

# 폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트보의 전단거동

## Shear Behavior of High Strength Concrete Beams Input Polymer-Steel Fibrous

박종건\*(농업기반공사) · 이성우(원광대) · 곽계환(원광대)

Park, Jong Gun · Lee, Sung Woo · Kwak, Kae Hwan

### Abstract

Steel fiber and polymer are used widely for reinforcement material of RC structures because of its excellences of the durability, serviceability as well as mechanical properties. The purpose of this study is investigate the shear behavior of high concrete beams input polymer-steel fibrous. The static test was carried out to measure the ultimate load, the initial load of flexural and diagonal cracking, crack patterns and fracture modes. Also, load-strain and load-deflection examined, during the test cracks are sketched the load values according to grow of crack.

### I. 서론

고강도 콘크리트의 사용은 조기강도의 증대, 콘크리트 부재의 단면감소, 건조 수축의 저감과 불리당의 감소, 공기단축, 수밀성 및 기밀성을 통한 내구성 향상 등의 공학적 특성 개선과 경제적 절감효과라는 측면에서 적극적인 개발이 이루어지고 있다. 폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 보의 전단거동을 파악하기 위하여 기본 실험과 정적실험을 실시하였다. 폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 재료역학적 성질을 파악하기 위한 기본 실험에서는 혼화재인 실리카흄을 사용하여 압축강도, 조깅인장강도 특성을 알아내고 본 실험결과로부터 구조물 설계에 있어 요구되는 역학적 특성인 응력-변형을 관계를 규명하도록 했다. 정적실험에 있어서 전단거동을 파악하기 위하여 전단거동에 영향을 미치는 인자인 콘크리트의 강도, 전단지간·깊이비( $a/d$ ), 인장철근비, 전단보강철근의 유무등을 각각 실험변수로 할 수 있다. 특히 정적실험에서는 극한하중, 초기 휨균열하중 및 초기사인장균열하중등을 관찰하고 하중과 철근의 변형률 관계, 하중과 중앙처짐관계, 하중증가에 따른 균열성장과 파괴양상등을 분석한다.

따라서 본 논문에서는 폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 재료역학적 특성을 파악한 후 구조적 거동을 파악하기 위하여 고강도 철근콘크리트 보의 전단거동 특성에 대하여 합리성 및 타당성 여부를 비교 분석하고자 하였다.

## II. 실험계획 및 방법

### 1. 실험개요

취성 재료로 분류되는 콘크리트는 압축강도가 증가할수록 취성거동의 경향이 크게 나타나는데 본 연구에서는 비교적 높은 강도를 갖는 고강도 콘크리트에 폴리머와 강섬유를 혼입하여 재료의 강도 특성을 규명하고자 한다. 이를 위해 공시체에서는 압축강도 및 쪼갬인장강도실험을 수행하여 비교한다. 시편에서는 초기휨균열강도, 초기전단균열강도, 극한전단강도를 관찰하여 폴리머-강섬유를 고강도 콘크리트의 제반특성에 대한 혼입효과를 규명하고자 한다.

### 2. 사용재료의 성질

#### 가. 폴리머(SBR 라텍스 - KSL 362)

본 연구에서 사용된 폴리머는 SBR 라텍스(KSL 362)라 하는데 시멘트 콘크리트용 라텍스로서 시멘트와 혼화성이 우수하여 콘크리트에 첨가하여 사용하면 방수성, 내충격성, 강도보강 등에 우수하며, 이에 관한 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. SBR 라텍스의 특성

고형분(%)	ph(25° C)	표면장력(dyne/cm <sup>2</sup> )	점도(cps)
48.5	10	40	80

#### 나. 강섬유(Steel Fiber)

박판절삭법의 연강선재를 냉간 가공한 길이 60mm, 직경 0.8mm, 형상비  $75(= \frac{6}{0.08})$ 의 벨기에 제품(Dramix사)을 사용하였다. 특징으로는 단면은 각이 졌고 소재는 대부분 0.3~0.5mm 두께의 냉간압연강판이다. 그리고 인장강도는 30~40kgf/mm<sup>2</sup>, 항복강도는 20~30kgf/mm<sup>2</sup>이다.

#### 다. 시멘트

시멘트는 비중이 3.14인 ○○사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

#### 라. 잔골재

본 실험에서 사용할 잔골재는 강모래로서 비중은 2.62, 조립율은 2.75이다. 이에 관한 물리적특성은 Table 2와 같다.

