

강섬유를 혼입한 고강도 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Shear Behavior of High Strength Reinforced Concrete Beams using Input Steel Fiber

석 인 수(원광대) · 박 종 건*(금강농조) · kwak 계 환(원광대)
Seok, In Soo · Park, Jong Gun · Kwak, Kae Hwan

Abstract

Recently, the use of steel fibers has been increased in flexural members and beams of concrete structures; such as bridge decks, highway roads, runway of airport, buildings, etc.. An experimental investigation of the shear behavior of high-strength reinforced concrete beams using input steel fiber was conducted. However only a few experimental tests have been carried out under static loading. The static test was carried out to measure the ultimate load, the initial load of flexural and diagonal cracking, crack patterns, fracture modes. The load versus strain and load versus deflection relations were obtained from the static test.

I. 서 론

건설재료로 가장 널리 사용되고 있는 재료중 하나인 콘크리트는 경제성, 압축성, 내구성 및 강성 등의 우수한 물성을 가지고 있으나 인장, 휨 및 충격강도가 낮고 에너지 흡수능력이 작아 취성적이며 균열에 대한 저항성이 작은 단점을 가지고 있다. 이러한 콘크리트의 단점을 개선하기 위해서 최근에 각종 섬유를 콘크리트 속에 분산시켜 만든 섬유 보강 콘크리트의 개발이 절실히 요구된다. 그래서, 모르타르나 콘크리트속에 섬유를 혼입하여 인장강도와 균열저항성을 높이고 취성을 대폭 개선함으로써 콘크리트의 활용도를 더욱 높이하고자 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 섬유보강 콘크리트(Fiber Reinforced Concrete ; FRC)의 종류는 강, 유리, 폴리프로필렌, 폴리에치렌, 폴리스터, 레이온 및 탄소섬유 등이 있다. 외국에서는 1950년대 말과 1960년대 초에 Romualdi와 Batson에 의해 연구가 시작되었으며 취성재료의 역학적 특성을 개선하기 위하여 오래전부터 콘크리트 구조물에 섬유 재료의 활용도를 더욱 높이하고자 연구가 활발히 계속되고 있다. 따라서 본 연구에서는 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 재료역학적 특성을 분석하고, 강섬유 보강 고강도 철근콘크리트 보의 전단거동 특성을 규명하기 위하여 정적실험을 실시하였다. 본 정적실험을 통하여 극한하중, 초기휨 균열하중 및 초기 사인장균열하중 등을 관찰하였다.

II. 실험계획

1. 사용재료

가. 시멘트

고강도 콘크리트를 제조하기 위해서 사용한 시멘트는 국내 D사 제품인 보봉포틀랜드시멘트 이고, 이에 대한 화학성분과 물리적 특성은 Table 1 및 2와 같다.

Table 1. Chemical compositions of cement used

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. Loss	In. Res
20.93	5.29	3.01	62.3	3.70	2.33	1.41	1.03

Table 2. Physical properties of cement used

Specific gravity	Fineness (blaine cm ² /g)	Setting time (hrs : min)		Compressive strength (kgf/cm ²)		
		Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.14	3,321	03:20	05:35	197	288	366

나. 골재

본 실험에 사용된 잔골재는 충남 금강에서 채취된 강모래로서 비중은 2.62, 조립율은 2.75였고, 굵은골재는 전북 익산시 낭산에서 생산된 최대치수가 19mm인 쇄석을 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 Table 3 및 4와 같다.

Table 3. Physical properties of fine aggregate used

Specific gravity	Absorption ratio (%)	Unit weight (kgf/m ³)	Passing percentage								F.M
			10mm	No4	No8	No16	No30	No50	No100	PAN	
2.62	0.99	1520	100	100	91	67.6	43.9	18.7	4.0	0.0	2.75

Table 4. Physical properties of crushed coarse aggregate used

Max. size (mm)	Specific gravity	Absorption ratio (%)	Unit weight (kgf/m ³)	Passing percentage							F.M
				40 mm	25 mm	19 mm	13 mm	10 mm	No4	No8	
19	2.6	0.86	1611	100	100	94.9	94.9	41.7	3.8	1.1	6.59

다. 혼화재료

본 실험에서 사용한 실리카흙은 노르웨이산 초미분말 실리카 제품이다. 이에 대한 물리적 성질 및 화학적 성분은 Table 5와 같고, 감수제는 암갈색의 액상이며 비중이 1.21, pH 8.0인 것을 사용하였으며, 그 특성은 Table 6과 같다.

