

강섬유보강 초기재령 철근콘크리트 보의 구조성능 개선에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Improvement of Structural Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete Beam Using Early Age Concrete

하 기 주* 신 중 학** 권 칠 성*** 주 정 준***
Ha, Gee-Joo Shin, Jong-Hack Kwon, Chil-Sung Ju, Jung-Jun

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the structural performance of Reinforced steel fiber concrete structures using early age concrete.

Reinforced concrete structures using early age concrete are result in the degradation of structural performance due to crack, overload, unexpected vibration and impact load.

Specimens, designed by the over 0.75% of steel fiber incorporated, were showed the ductile behavior and failed slowly with flexure and flexure-shear.

Increasing the percent of steel fiber incorporated(0.25~2.0%), the ultimate shear stress of each specimen were increased 12~40% than that of specimen SSS.

1. 서론

콘크리트는 높은 압축강도를 가지고 있어서 토목 및 건축 구조물의 건설재료로 가장 널리 사용되고 있으며 경제성·내구성 등의 우수한성질을 가지고 있으나 인장강도나 휨 강도가 약하며 에너지 흡수능력이 작아서 본질적으로 취성적 성질과 균열에 대한 저항이 작은 단점을 가지고 있으며 콘크리트가 구조재료로서의 용도가 다양화되면서 종래에 이용되어 온 보통콘크리트의 제반 특성을 향상시키거나 개선할 필요성이 부각되어 왔다. 그리고 콘크리트 구조물의 건설중 목표 설계강도가 발현되지 않은 재령 28일 이전, 특히 재령 1~2주일간에는 콘크리트 구조물의 양생 및 관리가 대단히 중요하다. 콘크리트 타설후 재령 2주이전의 초기재령 상태의 콘크리트는 목표강도가 충분히 발현되지 않으므로 균열의 발생이 쉽고, 하자의 요인이 많으며, 또한 완전한 구조체로서의 역할을 하지 못하므로 충격이나 진동 그리고 시공시 예기치 못한 과하중이 구조물에 재하되는 일이 없도록 주의하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 강섬유(Steel Fiber)를 보강한 초기재령 철근콘크리트 보의 구조성능을 평가함으로써 철근콘크리트 구조물의 장스팬화, 고층화에 따른 콘크리트의 구조성능 개선은 물론 구조물의 균열발생 및 변형 등에 악영향을 미치는 건조수축과 크리프등의 장기변형 특성을 개선한 사용성, 안정

* 정희원, 경일대 건축공학과 부교수, 공학박사

** 정희원, 경일대 건축공학과 교수, 공학박사

*** 정희원, 경일대 대학원 졸업

성 및 신뢰성이 우수한 고성능, 고품질 콘크리트 개발과 강섬유보강 철근콘크리트(SFRC)부재의 설계 및 건설 구조물への 적용을 위한 기초적 자료를 제시하는 데 목적이 있다.

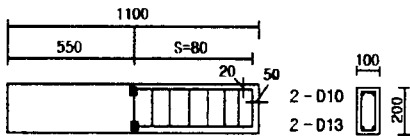
2. 초기재령 강섬유보강 철근콘크리트 보의 실험

2.1 실험계획

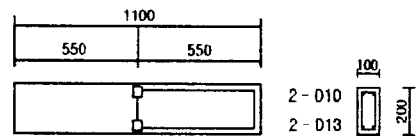
초기재령 철근콘크리트 보의 균열제어 및 구조성능을 개선하고 기존 전단보강철근의 강섬유로의 대체 및 보완을 위한 적정량의 산정을 위하여 전단보강근의 유무($\phi 8\text{cm}$, 전단보강근 없는 경우) 및 강섬유혼입율(0.25%, 0.5%, 0.75%, 1.0, 1.0+0.75, 1.0%, 1.5%, 2.0%)에 따른 구조성능을 평가하기 위하여 실험물크기의 1/4정도인 9개의 축소모델 시험체를 표 1 및 그림 1과 같이 제작하였다.

