

# 고인성 섬유보강 시멘트 복합체를 사용한 콘크리트 기둥의 실험적 연구

## An Experimental Study on RC Columns Using High Performance Fiber Reinforced Cement Composites

황 선 경*	윤 현 도**	한 병 찬***
Hwang, Sun-Kyoung	Yun, Hyun-Do	Han, Byung-Chan
박 완 신****	전 에스더*****	양 일 승*****
Park, Wan-Shin	Jeon, Esther	Yang, Il-Seung

### ABSTRACT

An experimental investigation on the strength and behaviour of reinforced concrete columns using high performance fiber reinforced cement composites has been carried out. The columns were subjected to monotonic axial compression until failure. The variables in this study are the combination ratio of steel cord(SCI) and polypropylene(PP), and the volumetric ratio of transverse reinforcement. Test results showed that the fibers, when used in a hybrid form, could result in superior composite performance compared to their individual fiber reinforced cement composites.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물에서 기둥은 축력, 휨모멘트, 전단력 등의 복합 응력을 받고 주로 수직하중을 전달하는 부재로서 콘크리트의 압축강도에 의하여 수직하중을 지지하는 데에는 매우 효율적이거나, 특히 지진하중과 같은 반복 횡하중을 받는 경우 콘크리트 기둥은 연성이 부족하여 취성파괴를 일으키는 구조적 취약성을 가지고 있기 때문에 콘크리트 기둥의 연성 증대에 관한 많은 실험과 연구가 진행되어 왔다.

최근에는 강섬유, 유리섬유, 탄소섬유, 나일론, 폴리프로필렌, 폴리에틸렌 등의 유·무기계 섬유를 시멘트 매트릭스에 혼입함으로써 콘크리트의 취성적 성질을 개선시킨 섬유보강 콘크리트의 개발 및 사용이 증대되고 있다. 특히 고인성 섬유보강 시멘트 복합체(High performance fiber reinforced cement composites, HPRCC)는 철근부식 및 내진성능이 증시되고 있는 다양한 용도의 철근콘크리트 구조물에 적용가능성이 높은 신재료로 평가되고 있다.<sup>1)</sup>

본 연구는 자동차 타이어 보강 5연선 강섬유(Steel cord)와 폴리프로필렌(PP)를 혼합한 고인성 섬유보강 시멘트 복합체를 사용한 철근콘크리트 기둥에 중심 축력을 작용하여 강섬유와 폴리프로필렌의 혼합비율에 따른 기둥의 변형능력을 평가하고자 한다.

\*정회원, 우송대학교 건축학부 강의전담교수

\*\*정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

\*\*\*정회원, 충남대학교 건축공학과 강사

\*\*\*\*정회원, 충남대학교 건축공학과 박사수료

\*\*\*\*\*정회원, 충남대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\*\*\*정회원, 충남대학교 건축공학과 박사후연수과정

본 연구는 건설교통부 2003년 건설핵심기술연구개발사업 연구비 지원(과제번호 03산학연A10-01)에 의한 연구의 일부임

## 2. 실험계획

표 1 시험체 일람표

시험체	W/C	섬유혼입율 (Vol. %)		단위중량(kg/m <sup>3</sup> )			주근		횡보강근		콘크리트 강도 (MPa)
		SC	PP	물	시멘트	모래	철근	체적비	철근	체적비	
SC I 0.5-50	0.45	0.5		472.2	1049	419.7	4-D13	0.0226	D6@50	0.016	51.91
SC I 0.5-75	0.45	0.5		472.2	1049	419.7	4-D13	0.0226	D6@75	0.010	51.91
PP1.0-50	0.45		1.0	471.1	1047	418.8	4-D13	0.0226	D6@50	0.016	48.90
PP2.0-0	0.45		2.0	466.2	1036	414.4	4-D13	0.0226	-	-	56.32
PP2.0-50	0.45		2.0	466.2	1036	414.4	4-D13	0.0226	D6@50	0.016	56.32
PP2.0-75	0.45		2.0	466.2	1036	414.4	4-D13	0.0226	D6@75	0.010	56.32
SC I 0.5+PP1.0-50	0.45	0.5	1.0	468.7	1041	416.6	4-D13	0.0226	D6@50	0.016	56.02
SC I 0.5+PP2.0-0	0.45	0.5	2.0	463.8	1031	412.2	4-D13	0.0226	-	-	49.03
SC I 0.5+PP2.0-50	0.45	0.5	2.0	463.8	1031	412.2	4-D13	0.0226	D6@50	0.016	49.03
SC I 0.5+PP2.0-75	0.45	0.5	2.0	463.8	1031	412.2	4-D13	0.0226	D6@75	0.010	49.03