Table 2. 잔골재의 물리적 특성

건조비중	함수율	단위용적	각 체의 통과 백분율(%)								조립율
			10mm	NO.4	NO.8	NO.16	NO.30	NO.50	NO.100	PAN	
2.62	1.05	1620	100	99.2	95.6	85.8	57.6	21.0	4.8	0.0	2.75

#### 마. 굵은골재

본 실험에서는 굵은 골재는 최대치수가 25mm인 쇄석을 사용하였다. 이에 관한 물리적특성은 Table 3과 같다.

Table 3. 굵은골재의 물리적 특성

최대치수	건조비중	흡수율	단위용적	각 체의 통과 백분율(%)						조립율	
				40 (mm)	25 (mm)	19 (mm)	13 (mm)	10 (mm)	NO.4 NO.8		
25	2.6	0.86	1611	100	99.3	99.3	46.9	49.9	1.7	0.2	6.52

### 바. 실리카흙

실리카흙은 실리콘 또는 페로실리콘 등으로 귀금속 합금철을 제조하는 과정에서 생기는 폐가스를 응집한 것으로서  $SiO_2$ 를 주성분으로 한 초미립자의 산업부산물이다.

### 3. 배합설계

폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 배합은 무엇보다도 폴리머와 강섬유를 균일하게 분산시키는 것이 중요하다. 이에 관한 배합설계는 Table 4와 같다.

Table 4. 폴리머-강섬유 혼입 고강도 콘크리트의 배합설계

Concrete Type	Max size (mm)	W/C (%)	Steel Fiber (%)	SF (%)	Unit volume(kg/m <sup>3</sup> )				
					W	C	S	G	P
PSNS	25	35	1.0	-	111.9	320.0	790.0	1300.0	64.0
PSHS1	25	30	1.0	10.0	180.0	600.0	581.0	1121.0	120.0
PSHS2	25	30	1.0	15.0	204.0	680.0	514.0	947.0	136.0

### 4. 실험방법

#### 가. 공시체 제작 및 강도측정

강도실험용 공시체 제작은  $\phi 150 \times 300$ mm 몰드를 사용하였으며 원주형 몰드에 3층으로 나누어 채우고 각층마다 25회씩 다짐을 실시하는 등 콘크리트를 KSF 2403규정에 따라 제작하였다. 공시체 제작 1일후 몰드를 탈형하여 표준수중양생을 실시하여 재령 28일 압축강도와 인장강도를 측정하였다. 콘크리트 공시체의 압축강도 및 인장강도는 습윤양성한 공시체를 꺼내어 표면의 물기를 닦고 시험기에 장치한 후 KSF 2405, KSF 2423의 규정에 의해 하중을 매초  $2.5\text{kgf/cm}^2$ 의 일정하나 속도로 재하하여 실험을 실시하였다.

#### 나. 부재의 제원 및 시편제작

폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 보의 전단거동을 연구하기 위하여 시험체의 제작은 단면  $15 \times 30\text{cm}$ 의 보를 길이별로 다르게 하였고 시험체의 주요변수들을 고려하여 정적실험용 시험체 9개를 제작하였다. 여기서 강도별로 PSNS는 폴리머-강섬유를 혼입한 보통강도, PSHS는 폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트를 나타내고 각각 전단지간·깊이비로 I, II, III으로 1.5, 2.8, 3.6으로 하였다. 제작된 실험부재의 제원은 Table 5와 같다.

Table 5. 시험시편의 제원 및 명칭

부재 명칭	부재의 크기 (cm)	인장철근 (mm)	스터립 (mm)	전단지간비 (a/d)	인장철근비 ( $\rho_w$ , %)
PSNS I	$15 \times 30 \times 130$	$\phi 19$	None	1.5	1.53
PSNS II	$15 \times 30 \times 190$	"	"	2.8	"
PSNS III	$15 \times 30 \times 240$	"	"	3.6	"
PSHS1- I	$15 \times 30 \times 130$	$\phi 19$	"	1.5	"
PSHS1- II	$15 \times 30 \times 190$	"	"	2.8	"
PSHS1- III	$15 \times 30 \times 240$	"	"	3.6	"
PSHS2- I	$15 \times 30 \times 130$	$\phi 19$	"	1.5	"
PSHS2- II	$15 \times 30 \times 190$	"	"	2.8	"
PSHS2- III	$15 \times 30 \times 240$	"	"	3.6	"

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 강도 특성

폴리머와 1.0% 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 압축강도 실험에서 세가지 시리즈로 분류하여 PSNS-시리즈는 W/C=35%, PSHS1-시리즈는 W/C=30%, PSHS2-시리즈는 W/C=30%로 하였으며 각 시리즈별로 실험한 28일 압축 및 인장강도의 실험결과는 Table 6과 같다.

