%, 30%, 40%, 50%를 변화시켜 배합하였다. 순환골재 및 고로슬래그 치환에 따른 구조성능 저하의 문제점을 개선하고자 강섬유를 혼입하였으며, 이 연구에서는 시공성, 구조성능 및 경제성을 고려하여 강섬유 혼입률을 0.75%로 선정하였다. 순환 굵은골재와 고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 강섬유 보강 철근콘크리트 보를 제작하여 하중-변위곡선, 파괴형태, 최대내력, 연성능력 등의 구조성능을 평가하고자 한다.

2. 순환골재와 고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 강섬유 보강 RC보 구조성능 실험

2.1 실험체의 형태 및 변수

건설·산업부산물인 순환골재 및 고로슬래그 미분말을 치환한 콘크리트와 이에 강섬유를 보강한 철근콘크리트 보의 역학적 거동특성을 규명하기 위해 시멘트에 대한 고로슬래그 치환율(30%), 굵은골재에 대한 순환 굵은골재의 치환율(0%, 20%, 30%, 40%, 50%), 강섬유 혼입률(0.75%)을 변수로 실험체를 제작하였다. 또한, 각각의 변수에 따른 구조성능을 평가하기 위하여 실험크기의 1/2 정도인 11개의 축소모델 실험체를 제작하였으며, 실험체

Table 1 Design parameters of test specimens

Type	Specimen	Section		Replacement ratio of recycled coarse aggregate (%)	Replacement ratio of blast furnace slag (%)	Steel fiber content (%)
		b (mm)	D (mm)			
Standard	BSS			-	-	-
BRS series	BRS0	150	300	0	30	-
	BRS20			20		
	BRS30			30		
	BRS40			40		
	BRS50			50		
BSRS series	BSRS0	150	300	0	30	0.75
	BSRS20			20		
	BSRS30			30		
	BSRS40			40		
	BSRS50			50		

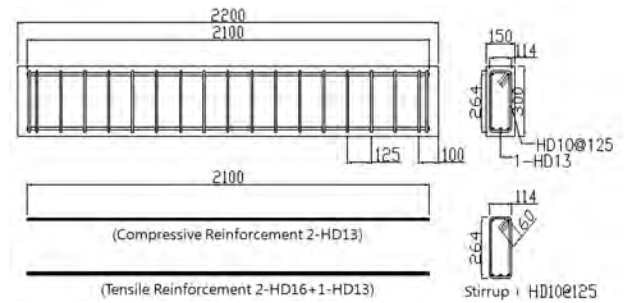


Fig. 1 Details of test specimen (unit: mm)

의 변수 및 설계상세는 Table 1, Fig. 1과 같다.

2.2 실험체의 제작

이 연구에서 제작된 철근콘크리트 보의 단면치수 150 mm × 300 mm, 유효 높이 250 mm, 전체길이 2200 mm, 순수편 길이가 2000 mm, 인장철근비는 0.01이다. 설계강도는 24 MPa이며, 인장철근은 1-HD13, 2-HD16, 스티럽은 HD10@125 mm, 압축철근 2-HD13로 제작하였다. 거푸집은 내수 합판과 각재를 사용하여 제작하였으며, 철근조립 시에는 스페이서를 이용하여 피복두께를 확보 하였다.

2.3 사용재료의 특성

2.3.1 철근

이 연구의 실험체에 사용된 철근은 국내에서 생산된 SD400의 철근이 사용되었으며, 보의 주철근 HD13, HD16 등이 배근되었고 스티럽은 HD10이 배근되었다. 그리고 이 실험에 사용된 철근의 재료 특성을 파악하기 위하여

KS B 0801(금속재료 인장시험편 규정)에 따라 시험편을 제작하였으며 KS B 0802의 금속재료 인장 시험방법에 따라 시험을 하였고, 시험결과는 Table 2와 같다.

2.3.2 콘크리트

실험체에 사용된 콘크리트의 설계기준강도(f_{ck})는 27 MPa 이며 콘크리트의 배합표는 Table 3과 같다. 각 실험체는 콘크리트 타설과 함께 압축강도용 공시체를 제작하였다. 압축강도 실험용 원주형 공시체는 $\Phi 100 \times 200$ mm 몰드를 사용하여 KS F 2405에 따라 몰드를 3개 층으로 나누어 각 층을 25회씩 붓다짐하여 제작하였다. 공시체는 제작 후 즉시 비닐을 덮어 수분 증발을 방지하였으며, 재령 28 일까지 수중양생을 실시하였다. 그리고 1000 kN용량의 U.T.M으로 일방향 압축강도 시험을 하였다. Table 4에 나타난 콘크리트 압축강도는 각각 3개의 공시체의 시험 결과에 대한 평균값이다.