Table 5. Chemical composition and physical properties of silica fume

SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Ig.Loss	Total	Specific gravity	Surface area (cm ² /g)
90.0	1.5	3.0	2.0	0.6	0.5	0.5	1.9	100	2.2	200,000

Table 6. Property of water reducing admixtures

Specific gravity	Type	Color	pH	Component	Brand
1.21	Liquid	Dark brown	8	Naphtalene	Powercon-100

라. 배합설계

본 실험에서는 강섬유 보강 고강도 콘크리트 제조 하기 위하여 물-결합재비를 18%로 낮추고 이를 위하여 고성능감수제를 사용하였다. 고성능감수제의 첨가량은 슬럼프값이 10±2cm가 되도록 조절하여 사용하였다. 이에 대한 배합설계결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Mix proportion of steel fiber reinforced concrete

Fiber length Lf (mm)	Fiber diameter Vf (Vol. %)	Max size (mm)	Slump (cm)	W/c+sf (%)	S/a (%)	Repla. pro. of sf(%)	Unit volume(kgf/m ³)						
							W	C	sf	S	G	SP	SF
60	1.5	19	10±2	18	35	15	160	750	132.3	512	949	2.0%	117.75

sf : Silica fume, SF : Steel fiber, SP : Superplasticizers

2. 콘크리트의 혼합 및 양생

강섬유를 혼합한 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비해 시멘트풀량이 많고 동일한 슬럼프에서 점성이 크기 때문에 강제식 믹서를 사용하여야 한다. 그래서 본 실험에서는 용량 100ℓ의 강제식 믹서를 사용하였으며 재료는 잔골재, 시멘트, 실리카흄 순으로 투입하고 건비빔을 실시한 후 굵은골재를 넣어 다시 혼합하였다. 그리고 고성능감수제를 첨가한 혼합수를 천천히 투입하여 콘크리트를 충분히 믹싱하였다. 최종적으로 강섬유를 뿌려서 투입하여 다시 충분히 믹싱하였다. 보는 탈형 즉시 비닐로 콘크리트 표면을 덮어 수분이탈을 방지하였다. 그리고 비닐을 벗긴 후 보온 양생포로 시험체를 덮어 주었으며 그 후 매일 물을 주어 습윤양생을 실시하였다. 시험체 제작 14일 이후에는 보온 양생포를 벗겨내고 실험직전까지 기건양생을 실시하였다. 이때 양생하는 과정에서 최대온도는 거의 40 °C 가 되었으나 24시간 후에는 실온이 되었음을 확인 할 수 있었다. 시편의 양생은 구조실험용이기에 3~6개월이 소요되었다.

3. 강섬유

본 실험에서 사용한 강섬유는 벨기에의 BEKAERT사의 양단 후크형(double hook type)이며 제품의 길이가 60mm, 직경 0.8mm이고 형상비가 75인 강섬유를 사용하였다.(Aspect ratio: ℓ/d=75)

4. 시험체 제작

휨과 전단을 받는 강섬유 보강 고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트 보의 전단거동을 파악하기 위하여 단면 $15 \times 30 \times 190\text{cm}$ 의 시험체를 제작하였다. 각 시편의 하중에 따른 철근의 변형율을 측정하기 위하여 인장철근 및 전단보강철근에 스트레인 게이지를 부착하였다. 본 실험에서 사용한 스트레인 게이지의 저항은 $120 \pm 0.4\Omega$, 게이지 Factor 값은 2.10, 2.09 이다. Fig. 1은 실험부재의 제원 및 스트레인 게이지 부착 위치관계를 나타냈다.

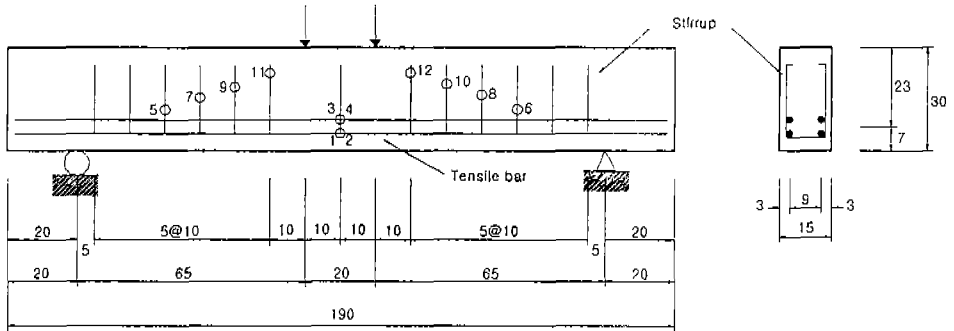


Fig. 1 Cross-section of fatigue test beams and loading arrangement(unit : cm)

III. 실험결과 및 고찰

1. 강도특성

강섬유 보강 고강도 콘크리트 실험에서 물결합재비에 따라 $W/(c+sf) = 18$ 일때 재령별 압축강도 및 인장강도결과는 Table 8과 같다.

