

콘크리트 강도에 따른 강섬유 보강기둥의 성능비교

Comparison of Steel Fiber Reinforced Column Capacity Using Ordinary and High Strength Concrete

장극관^{*} 이현호^{**} 문상덕^{***}
Chang, Kug Kwan Lee, Hyun Ho Moon, Sang Duck

ABSTRACT

Since the steel fiber used in concrete to improve shear and ductility capacity, a number of laboratory tests have been studied to define shear strengthening effect according steel fiber contents in concrete. This study investigates shear strengthening effect of steel fiber in RC columns according to compression strength of concrete. From the structural performance test, following conclusions can be made; the maximum enhancement of shear strengthening effect can be achieved at about 1.0 %~1.5 % of steel fiber contents in comparison with shear capacity ratio, and ductility capacity slightly improved as steel fiber contents increased.

1. 서론

건설재료로 가장 널리 사용되고 있는 콘크리트는 경제성, 내구성 및 강성등의 우수한 성질을 가지고 있으나 휨, 충격하중과 균열에 대한 저항성이 부족한 단점을 가지고 있다. 이러한 콘크리트의 단점을 개선하기 위한 합성재료중 강섬유(steel fiber)로 보강된 콘크리트는 보강되지 않은 콘크리트에 비하여 강도증진, 취성적인 콘크리트 성질개선 및 균열제어효과가 우수한 것으로 평가되고 있다. 특히 전단에 대한 강섬유 보강효과는 구조부재의 취성적인 전단파괴에서의 안정적인 휨파괴로의 파괴양상 변환, 우수한 균열제어효과 등이 있는 것으로 보고되고 있다.

강섬유 보강기둥에 관해서는 강섬유 혼입량 및 전단보강근비를 변수로한 Masuta 등(1997)¹⁾과 Nagasaka 등(1990)²⁾의 실험에서 강섬유의 혼입량이 증가함에 따라 연성능력, 강도 및 변형능력이 증가한다는 연구결과를 발표했다. 또한, 1989년 Yashiro등은 강섬유 보강기둥의 실험을 통하여 강섬유의 적정 보강량은 체적의 1.0%라고 발표했으며, 1979년 Sakai등의 강섬유 보강기둥의 전단내력 및 연성 평가실험 결과에 의하여 단주의 연성확보가 곤란한 단점을 1.0%의 강섬유를 혼입함으로써 해결할수 있다고 보고하였다. 국내에서도 강섬유 보강기둥의 전단특성에 관한 연구가 다소 있으나, 콘크리트 강도에 따른 강섬유 보강기둥의 성능에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 전단이 지배하는 철근콘크리트 기둥에의 강섬유 보강효과에 콘크리트 강도가 미치는 영향을 평가하고자 한다.

* 정회원, 서울산업대학교 건축공학과 부교수
** 정회원, 동양대학교 건축학부 전임강사
*** 정회원, 서울산업대학교 건축공학과 석사과정

2. 구조실험

본 연구에서는 콘크리트 강도에 따른 강섬유의 보강효과를 평가하기 위하여 일반강도(254~278 kgf/cm²) 콘크리트 기둥 8개와 고강도(444~675 kgf/cm²) 콘크리트기둥 8개로 총 16개의 실험체를 제작하였다. 실험체 배근상세는 그림 1과 같으며, 형상비 63.6의 양단 후크형 강섬유를 사용하였다. 실제 구조물의 축력효과를 고려하기 위하여 그림 2와 같이 단면능력의 10%에 해당하는 축력을 오일잭을 이용하여 가력하였으며, 반복수평하중은 100 tonf 액츄에이터로 가력하였다.