각 실험체의 압축강도 실험 결과 순환골재 치환율이 증가 할수록 순환골재의 미립분 등으로 강도는 감소하는 양상을 보인 것으로 판단된다. 그러나 순환골재 치환율이 30%일 때는 20%일 때 보다도 증가하였다. 또한, 강섬유가 포함된 실험체 BSRS시리즈는 표준실험체 BSS보다 압축강도가 높게 나타났다.

2.3.3 굵은골재

저강도에서는 굵은골재가 클수록 강도가 높게 나타나고, 골재의 입형은 둥근 천연골재를 사용하는 것이 좋으나 수급의 문제, 자연보호 등으로 일반적으로 많이 사용되는 다각형인 쇄석을 사용하였다. 그리고 이 실험에서는 최대직경 25 mm의 쇄석을 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 5와 같다.

2.3.4 순환 굵은골재

순환 굵은골재는 폐콘크리트를 파쇄하여 생산된 최대 치수 25 mm의 굵은골재를 사용하였다. 물리적 성질은 Table 6와 같으며, KS F 2573 콘크리트용 순환골재에서 제한하고 있는 순환 굵은골재의 흡수율 3%이하를 만족하고 있다.

2.3.5 고로슬래그 미분말

시멘트를 대체하는 고로슬래그 미분말은 철강 산업부 산물로서 KS F 2563의 콘크리트용 고로슬래그 미분말 규정을 만족하는 국내 H사의 고로슬래그 미분말 3종을 사용하였으며, 분말도는 $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이고, 성분은 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)와 같이 주로 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO 이 주 성분으로 구성되어 있다. 이외에 소량의 MnO , FeO , S , Na_2O , K_2O 등을 함유하고 있으며, 화학성분은 철광석의 품질에 따라 차이가 있다. Table 7은 고로슬래그 미분말의 화학성분이다.

Table 2 Material properties of the reinforcing bar

Bar size	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
HD16	420	710	2.01×10^5
HD13	403	690	2.04×10^5
HD10	455	636	1.95×10^5

Table 3 Mix proportion of concrete

Compressive strength (MPa)	W/B (%)	S/a (%)	Mix proportion (kg/m^3)				Slump (mm)
			C	W	S	A	
27	43	42	395.35	170	$\frac{723.27}{27}$	1021.95	120 ± 15

Table 4 Test result of concrete strength (unit: MPa)

Specimen \ Age (day)	3	7	28
BSS	28.3	30.5	33.2
BRS0	23.8	25.3	27.4
BRS20	20.2	22.7	25.1
BRS30	22.1	24.5	26.7
BRS40	21.5	23.6	26.0
BRS50	19.5	21.1	23.5
BSRS0	21.4	29.5	36.2
BSRS20	19.2	27.4	34.3
BSRS30	19.5	29.0	35.6
BSRS40	19.1	28.0	34.5
BSRS50	18.5	27.0	33.7

Table 5 Properties of coarse aggregate

Weight of unit volume (kg/m^3)	Fineness modulus (%)	Specific gravity	Absorbing ratio (%)	Maximum diameter (mm)
1,538	6.77	2.65	1.1	25

Table 6 Properties of recycled coarse aggregate

Weight of unit volume (kg/m^3)	Fineness modulus (%)	Specific gravity	Absorbing ratio (%)	Maximum diameter (mm)
1,446	6.74	2.29	2.37	25

Table 7 Chemical component of blast furnace slag

Type	SiO_2	Al_2O_3	SO_3	MgO	CaO	MnO	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O
Slag	34.7	13.8	0.95	4.38	44.6	0.24	0.11	0.74	0.48

2.3.6 강섬유

이 실험체 제작에 사용된 강섬유는 국내 C사에서 생산된 단면이 원형으로 양끝이 갈고리(hook)형의 치수가 $\phi 0.8 \times 50$ mm로 강섬유가 각각 분리된 것을 사용하였다. 강섬유의 형상 및 크기와 물리적 특성은 Table 8과 같다.

