

PVA섬유를 사용한 고인성 시멘트 복합체 기둥의 압축거동

Axial Behavior of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite Columns with PVA Fibers

변장배* 전수만* 전에스터* 김선우** 황선경*** 윤현도**** 임병훈*****
Byun, Jang Bae Jeon, Su Man Jeon, Esther Kim, Sun Woo Hwang, Sun Kyung Yun, Hyun Do Lim, Byung Hun

ABSTRACT

An experimental investigation on the strength and behavior of High Performance Fiber Reinforced Cement Composite(HPFRCC) column with Polyvinyl alcohol(PVA) fibers under axial load have been carried out. The columns were subjected to monotonic axial compression until failure. The variables in this study are the combination ratio of PVA, and the volumetric ratio of transverse reinforcement. Test results showed that the fibers, when used in PVA2.0, could result in superior composite performance compared to their individual fiber reinforced cement composites.

1. 서 론

건축물이 초고층화, 대형화 및 특수화됨에 따라 하부층 기둥에 고강도 콘크리트의 사용이 요구되고 있으며 고강도 콘크리트는 기둥의 강성 및 강도증가, 부재단면의 축소, 조기 강도 발현에 따른 공기단축 등 여러 이점을 가지고 있다. 그러나 콘크리트는 높은 압축강도에 비해 인장강도가 현저히 낮아 매우 취성적인 파괴양상을 나타내며, 따라서 축력을 받는 기둥부재에서의 적절한 연성능력의 확보가 중요하다 할 수 있다. 또한 ACI 기준¹⁾에서는 기둥의 변형능력을 확보하기 위하여 횡보강근으로 코어 콘크리트를 구속시키도록 의무화하고 있는 실정이나, 최근 건축구조설계기준(2005)²⁾의 내진규정이 강화되면서 요구되는 기둥의 연성확보를 위한 배근상세가 복잡하고 시공성이 저하되고 있는 실정이다.

이에 최근 콘크리트의 취성적 성질을 개선함과 동시에 변형능력을 확보하기 위하여 고인성 시멘트 복합체(High Performance Fiber Reinforced Cement Composite, 이하 HPFRCC라 함)에 관한 연구 및 개발이 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. 이러한 HPFRCC는 압축응력 하에서 혼입된 섬유의 종류와 혼입률에 따라 최대내력 이후 연성적인 거동 확보가 가능하며, 횡보강근으로 구속된 콘크리트와 유사한 압축거동특성을 보이게 된다³⁾. 이와 같은 HPFRCC의 재료특성상 이점으로 인하여 다양한 철근콘크리트 부재에 HPFRCC의 적용시 파괴기구, 변형능력, 이력특성 및 손상 등을 적절하게 제어할 수 있는 것으로 알려져 있다⁴⁾.

본 연구에서는 구조부재 중 주로 압축력을 받는 기둥에서의 배근상세를 단순화하고 시공성을 향상 시키고자 하는 연구의 일환으로 폴리비닐알코올(Polyvinyl alcohol, 이하 PVA라 함)섬유를 혼입한 HPFRCC를 기둥에 적용하여 중심축력 작용시 섬유혼입률 및 횡보강근 간격에 따른 기둥의 파괴양상과 HPFRCC의 구속력 및 보강효과를 실험적으로 비교·검토하여 기둥과 같은 압축력을 받는 부재에 대한 섬유의 보강효과를 규명하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험체 계획

HPFRCC 기둥에서 PVA섬유의 혼입률 및 횡보강근 간격에 따른 압축거동 특성을 평가하기 위해 표 1과 같이 섬유가 혼입되지 않은 Mortar부터 시공성을 고려한 PVA섬유의 최대 혼입률인 2.0%까지 총 5개의 시험체를 계획하였다.

* 정희원, 충남대 건축공학과 석사과정

** 정희원, 충남대 건축공학과 박사과정

*** 정희원, 우송대 건축학부 초빙교수, 공학박사

**** 정희원, 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

***** 정희원, 우송대 건축학부 교수, 공학박사

표 1 시험체 일람표

시험체명	주근 (체적비, %)	횡보강근	
		철근간격	체적비(%)
Mortar-1.6	4-D13 (2.26)	D6@50	1.6
PVA1.0-1.6			
PVA2.0-1.6		-	-
PVA2.0-0		-	-
PVA2.0-1.0		D6@75	1.0

* PVA(섬유명)1.0(혼입물)-1.6(횡보강근 체적비)

표 2 PVA섬유의 특성 및 형상

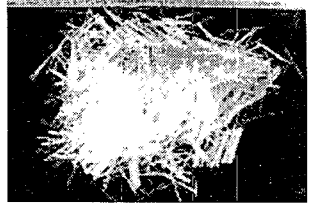
비중 (kg/cm ³)	길이 (mm)	직경 (μ m)	
1,300	12	39	
형상비	인장강도 (N/mm ²)	탄성계수 (kN/mm ²)	
307	1,600	40	