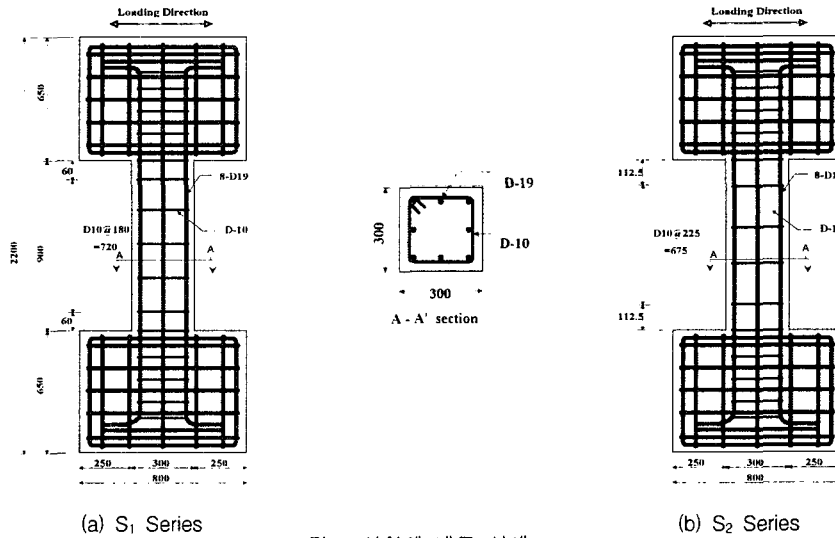


그림 1 실험체 배근 상세

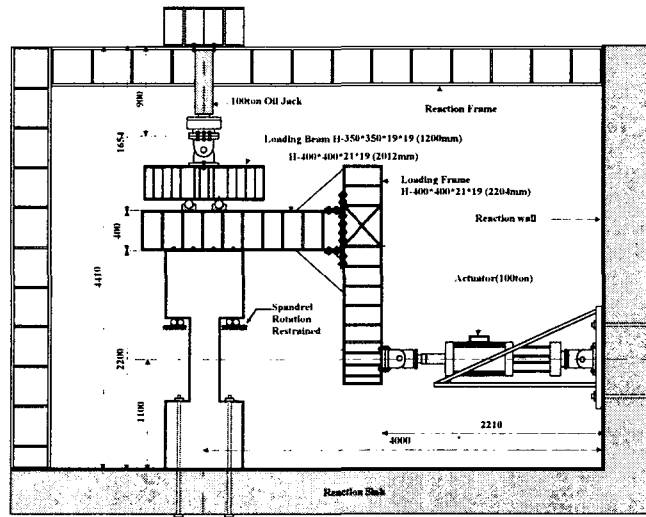


그림 2 실험 가력도

구조성능 실험에 의한 결과를 표 1에 나타내었으며, 표 1에서 V_f 는 강섬유 보강량을, ρ_w 는 전단보강근비를, SCR은 최대강도(V_{max})를 콘크리트 압축강도(f_{ck})로 나누어 일반화시킨 전단능력비를, R_μ 는 비보강 실험체를 기준으로 한 보강실험체의 상대연성비를 의미한다. 그림 3 및 그림 4에 일반강도 및 고강도 실험체중 S_1 Series의 하중-변위 이력곡선을 나타내었다.

표 1 실험결과 일람

Series	$V_f(\%)$	$\rho_w(\%)$	Normal Strength					High Strength				
			$f_{ck}(\text{kgf/cm}^2)$	$V_{max}(\text{tf})$	SCR	μ	R_μ	$f_{ck}(\text{kgf/cm}^2)$	$V_{max}(\text{tf})$	SCR	μ	R_μ
S_1 Series	0.0	0.26	265	21.59	1.46	1.98	1.00	444	32.92	1.74	1.32	1.00
	1.0	0.26	266	22.78	1.55	2.02	1.02	614	41.93	1.88	1.38	1.05
	1.5	0.26	278	27.03	1.80	2.43	1.23	609	44.38	2.00	1.46	1.11
	2.0	0.26	254	32.21	2.25	2.45	1.24	675	45.00	1.92	1.63	1.23
S_2 Series	0.0	0.21	265	20.01	1.36	1.43	1.00	444	30.28	1.60	1.19	1.00
	1.0	0.21	266	21.83	1.42	1.76	1.23	614	42.73	1.92	1.24	1.04
	1.5	0.21	278	23.92	1.59	2.02	1.41	609	42.93	1.93	1.28	1.08
	2.0	0.21	254	26.23	1.83	2.38	1.66	675	41.02	1.75	1.35	1.13

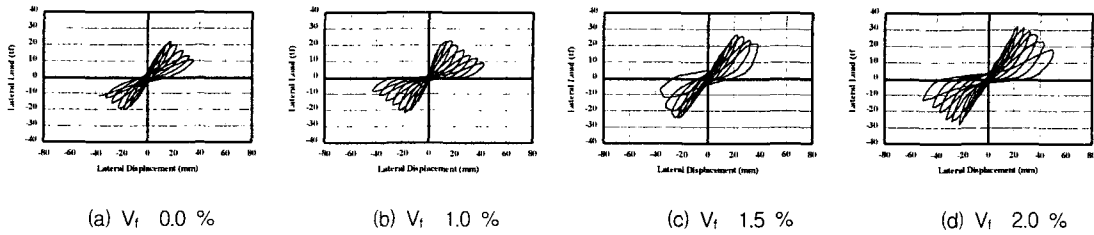


그림 3 일반강도 실험체의 하중-변위 이력곡선 (S_1 Series)

