섬유보강콘크리트기둥의 균열 및 파괴거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Crack and Fracture Behavior of FRC Column

박 승 범* 김 의 성** 홍 석 주*** 윤 준 석****
Park, Seung Bum Kim, Eu Sung Hong, Seok Joo Yoon, Joon Seok

ABSTRACT

This paper describes an experimental study on the crack and fracture behavior of the FRC column.

The test were carried out as Fiber contents in the Steel Fiber Reinforced Concrete and addition of Polypropylene Fiber in PFRC for evaluate the ability of ductility.

In this study, the width and size of crack reduced remarkably and the progress of cracks were restrained by the steel fiber contents incresing, and in the case of PFRC the occurrence of initial crack reduced conspicuously.

Accordingly, the addition of steel fiber in Reinforced Concrete Columns considerably prevent an unexpected buckle and rupture, secure durability and stability of columns.

1. 서 론

최근 고층 구조물에 자주 사용되고 있는 고강도콘크리트는 압축재로서는 우수한 내력을 보유하고 있으나, 지진하중 등과 같은 횡하중에 대하여 필요한 변형능력을 확보하지 못하는 구조적인 문제점을 내포하고 있다. 일반적으로 철근 콘크리트 건물은 기둥과 보를 구성하는 철골골조가 대부분인데 그 골조에는 휨모멘트와 다른 응력이 작용한다. 지진의 발생시에는 큰 수평하중이 반복하여 작용하므로 평상시에 받는 하중에 추가되어 큰 응력이 작용하게 된다. 지진 피해의 대부분이 기둥 부분에 집중되므로 골조의 내진성향상에 있어서는 기둥의 내력과 인성 향상이 가장 중요한 과제이다. 따라서, 본 연구에서는 고강도 콘크리트의 단점인 취성적 성질을 개선할 목적으로 강섬유 및 폴리프로필렌섬유를 혼입한 압축강도 450kg/cm^2 이상의 고강도 섬유보강콘크리트 기둥 모델을 제작하여 기둥의 균열억제 성능 등을 고찰하였으며, 섬유의 혼입에 의한 고강도 콘크리트기둥의 전단내력과 인성 및 내진성능의 향상을 고찰하기 위한 연구를 수행하였다.

1) * 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수
2) ** 정회원, 동부건설(주) 기술연구소장
3) *** 정회원, 충남대학교 대학원 박사과정
4)**** 정회원, 충남대학교 대학원 석사과정

2. 사용재료 및 시험방법

2.1 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 금강 상류에서 채취한 강모래, 굵은골재는 충남 금산 H사에서 생산되는 최대치수 20mm의 부순돌을 사용하였다. 그리고, 강섬유는 Belgium의 B사 제품의 ZC30/0.5(지름/길이) 양단Hook형 강섬유를 사용하였으며, 폴리프로필렌 섬유는 국내 S사 제품의 치수 19mm의 망사형(PM TYPE)의 폴리프로필렌 섬유를 사용하였으며, 혼화재로는 표준형 AE제로 AEA202를 사용하였고, 고성능감수제로는 일본 K사 제품의 나프탈렌 설폰산염 고축합물계인 Mighty 150을 사용하였다.

2.2 배합 및 기둥(Column)구조 모델의 제작및 성능시험

2.2.1 배 합

아래의 배합표와 같이 압축강도 450kg/cm^{2}의 고강도 콘크리트를 목표로 강섬유보강인 경우 치수 ϕ 0.5×30mm인 양단 Hook형 강섬유를 0.5, 1.0, 1.5vol.%로 혼입한 강섬유 보강 콘크리트와 섬유길이 19mm의 망사형 폴리프로필렌 섬유를 0.1vol.% 혼입한 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트를 제작하였으며, 이들 섬유보강콘크리트에 대한 배합은 표 1에 나타낸바와 같다.

