

철근 콘크리트 보-기둥 외측 접합부에 적용된 강섬유의 효과에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Effects of Steel Fibers used at
R/C Exterior Joints

최기봉*
Choi, Ki-Bong

오종한**
Oh, Jong-Han

김 재***
Kim, Jae

Abstract

An experimental study was performed on the pull-out behavior of 90-deg standard hooks from exterior beam-column connections. The effects of lateral confinement and fiber reinforcement of joint area were investigated. It was concluded : (1) Substitution of the transverse column (confining) reinforcement with steel fibers at the joint region effectively reduces the extent of cracking in exterior joints caused by pull-out of hooked bars; and (2) The strength and ductility of hooked bars under pull-out forces are positively influenced by substituting the conventional confining reinforcement of exterior joints with steel fibers. Application of steel fibers to exterior joints seems to be an effective technique for improving the anchorage conditions of hooked bars, and also for reducing the congestion of reinforcement in exterior beam-column connections.

1. 서 론

철근콘크리트 구조물의 보-기둥 접합부가 재하되면, 외측 기둥과 보의 접합부에 상대적으로 큰 휨모멘트가 나타나게 된다. 이러한 치명적인 보 부분에 충분한 휨강도를 주기 위해서 접합부 안

쪽의 보 주철근을 완전하게 부착시키기 위하여 내진설계시 과도한 횡보강철근이 사용되어지며 이로인한 시공 및 경제적 손실이 매우 크다고 사료된다.

최근 이러한 요구에 부응하여 섬유보강재를 사용한 연구가 매우 활발하게 수행되고 있으며 특

* 정희원, 경원대학교 건축학과 부교수

** 경원대학교 건축학과 공학석사

*** 경원대학교 건축학과 석사과정

● 본 논문에 대한 토의를 11월 30일까지 학회로 보내주시면 1999년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

히 SFRC(Steel Fiber Reinforced Concrete)의 활용에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

일반콘크리트에 비하여 SFRC는 강도증진 뿐만 아니라 특히 연성의 증가를 가져오므로써 일반 콘크리트의 최대 취약점이라고 할 수 있는 취성을 극복한다. 따라서 이 특성을 충분히 살려서 기존의 콘크리트 구조물 중 연성의 증가가 요구되는 경우에 강섬유보강 콘크리트가 부분적으로나 또는 완전하게 철근의 대체용으로 사용될 수 있다.

SFRC를 구조적이거나 또는 비구조적인 용도로써 현장에 적용하기 위하여 기존의 일반철근콘크리트의 규준에 근간을 두어 설계를 하여도 무방하나 장래에 SFRC에 대한 구체적인 시방서 및 규준에 대한 구체적인 조항이 있어야 할 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 내진설계된 외측 보-기둥 접합부 후크철근의 인발거동의 차이점 및 내진 접합부에서 횡보강철근을 강섬유로 대체하는 영향을 평가하기 위하여 외측 접합부로부터 90° 표준후크에 관한 실험을 수반하여 연구를 진행하였다.

2. 실험계획

본 연구에서는 보-기둥 접합부의 과밀한 배근에 따른 시공정도를 감안하여 Fig. 1처럼 3개의 D25 후크철근($f_y=4,000 \text{ kg/cm}^2$)을 가진 실험체를 실험하였다.

Fig. 1에서와 유사한 일반콘크리트를 사용한 실험체의 실험결과가 참고문헌(8)에 보고된 바 있다.

접합부는 ACI 318(강진지역 상세)에 따른 횡보강철근 또는 횡보강철근과 강섬유의 조합에 의해 보강되었다. Fig. 1처럼 후크철근의 끝은 매입부분은 플라스틱 튜브로 감싸졌다. 이는 단지 90° 표준후크에 의해서만 인발력이 저항되어지도록 끝은 매입길이에 따른 부착저항을 배제시키기 위함이다. 인위적인 활렬균열을 발생시키도록 인도 길이(인발철근이 도입되는 끝부분의 길이)와 실험체의 폭을 면적으로 하는 플라스틱 슈트를 끝은 인도매입길이의 높이에 수평으로 놓았다. 만약 부착이 제거되지 않는다면 이 균열은 끝은 매입길이를 따라 발생하는 부착응력을 발생시켰을 것이다.