2.4 실험방법 및 장치

2.4.1 실험방법

이 연구의 하중재하는 Fig. 2에서와 같이 유압잭으로 시간 중앙점에서 재하하였다. 재하 하중량을 측정하기 위하여 유압잭에 하중계를 설치하였다. 하중재하는 2점 재하로 극한하중에 도달 후 80%가 될 때까지 2 kN간격으로 변위를 제어하며 가력하였다. 측정기기는 변위계(LVDT)를 사용하여 각 실험체의 경간 중앙과 우측 1/4지점에 실험체 하단면에서 각 하중 단계별 하중-처짐량을 측정하였다. 철근과 콘크리트의 변형은 변형률 게이지(strain gauge : 5 mm, 60 mm)를 인장철근의 하부면(2개), 콘크리트 경간 연단 상면(4개)에서 측정하였다.

2.4.2 측정장치의 부착위치

각 실험체의 경간 중앙의 실험체 하단면에서 각 하중 단계별 하중-처짐량을 측정하였다. 인장철근의 변형은 변형률 게이지 5 mm를 각 하부 주근의 중앙부에 2개씩 부착하여 하중단계에 따라 측정하였다. 콘크리트의 변형은 변형률 게이지 60 mm를 사용하여 경간 중앙위치의 콘크리트 상·하단면으로부터 50 mm, 상단면에서 150 mm, 하단면에서 100 mm 위치에 변형률 게이지를 부착하였다.

3. 순환골재와 고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 강섬유 보강 RC보 구조성능 평가

3.1 하중-변위

순환골재와 고로슬래그를 치환한 실험체와 이를 강섬유로 보강한 실험변수들의 효과를 규명하기 위하여 표준 실험체(BSS)를 파괴될 때까지 가력하여 보의 거동을 관찰 하였으며 표준실험체의 하중-변위 관계는 Fig. 5와 같다. 초기균열은 하중 53 kN, 변위 1.02에 발생하였으며, 하중 94.3 kN, 변위 2.78 mm에서 인장철근의 항복이 발생하였다. 그리고 최대하중 183.2 kN에서 콘크리트가 파괴되면서 변형이 크게 증가하였으며, 균열폭이 확장됨에 따라 실험체는 파괴되었고 전형적인 휨인장 파괴거동을 하였다.

순환골재와 고로슬래그를 치환한 실험체(BRS시리즈)는 Fig. 5에서 보는 것과 같이 표준실험체와 유사한 거동을 하였으나, 순환골재의 미립분으로 인하여 계면 접촉 강도가 감소되어 순환골재의 치환율이 증가함에 따라 최

Table 8 Properties of steel fiber

Type	Size (mm)	Aspect ratio (L/D)	Yield strength (kg/cm ²)	Tensile strength (kg/cm ²)	Modulus of elasticity (kg/cm ²)
Hook	0.8×50	62.5	2,380	3,400	1.8×10 ⁶

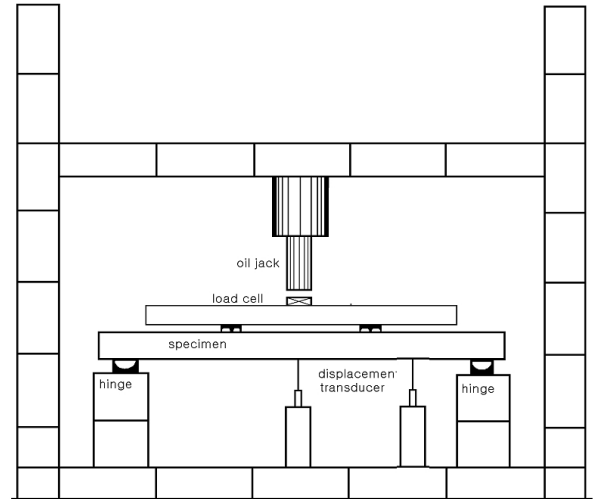


Fig. 2 Test setup of test specimen

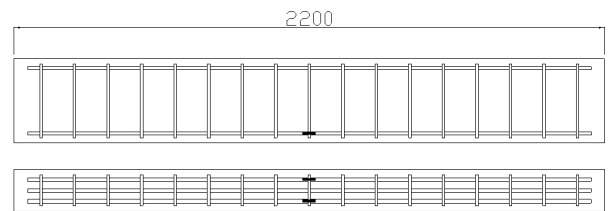


Fig. 3 Location of steel strain gauges (unit: mm)

