

# 강섬유보강 고강도 경량콘크리트의 부착에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Bond of Steel Fiber Reinforced High-Strength Lightweight Concrete

민준수\*      김상우\*\*      이시학\*\*\*      김용부\*\*\*\*  
Mihn, Joon Soo      Kim, Sang Woo      Lee, Si Hak      Kim, Yong Boo

### ABSTRACT

The bond between reinforcing bar and concrete is a significant factor to confirm that they behave uniformly in the reinforced concrete. Thus, the studies on this field have been conducted by many researchers. But for the high strength lightweight concrete few studies have been done. In this study, the steel fiber reinforced high strength lightweight concrete developed to complement the brittleness of the high strength lightweight concrete was studied experimentally to find the local bond stress. Total 20 specimens were tested and the measured test values were compared with those calculated according to ACI 318-95 code and CEB-FIP code, respectively. The results indicate that the maximum bond stress has been influenced by increment of volume fraction of steel fiber, compressive strength and cover. Especially steel fiber caused not only increment of bond strength but also ductile behavior.

### 1. 서론

현대 건축재료로서 가장 널리 사용되고 있는 콘크리트는 내구성, 내화성, 성형성, 차음성 등 우수한 장점을 가지고 있는 반면 강도에 비해 자중이 크다는 단점을 지니고 있다. 최근 요구되는 콘크리트는 다양화, 특수화되고 재료 개발의 측면에서 콘크리트의 우수한 성능을 더욱 향상시키거나 단점을 보완하려는 노력에 따라 국내외에서 많은 연구가 진행되고 있다. 이에 콘크리트의 단점을 보완하는 일환으로 비중이 작고 입형 및 입도가 좋은 양질의 인공경량골재를 사용한 경량콘크리트를 이용하면 구조물의 과대한 자중을 경감시킬 수 있다. 또한 높은 감수와 시멘트 입자의 분산효과를 주는 혼화재료의 사용으로 경량콘크리트의 고강도화와 유동성을 증진시켜 화학적인 개선을 통한 품질의 향상을 가져오게

\* 성균관대학교 건축공학과, 석사과정

\*\* 성균관대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 수원과학대학 건축학과, 조교수

\*\*\*\* 성균관대학교 건축공학과 명예교수

되었다. 이와 같은 구조재료를 건축 구조물에 적용하기 위해서는 재료의 성질을 규명하여야 할 뿐만 아니라, 실제 구조 부재에서의 역학적 거동에 대한 규명도 필요하다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 구조의 여러 가지 특성 중 일체성에 가장 기본이 되는 부착특성을 규명하고자 한다.

경량콘크리트를 사용할 때, ACI 318-95 기준에서는 부착강도의 저하를 고려하여 경량골재 콘크리트 보정계수 1.3을 도입하여 부착길이를 길게 함으로써 안전율을 높이고 있다. 그러나 경량콘크리트를 고강도화 함에 따라 어느 정도 부착강도의 증진이 있을 것으로 판단되므로 이에 관한 실험적 연구가 필요하다. 또한 경량콘크리트 사용시 부재의 취성파괴의 결합이 있으므로 취성파괴를 연성파괴로 유도하기 위한 방법으로 콘크리트에 섬유를 보강한 섬유보강콘크리트를 최근 사용하고 있으며, 본 연구에서는 강섬유를 사용하였다.

## 2. 실험

### 2.1 재료실험

본 실험에 사용된 시멘트는 1종 포틀랜드 시멘트를 이용하였다. 굵은 골재는 최대직경 19mm인 국내산 팽창점토를 사용하였으며, 고강도 발현을 위하여 실리카 흙을 사용하였다. 철근은 SD40을 사용하였다. 콘크리트 배합표는 표1에 나타내었으며, 압축·인장강도 및 탄성계수는 각각 KS F 2405, 2423, 2438 규정에 따라 수행하였다. 재료실험 결과는 다음 표2와 같다.

### 2.2 실험 계획 및 실시

본 실험에서는 철근콘크리트 부재의 부착거동을 보다 실제에 근접하게 관찰할 수 있는 보형태의 실험체를 사용하되 그 크기와 비용을 줄이기 위하여 보 단부형 실험체를 사용하였다. 블록의 크기는 할렬파괴를 유도하고 주위 철근의 효과를 고려하지 않는다는 가정에 20×20×30cm로 계획하였고