표 3 HPFRCC의 배합 및 공시체 압축강도

사용재료	물-시멘트비	섬유혼입율 (Vol. %)	단위중량(kg/m ³)			압축강도 f_{cu} , (N/mm ²)
			물	시멘트	모래	
Mortar	0.45	-	474.6	1,055	421.9	50.70
PVA1.0	0.45	1.0	471.1	1,047	418.8	58.16
PVA2.0	0.45	2.0	466.2	1,036	414.4	55.31

표 4 철근의 기계적 특성

철근의 종류	항복강도 f_y , (N/mm ²)	항복변형률 ϵ_y	인장강도 f_t , (N/mm ²)	탄성계수 E_s , (kN/mm ²)
D6	325.19	1,668	455.01	195.0
D13	444.96	2,438	568.59	182.5

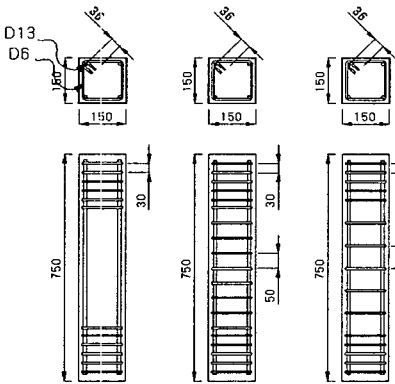


그림 1 시험체 배근상세(Unit : mm)

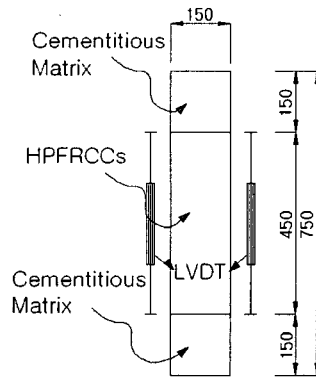


그림 2 LVDT 설치상황

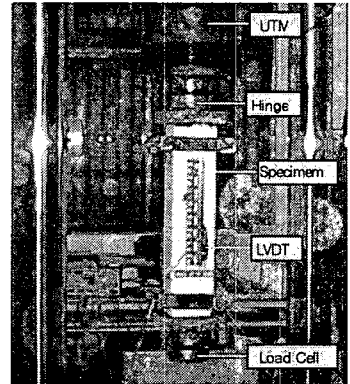


그림 3 시험체 설치상황

그림 1에 나타난 바와 같이 모든 시험체의 단면은 150mm×150mm, 높이는 750mm이며, 실험구간(450mm)에는 Mortar 및 PVA섬유 혼입물 1.0 및 2.0인 HPFRCC를 타설하였고 Mortar로 타설된 상하단 가력부(150mm)에는 응력집중으로 인한 파괴를 방지하기 위하여 횡보강근을 30mm 간격으로 조밀하게 배근하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 PVA섬유는 일본 K사의 REC15로써 길이 12mm, 직경 39 μ m, 인장강도 1600N/mm²로 표 2에 나타난 바와 같다. 각 시험체의 배합 및 공시체 압축강도는 표 3에 나타내었으며, 동일한 물시멘트비(45%)에서 Mortar의 압축강도는 PVA1.0 및 PVA2.0을 배합한 시험체의 87.17~91.66%로 나타났다. 본 연구에서 사용한 주근 및 횡보강근은 D13 및 D6으로 KS D 0802의 금속재료 인장시험 방법에 따라 인장시험을 실시하였으며 그 결과를 표 4에 나타내었다.

2.3 실험방법 및 측정장치

중심축력을 받는 HPFRCC의 기동실험은 5,000kN 용량의 만능재료시험기(UTM)를 이용하여 단조가력하였고, 시험체 단부의 국부적인 파괴를 방지하기 위해 보강철물을 시험체 상·하단부에 각각 설치하였으며 시험체 설치상황은 그림 3과 같다.

또한 그림 2에 나타난 바와 같이 실험구간에서 발생하는 변형률을 측정하기 위해 변위계(LVDT)를 시험체 양측에 각각 설치하였다.