표준 실험체의 철근상세는 Fig. 1과 같다. 기둥면을 미는 보-기둥 접합면의 압축구역은 강판으로 대체하도록 설계되었고 최대 골재크기가 20mm인 골재와 Type IA 포오틀랜드 시멘트를 사용하였다. 섬유 혼합을 위해 포오틀랜드 시멘트의 약간은 Type F 플라이 애쉬로 대체하였다(물성은 Table 1과 같다). 본 연구에서 사용된 강섬유는 세장비 56(길이 50mm×지름 0.9mm)인 끝은 원형철선이 사용되었다. 본 실험조사에 사용된 모든 보강철근은 항복강도 $4,000 \text{ kg/cm}^2$ 이고 인장실험에서 측정된 실제 항복강도는 $5,100 \text{ kg/cm}^2$ 이었다.

본 연구에 사용된 일반콘크리트와 섬유보강콘크리트의 혼입율은 Table 2와 같으며 이 표는 inverted slump cone time과 콘크리트 압축강도를 포함하고 있다. 본 연구에서 사용된 섬유콘크리트에 대한 압축응력-변형 관계는 Fig. 2와 같다.

본 연구에 사용된 일반콘크리트와 섬유보강콘크리트의 혼입율은 Table 2와 같으며 이 표는 inverted slump cone time과 콘크리트 압축강도를 포함하고 있다. 본 연구에서 사용된 섬유콘크리트에 대한 압축응력-변형 관계는 Fig. 2와 같다.

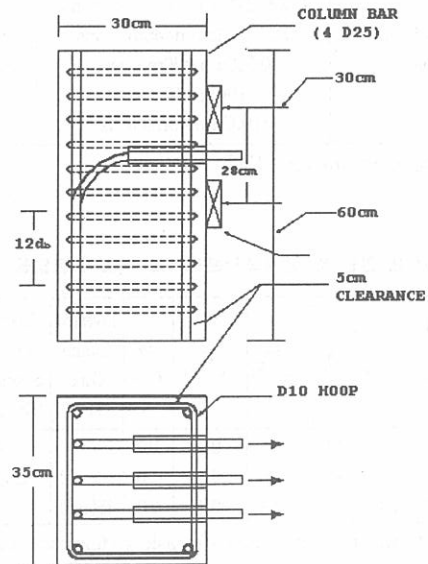


Fig. 1. 실험체 형상 및 가력상황

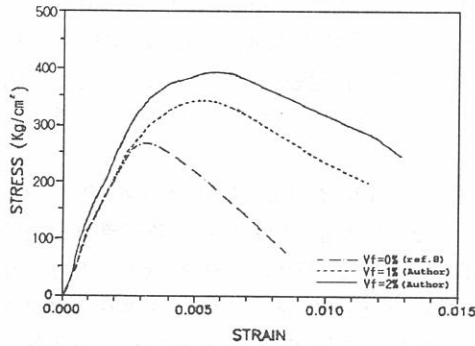


Fig. 2. 일반 및 섬유콘크리트의 압축응력-변형률 상관관계

Table 1. 플라이 애쉬의 물성

Chemical Composition (% by wight)	Silica, SiO ₂	47.0
	Alumina, Al ₂ O ₃	22.1
	Iron, Fe ₂ O ₃	23.4
	Tatanium, TiO ₂	1.1
	Calcium, CaO	2.6
	Magnesium, MgO	0.7
	Potassium, K ₂ O	2.0
	Carbon, C	4.3
Gradation (% passing)	#30 (0.6mm =600microns)	100
	#200(0.074 mm=74 microns)	92
	#325(0.045mm=45microns)	84
	0.020mm=20microns	63
	0.010mm=10microns	36
	0.005mm=5microns	17

Note : Specific Gravity =2.245

Table 2. 일반 및 섬유보강콘크리트 믹스의 혼입율

$\frac{W}{(C+F)}$	$\frac{(S+G)}{(C+F)}$	$\frac{S}{G}$	$\frac{SP}{(C+F)}$	$\frac{F}{(C+F)}$	Vf (%)	Inverted Slump Cone Time	Concrete Comp. Strength (Kg/cm ²)
0.6	3.5	1.0	0.0	0.0	0.0	---	277
0.5	4.0	1.0	0.005	0.3	1.0	10(sec)	352
0.5	4.0	1.0	0.005	0.3	2.0	15(sec)	410

Note : W=water; C=cement; F=fly ash; S=fine aggregate; G=coarse aggregate; SP=liquid superplasticizer; and Vf=fiber volume fraction.