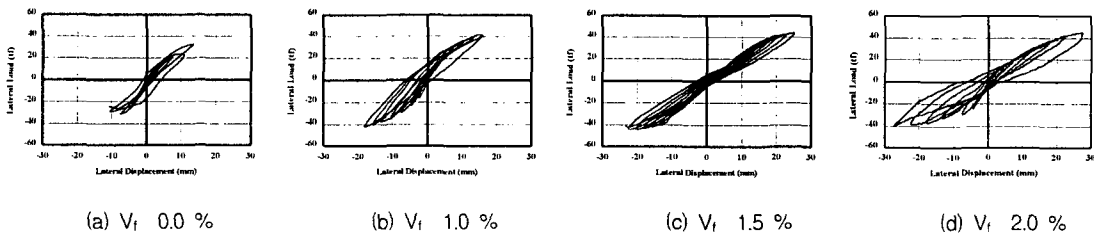


그림 4 고강도 실험체의 하중-변위 이력곡선 (S_1 Series)

3. 강도 및 연성능력 평가

3.1 최대전단강도 평가

강섬유의 보강량(V_f)에 따른 동일 조건의 일반강도 및 고강도 콘크리트 기둥의 최대전단강도(V_{max})의 변화를 그림 5에 나타내었다. 이에 의하면 강섬유의 보강량이 증가함에 따라 전단보강근비(ρ_w)가 0.26인 S_1 Series는 콘크리트 강도 증가에 거의 비례하여 최대 전단강도 또한 증가하는 것으로 나타났다. 일반강도($254 \sim 278 \text{ kgf/cm}^2$)의 최대전단강도는 강섬유보강량 1.5%, 2.0%에서 우수하게 증진된 반면,

고강도(444~675 kgf/cm²)에 있어 보강량 1.0 % 이후의 최대전단강도 증가는 미미한 것으로 나타났다. 전단보강근비가 0.21인 S₂ Series의 최대전단강도는 S₁ Series와 거의 유사한 것으로 나타났으며, 보강량 2.0%인 고강도 실험체의 최대전단강도는 보강량 1.5%의 전단강도보다 감소하는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 정량적인 강섬유 보강량 및 강섬유가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 일반강도와 고강도의 최대전단강도 차(ΔV_{max}) 및 콘크리트 압축강도를 일반화 시킨 압축강도 차($\Delta\sqrt{f_{ck}bd}$)를 강섬유 보강량에 따라 그림 6에 나타내었다. 이에 의하면 콘크리트 강도에 상관 없이 보강량 1.0%일 때 최대로 전단강도가 증진되었으며, 보강량 1.5%의 전단강도 증진도 우수한 것으로 평가된 반면, 보강량 2.0%의 전단강도 증진은 압축강도 증진에 비하여 미미한 것으로 평가되었다. 그리고 그림 6에 있어 최대전단강도 차에서 압축강도 차를 뺀 전단강도의 증분은 순수한 강섬유 보강효과로 평가될 수 있으며, 이는 콘크리트의 압축강도(f_{ck})뿐만 아니라 활렬인장강도(f_{sp}) 및 강섬유의 인발응력(v_b)에 밀접한 상관이 있는 것으로 평가할 수 있다. 따라서 콘크리트 및 강섬유 특성을 모두 고려하여 강섬유 보강효과를 평가하여야 하나, 본 연구에서는 기초적인 연구로 압축강도로 대별되는 강섬유 보강효과를 정량적으로 평가하고자 한다.