표 1. 시험체의 종류와 특성

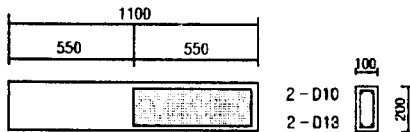
구분 종류	시험체명	단면		강섬유 혼입량 (%)	철근		길이 (cm)
		폭 (b)	흙 (D)		인장철근	압축철근	
기준 시험체	BSS	10	20	0	2-D13	2-D10	110
	SSS	10	20	0	2-D13	2-D10	110
강섬유보강 시험체	SSFS0.25	10	20	0.25	2-D13	2-D10	110
	SSFS0.5	10	20	0.5	2-D13	2-D10	110
	SSFS0.75	10	20	0.75	2-D13	2-D10	110
	SSFS1.0	10	20	1.0	2-D13	2-D10	110
	SSFS1.5	10	20	1.5	2-D13	2-D10	110
	SSFS2.0	10	20	2.0	2-D13	2-D10	110
	SSFSC	10	20	1.0, 0.75의 조합	2-D13	2-D10	110



(a) 전단보강이 있는 시험체 BSS

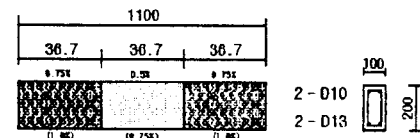


(b) 전단보강이 없는 시험체 SSS



(c) 강섬유보강 시험체

(V_f : 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0%)



(d) 강섬유 혼입율의 조합에 의한 시험체

(V_f : 1.0+0.75의 조합)

주) ■ : 철근 변형계이지 □ : 콘크리트 변형계이지

그림 1. 초기재령 철근콘크리트 보 시험체의 상세도

2.2 콘크리트 배합설계 및 사용재료 특성

본 연구에서 사용한 콘크리트는 국내산 제1종 포틀랜드시멘트와 최대 골재크기가 25mm인 쇠석골재를 사용하였으며, 콘크리트 및 강섬유보강 콘크리트의 재령별 압축강도는 표 2와 같으며 시험체 제작에 사용된 철근은 SD 40인 국내산 D10, D13 철근을 사용하였다. 철근의 인장시험 결과는 표 3과 같다.

표 2. 강섬유보강 콘크리트의 압축강도

재령 혼입율	3일	7일	14일
0	55.37	98.53	140.62
0.25	69.73	123.18	156.58
0.5	74.20	134.82	178.92
0.75	77.45	137.71	204.04
1.0	85.52	156.05	229.21
1.5	96.31	168.66	246.50
2.0	99.47	184.71	263.24

표 3. 철근의 역학적 성질

호칭	항복강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)
HD13	4,020	5,430	2.04×10 ⁹
HD10	4,550	6,360	1.95×10 ⁹

표 4. 강섬유의 역학적 성질

구분	SIZE (mm)	형상비 (L/D)	비중	항복강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)
강섬유 (혹크형)	0.8×0.8×50	62.5	7.85	2,380	3,400	1.8×10 ⁹

그리고 시험체 제작에 사용된 강섬유는 국내 C사에서 생산된 단면이 원형으로 양끝이 갈고리(Hook)형의 치수가 $\phi 8 \times 50$ mm로 강섬유가 각각 분리된 것을 사용하였다. 강섬유의 형상 및 크기와 물리적 특성은 표 4와 같다.

2.3 실험장치 및 실험방법

본 연구에서의 하중재하는 유압잭으로 지간 중앙점에서 재하하였다. 재하 하중량을 측정하기 위하여 유압잭에 하중계를 설치하였다. 하중재하는 0.2ton간격으로 하중을 제어하며 가력하였다. 측정기기는 변위계를 사용하여 각 시험체의 지간 중앙의 시험체 하단면에서 각 하중 단계별 하중-처짐량을 측정하였다. 철근의 변형은 전기적 변형게이지(strain gauge : 5mm)를 주근의 상, 하부면에 1개씩 부착하여 중앙부의 처짐과 동일한 하중단계에 따라 측정하였다. 콘크리트의 변형은 전기적 변형게이지(strain gauge : 60mm)를 사용하였다. 하중, 중앙점변위, 철근 및 콘크리트의 변형도는 시스템 4000과 PC를 사용하여 측정값들을 자동으로 처리하였다.