표 1. 모의 구조모델용 섬유보강 콘크리트의 배합

섬유 종류	섬유 혼입율 (vol.%)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 중 량(kg/m^3)					
				C	W	S	G	Fiber	S.P
Plain	0	40	50	500	200	765	783	0	1
S.Fiber	0.5			500	200	759	776	39	2
	1.0			500	200	752	770	78.5	3.5
	1.5			500	200	746	763	117.8	5
P.Fiber	0.1			500	200	765	783	0.9	1

2.2.2 기둥(Column) 구조 공시체의 제작

본 실험은 축력과 휨전단을 받는 RC기둥 부재의 파괴상황 및 변형능력과 이력특성을 구명하기 위하여 배합종류별 5개의 공시체를 제작하였고, 공시체는 전단스팬비(a/d)를 2.0으로 고정하고, 압축강도가 450kg/cm^{2}이상의 콘크리트를 사용하였으며, 모든 기둥시험체에 대하여 횡단면은 20cm×20cm이고 길이는 80cm, 피복두께는 1.5cm로하여 제작하였다.

시험체에 사용된 주근은 SD40의 D13이고 전단보강근은 SS41의 ϕ6을 사용하였으며, 실험체 상하단의 스터브는 D13, D10을 이용하여 실험시 충분한 강성을 갖도록 단면치수를 결정하였다. 횡보강근의 형태는 폐쇄형 후프근으로 제작한 Hoop Type으로 하였으며, 시험체의 철근배근 조립 완료후 와이어 스트레인게이지(WSG)를 배근된 주근 및 전단보강근의 특정 위치에 부착 방수 처리하였다.

콘크리트의 타설은 조립식 거푸집을 수평으로 눕혀서 타설하였고, 진동다짐기를 사용하여 충분히 다짐을 실시하였으며, 각각의 시험체에 대하여 압축강도 공시체를 제작하였다. 또한, 기둥 시험체의 거푸집은 타설후 5일후에 탈형하였고 매일 수차례 살수하여 시험재령 28일 까지 습윤양생을 실시하였다.

2.2.3 기둥(Column) 구조 성능시험

(1) 철근의 인장강도 실험

본 실험체에 사용된 철근은 D13, Ø6으로서 KS D 0801(금속재료 인장시험편 규정)의 규정에 따라 시험편을 제작하였으며, KS B 0802의 금속재료 인장시험 방법에 따라 인장시험을 실시하였다. 철근의 물리적성질 실험결과는 표 2에 나타내었다.

(2) 콘크리트의 압축강도 실험

콘크리트 압축강도 시험용 공시체는 KS F 2404에 따라 직경 10cm, 높이 20cm의 실린더용 몰드를 사용하여 제작하였으며, 공시체는 24시간이 지난 후 몰드를 제거하여 본 실험체와 동일한 조건하에 양생시켰으며, 기둥시험체 시험과 같은 재령에 일본 M사 제품의 용량 100ton의 U.T.M을 사용하여 압축강도를 측정하였으며 콘크리트의 압축강도는 각 실험체 별로 제작한 3개의 공시체에 대한 평균값으로 하였다. 콘크리트 압축강도 시험결과는 표 3에 나타내었다.

표 2. 철근의 기계적 성질

종 류	항복강도 (kg/㎠)	인장강도 (kg/㎠)	항복 변형도	인장 변형도	탄성계수 ×10⁶kg/㎠
이형철근 (D13)	4890	5641	0.0021	0.1410	23.0
원형철근 (Φ6)	4190	5500	0.0038	0.0800	17.0

표 3. 콘크리트의 압축강도

종 류	압 축 강 도 (kg/cm^2)
Plain	452
SF - 0.5%	460
SF - 1.0%	479
SF - 1.5%	504
PF - 0.1%	454