강섬유(SC I)와 폴리프로필렌(PP)의 혼합비율에 따른 기둥의 변형능력을 평가하기 위하여 표 1과 같이 총 10개의 시험체를 제작하였고, 모든 시험체의 단면은 15cm×15cm, 높이는 75cm이며, 중앙부 45를 실험구간으로 하였고, 시험체의 상하단 15cm 부분은 응력집중으로 인한 국부파괴를 방지하고자 띠철근 D6을 25mm 간격으로 조밀하게 배근하였다. 주근은 4-D13(주근비 2.26%), 횡보강근은 D6을 구부림각 135° 후크, 정착길이는 6d(d : 띠철근의 직경)이상으로 하였다. 콘크리트의 배합설계표 및 공시체 압축강도는 표1에 나타내었다.

가력은 200t용량의 만능시험기(U.T.M)를 사용하여 변위제어방식으로 일방향 단조가력했다. 시험체의 중앙면에서 발생하는 축방향 변형도를 측정하기 위해 시험체 중앙부 40cm 구간에 전기식 변위계(L.V.D.T)를 부착하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 파괴양상 및 응력-변형도 곡선

그림3과 4는 각각 강섬유와 폴리프로필렌의 혼합비율에 따른 시험체의 파괴양상과 압축응력-변형도

관계곡선을 나타낸 것이다. 각 시험체의 전반적인 파괴양상은 초기균열 발생한 후 주근이 항복하였고 최대하중에 이른 후 띠철근이 항복하면서 내력이 저하되는 경향을 나타내었다. 횡보강근이 없는 시험체(그림3(d),(h))의 경우 최대내력 이후에 수직방향 균열폭 증가 후 피복박리에 의한 급격한 강도저하로 취성적인 파괴경향을 보이고 있다. 횡보강근의 간격이 75mm에서 50mm로 감소할수록 시험체는 최대내력 이후 완만한 하중저하를 보였다.

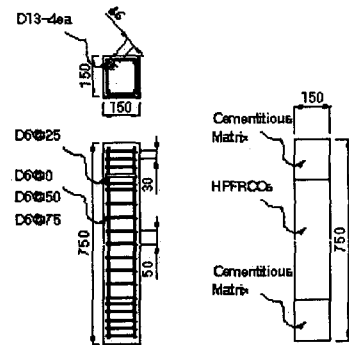


그림 1 시험체 형상 및 배근상황

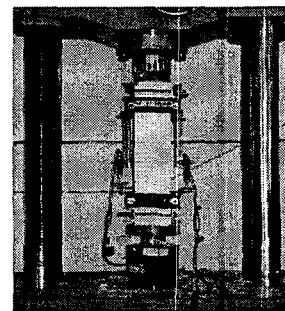


그림 2 가력 및 측정장치

강섬유와 합성섬유(폴리프로필렌)의 혼합비율에 따른 분석에서는 강섬유가 혼입된 시험체가 다소 큰 최대강도를 보이고 있으며 상대적으로 섬유의 탄성계수가 낮은 합성섬유의 혼입률이 증가됨에 따라 시험체의 최대강도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 최대내력 이후에는 강도 및 탄성계수가 낮은 합성섬유의 혼입률이 증가됨에 따라 다소 안정된 강도저하 특성을 보이고 있다. 이는 합성섬유가 이질체로 시멘트 복합체의 공극 등과 같은 내부결함으로 에너지를 흡수하기 때문인 것으로 판단된다.