3. 초기재령 강섬유보강 철근콘크리트 보의 구조성능 평가

3.1 하중-처짐 특성

강섬유 혼입율에 따른 각 시험체의 실험결과를 표 5에 나타내었으며 하중-변위곡선을 비교하여 그림 2에 나타내었다. 강섬유 혼입율의 증가에 따라 각 시험체의 최대내력은 대체로 증가하였으며, 하중-변위곡선을 고찰하면 연성능력도 크게 향상됨을 알 수 있었다.

각 시험체의 실험결과를 비교 고찰한 결과 전단보강철근이 없는 시험체 SSS 및 강섬유 혼입율이 0.5%이하인 시험체(SSFS0.25, SSFS0.5)는 최대내력에 도달한 이후 사인장 균열의 영향으로 급격히 전단파괴 되었다. 반면 전교부 규준에 따라 전단보강된 시험체 BSS 및 강섬유 혼입율이 0.75% 이상인 시험체는 최대내력에 도달한 이후에도 충분한 연성능력을 확보하면서 휨 및 휨-전단에 의하여 서서히

파괴되었다. 그리고 초기재령 철근콘크리트 보의 경우 그림 2의 하중-변위 특성의 비교에서와 같이 강섬유 혼입율이 0.75% 이상인 경우 건교부 규준에 따라 전단보강된 시험체 BSS와 비교하면 내력 및 연성능력을 충분히 확보하는 것으로 판단된다.

표 5. 각 시험체의 최대변위와 최대하중

시험체명	강섬유 혼입량 (%)	전단철근	δ_{max} (mm)	P_{max} (ton)
BSS	0	유	4.30	15.75
SSS	0	무	5.89	15.60
SSFS0.25	0.25		4.60	17.50
SSFS0.5	0.5		5.80	18.55
SSFS0.75	0.75		9.50	18.90
SSFS1.0	1.0		5.95	20.55
SSFS1.5	1.5		6.60	21.40
SSFS2.0	2.0		14.80	22.00
SSFSC	1.0과 0.75의 조합		7.80	21.30

그리고 강섬유 혼입율의 적정량의 선정 및 철근콘크리트 구조물에서의 경제적인 적용성을 검토하기 위하여 철근콘크리트 보 시험체에 강섬유 혼입율을 2가지로 조합한 경우의 시험체를 제작하여 실험을 실시하였다.