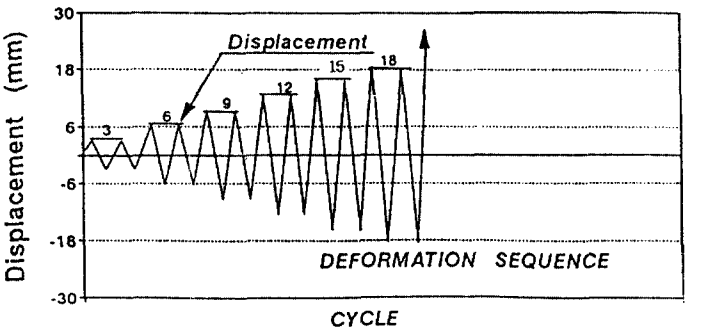

그림 1. 횡하중 제어시 적용된 변이이력

3. 시험결과 및 고찰

전반적인 균열패턴은 모든 시험체에 대하여 초기 휨균열이 부재의 끝부분 근처에서 발생하고 그 다음의 휨전단균열은 끝으로부터 더 멀리 떨어진 부분으로 진행하고 있음을 보여준다.

또한 시험체에 설치한 SDT와 횡하중 가력시 로드셀에서 얻어진 데이타를 가지고 다음의 그림 3, 5, 7과 같이 하중-변위 관계 곡선을 나타내었다. 이 곡선은 시험체의 변형능력, 휨내력, 전단내력, 강성, 에너지 소산능력에 대한 비교 및 평가에 있어 중요한 자료가 된다.

철근 콘크리트 기둥에 대한 강섬유의 혼입에 의하여, 부재의 끝부분에서 휨균열, 휨전단균열, 전단균열의 발생은 막을수는 없으나, 어느정도까지는 부재의 끝부분에서 전단균열의 발생과 부재에서의 중간부분의 부착할렬균열의 발전을 방지할 수 있었으며, 강섬유 혼입률이 높아짐에 따라 동일변위에서 발생균열의 폭과 크기가 현저히 작아지고 균열의 진전이 상당히 억제되는 것으로 나타났다.

폴리프로필렌 섬유를 0.1vol.% 혼입시킨 철근콘크리트 기둥은 섬유를 혼입하지 않은 보통 철근콘크리트 기둥에 비하여 초기균열 발생을 상당히 억제하는 것으로 나타났으나, 파괴거동과 균열진전은 거의 차이를 보이지 않아 내하력 증진과 인성확보라는 측면에서는 거의 작용을 하지 못하는 것으로 나타났다.

3.1 각 시험체의 파괴모드

(1) Plain

초기균열은 횡하중이 10.6ton(횡변위 1.71mm)에 도달할 때 기둥우측상부의 단부에 수평으로 휨균열이 나타났으며, 횡변위 6mm에 도달했을 때에는 균열이 단면의 중앙부로 진행되면서, 하단부의 단부에 휨균열이 발생하였다. 횡변위가 9mm에 도달했을 때 상부의 전단보강근이 끊어지는 동시에 주근이 좌굴되면서 시험체의 상단부가 파괴되었다.

(2) SF 0.5%

초기균열은 횡하중이 12.5ton(횡변위 1.9mm)에 도달할 때 기둥우측상부의 단부에 휨균열이 나타났으며, 횡변위 7mm에 도달했을 때에는 균열이 단면의 중앙부로 진행되면서, 하단부의 단부에 휨균열이 발생하였다. 횡변위가 12mm에 도달했을 때 상부의 전단보강근이 끊어지는 동시에 주근이 좌굴되면서 시험체의 상단부가 파괴되었다.

(3) SF 1.0%

초기균열은 횡하중이 15.8ton(횡변위 2.6mm)에 도달할 때 기둥우측상부의 단부에 수평으로 휨균열이 나타났으며, 횡변위 15mm에 도달했을 때에는 균열이 단면의 중앙부로 진행되었다. 횡변위가 18mm에 도달했을 때 상부의 전단보강근이 끊어지는 동시에 주근이 좌굴되면서 시험체의 상단부가 파괴되었다.

(4) SF 1.5%

초기균열은 횡하중이 16.5ton(횡변위 2.5mm)에 도달할 때 기둥우측상부의 단부에 수평으로 휨균열이 나타났으며, 횡변위 18mm에 도달했을 때에는 균열이 단면의 중앙부로 진행되었다. 횡변위가 30mm에 도달했을 때까지도 파괴가 이루어지지 않고 저항을 계속유지하였다.