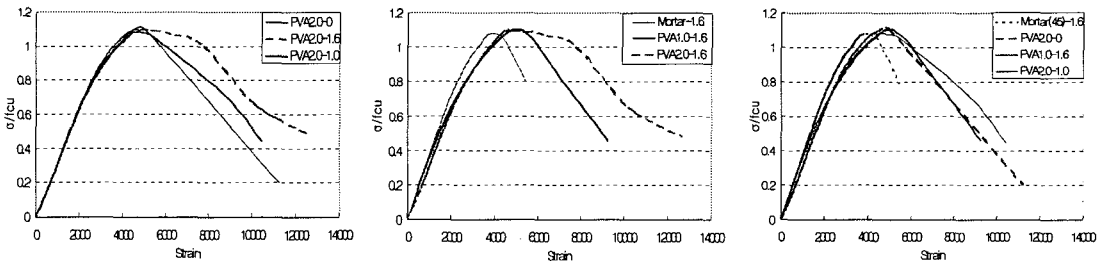
3. 실험결과 및 분석

3.1 응력-변형률 관계곡선

본 연구는 중심축력을 받는 HPFRCC 기둥에서 PVA섬유의 혼입률(0, 1.0, 2.0%) 및 횡보강근 체적비($\rho_h=0, 1.0, 1.6\%$)에 따른 압축거동 특성을 평가하기 위한 실험으로써, 각 시험체별 응력을 재료의 공시체 압축강도로 나누어 무차원화시킨 응력-변형률 관계곡선을 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)에 나타난 바와 같이 PVA섬유의 혼입률을 2.0%로 동일하게 하였을 경우 횡보강근 체적비는 최대강도에 영향을 미치지 않고 체적비가 높을수록 변형능력이 향상되는 것으로 나타났다. 한편 횡보강근이 배근되지 않은 PVA2.0-0 시험체는 최대하중 이후 주근의 좌굴로 인해 급격한 하중저하를 보였으며, 횡보강근이 조밀하게 배근될수록 하중저하율이 완만한 안정적 거동을 나타내었다. 또한 그림 4(b)는 섬유 혼입률에 따른 응력-변형률 관계곡선으로 PVA1.0-1.6 및 PVA2.0-1.6 시험체의 최대하중은 Mortar-1.6 시험체에 비해 각각 17.17% 및 10.6% 크게 나타나 섬유혼입에 따른 강도증가를 나타내었다. 또한 그림 4(c)에 나타난 바와 같이 PVA2.0-0 시험체에서는 Mortar-1.6 시험체에 비해 최대강도가 11.82% 향상되었으며 보다 연성적인 거동을 보였다. 그리고 PVA1.0-1.6 시험체에 비해 PVA2.0-1.0 시험체가 최대내력은 낮게 나타났으나 보다 연성적인 거동을 보였다.

3.2 최종파괴양상

그림 5에 시험체의 최종파괴양상을 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 Mortar-1.6 시험체에서는 가력 초기에 수직방향균열이 발생한 후 피복콘크리트가 박리되어 취성적으로 파괴되는 전형적인 콘크리트의 파괴양상을 나타내었으나[그림 5(a)], 2.0%의 PVA섬유가 혼입되고 횡보강근이 배근된 시험체 [그림 5(d)~(e)]의 경우 시험체 모두에서 미세균열분산특성을 나타내어 연성적인 파괴를 나타내는 것으로 보아 PVA섬유의 가교작용에 의해 피복 박리를 제어하고 연성적인 거동을 유도(Damage Fuse) 하는 것으로 판단된다.

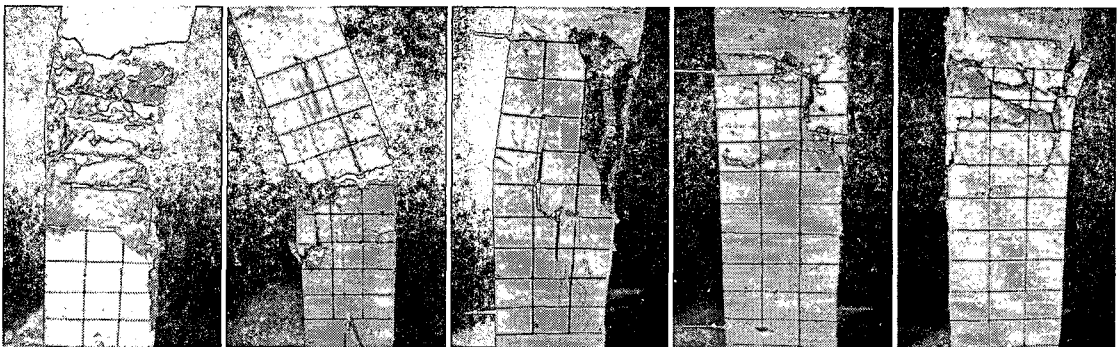


(a) 횡보강근 간격

(b) 섬유혼입률($\rho_h=0.016$)