표1. 고강도 경량콘크리트 배합표

표2. 고강도 경량콘크리트 재료실험 결과

배합강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	물 결합 재비 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )				혼화재료 (kg/m <sup>3</sup> )			분류 배합 강도	Vf (%)	압축 강도	인장 강도	탄성 계수	슬럼프 (cm)	비중 (kg/m <sup>3</sup> )
		W	C	S	G	S.F.	S.P.	강섬 유(%)							
200	56	195	350	365	345	-	-	0	200	0	247	18	1.63	17	1745
								0.3		0.3	243	25	1.57	15	1837
								0.6		0.6	278	31	1.55	14	1861
400	38	180	450	612	474	23 (5.1%)	6.8 (1.5%)	0	400	0	364	26	1.88	16	1813
								0.3		0.3	405	33	2.06	13	1864
								0.6		0.6	392	37	2.21	14	1902
500	33	180	523	725	374	27 (5.2%)	14.3 (2.7%)	0	500	0	508	30	2.60	20	1938
								0.3		0.3	523	36	2.93	19	1993
								0.6		0.6	532	44	2.91	17	2045
300*	56	195	348	715	1018	-	-	-	300*	-	313	22	2.99	17	2273

\* 압축강도 300kg/cm<sup>2</sup>는 보통중량콘크리트이다. 실리카 흙, S.P.제의 양은 시멘트량에 대한 비율이며, 강섬유는 실험체 체적당 비율이다. S.F.: 실리카 흙, S.P.: 유동화제

\* 압축강도 300kg/cm<sup>2</sup>는 보통중량콘크리트이다. 압축강도, 인장강도 단위: kg/cm<sup>2</sup> · 탄성계수: ×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>

매립길이 전후의 철근부분은 PVC관을 사용하여 콘크리트와 부착되지 않도록 하였다. 하중은 유압식 가력기를 이용하여 가력하였으며, 실험시 철근의 슬립량은 실험 철근의 재하단과 자유단에서 측정하였다. 실험체 상세도는 그림1, 실험체 설치 상황은 그림2와 같다.

### 3. 부착실험 결과 분석

강섬유보강 고강도 경량콘크리트의 부착특성에 관한 실험결과를 표 3과 같다.

본 연구에서는 최대부착응력의 산정은 재하된 하중을 부착면적으로 나눈 평균부착응력을 사용하였으며, 부착응력-변위 관계는 그림 3과 같다.

강섬유의 혼입비에 따른 철근과 콘크리트사이의 부착강도의 변화를 관찰하기 위하여 본 연구에서는 강섬유의 함유량을 실험체 체적당 0~0.6%로 변화시켜 그 결과를 관찰하였다. 콘크리트 압축강도 200 시리즈에 대하여 1 $d_b$ 인 경우 강섬유가 포함되지 않은 실험체보다 최대부착응력이 약 1.4배, 2 $d_b$ 인 경우 약 1.5배 증가하였으며, 압축강도 400시리즈인 경우 1 $d_b$ 에서는 약 1.9배, 2 $d_b$ 인 경우 약 1.23배 증가하였다. 압축강도 500시리즈인 경우 1 $d_b$ 에서 약 1.4배, 2 $d_b$ 인 경우 1.53배 증가하였다. 본 실험에서는 강섬유 함유량이 증가할수록 최대부착응력이 대부분 증가하는 것으로 나타났으며, 최대부착강도와 강섬유 함유량이 선형적인 관계가 되지 못한 이유는 강섬유의 분산문제로 인한 충전성의 문제인 것으로 사료된다. 실험결과를 표3과 같다.