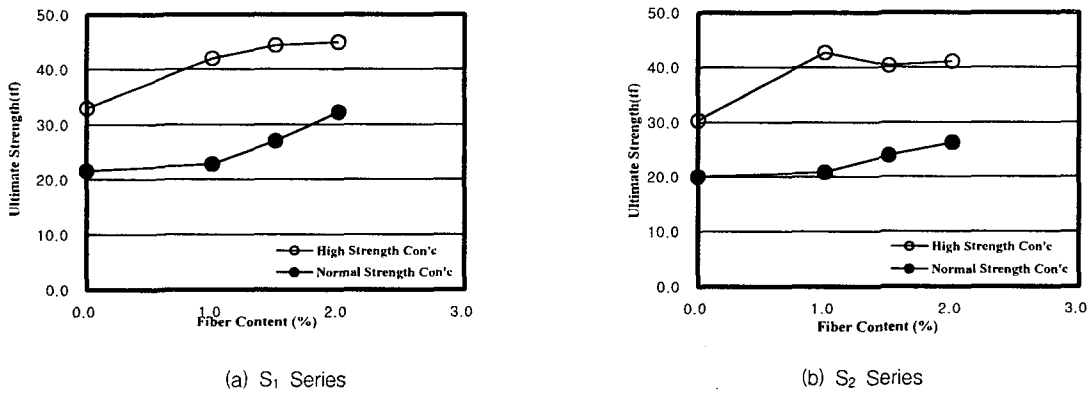


그림 5 최대전단강도와 강섬유 보강량 상관

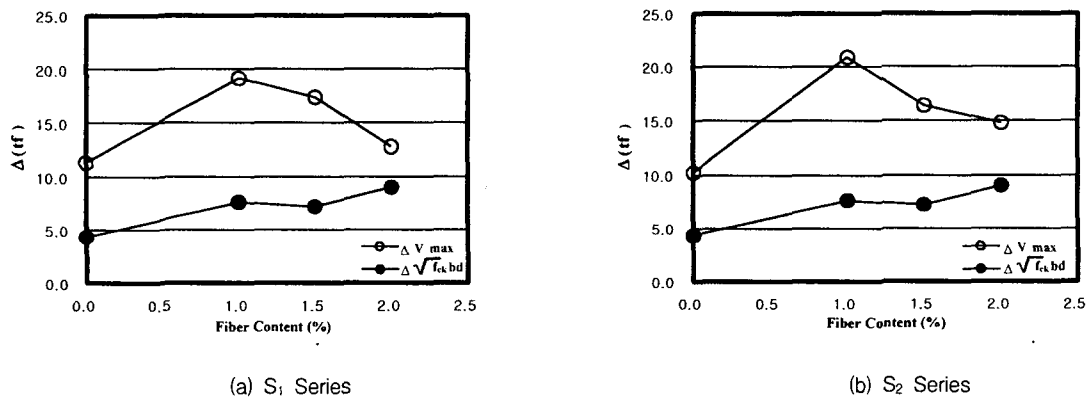
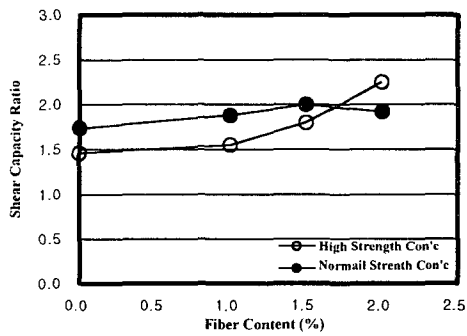
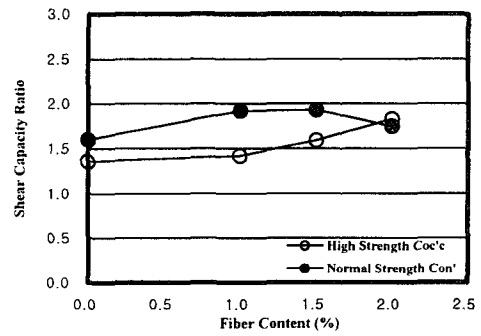


그림 6 최대전단강도 및 압축강도 상관

일반강도 및 고강도 강섬유 보강 실험체의 전단강도는 실험체마다 다른 압축강도의 차이를 최대강도를 압축강도 및 부재 단면적으로 나누어 무차원화 시킨 전단능력비 $V_{max}/\sqrt{f_{ck}bd}$ (Shear Capacity Ratio, SCR)로 평가할 필요가 있으며, 이를 그림 7에 일반강도 및 고강도의 전단능력비 및 강섬유 보강량의 상관으로 나타내었다. S₁ Series의 경우, 1.5% 까지 강섬유 보강량이 증가할수록 SCR은 강도에 상관없이 증가하는 것으로 나타났으나, 보강량 2.0%의 일반강도 실험체의 SCR은 고강도보다 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 SCR 저하는 S₂ Series도 유사한 것으로 나타나, 강섬유 보강량 2.0%에 있어서 전단능력 증진은 미미한 것으로 평가되었고, 이는 기존연구결과³⁾에서도 확인할 수 있었다. 콘크리트 강도에 따른 SCR 증진효과는 보강량 1.0%에서 우수한 것으로 평가되었으며, 보강량 1.5%의 SCR 증진효과는 보강량 1.0%에 비하여 떨어지는 것으로 평가되었다. 이상의 결과로부터 적정 강섬유 보강량은 콘크리트 체적의 1.0%로 평가할 수 있으며, 보강량 1.5%의 전단능력 증진효과도 우수한 것으로 판단된다.