실험체는 $20 \pm 5^\circ\text{C}$, 100%상대습도에서 탈형하기 전까지 7일동안 습윤양생되었고, 28 ± 2 일에 실험될 때까지 일반적인 실험실에서 방치되었다. Table 3에는 일반 또는 섬유보강된 실험체들에 정착된 흑크철근에 관한 흑크철근의 수, 횡보강철근, 섬유혼입량 등에 대한 사항들을 망라한 실험 계획이 요약되었다. Table 3의 일반보강된 실험체 No.1, No.2, No.8~No.11에 배치된 횡보강철근은 보-기둥 접합부 내진설계에 관한 ACI 318의 규정을 만족하고 있으며 인발거동에 관한 흑크철근의 수에 대한 영향을 평가하기 위해 설계되어 참고 문헌(8)에서 실험된바 있다.

일반철근으로 횡보강된 실험체인 No.1과 No.2는 본 연구에서 수행된 No.3~No.7실험체에서 강섬유로 대체되었다. 실험체 No.3은 이러한 2가지 보강기법의 구속효과의 신뢰도를 평가하기 위하여 상대적으로 높은 비율의 강섬유와 일반 띠철근으로 모두 횡보강되도록 설계하였다.

Table 3. 실험체 일람표

Specimen	Reference	Hooked Bar	Lateral Confinement	Fiber Volume Fraction
1*	10	3D25	D10@75mm	0%
2*	10	3D25	D10@75mm	0%
3	Author	3D25	D10@75mm	2%
4	Author	3D25	D10@100mm	2%
5	Author	3D25	D10@150mm	2%
6	Author	3D25	None	2%
7	Author	3D25	D10@150mm	1%
8*	10	1D25	D10@75mm	0%
9*	10	1D25	D10@75mm	0%
10*	10	2D25	D10@75mm	0%
11*	10	2D25	D10@75mm	0%

* Plain Concrete specimens experimented by reference (8)

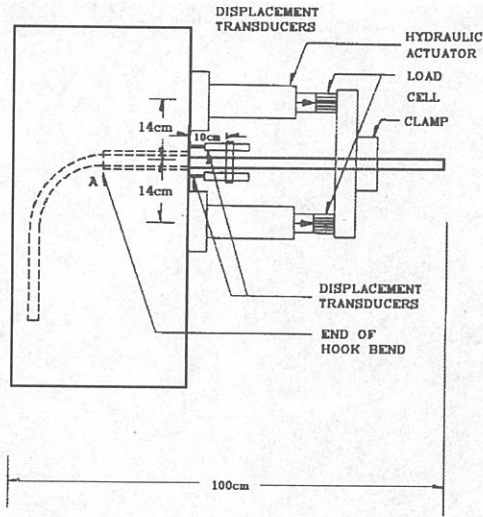


Fig. 3. 실험체 설치상황

Fig. 3은 본 실험의 실험체 설치상황이다. 콘크리트 기둥을 가력(bearing)하는 2개의 유압 actuator들이 인발력을 가하였고 2개의 로드셀에 의해 하중이 측정되었다. 2개의 LVDT가 기둥면에서부터 정착된 철근의 100mm지점에 설치되었으며, 훅크의 굽은부분 단부의 인발변위는 2개의 변위계 평균값으로부터 A점과 변위계 사이의 연장부분을 통제하여 산출되었다(Fig. 3의 A점).

하중은 변위제어 방식에 의해 단조가력되었으며, 실험은 실험체에 과도한 균열이 발생되어 큰 인발변위가 발생할 때까지 계속하였다. 본 연구에서 사용된 로드셀과 변위계는 1%의 허용오차를 간주하였다.

3. 실험결과

외측 접합부로 계획된 일반보강된 콘크리트 실험체에 정착된 2 또는 3개의 훅크철근의 인발에 따른 파괴상황은 참고문헌(8)에 따르면 훅크철근의 수를 달리한 실험체의 균열정도를 비교할 때 훅크철근의 수를 증가함에 따라 외측 접합부에서 정착상태에 불리하게 작용한다는 것을 알 수 있다.