Table 8. Test results of compressive strength and tensile strength

W/c+sf (%)	Compressive strength (kgf/cm ²)				Tensile strength (kgf/cm ²)	f'c/f'sp
	7-days	28-days	90-days	180-days	28-days	
18	643	1,180	1,201	1,217	62	19

2. 정적실험

본 실험에서 각각의 보에 대하여 휨균열과 전단균열이 최초로 발생되었을 때 초기 사인장균열하중 및 극한하중을 측정하였다. 초기 사인장균열하중이 발생하였을 때 전단응력을 구하였으며, 정적실험 결과는 Table 9와 같다.

Table 9. Results of static test

Name of beams	f'_c (kgf/cm ²)	Stirrup spacing (cm)	Shear span ratio (a/d)	P_{fc} (tf)	P_{cr} (tf)	P_u (tf)	ACI V_{cr} (kgf/cm ²)	Test V_{cr} (kgf/cm ²)	$\frac{V_{cr,Test}}{V_{cr,ACI}}$	Failure mode
SFHS1	1,044	10	2.8	7.0	14.0	28.1	17.03	18.67	1.09	Flexure
SFHS2	"	10	2.8	3.0	11.8	28.0	16.44	15.73	0.96	Flexure
SFHS3	"	10	2.8	4.8	15.1	29.1	18.05	20.13	1.12	Flexure
SFHS4	"	10	2.8	-	-	37.9	16.51	21.29	1.29	Flexure
SFHS5	"	10	2.8	-	-	38.3	17.12	25.45	1.49	Flexure
SFHS6	"	10	2.8	-	-	39.2	18.21	27.12	1.49	Flexure
SFHS7	"	10	2.8	-	-	38.1	16.51	21.40	1.30	Flexure

Note; SF : Steel fiber reinforced concrete,

II : Shear-span ratio(a/d=2.8),

S1, S2, S3 . . .) : Beam number

V. 결 론

본 연구에서는 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트를 제조하여 이에 대한 강도특성을 실험적으로 파악하였으며, 강섬유 보강 철근콘크리트 보에 대하여 정적실험을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 물결합재비(W/(c+sf)가 18% 범위에서 혼화재인 실리카흄 혼입을 15% 혼입한 경우 재령 28일의 압축강도가 1,180kgf/cm² 이었다. 또한 강섬유의 분산성 및 작업성을 고려할 때 혼입율은 1.0~1.5%정도가 적당하다고 사료된다.

2. 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 매트릭스내의 재분배가 발생하여 보의 내하력이 증가하여 콘크리트의 연성증진에 기여하는 것으로 나타났다. 이때 강섬유의 파단은 절단이 아니고 뿔힘에 있었다.

3. 강섬유 보강 고강도 철근콘크리트 보에 대하여 콘크리트의 취약점인 취성파괴가 연성과 피하므로써 구조물의 인성이 크게 증대함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, "콘크리트 표준시방서", 대한토목학회, 1996년.
2. 건설교통부, "극한강 설계법에 의한 철근콘크리트 설계규준 및 해설", 1994년
3. ACI Committee 544, "Design Consideration for Steel Fiber reinforced Concrete", ACI Structural Journal, Vol.85, No.52, Sept.-Oct., 1989, pp.564.
4. ACI Committee 212, "Chemical Admixtures for Concrete(ACI 221.3R-89)", ACI Materials Journal, Vol.86, No.3, May-June 1989, pp.297~237.
5. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-95) and Commentary(ACI 318R-95)", American Concrete Institute, 1995.
6. ACI-ASCE Committee 326, "Shear and Diagonal Tension" ACI Journal, Vol.59, No.1, January, February and March 1962, pp.1~30, 277~344 and 352~396.
7. ACI Committee 363, "State of the Art Report on High-Strength Concrete", ACI Journal, Vol.81, No.4, July-August 1984, pp.364~411.