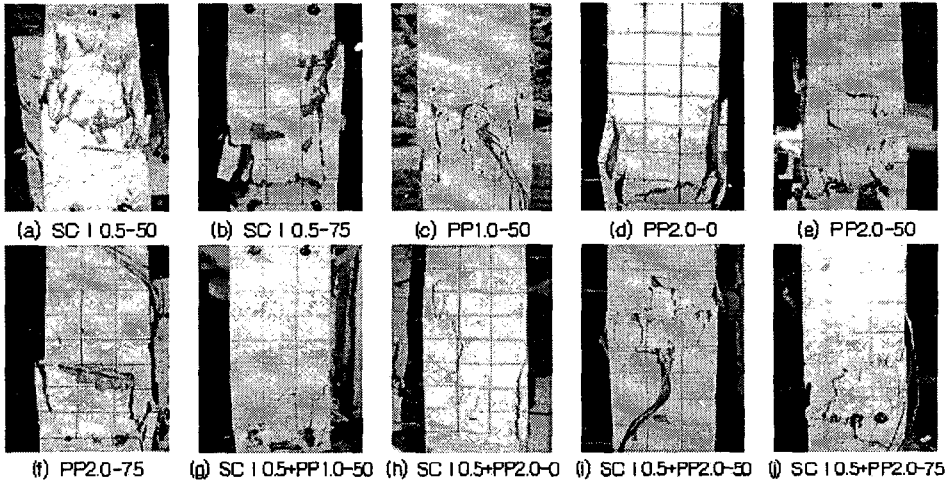


그림 3 시험체 최종 파괴양상

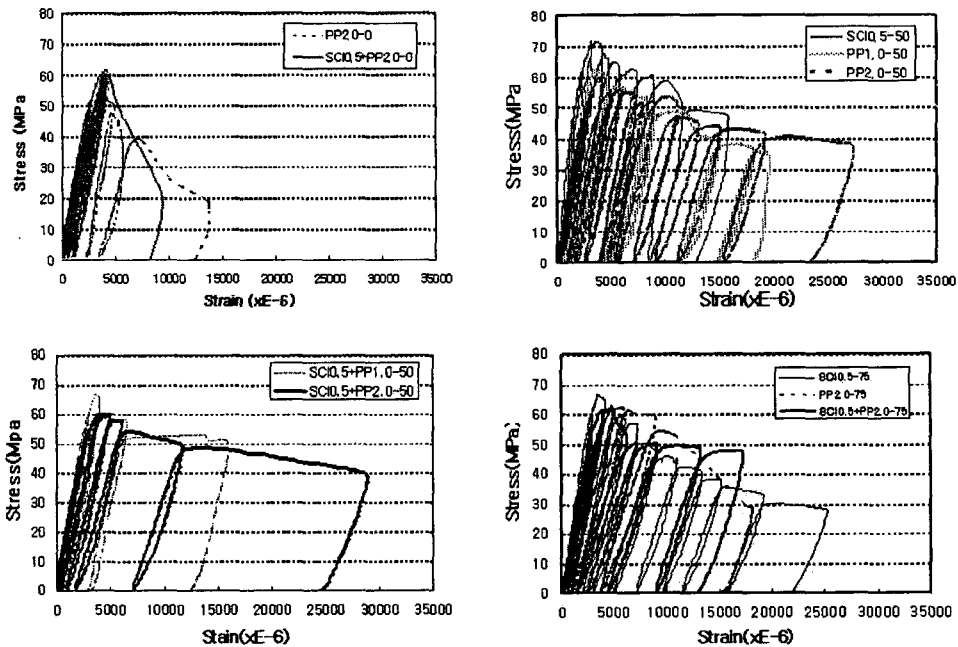


그림 4 시험체의 압축응력-변형도 관계곡선

### 3.2 최대강도 및 연성

표2에서 보는 바와 같이 강섬유만을 사용한 시험체가 합성섬유(PP2.0%)만을 사용한 시험체보다 최대강도가 약20% 증가되었으며 강섬유와 합성섬유를 혼합한 경우에는 약10%의 최대강도 증가를 보이고 있다. 실험값과 이론적인 계산값과 비교한 결과,  $P_{max}/P_o$ 이 1.0~1.33 범위에 분포하고 있어 이론값이 실험값을 안전적으로 평가하는 것으로 나타났다. 시험체별 연성비를 평가한 결과 강섬유만을 사용한 시험체의 경우 보다는 합성섬유(PP)만을 사용한 시험체가 증가된 연성비를 보이며 횡보강근의 간격이 50mm인 강섬유와 합성섬유를 함께 사용한 시험체의 경우에는 합성섬유만을 사용한 시험체보다 약 30% 연성비가 증가되었으나, 횡보강근이 없거나 상대적으로 낮은 횡보강근비를 갖는 시험체의 경우에는 연성비의 차이가 크지 않았다.

표 2 실험결과 및 분석

시험체	섬유혼입율 (Vol. %)		횡보강근	콘크리트 강도 (MPa)	최대하중(kN)			변형도		연성비 $\epsilon_{80\%}/\epsilon_y$
	SCI	PP			실험값 ( $P_{max}$ )	계산값 ( $P_o$ )	$P_{max}/P_o$	$\epsilon_{max}$	$\epsilon_{80\%}$	
SC I 0.5-50	0.5	-	D6@50	51.91	1,585	1,196	1.33	4,025	10,616	5.31
SC I 0.5-75	0.5	-	D6@75	51.91	1,473	1,196	1.23	3,537	7,500	3.75
PP1.0-50	-	1.0	D6@50	48.90	1,376	1,140	1.21	3,535	8,850	4.43
PP2.0-0	-	2.0	-	56.32	1,356	1,279	1.06	4,060	5,200	2.60
PP2.0-50	-	2.0	D6@50	56.32	1,293	1,279	1.01	3,853	11,667	5.83
PP2.0-75	-	2.0	D6@75	56.32	1,379	1,279	1.08	5,980	11,050	5.53
SC I 0.5+PP1.0-50	0.5	1.0	D6@50	56.02	1,474	1,273	1.16	3,707	13,729	6.86