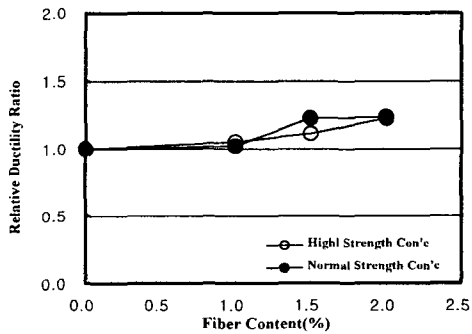


(a) S₁ Series

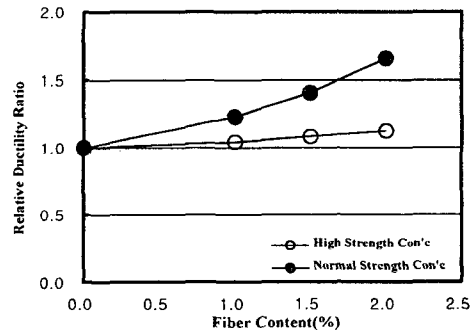


(b) S₂ Series

그림 7 전단스팬비와 강섬유 상관



(a) S₁ Series



(b) S₂ Series

그림 8 강도특성에 따른 상대 연성비

3.2 연성능력 평가

콘크리트 압축강도 특성에 따른 강섬유 보강 기둥의 연성능력을 평가하기 위하여 각 강도그룹별로

동일 조건의 비보강 실험체에 대한 보강 실험체의 상대연성비(R_p)를 그림 8에 나타내었다. S₁ Series의 경우 강도에 상관없이 강섬유 보강량이 증가할수록 상대연성비는 증가하는 것으로 나타났으나, 일반강도는 보강량 1.5%까지 연성비 증진효과가 비례적으로 증가하는 반면, 보강량 2.0%의 증진효과는 미미한 것으로 나타났다. 반면 고강도의 연성비 증가는 보강량 2.0%까지 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. S₂ Series의 경우 보강량의 증가에 비례하여 상대연성비는 증가하는 것으로 나타났으며, 일반강도의 강섬유 보강에 의한 연성능력 증진은 우수한 것으로 나타났다. 전체적으로 S₂ Series 일반강도의 연성능력 증진을 제외하고는 비보강 실험체에 비하여 보강효과의 연성능력 증진은 미미한 것으로 나타나, 전단보강근비, 압축강도 및 연성능력에 대한 보완연구가 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 강도 특성에 따른 강섬유 보강 기둥의 성능 실험을 수행하였으며, 주요한 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 콘크리트의 압축강도에 따른 최대전단강도는 강섬유 보강량이 1.0%에서 우수한 것으로 나타났으며, 2.0%의 강섬유를 보강했을 때 강도증진 효과는 콘크리트 압축강도에 의한 효과보다 미진하였다.
- 2) 최대전단강도를 콘크리트의 압축강도 일반화시킨 전단능력비(SCR) 평가결과, 강섬유 보강량 1.0% 및 1.5%의 전단능력 증진 효과가 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 연성능력은 강섬유 보강량의 증진에 비례하여 비보강 실험체보다 증가되는 것으로 평가되나, 이는 전단능력의 증진에 비하여 미미한 것으로 판단된다.
- 4) 이상의 결과로부터 철근콘크리트 기둥의 전단능력을 증진시키기 위한 적정 강섬유 보강량은 콘크리트 체적의 1.0%~1.5%인 것으로 판단되며, 향후 강섬유 보강량, 전단보강근비, 그리고 강섬유 보강콘크리트의 활렬인장강도 및 인발응력에 대한 보완 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터(STRESS)의 연구지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 益田 彰久 外, “鋼纖維補強コンクリト柱の交番載荷試験,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 19, No. 2, 1997, pp.1521-1526.
2. Nagasaka et al., “Study on Shear Capacity of Reinforced Concrete Columns with Steel Fibers Based on Composite Resistant Mechanism of Steel Fibers and Conventional Hoops,” Journal of Struct. Constr. Engng. AIJ, No 410, 1990, pp.53-61.
3. 장극관, 이현호, 양승호, “강섬유로 보강된 RC 단주의 전단특성,” 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제13권, 1호, 2001, pp.157-162.