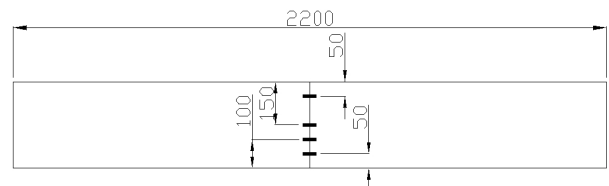


Fig. 4 Location of concrete strain gauges (unit: mm)

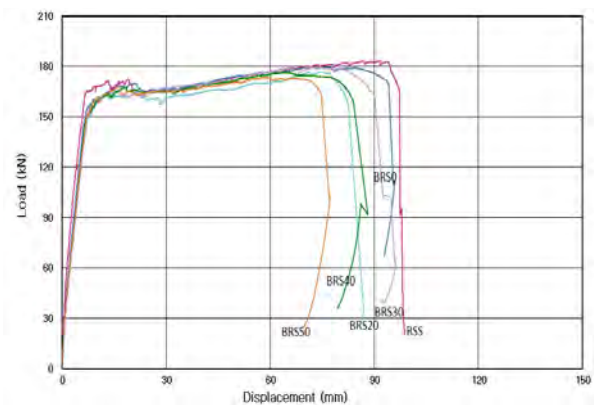


Fig. 5 Load-displacement relationship of specimen (BRS series)

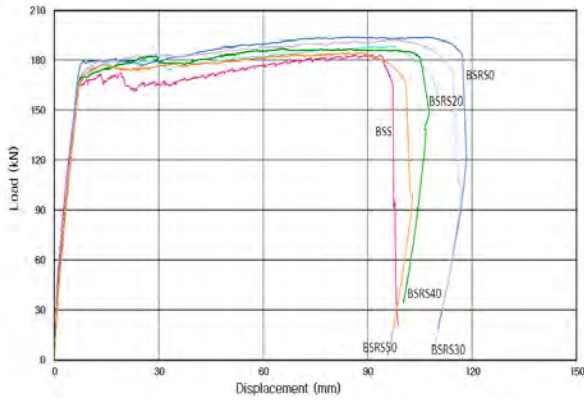


Fig. 6 Load-displacement relationship of each specimen (BRS series)

대내력과 연성능력이 감소한 것으로 판단된다. 그러나 실험체 BRS30은 실험체 BRS20, BRS40, BRS50보다는 최대내력과 연성능력이 우수한 것으로 나타났으며, BRS30은 순환골재 치환율이 0%인 실험체 BRS0과 유사한 최대내력을 나타냈다.

순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 강섬유를 보강한 실험체(BRS시리즈)는 전 구간을 통하여 안정적인 거동을 나타내었고, 표준실험체보다 최대내력과 연성능력이 향상되었음을 알 수 있었다. Fig. 6과 같이 순환골재의 치환율이 감소함에 따라 최대내력과 연성능력이 향상되었으며, 충분한 연성능력을 확보하면서 거동하는 것을 알 수 있다. 그리고 순환골재와 고로슬래그를 치환한 실험체와 이를 강섬유로 보강한 실험체의 경우 시공성, 경제성, 구조성능 개선의 측면에서 순환골재 치환율이 30%일 때 가장 효과적인 성능을 발휘하였다.

3.2 파괴형태

순환골재와 고로슬래그를 치환한 실험체와 이를 강섬유로 보강한 실험체의 파괴형태를 파악하기 위하여 표준 실험체를 파괴시까지 가력하여 각 하중단계에 따른 균열진전 상황을 고찰하였다. 표준실험체는 Fig. 7(a)와 같이 휨균열이 먼저 발생하였고, 하중이 증가함에 따라 변형이 상당히 증가한 후 상부에 압괴, 하부에는 콘크리트 탈락이 일어나고 인장철근 항복에 의한 전형적인 휨인장 파괴를 나타냈다.

순환골재와 고로슬래그를 치환한 실험체(BRS시리즈)의 하중단계별 균열진전 상황과 최종 파괴시의 파괴형태를 Fig. 7(b)~(f)에 나타내었다. Fig. 7에서와 같이 실험체 BRS시리즈는 순환골재의 치환율이 증가할수록 균열의 폭이 크게 나타났으며, 균열형태나 최종 파괴형태는 표준실험체와 같은 전형적인 휨인장 파괴가 일어났다.