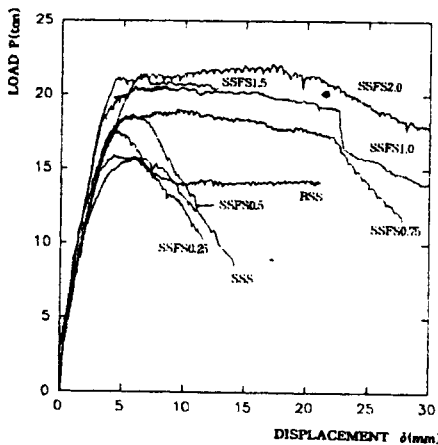


그림 2. 각 시험체의 하중-변위 특성 비교

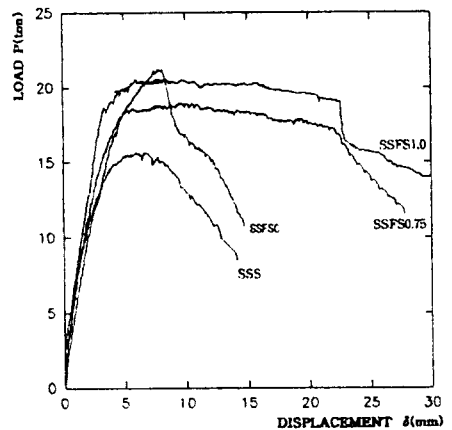


그림 3. 강섬유 혼입율의 변화 및 조합(SSFSC)에 따른 하중-변위 특성 비교

강섬유 혼입율 1.0%와 0.75%를 조합한 시험체 SSFSC는 시험체 SSFS0.75보다는 최대내력이 훨씬 향상되었고, 시험체 SSFS1.0과 비교하면 최대내력에 도달한 이후에 충분한 연성능력을 확보하지 못하고 휨-전단에 의하여 서서히 파괴되었다. 강섬유 혼입율을 조합한 시험체 SSFSC는 혼입율의 조합중 큰 강섬유 혼입율을 갖는 시험체에 비하여 내력은 충분히 확보되나, 강섬유 혼입율이 다른 조합영역에서 초기균열 발생과 시공이음부의 문제점으로 인하여 파괴형태가 취성적이므로 이에 대한 충분한 고려가

필요한 것으로 사료된다.

본 연구결과에서 초기재령 철근콘크리트 보의 경우 강섬유의 혼입율이 적정값(0.75%)이상이면 전단내력 및 연성능력의 향상 및 파괴형태가 크게 개선되는 것으로 판단된다.

3.2 파괴형태

강섬유보강에 따른 기준시험체와 대표적인 시험체의 파괴형태를 그림 4에서와 같이 나타내었다. 강섬유 혼입율이 0.5%이하인 경우 사인장 균열에 의한 전단파괴가 일어났고, 강섬유혼입율이 0.75% 이상인 시험체는 충분한 연성능력을 확보하면서 휨 및 휨-전단에 의하여 서서히 파괴되었다. 본 실험의 결과를 근거로 볼 때 및 그림 4에서와 같이 강섬유의 혼입율이 증가할수록 휨-전단파괴 및 휨파괴형태의 연성적인 파괴형태를 나타내고 있음을 고찰할 수 있었다. 특히 강섬유혼입율이 0.75%이상인 경우 사인장파괴형태에서 휨-전단 파괴형태로 파괴메카니즘의 변화가 발생하였다.

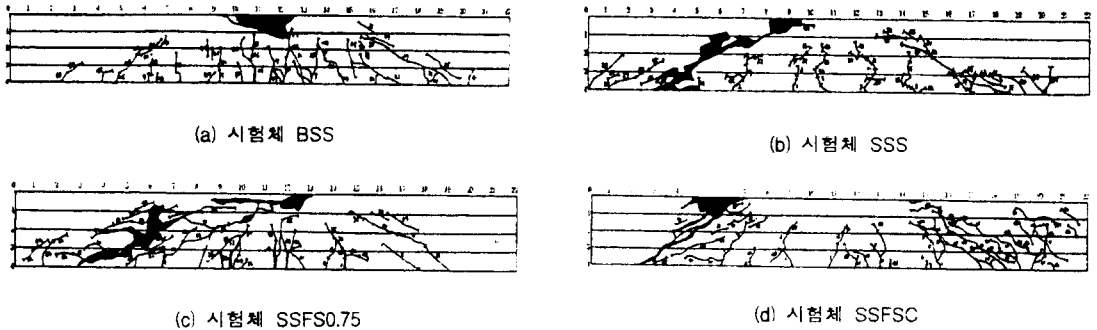


그림 4. 대표적인 시험체의 파괴형태

3.3 강섬유보강 철근콘크리트 보의 전단강도

초기재령 강섬유보강 철근콘크리트 보 각 시험체의 사균열 발생시 전단력 및 극한 전단력은 표 6에서와 같으며, 이를 근거로 산정한 각 시험체의 사균열 발생시 전단응력 및 극한전단응력은 표 6과 같다.