일반보강 실험체와 비교할 때 본 연구에서 실험된 섬유보강 콘크리트 실험체(Table 3의 No. 3~No.7)는 인발력하에서 보다적은 균열 및 상당히 향상된 정착상태를 보여준다. 섬유보강 실험체에서 나타난 균열은 철근의 노출점에서 방사형 균열이 초기에 발생하고, 이후 훅크의 굽은 부분을 따라 실험체의 양측면에 일부 균열을 발생시켰으나, 섬유보강 실험체 철근의 훅크 인발실험에서는 과도한 균열의 확장이나 실험체의 횡적팽창이 관찰되지 않았다.

적은 섬유 혼입량을 갖는 경우, 같은 경우 및 횡보강 철근이 없는 경우 (Table 3의 실험체 No 6)를 제외하고, 정착철근의 파괴는 약간의 정착파괴에 따른 철근 항복에 좌우되어진다. 강섬유와 횡보강 철근이 있는 Table 3의 실험체 No 3의 파괴 후의 균열 정도(Fig. 4(a))와 강섬유가 없으나 횡보강철근을 충분히 배치한 Table 3의 실험체 No.1(Fig. 4(b))을 비교할 때 외측 접합부 훅크철근의 정착상태를 강화시키는 강섬유의 효과를 살펴볼 수 있다.

Fig. 5에는 3개의 철근을 갖는 실험체(Table 3의 No.1~No.7)에서의 인발력-변위 상관관계에 관한 섬유보강의 영향을 나타내었다. 모든 섬유보강실험체(횡보강철근이 없는 경우 포함)가 일반보강만 되어있는 실험체보다 더 높은강도 및 더 향상된 연성능력을 갖고 있음이 밝혀졌다. 모든 섬유보강실험체에서 인발력은 대체로 정착철근의 항복에 도달하였다. D10횡보강철근(15cm간격)을 배치한 보강상태에 있어서, 섬유혼입율을 2%에서 1%로 감소시켰을 때 인발저항력의 상대적 감소가 관찰되었다. 또한 섬유혼입율이 일정한 상태에서 횡보강철근을 증가시켰을 때에도 단지 약간의 인발저항력이 감소되는 것이 밝혀졌다.

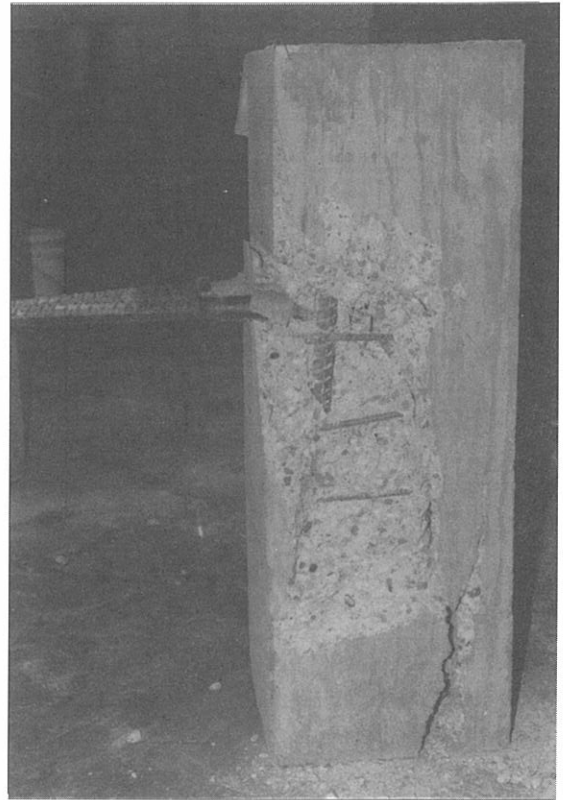
위에 언급된 훅크철근의 인발거동에 관한 섬유보강의 효과를 미루어 볼 때 외측 보-기둥 접합부에 강섬유를 사용할 때 정착성능을 크게 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 횡보강철근에 비해 상대적으로 값싼 강섬유를 일부 횡보강철근과 대체함으로써 큰 경제적 이득을 취할 수 있으며,

특히 내진설계시 일반적으로 횡보강철근 및 주철근이 과다하게 보강되어 시공조건이 매우 불리한 접합부의 시공성을 향상시킬 수 있다고 사료된다.