(5) PF 0.1%

초기균열은 횡하중이 13ton(횡변위 1.6mm)에 도달할 때 기둥우측상부의 단부에 수평으로 휨균열이 나타났으며, 횡변위 6mm에 도달했을 때에는 균열이 단면의 중앙부로 진행되면서, 하단부의 단부에 휨균열이 발생하였다. 횡변위가 9mm에 도달했을 때 상부의 전단보강근이 끊어지는 동시에 주근이 좌굴되면서 시험체의 상단부가 파괴되었다.

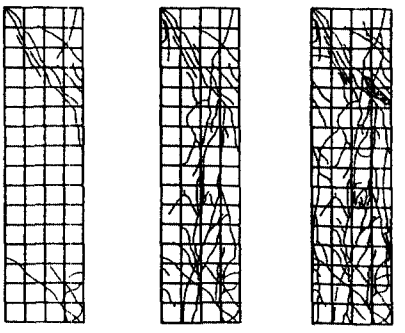

그림2. 변위별 균열형태(Plain)

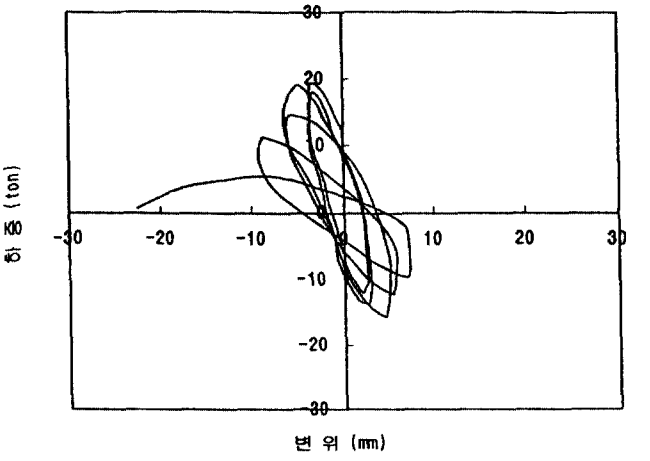

그림3, 구조시험체의 하중-변위 곡선(Plain)

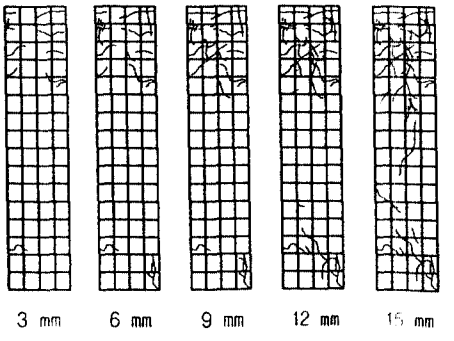

그림4. 변위별 균열형태(SF-1.0%)

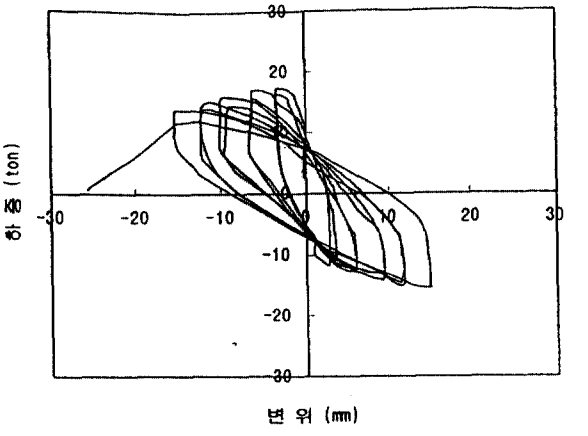

그림5. 구조시험체의 하중-변위 곡선(SF-1.0%)

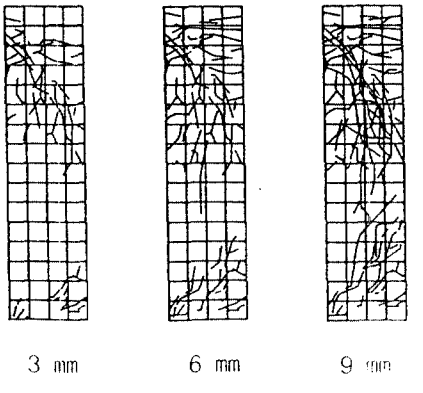

그림6. 변위별 균열형태(PF-0.1%)