순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 강섬유를 보강한 실험체(BRS시리즈)의 하중단계별 균열진전 상황과 최종 파괴시의 파괴형태는 Fig. 7(g)~(k)와 같다.

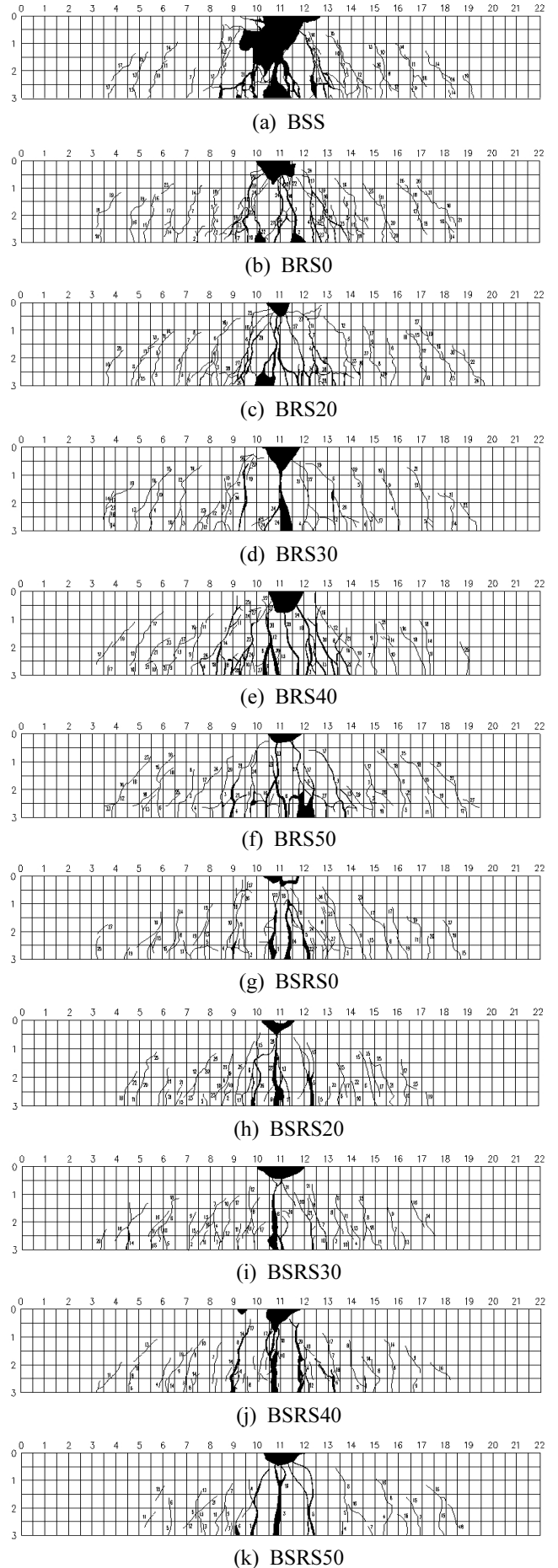


Fig. 7 Crack pattern and failure mode of each specimen

실험체 BSRS시리즈의 파괴형태는 표준실험체 및 순환골재와 고로슬래그를 치환한 실험체 BRS시리즈와는 달리 충분한 연성을 확보하며 안정적인 휨인장 파괴를 나타내었다. 이는 보강된 강섬유가 인장력의 전달능력을 지속시켜 균열폭이 증가하지 않는 특성을 나타내었다.

3.3 최대내력

표준실험체(BSS)의 최대내력은 183.2 kN으로 나타났다. Table 9, Fig. 8은 각 실험체의 최대내력과 표준실험체에 대한 각 실험체의 최대내력의 비(CASE i/CASE 0)를 분석한 것이다.

각 실험체의 내력 비교를 통하여 순환골재와 고로슬래그를 치환한 실험체(BRS시리즈)의 경우 표준실험체에 비하여 2~5% 정도 내력이 감소하였다. 순환골재 치환율이 30%인 실험체 BRS30은 실험체 BRS0과 비슷한 내력을 보였고 실험체 BRS20, 실험체 BRS40보다는 2% 증가한 내력을 나타내었다.