(c) 각 시험체 결과 비교

그림 4 응력-변형률 관계곡선



(a) Mortar-1.6

(b) PVA1.0-1.6

(c) PVA2.0-0

(d) PVA2.0-1.0

(e) PVA2.0-1.6

그림 5 최종파괴양상

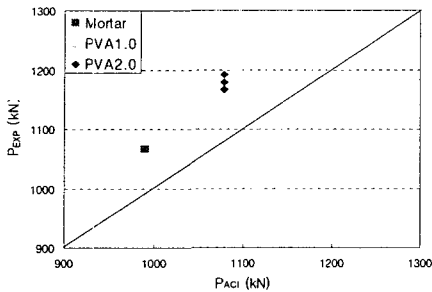


그림 6 ACI규준식과의 비교

표 5 실험결과

시험체명	최대하중(kN)			변형도		연성비
	실험값 (P _{EXP})	계산값 (P _{ACI})	P _{EXP} /P _{ACI}	ε _{max}	ε _{80%}	
Mortar-1.6	1066	990	1.07	3,888	5,214	1.34
PVA1.0-1.6	1249	1132	1.10	4,994	6,684	1.34
PVA2.0-0	1192	1078	1.11	4,772	6,486	1.36
PVA2.0-1.6	1179	1078	1.09	4,952	8,622	1.74
PVA2.0-1.0	1167	1078	1.08	4,586	7,326	1.59

3.3 ACI 규준식과의 비교 및 연성비 평가

압축응력을 받는 HPRFRC 기둥의 실험결과 및 ACI318-05 규준식에 의한 계산값과 연성비를 비교하여 그림 6 및 표 5에 나타내었다. 계산값에 대한 실험값의 비율인 P_{EXP}/P_{ACI} 값이 1.08~1.11로 나타나, 현 ACI 규준식에 의한 계산값이 HPRFRC 기둥의 내력을 안정적으로 평가하는 것으로 나타났다. 그러나 PVA1.0-1.6 시험체에서는 편심에 의한 급격한 파괴로 인해 Mortar-1.6 시험체와 유사한 연성비를 나타내었다. 섬유혼입률에 따른 연성비 평가에서 PVA2.0-1.6은 Mortar-1.6에 비해 연성비가 29.85% 증가하였으며 횡보강근 간격에 따른 연성비는 PVA2.0-1.6>PVA2.0-1.0>PVA2.0-0 순으로 나타나 섬유 및 횡보강근이 기둥의 단면구속능력에 효과적인 것으로 판단된다.

4. 결 론

기둥부재에서 배근상세의 단순화 및 시공성 향상을 위한 연구의 일환으로 폴리비닐알코올(Polyvinyl alcohol, 이하 PVA)섬유를 혼입한 HPRFRC를 기둥에 적용하여 중심축력 작용시 섬유혼입률 및 횡보강근 간격에 따른 기둥의 파괴양상과 HPRFRC의 구속력 및 보강효과를 실험적으로 비교·검토하여 기둥과 같은 압축력을 받는 부재에 대한 섬유의 보강효과를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 중심축력을 받는 HPRFRC 기둥에서 PVA섬유의 혼입률 및 횡보강근 체적비가 증가할수록 압축력에 따른 균열제어로 인해 피복의 박리를 억제하고 연성적인 파괴를 유도하는 것으로 나타났다.
- 2) 횡보강근이 배근되지 않은 PVA2.0-0 시험체의 최대하중 및 연성비가 횡보강근비 1.6%의 Mortar-1.6 시험체에 비해 각각 11.82% 및 1.5%증가하는 것으로 나타나 HPRFRC 기둥에서 섬유 혼입에 따른 횡보강 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 3) 압축응력을 받는 기둥의 실험값과 ACI 규준식에 의한 계산값을 비교한 결과 P_{EXP}/P_{ACI} 값이 1.08~1.11로, 현 ACI 규준식에 의한 계산값이 HPRFRC 기둥의 내력을 안정적으로 평가하는 것으로 나타나 HPRFRC를 적용한 기둥에서도 ACI 규준의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

위의 연구결과를 통해 중심축력을 받는 기둥에서 섬유의 혼입에 따른 횡보강근 대체 가능성을 확인할 수 있었으며 향후 이에 관련된 폭넓은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 03산학연A10-01)과 한국과학재단 특정기초 연구(과제번호 R01-2005-000-10546-0)의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부이며 이에 감사드립니다.

또한 본 실험을 위해 장소 및 실험기기를 제공해주신 충주대학교 윤승조 교수님과 서수연 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-05)" American Concrete Institute
2. 건축구조설계기준(2005), 대한건축학회
3. 황선경, 윤현도, 한병찬, 박완신, 김선우, 양일승(2004), "고인성 섬유보강 시멘트 복합체를 사용한 콘크리트 기둥의 강도와 연성", 대한건축학회 추계학술발표대회논문집 24(2), pp.123-126
4. 윤현도, 양일승, 한병찬, 김선우, 전에스더, 최창식(2005), "코인 5연선 강섬유를 사용한 고인성 시멘트 복합체의 특성"