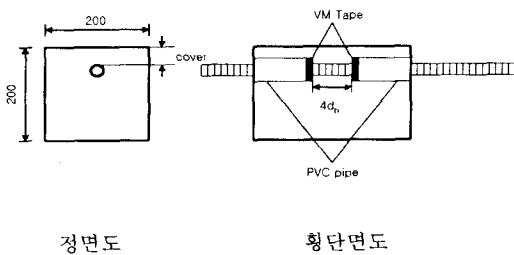


그림 1 실험체 상세도

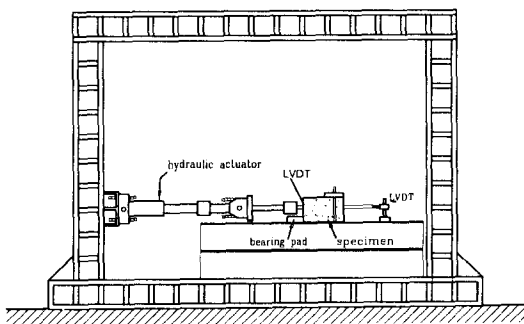


그림 2 실험체 설치 상황

표3. 강섬유보강 고강도 경량콘크리트의 부착실험 결과

$f_c'$	$V_f$ (%)	피복 두께 ( $d_b$ )	최대부착 강도 (ton)	$U_{max}$ ( $kg/cm^2$ )	$U_{aci95}$ ( $kg/cm^2$ )	$U_{CEB}$ ( $kg/cm^2$ )	파괴 형상
247	0	1	3.70	171.80	13.35	40.50	S
243	0.3		4.63	214.98	13.18	56.25	S
278	0.6		5.54	257.23	14.10	69.75	P
247	0	2	4.22	195.94	26.64	40.50	S
243	0.3		6.29	292.05	26.37	56.25	P
278	0.6		6.46	299.95	28.20	69.75	P
364	0	1	3.75	174.12	16.14	58.50	S
405	0.3		5.31	246.55	17.02	74.25	S
392	0.6		7.30	338.95	16.75	83.25	S
364	0	2	5.84	271.16	32.27	58.50	S
405	0.3		7.58	351.95	34.04	74.25	S
392	0.6		6.65	308.77	33.49	83.25	S
508	0	1	5.16	239.58	19.06	67.50	S
523	0.3		7.10	329.66	19.34	81.00	S
532	0.6		6.98	324.09	19.51	99.00	S
508	0	2	6.02	279.52	38.13	67.50	S
523	0.3		7.20	334.30	38.68	81.00	S
532	0.6		9.40	436.45	39.02	99.00	S
313	0	1	5.01	232.62	19.45	49.50	S
	0	2	6.42	298.09	38.90	49.50	S

$U_{max}$  : 최대부착응력,  $f_c'$  : 콘크리트 압축강도,

$U_{aci95}$  : ACI318-95,  $U_{CEB}$  : CEB-FIP90(설계부착강도)

S: 쪼갬파괴, P:뿔힘파괴

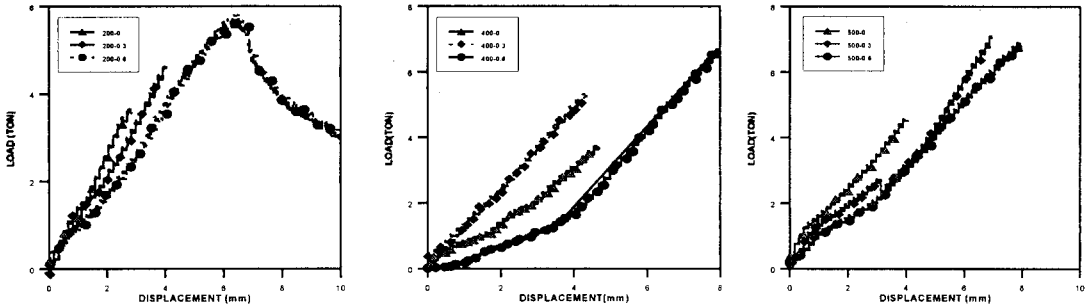


그림 5

그림 3 부착강도-변위 관계 (피복두께 1d<sub>b</sub>)

콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 강섬유에 포함되지 않은 실험체에서 평균부착응력은 약 1.4배로 증가하였으며, 강섬유 혼입비가 0.3, 0.6인 경우 모두 약 1.5배 증가하였다.

콘크리트 피복두께의 영향을 관찰하기 위하여 본 연구에서는 피복두께를 철근의 직경과 관계하여 1~2d<sub>b</sub>로 변화를 주어 그 결과를 관찰하였다. 압축강도 200시리즈에 대하여 피복두께 1d<sub>b</sub>를 기준으로 볼 때 2d<sub>b</sub>인 경우 약 1.4배 최대부착응력이 증가하였다. 압축강도 400시리즈인 경우는 약 1.6배, 압축강도 500시리즈는 약 1.4배 증가하였다.

#### 4. 결론

강섬유보강 고강도 경량콘크리트의 부착실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 강섬유 함유량이 증가할수록 부착강도도 대체적으로 증가하였으며, 파괴형상이 강섬유를 혼입함으로써 보다 연성적인 파괴를 나타내었다.
2. 경량콘크리트에 관하여 저강도일 경우 강섬유를 혼입함으로써 최대부착응력의 관계는 기존에 제안된 보통콘크리트 식을 사용하여도 무방할 것으로 사료된다.
3. 경량콘크리트가 고강도화됨에 따라 보통콘크리트의 부착강도와 큰 차이가 없으므로 ACI 318-95에서 규정한 보정계수를 수정하여야 할 것으로 사료된다.
4. 최대부착응력과 피복두께와의 관계는 콘크리트 강도에 상관없이 선형으로 비례하는 것으로 나타났으며, 콘크리트 압축강도가 증가할수록 그 비례상수가 증가하였다.

#### 참고문헌

1. Mor, A. "Steel-Concrete Bond in High-Strength Lightweight Concrete," *ACI Material Journal*, Vol. 89, No. 1, January-February 1992, pp.76-82.
2. Gao, J., Sun, Wei., Morino, K., "Mechanical Properties of Steel Fiber-reinforced, High-strength, Lightweight Concrete," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 19, No. 4, 1997. 6. , pp. 307-313.
3. 홍건호, 고강도콘크리트의 부착강도특성을 고려한 이형철근의 정착에 관한 연구, *서울대학교 건축학과 박사학위논문*, 1996.