순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 강섬유

를 보강한 실험체(BSRS시리즈)의 경우 표준실험체에 비하여 최대내력 비율이 1~6% 정도 증가하였다. 또한, 순환골재 치환율이 30%인 실험체 BSRS30이 실험체 BSRS20, BSRS40, BSRS50에 비하여 2~4% 정도 내력이 증가하였다. 이는 강섬유가 콘크리트내에서 균열성장 억제작용으로 인하여 부재의 유효단면적이 증가한 것으로 판단된다. 그리고 순환골재의 치환율이 증가할수록 최대내력은 감소하는 양상을 보였다. 그러나 치환율이 30%일 때는 내력이 증가하였으며, 적정한 치환율인 것으로 판단된다.

3.4 연성능력

이 연구에서의 연성능력은 항복변위에 대한 변위 연성비 $\mu = \delta_u / \delta_y$ 로 정의 하였다. 부재항복시의 처짐량인 δ_y 를 기준으로 하여 부재 최대하중시의 변위와 최대하중 이후의 최대하중의 80%에서의 변위인 δ_u 를 이용하여 평가하였다. 또한, 부재 항복변위(δ_y)는 극한강도점을 지나는 수평선과 극한강도의 75%점을 지나는 할선강선과의 교점으로 정하였다. 각 실험체의 연성능력은 Table 10에 나타

Table 9 Comparison of the load-carrying capacity ratio for each specimen

CASE(i)	Specimen	Maximum strength (kN)	Strength ratio (CASEi)/CASE0)
0	BSS	183.2	1.00
1	BRS0	180.1	0.98
2	BRS20	176.4	0.96
3	BRS30	179.7	0.98
4	BRS40	175.9	0.96
5	BRS50	173.5	0.95
6	BSRS0	194.2	1.06
7	BSRS20	188.7	1.03
8	BSRS30	192.4	1.05
9	BSRS40	186.9	1.02
10	BSRS50	184.4	1.01

Table 10 Comparison of displacement ductility for each specimen

Specimen	δ_{max} (mm)	V_{max} (kN)	δ_y (mm)	V_y (kN)	δ_u (mm)	V_u (kN)	$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$
BSS	86.98	183.2	6.64	137.4	97.36	146.56	14.66
BRS0	77.70	180.1	7.44	135.1	94.81	144.08	12.74
BRS20	70.70	176.4	7.67	132.3	84.76	141.12	11.05
BRS30	73.10	179.7	7.12	134.8	84.18	143.76	11.82
BRS40	63.20	175.9	7.44	131.9	86.18	140.72	11.58
BRS50	57.30	173.5	7.52	130.1	77.74	138.8	10.34
BSRS0	84.30	194.2	7.11	145.7	117.88	155.36	16.58
BSRS20	96.40	188.7	6.85	141.5	105.23	150.96	15.36
BSRS30	98.80	192.4	7.27	144.3	115.26	153.92	15.85
BSRS40	65.00	186.9	7.08	140.2	107.53	149.52	15.19
BSRS50	87.80	184.4	6.92	138.3	103.39	147.52	14.94

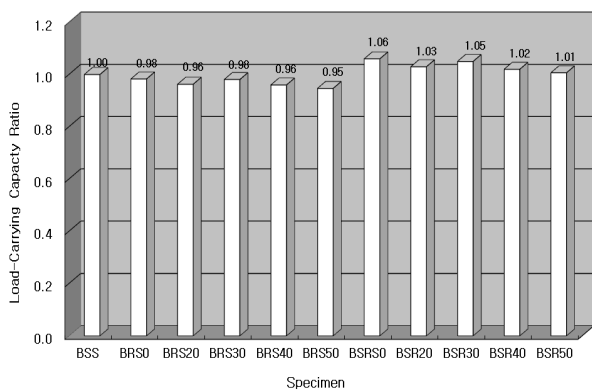


Fig. 8 Comparison of the load-carrying capacity ratio graph for each specimen

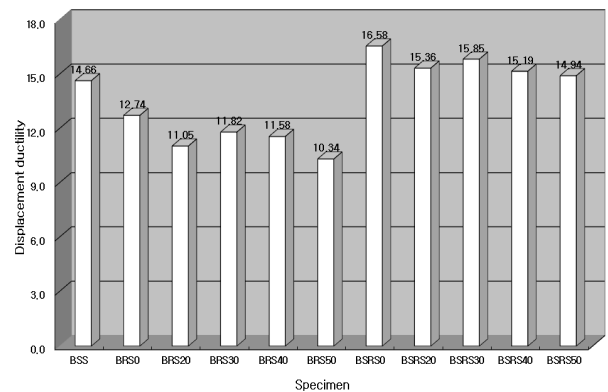


Fig. 9 Comparison of displacement ductility ratio for each specimen

내었고, 표준시험체에 대한 연성능력의 비는 Fig. 9에 나타내었다.