Table 6. 압축 및 인장강도의 실험결과

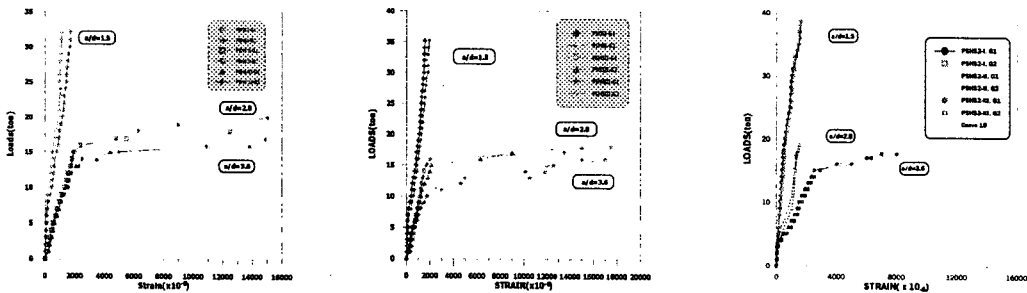
Series	W/C (%)	Compressive Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	압축강도와 인장강도의 비 (f <sub>c</sub> /f <sub>sp</sub> )
		28-day	28-day	
PSNS	35	320	34.2	9.35
PSHS1	30	436	45.8	9.52
PSHS2	30	520	55.1	9.43

#### 2. 하중증가에 따른 균열성장과 파괴양상

폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트보는 압축강도에 상관없이 휨균열은 하중 재하 초기에 순수휨구간에서 발생하여 하중을 증가시키에 따라 미세하게 계속 성장하였다. 폴리머를 콘크리트에 혼합하므로써 인장력이 증대되었음을 알 수 있고 하중이 극한 하중에 이르러어도 부재는 곧바로 파괴되지 않으며 강섬유의 뿔힘작용에 의하여 어느 정도 내하력을 갖고 있다. 결국 부재는 강섬유의 뿔힘 작용에 의하여 파괴를 일으킨다. 강섬유가 콘크리트에서 뿔히는 소리는 실험에서 직접 들을 수 있으며 파괴직전에 보는 새로운 균열이 불규칙적으로 많이 발생한다. 이는 폴리머와 강섬유가 아직도 콘크리트와 부착되어 있으며 그 파괴는 섬유의 뿔힘으로써 파괴되는 것을 확인할 수 있었다.

#### 3. 하중과 변형을관계

폴리머-강섬유를 혼입한 콘크리트 각각의 부재에 대한 하중과 변형을 관계는 보통강도, 고강도로 구별하여 전단지간·깊이비(a/d)별로 나타내었다. 인장철근의 변형율은 하중의 증가에 따라 일정한 기울기를 가지고 증가하였다. 각 부재의 하중과 변형을관계는 Fig.1과 같다.



PSNS부재의 하중-변형을

PSHS1부재의 하중-변형을

PSHS2부재의 하중-변형을

Fig. 1 각 부재의 하중과 변형을관계

#### IV. 결 론

이 논문은 폴리머-강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 보의 전단거동에 관한 연구로서 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 고강도콘크리트는 취성적 성질을 보이는 것이 일반적이거나 폴리머와 강섬유를 혼입함으로써
2. 시편이 파괴된 극한강도 결과값을 볼 때 극한강도의 증가는 압축강도의 증가에 의한 영향보다는 전단지간·깊이비의 영향이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다.
3. 주어진 강도와 전단지간·깊이비에서 동일한 하중에서의 변형율은 큰 차이가 없으나 전단지간·깊이비에 관계없이 인장철근의 항복후에는 큰 병형율을 나타내었고 강섬유의 영향으로 후균열이 크게 작용되어 부재의 변형이 지속되고 있음을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. 박종건(1997) "고강도 철근콘크리트 보의 전단피로거동에 관한 연구" 박사학위논문, 원광대학교 대학원
2. Shah, S.P. and Rangan, B.V., "Fiber Reinforced Concrete Properties," ACI Journal, Vol. 68, No. 2 February, 1971, pp.126~135.
3. ACI Committee 544, "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete," ACI Journal, Vol. 75, No. 7, July, 1978, pp.283~289.
4. Narayanan, R. and Darwish, I, Y. S., "Use of Steel Fibers as Shear Reinforcement," ACI Structural. Journal, Vol. 84, No. 3, May, 1987, pp.216~227.