SC I 0.5+PP2.0-0	0.5	2.0	-	49.03	1,326	1,143	1.16	4,450	5,600	2.80
SC I 0.5+PP2.0-50	0.5	2.0	D6@50	49.03	1,328	1,143	1.16	4,352	15,746	7.87
SC I 0.5+PP2.0-75	0.5	2.0	D6@75	49.03	1,363	1,143	1.19	4,017	12,730	6.37

### 4. 결론

강섬유(Steel cord)와 폴리프로필렌(PP)를 혼합한 고인성 섬유보강 시멘트 복합체를 사용한 철근콘크리트 기둥에 중심 축력을 작용하여 강섬유와 폴리프로필렌의 혼합비율에 따른 실험 결과 강섬유만을 혼입된 시험체와 합성섬유만을 혼입한 시험체는 각각 연성능력과 최대강도에 대한 상대적인 단점을 가지고 있으며 이를 보완하기 위해 제작된 즉, 강섬유와 합성섬유를 함께 혼입한 시험체는 횡보강근비 1.6%(간격 50mm)인 경우에 대해 기둥의 최대강도 및 연성을 향상시키는 것으로 나타났다.

### 참고문헌

- 1) Li, V.C.(2002), "Structural composites with ECC", Proceedings of the ASCCS-6, Edited by Y. Xiao and S.A. Mahin, USC, pp.1001-1008
- 2) 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전에스더, 문연준(2004), "Steel Cord와 PVA 혼합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 비빔 및 압축강도 특성", 한국콘크리트학회 춘계학술발표대회 논문집
- 3) 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전에스더, 문연준(2004), "복합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 특성", 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집
- 4) 윤현도, 양일승, 한병찬, 福山洋, 전에스더, 문연준(2004), "복합섬유 보강 고인성 시멘트 복합체의 인장거동", 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집