각 유형별 시험체의 연성능력은 순환골재와 고로슬래그를 치환한 시험체(BRS시리즈)의 경우, 표준시험체에 비하여 0.71~0.87배 감소하였다. 이는 순환골재 치환율이 증가함에 따라 연성이 감소한 것으로 판단된다.

순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 강섬유를 보강한 시험체(BRS시리즈)는 강섬유의 가교 역할에 의해 인장력 전달 능력이 지속되면서 연성능력이 표준시험체(BSS)에 비하여 1.02배~1.13배 증진하였으며, 시험체 BRS30이 순환골재 치환율이 0%일 때를 제외하고는 가장 우수한 연성능력을 보였다. 이와 같이 시험체 BRS시리즈의 연성능력이 향상된 것은 일반적으로 콘크리트는 균열이 발생하고 난 후에는 더 이상 인장력을 전달하지 못하고 파괴되는 반면에 순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 강섬유를 보강한 시험체는 강섬유가 인장력의 전달 능력을 지속시켜 연성능력이 증가한 것으로 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 양질의 건자재 부족 및 천연골재 자원의 고갈 등으로 인하여 양질의 원자재를 대체할 수 있는 건설 및 산업부산물인 순환골재, 고로슬래그 미분말을 이용하였다. 그리고 순환골재와 고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 강섬유 보강 철근콘크리트 보의 성능을 평가하기 위하여 총 11개의 시험체를 제작하였다. 실험을 수행하여 구조성능 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 표준시험체(BSS)는 인장철근 항복에 의한 전형적인 휨인장 파괴를 나타내었고, 순환골재와 고로슬래그를 치환한 시험체(BRS시리즈)는 순환골재의 치환율이 증가 할수록 균열의 폭이 크게 나타나고, 전형적인 휨인장 파괴가 일어났다. 순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 강섬유를 보강한 시험체(BRS시리즈)는 충분한 연성을 확보하며 안정적인 휨인장 파괴를 나타내었다.
- 2) 순환골재와 고로슬래그를 치환한 시험체(BRS시리즈)의 경우 표준시험체(BSS)에 비하여 2~5% 감소되는 내력을 나타내었고, 순환골재와 고로슬래그의 치환율에 강섬유를 보강한 시험체(BRS시리즈)의 경우는 최대내력이 1~6% 증진되었다.
- 3) 순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 강섬유를 보강한 시험체(BRS시리즈)는 강섬유의 가교 역할에 의해 인장력 전달 능력이 지속되면서 연성능력이 표준시험체(BSS)에 비하여 1.02배~1.13배 증진되어 콘크리트의 취성적인 성능을 연성적으로 유도할 것으로 판단된다.
- 4) 순환골재와 고로슬래그를 치환한 시험체(BRS시리

즈)의 경우 표준시험체(BSS)보다 내력 및 연성능력 등이 저하되었다. 이러한 문제점을 보완하고자 강섬유를 보강하였으며, 그 결과 순환골재와 고로슬래그를 치환한 콘크리트에 강섬유를 보강한 시험체(BRS시리즈)는 표준시험체(BSS)보다 높은 내력 및 연성능력 등을 나타내었다.

- 5) 순환골재와 고로슬래그로 치환한 콘크리트에 강섬유를 혼입함으로써 최대내력과 연성능력이 증대되었고, 순환골재를 30%정도로 치환하였을 때는 일반적으로 사용되는 쉐석 콘크리트와 유사한 거동을 나타냄으로써 적정한 치환율인 것으로 판단된다.

