

강섬유 보강 고강도 콘크리트 보의 전단강도 추정식

Deduction Equation of Shear Strength of Steel Fiber Reinforced High Strength Concrete Beams

조 선 정(원광대) * 박 종 건(농업기반공사) 곽 계 환(원광대)
Cho, Sun-Jeong · Park, Jong-Gun · Kwak, Kae-Hwan

Abstract

The purpose of this paper is to propose the deduction equation of shear strength of high strength reinforced concrete beams input steel fibrous. To propose the deduction equation of shear strength, we studied high reasonable verification by comparing proposal equation with other researches such as equation of ACI code 318-95 or equation of Zsutty. To propose the deduction equation of shear strength, regression analysis was done using MINITAP program. Finally, it has been tried to make an improvement of brittleness quality of high strength concrete which has been weak points and it is convinced the result by increase of deflection and strain about loads.

I. 서 론

고강도 콘크리트는 급작스런 취성파괴양상을 나타내는 단점을 가지고 있으며 취약점인 취성을 연성화 할 수 있도록 보완한 신소재가 강섬유이다. 콘크리트의 성질을 개선하기 위해서 강섬유를 콘크리트속에 분산시켜 만든 고강도 콘크리트의 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 부재의 구조적 거동에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 보의 전단강도 추정식을 제안하고자 한다. 전단강도 추정식의 제안을 위하여 ACI 318-95 규준식과 Zsutty식 등을 비롯한 기존 연구자들의 제안식과 비교 검토 하므로써 그 타당성을 높이는 검증을 하였다. 또한 전단강도 추정식의 제안을 위하여 프로그램 MINITAP을 이용하여 회귀분석을 하였다. 따라서 본 연구에서는 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 강도특성을 파악하고 전단강도해석에 대한 규준식이 아직 제안되어 있지 않은 상태이므로 정적실험을 통하여 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 보의 전단강도식을 제안하고자 한다.

II. 실험계획

1. 배합설계

강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 배합설계를 위하여 사용재료는 국내 D사 제품인 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고 잔골재의 비중이 2.62, 조립률이 2.75이었다. 또한 굵은골재의 비중은 2.59, 조립률은 6.59 이었다. 또한 고강도 콘크리트를 발현하기 위하여 고성능감수제로서 비중이 1.21, PH8.0의 암갈색인 Powercom-100을 사용하였다. 실리카흄은 노르웨이의 마이크로 실리카로서 초미분말의 실리카 제품이었다. 강섬유를 혼입한 경우와 혼입하지 않은 경우의 콘크리트의 배합설계는 Table 1과 같다.

Table 1. Mix proportion

Concrete types	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	V _f
Normal strength concrete input steel fibrous	19	10±2	55	41	-	165	300	-	800	1087	1.0%	1.0%
High strength concrete input steel fibrous	19	10±2	35.4	35	10	160	400	51.2	780	1042	2.0%	1.0%
Ultra-high strength concrete input steel fibrous	19	10±2	26	35	15	160	500	113.2	650	1034	2.0%	1.0%
Normal strength concrete	25	10±2	49.7	43.3	-	165	332	-	790	1034	-	-
High strength concrete	19	10±2	27	35	10	160	533	59.2	610	1133	1.0%	-
Ultra-high strength concrete	19	10±2	18	35	15	160	750	132.3	512	949	2.0%	-

SF : 실리카 흄(Silica fume)

SP : 고성능 감수제(Superplasticizer)

V_f : 강섬유 혼입율(Steel fiber content present by volume)

2. 강섬유

본 실험에 사용된 강섬유는 벨기엘 H사의 제품으로써 강선절단법으로 제조된 양단 흑크형을 사용하였다. 이때 강섬유의 비중은 7.85이고 형상비는 60(=60/0.1)이었다. 강섬유의 종류 및 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical properties and shapes of steel fiber

Aspect ratio (ℓ/d)	Length (mm)	Diameter (mm)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Shape of section	Modulus of elasticity (×10 ⁶ kgf/cm ²)	Specific gravity
60	60	1.0	11,000	square	2.9	7.85

3. 실험체 제작

본 연구에서 전단보강철근이 없는 보에 대하여 강섬유를 혼입한 경우 콘크리트 보 9개와 강섬유를 혼입하지 않은 경우 콘크리트 보 9개로서 총 18개의 실험체를 제작하였다. 이에 대한 실험체의 종류는 Table 3과 같다.