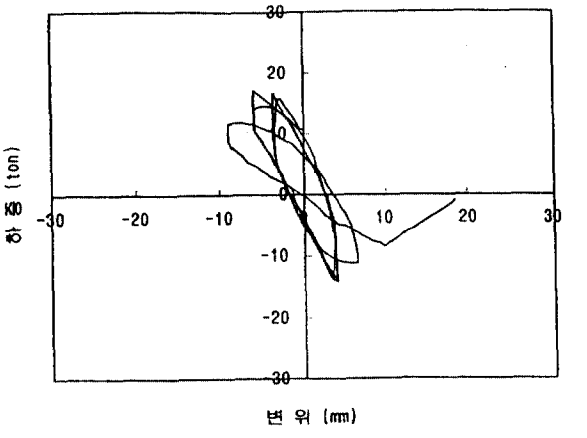

그림7. 구조시험체의 하중-변위 곡선(PF-0.1%)

표 4. 초기균열과 파괴균열에 따른 하중과 횡변위

공시체 번호	초기균열		파괴균열
	하중(ton)	횡변위(mm)	횡변위(mm)
Plain	10.6	1.71	9.0
SF-0.5	12.5	1.9	12.0
SF-1.0	15.8	2.6	18.0
SF-1.5	16.5	2.5	30.0
PF-0.1	14.5	1.6	9.0

4. 결 론

본 연구에서 수행한 고강도 섬유보강 콘크리트 기둥의 전단내력과 인성 및 내진성능의 향상에 대한 결과는 다음과 같다.

1. 철근콘크리트 기둥에 대한 강섬유의 혼입은 부재의 단부에서 발생하는 휨균열, 휨전단균열, 전단균열을 완벽하게 제거할 수는 없으나, 어느 정도까지는 단부에서의 전단균열의 발생과 부재의 중간부분에서의 부착할렬균열의 발전을 방지할 수 있었다.
2. 강섬유의 혼입률이 높아짐에 따라 동일변위에서 발생한 균열의 폭과 크기는 현저히 작아지고, 균열의 진전이 상당히 억제되는 것으로 나타났으며, 섬유혼입률 0.5, 1.0, 1.5vol.%에 대한 초기균열의 하중값은 보통 철근콘크리트에 비하여 각각 17.9%, 49.1%, 55.7% 증가함을 나타내었다.
3. 폴리프로필렌 섬유를 혼입한 경우는 보통 철근콘크리트의 경우에 비하여 초기균열 발생을 상당히 억제하는 것으로 나타났으나, 결과적으로는 거의 유사한 파괴거동과 균열을 발생시켜 내하력 증진과 인성확보라는 측면에서는 거의 작용을 못하는 것으로 판단된다.

따라서, 철근콘크리트 기둥에 대한 강섬유의 혼입은 부재에 높은 연성을 발생시켜 갑작스런 기둥의 좌굴과 파괴를 예방할수있으며, 균열의 억제로 인한 철근의 부식을 방지하여 기둥의 내구성과 안정성을 장기적으로 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 충남대학교와 동부건설(주) 기술연구소 공동으로 수행된 건교부 '97 건설기술연구개발사업의 연구내용중 일부임을 밝히며, 본 연구를 위하여 협조하여 주신 관계당국과 여러분께 깊은 감사를 드립니다

참 고 문 헌

1. Park, S.B., " Development and Applications of Fiber Reinforced Concrete ", J. of KCI, Vol.2, No.1, pp.11~19, 1990
2. Soesianawati. M, T., "Limited Ductility of Reinforced Concrete Columns", Reseach Report No 86-10, university of Canterbury, Christchurch, Mar.
3. H.Muguruma and F.Watanabe, "Ductility Improvement of High-Strength Concrete Columns with Lateral Confinement", ACI, High-Strength Concrete Second International Symposium, SP121, PP47~60, 1990