향후 건설 및 산업부산물의 적극적인 활용과 철근콘크리트 구조물에 적용 가능할 것이며, 경제적으로 많은 편익이 발생될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2012년도 중소기업청, 한국연구재단의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.(과제번호 : C001609, 2012 R1A1A2005941)

참고문헌

1. Korea Concrete Institute, *Concrete and Environment*, Kimoonang Publishing Company, Seoul, Korea, 2010, 299 pp.
2. Korea Recycled Construction Resources Association, *The Social, Economic and Environmental Values Evaluation and Effectiveness of Recycled Aggregate*, 2005, pp. 1-50.
3. Ministry of Environment, *Comprehensive Measures to Promote Recycling of Construction Waste*, 2002, pp. 1-16.
4. Kim, K. W., Park, J. S., Lee, B. H., and Yeon, K. S., "Research and Practical Application of the Reuse of Demolished Concretes," *Magazine of the Korea Concrete Institute*, Vol. 6, No. 6, 1994, pp. 51-65.
5. Kim, K. W., Yeon, K. S., and Lee, B. D., "Problems in Strength Characteristics of Recycled Waste Concrete," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 4, No. 2, 1992, pp. 44-49.
6. Park, J. S., "Engineering Properties of Recycled Aggregate Concrete Using Waste Concretes," Department of Architectural Engineering Graduate School of the Chungbuk National University, 1999, pp. 21-55.
7. Sim, J. S., Park, C. W., Park, S. J., Kim, Y. J., and Kim, H. J., "Study on the Strength Characteristics of Spun-Concrete Used Recycled Aggregate," *Proceedings of the Korea institute for Structural Maintenance Inspection*, Vol. 8, No. 2, 2004. pp. 429-434.
8. Korea Standards Association, KS F 2573, *Recycled Aggregate Concrete*, 2011, pp. 3-6.

9. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, No. 772 of the Act on Palpation of Construction Waste Recycling Regulations Based on Article 35 of the Quality Standards for Recycled Aggregates Announcement, 2009 pp. 1-82.
10. Ministry of Environment, Promote Recycling of Construction Waste Enforcement Regulations Environmental Enforcement Ordinance of the Act No. 281, 2008.
11. Korea Institute of Public Administration, To Promote the Recycling of Construction Waste in Accordance with the Act Revised Regulatory Impact Analysis, 2008, pp. 32-35.
12. Ha, G. J., Shin, J. H., Kwak, Y. K., and Kwon, C. S., "Improvement and Evaluation of Structural Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams Using Early Age Concrete," *Journal of the Korea institute for Structural Maintenance Inspection*, Vol. 3, No. 3, 1999, pp. 129-137.
13. Ha, G. J., Shin, J. H., and Ju, J. J., "Evaluation on the Flexural Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams," *Journal of the Korea institute for Structural Maintenance Inspection*, Vol. 4, No. 1, 2000. pp. 139-145.
14. Lee, S. K., "A Study on the Shear Behavior of Recycled Aggregate Concrete Mixing Steel Fiber," *Journal of the Korea Testing & Research Institute*, Vol. 35, No. 67, 2009, pp. 112-123.
15. Shin, Y. S., Cho, C. H., Kim, D. S., and Kim J. S., "A Study on the Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete Mixed Steel Fiber," *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 9, No. 4, 2009, pp. 131-137.
16. Soroushian, P., *Fiber-Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete*, American Concrete Institute, 1991, pp. 129-134.
17. Sharma, A. K., "Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams," *ACI Structural Journal*, Vol. 83, No. 4, 1986, pp. 624-627.

요 약 이 연구에서는 순환골재와 고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 강섬유 보강 RC보의 구조성능 향상을 위하여 표준시험체(BSS), 성능개선 시험체로는 순환골재와 고로슬래그 미분말을 치환한 시험체(BRS시리즈), 순환골재와 고로슬래그의 치환율에 강섬유를 보강한 시험체(BSRS시리즈)로 총 11개의 시험체를 1/2축소 제작하여 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 얻어진 결과를 비교·분석하여 하중·변위, 파괴형태, 최대내력 등을 규명함으로써 구조성능의 개선정도를 평가하였다. 실험 결과 순환골재와 고로슬래그 미분말을 치환한 콘크리트에 강섬유를 보강한 시험체(BSRS시리즈)의 경우 표준시험체(BSS)보다 압축강도는 최대 9%, 최대내력은 1~6%, 연성능력은 각각 1.02~1.13배 증가하는 결과를 나타내었다. 또한, 충분한 연성적인 거동과 안정적인 휨인장 파괴를 나타내었다.

핵심용어 : 치환율, 순환골재, 고로슬래그 미분말, 강섬유, 구조성능