Table 3. Detail of test specimen

Specimen	f_{cu} (kgf/cm ²)	Beams size (cm)	Fibrous content (vol.%)	Shear span-depth ratio (a/d)
UHSB1	800	15×30×130	1.0	1.5
UHSB2	800	15×30×190	1.0	2.8
UHSB3	800	15×30×240	1.0	3.6
HSB1	520	15×30×130	1.0	1.5
HSB2	520	15×30×190	1.0	2.8
HSB3	520	15×30×240	1.0	3.6
NSB1	320	15×30×130	1.0	1.5
NSB2	320	15×30×190	1.0	2.8
NSB3	320	15×30×240	1.0	3.6
UHB1	1,158	15×30×130	None	1.5
UHB2	1,158	15×30×190	None	2.8
UHB3	1,158	15×30×240	None	3.6
HB1	800	15×30×130	None	1.5
HB2	800	15×30×190	None	2.8
HB3	800	15×30×240	None	3.6
NB1	320	15×30×130	None	1.5
NB2	320	15×30×190	None	2.8
NB3	320	15×30×240	None	3.6

UHSB : Ultra-high strength reinforced concrete beams input steel fibrous

HSB : High strength reinforced concrete beams input steel fibrous

NSB : Normal strength reinforced concrete beams input steel fibrous

UHB : Ultra-high strength reinforced concrete beams

HB : High strength concrete reinforced concrete beams

NB : Normal strength reinforced concrete beams

1, 2, 3 : Number of beams

4. 실험방법 및 측정

강도실험용 공시체 제작은 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 몰드를 사용하였고 원주형 몰드에 3층으로 나누어 채우고 각층마다 25회씩 다짐을 실시하는 등 콘크리트를 KSF 2403 규정에 따라 제작하였다. 콘크리트의 강도측정에 따른 공시체의 편심량을 방지하기 위하여 공시체면을 평활하게 함이 중요하므로 본 실험에서는 연마기로 공시체의 가압면을 마무리하였다. 공시체 제작 1일후 몰드를 탈형하여 $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 상온에서 표준수중양생을 실시하여 압축강도 및 인장강도를 측정하였다. 또한 정적실험에서 하중재하는 200Ton용량의 유압식 만능시험기인 U.T.M을 사용하였다. 하중의 재하간격은 20cm로 하여 단순지지조건에서 4점재하를 실시하였다. 파괴에 이를때까지 1.0Ton 씩 증가시켜 하중증가에 따른 극한하중, 초기 사인장균열하중, 초기 휨균열하중, 하중과 철근의 변형률관계, 하중과 처짐관계 등을 관찰하였다.

III. 실험결과

1. 강도실험결과

강섬유를 혼입한 경우 콘크리트의 압축강도에 대한 할렬인장강도비는 1/7.7~1/11.6 으로 나타났으나 강섬유를 혼입하지 않은 경우 콘크리트의 압축강도에 대한 할렬인장강도비는 1/8.2~1/19.6으로 나타났다. 이와 같이 강섬유의 혼입은 콘크리트의 압축강도보다는 할렬인장강도를 개선됨으로서 강섬유의 보강이 효과적임을 알 수 있었다. 압축강도와 할렬인장강도의 관계는 Table 4와 같다.

Table 4. Relation between compressive strength and splitting tensile strength

Concrete types	W/(C+SF) (%)	Compressive strength $f_{cu}(\text{kgf/cm}^2)$	Tensile strength $f_{sp}(\text{kgf/cm}^2)$	f_{cu}/f_{sp}
Normal strength concrete input steel fibrous	55	320	41.4	7.7
High strength concrete input steel fibrous	35.4	520	52.9	9.8
Ultra-high strength concrete input steel fibrous	26	800	68.9	11.6
Normal strength concrete	49.7	320	39	8.2
High strength concrete	27	790	53	14.9
Ultra-high strength concrete	18	1158	59	19.6

2. 새로운 전단강도 제안식

본 실험에서 얻은 결과값을 ACI 318-95규준식, Zsutty 제안식의 예측값과 비교하여 타당성을 검토하여 새로운 식을 제안하였다. 본 제안식은 프로그램 MINITAP을 이용하여 회귀분석을 하였으며 각각의 상관도는 전단균열강도식의 경우이고 극한전단강도식의 경우 $R^2=0.95, 0.98, 0.89$ 로 나타났다. 본 회귀방정식의 $R^2=0.98, 0.99, 0.94$ P-Value는 0.0001이기에 회귀방정식의 P-Value가 적을수록 바람직하다는데 일치하게 되었다. 기존 전단강도식인 ACI 318-95의 규준식과 Zsutty 제안식을 본 연구에서 실제 실험한 값과 제안 공식을 비교 검토한결과 실제 실험한 값과 제안식을 비교할 때 전단균열강도식은 1.18~0.72, 극한전단강도식은 1.26~0.71로서 Paramer 0.7의 범위에 있기 때문에 본 제안식은 안전성이 있다고 판단된다.