(a) 섬유보강 실험체

Fig. 4. 섬유 및 일반보강된 실험체의 균열상황(계속)



(b) 일반보강 실험체

Fig. 4. 섬유 및 일반보강된 실험체의 균열상황

4. 결론

외측 보-기둥 접합부로부터 90° 표준 혹크의 인발거동에 관한 실험을 수행하였다. 접합부의 횡방향 철근량 및 강섬유의 혼입량에 따른 영향을 연구하였으며 다음과 같은 연구 결과를 도출하였다.

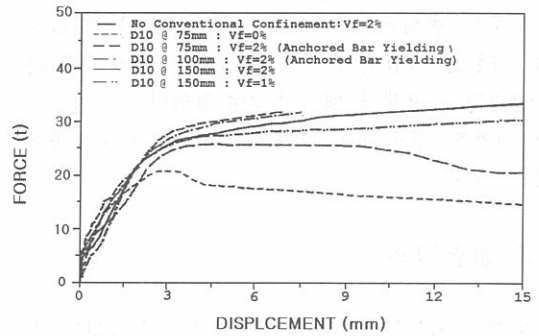


Fig. 5. 섬유혼입량 및 횡보강상태에 따른 혹크 인발력-변위 상관관계

- (1) 접합부 기둥의 횡보강 철근을 강섬유로 대체할 때 혹크 철근의 인발에 의해 야기되

는 균열의 확장을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

- (2) 인발력하에서 흑크철근의 강도 및 연성능력은 외측 접합부의 횡보강 철근을 강섬유로 완전히 대체할 경우 연성능력 확보에 문제가 있다고 판단되므로 일부 대체함으로써 강도 및 연성능력을 20%이상 강화할 수 있음이 연구되었다.

따라서 외측 접합부의 강섬유 적용은 흑크 철근의 정착 상태를 향상시킬 수 있는 매우 효과적인 방법이라고 판단된다. 또한 이로부터 보-기둥 접합부의 시공성을 방해하는 철근의 과밀화를 감소시킬 수 있다.

감사의 글

본 논문은 1997년 8월 부터 1998년 8월까지 기초 전력연구소의 연구비 지원(EESRI 97-지-06)에 의해 연구 되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. ACI-ASCE Committee 352, "Recommendations for Design of Beam-Column Joints in Monolithic Reinforced Concrete Structures(ACI 352 R-85)," ACI Journal, Proceedings V.82, No.23, May-June 1985, pp.266-283.
2. Eligehausen, R., Popov, E.P., and Bertero, V.V., "Local Bond Stress-Slip Relationships of Deformed Bars Under Generalized Excitations," Report No. UCB/EERC-83/23, Earthquake Engineering Reserch Center, Universitu of California, Berkeley, Oct. 1983, 169 pp.
3. Soroushian, P., and Choi, Ki-Bong, "Steel Mechanical Properties at Different Strain Rates," J. of Structural Engineering, ASCE, V. 113, No.4, April 1987, pp.217-222.
4. Soroushian, P., and Choi, K.B., "Local Bond of Deformed Bars with Different Diameters in Confined Concrete," ACI Structural Journal, V.86, No.2, March-April 1989, pp.217-222.
5. 최기봉, "철근 콘크리트 보-기둥 접합부의 부차거동에 대한 콘크리트 강도 및 보강철근의 효과," 콘크리트학회지, 제3권 2호, 1991년 6월, pp. 115-121
6. Ueda, T., Lim, I., and Hawkins, N.M., "Beam Bar Anchorage in Exterior Column-Beam Connections," ACI Journal, Proceedings V. 83, No.3, May-June 1986, pp.412-422.
7. Viwathanatapa, S., Popov, E.P., and Bertero, V.V., "Effects of Generalized Loadings on Bond of Reinforcing Bars Embedded in Confined Concrete Blocks," Report No. UCB/EERC-79/22, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkely, Aug 1979, 293 pp.
8. 최기봉, "외측 보-기둥 접합부의 정착 상태에 관한 흑크철근의 영향", 한국구조물진단학회지, 제1 권 2호, 1997년 9월, pp.151-156

접수일자 98. 7. 25.