표 6. 각 시험체의 전단응력의 비교

시험체명	강섬유 혼입량 (%)	전 단 력 (t)		전 단 응 력 (kg/cm ²)		상대 극한 전단응력비 ($v_u/v_{u,SSS}$)
		사균열 (V_{cr})	극한 (V_u)	사균열 (v_{cr})	극한 (v_u)	
SSS	0	4.03	7.80	22.39	43.33	1
SSFS0.25	0.25	4.15	8.75	23.06	48.61	1.12
SSFS0.5	0.5	4.33	9.28	24.06	51.56	1.19
SSFS0.75	0.75	5.15	9.45	28.61	52.50	1.21
SSFS1.0	1.0	5.23	10.28	29.06	57.11	1.32
SSFS1.5	1.5	5.48	10.70	30.44	59.44	1.37
SSFS2.0	2.0	5.70	10.98	31.67	61.00	1.40

전단보강 되지 않은 기준시험체(SSS)와의 상대 극한전단응력비는 강섬유 혼입율의 증가에 따라 12~40%의 증가되는 현상을 나타내었다. 표 6은 강섬유 혼입율의 증가에 따른 극한전단응력도의 변화

를 나타내고 있으며, 강섬유 혼입율의 증가에 따라 극한전단응력도는 증가하고 있으며, 강섬유혼입율이 1%인 경우 전단보강되지 않은 시험체(SSS)보다 극한전단응력이 32% 증가하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 강섬유보강 초기재령 철근콘크리트 보의 구조성능 평가 및 개선을 위하여 전단보강철근의 유무 및 강섬유 혼입율 변화 및 조합에 따른 시험체를 제작하고 실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 강섬유 혼입율이 0.75%이상인 초기재령 철근콘크리트 보의 경우 건교부 규준에 따라 전단보강된 시험체 BSS와 하중-변위곡선을 비교하면 내력 및 연성능력을 충분히 확보하는 것으로 판단된다.
- (2) 초기재령 철근콘크리트 보의 경우 강섬유의 혼입율이 적정값(0.75%) 이상이 되면 전단내력 및 연성능력의 향상등 구조성능이 크게 개선되었다.
- (3) 강섬유 혼입율이 증가(0.25%~2.0%)함에 따라 극한전단응력은 전단보강되지 않은 기준시험체 SSS에 비하여 12~40%의 증가되는 현상을 나타내었고, 특히 강섬유 혼입율이 1%인 시험체 SSFS1.0는 전단보강되지 않은 시험체 SSS보다 극한전단응력이 32% 증가하였다.
- (4) 강섬유를 보강하지 않은 전단보강 철근이 없는 시험체 SSS는 전형적인 사인장파괴를 나타내었으나 강섬유의 혼입율이 증가할수록 휨-전단파괴 및 휨파괴형태의 연성적인 파괴형태를 나타내고 있음을 고찰할 수 있었다.
- (5) 강섬유 혼입율을 조합한 시험체 (SSFSC)는 혼입율의 조합 중 큰 강섬유 혼입율을 갖는 시험체에 비하여 내력은 충분히 확보되었으나, 강섬유 혼입율이 다른 접합영역에서 초기균열 발생과 시공이음부의 문제점으로 파괴형태가 취성적이므로 이에 대한 충분한 고려가 필요한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Parviz Soroushian "Fiber-Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete" ACI, March-April, 1991, pp.129-134.
2. A. K. Sharma "Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams" ACI, Structural Journal, July-August, pp.624-627.
3. S. H. Ashour, G. S. Hasanain and F. F. Wafa "Shear Behavior of High-Strength Fiber Reinforced Concrete Beams" ACI, Structural Journal, March-April, 1992, pp.176-184.
4. 이차돈 외1인, "일반 RC보와 동등한 강섬유 보강 철근콘크리트 보의 이론적 산정", 한국콘크리트학회, 학술발표논문집 제9권 1호 1997. 2. pp.195-206.
5. 박승범 외1인, "강섬유보강 콘크리트의 배합설계 및 물성", 한국콘크리트학회지, 제8권 4호 1996. 8. pp.14-24.
6. 심종성 외3인, "혹크 강섬유보강 철근콘크리트 보의 전단거동에 대한 실험적 연구", 한국콘크리트학회지, 제7권 5호 1995. 10. pp.179-188.
7. 오병환 외2인, "강섬유를 혼입한 철근콘크리트 부재의 전단거동 및 전단해석에 관한 연구", 한국콘크리트학회지, 제5권 2호 1993. 6. pp.171-180.