가. 전단균열강도식

- 1) $V_{cr} = 0.412\sqrt{f_{cu}} + 1347 \cdot \rho_w \cdot d/a$ (kgf/cm²) --- 강섬유를 혼입한 경우
- 2) $V_{cr} = 0.461\sqrt{f_{cu}} + 265 \cdot \rho_w \cdot d/a$ (kgf/cm²) ---- 강섬유를 혼입하지 않은 경우

나. 극한전단강도식

- 1) $V_u = 22.1(f_{cu} \cdot \rho_w \cdot d/a)^{1/3}$ (kgf/cm²) ---- 강섬유를 혼입한 경우
- 2) $V_u = 13.7(f_{cu} \cdot \rho_w \cdot d/a)^{1/3}$ (kgf/cm²) ---- 강섬유를 혼입하지 않은 경우

다. MINITAP의 Data 입출력 화면

입출력 데이터는 각 데이터 블록별로 C1~C10까지 각 시편의 실제 전단파괴시의 하중과 초기 휨균열하중을 입력하였고 변수로 압축강도, 인장철근비, 전단지간비를 선택하여 아래 Fig. 1에서 보는 바와 같이 회귀분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다.

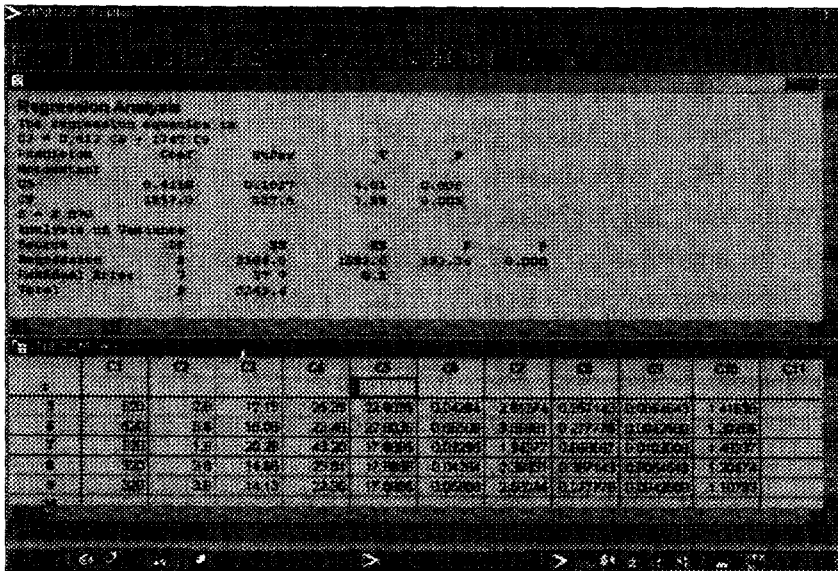


Fig. 1 Results of regression analysis

IV. 결 론

본 연구에서는 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 강도특성을 분석하였으며 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 보에 대하여 수치해석 및 실험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강섬유를 혼입하지 않은 경우 압축강도에 대한 할렬인장도비는 1/8.2~1/19.6이었으나 강섬유를 혼입한 경우 압축강도에 대한 할렬인장도비가 1/7.7~1/11.6으로 나타났다. 즉, 강섬유를 혼입하는 경우 압축강도보다는 할렬인장강도가 크게 개선됨을 알 수 있었다.

2. 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 보의 전단강도 추정식을 다음과 같이 제안한다.

가. 전단균열강도식

$$V_{cr} = 0.412\sqrt{f_{cu}} + 1347 \cdot \rho_w \cdot d/a \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

나. 극한전단강도식

$$V_u = 22.1(f_{cu} \cdot \rho_w \cdot d/a)^{1/3} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

3. 고강도 콘크리트의 취성적인 성질을 강섬유를 혼입함으로써 연성화 할 수 있었고 강섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 보의 경우 하중에 대한 처짐이 약 2배 가량 크다는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-99) and Commentary(ACI 318R-95)", American Concrete Institute, 1999.
2. ACI Committee 363, "State of the Art Report on High-Strength Concrete", ACI Journal, Vol.81, No.4, July-August 1984, pp.364~411.
3. ACI Committee 544, "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete", ACI Journal, Vol.75, No.7, July, 1978, pp.283~289.
4. Romualdi, J. P., and Baston, G. B., "Behavior of Reinforced Concrete Beams with Closely Spaced Reinforcement", ACI Journal, Vol.60, No.6 June, 1963, pp775~789.
5. Narayanan, R. and Darwish, I. Y. S., "Use of Steel Fibers as Shear Reinforcement", ACI Structural. Journal, Vol.84, No.3, May, 1987, pp216~227.
6. Shah, S.P. and Rangan, B.V., "Fiber Reinforced Concrete Properties", ACI Journal, Vol.68, No.2 February, 1971, pp126~135.
7. T. C. Zsutty, "Shear Strength Prediction for Separate Categories of Simple Beam Tests", ACI Journal, Vol. 68, No.2, February 1971, pp.138~143.
8. 전용진, "MINITAB을 활용한 통계자료분석", 학문사, 1996년 2월, pp245~324.