

# 전단 보강이 없는 강섬유보강 고강도 철근 콘크리트보의 전단 거동에 관한 연구

## Shear Mechanism of Steel-Fiber Reinforced High Strength Concrete Beams without Shear Confinement

오 정 근\* 이 광 수\*\* 신 성 우\*\*\*  
Oh, Jung Geun Lee, Kwang Soo Shin, Sung Woo

### 요 약

본 논문은 전단보강이 없는 강섬유보강 고강도 철근콘크리트보의 전단거동에 관한 연구로서 전단스팬비(a/d), 섬유첨가율(Vf)의 변화에 따른 사인장균열 전단응력 및 극한전단응력의 변화를 관찰하였다.

실험결과 섬유첨가율이 증가할수록, 전단스팬비가 감소할수록 사인장균열 전단응력 및 극한전단응력이 증가함을 보여주고 있으며, 특히 섬유첨가율이 증가함에 따라 섬유의 균열억제거동에 의해 극한전단응력이 높게 증가함을 볼 수 있다. 본 연구에 의한 실험결과를 바탕으로 각 변수에 따른 사인장균열 전단응력 및 극한전단응력에 대한 실험식을 제안하였다.

### Abstract

Investigations on the behavior of steel fiber reinforced high strength concrete beams subjected to predominant shear are accomplished to determine their diagonal shear strength including ultimate shear strength. The parameters varied were the fiber volume fraction(Vf) of the steel-fibers and shear span to depth ratio(a/d).

The test result show that diagonal shear strength and ultimate shear strength are increased significantly due to crack arrest mechanism. Predictive equations are suggested for evaluating the diagonal cracking strength and ultimate shear strength of the fiber reinforced high strength concrete beams.

## 1. 서론

### 1.1 연구배경

현대 산업의 급속한 발전에 따른 다기능적 건축물의

요구에 따라 건축 구조물은 초고층화, 대형화, 특수화하는 추세에 있으며, 이는 구조재료의 고강도화 및 경량화와 더불어 이를 수반하는 효율적이고 경제적인 구조 시스템을 요구하고 있다. 부존자원이 부족한 국내실정으로 보아 철강재료로 구조부재의 고강도화에 대처하는 것보다, 풍부한 콘크리트의 재료를 개발하고 이를 발전시켜 구조부재의 고강도화에 대처하는 방안이 바람직할 것이다.

\* 정희원, 선경건설, 연구원

\*\* 정희원, 한양대 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\*\* 정희원, 한양대 건축공학과, 부교수

그러나, 고강도 콘크리트는 풍하중 및 지진하중등의 외력에 의해 급작스런 취성파괴 양상을 나타내는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하여 철근 콘크리트 부재의 연성을 증가시키기 위한 방안으로 철근 콘크리트 부재등에 강섬유등을 첨가하여 콘크리트의 고강도화에 따른 취성을 보완하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 고강도 철근 콘크리트 부재의 연성 증대라는 측면에서, 강섬유 보강 고강도 철근 콘크리트 부재의 전단 파괴 양상 및 전단 응력을 고찰하고 전단 응력에 대한 실험식을 제안함으로써 강섬유 보강 고강도 철근 콘크리트 부재의 연구 및 실용화에 대한 기본 자료를 제시하고자 한다.

## 1.2 기존 연구

섬유 보강 콘크리트에 대한 재료적인 연구는 1960년대 Romualdi와 Batson에 의해 시작되었으며, 이들은 Griffith의 이론을 바탕으로 섬유의 균열 억제 거동(Crack Arrest Mechanism)이라는 이론을 발표하였다. 이후 미국을 중심으로 섬유보강 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되어, 지난 몇 년간 직사각형, T형 단면 부재의 전단 거동 및 제안식이 제안되어왔다.<sup>1,3,4)</sup> 그러나 섬유의 부착 특성(Bond Characteristics), 섬유형상비(Asspect Ratio of Fibers), 섬유첨가율(Fiber Volume Fraction)등의 서로 다른 특징 때문에 설계식의 일반화와 각각의 부재의 전단 강도에 영향을 미치는 변수들에 대한 만족할 만한 분석자료가 부족하여 섬유보강 고강도 콘크리트에 대한 연구는 부진한 실정이다.

## 1.3 연구의 추진방법

기존의 연구 결과에 의하면 섬유보강 철근 콘크리트의 전단 강도에 영향을 미치는 요인으로 섬유보강 콘크리트의 섬유첨가율(Fiber Volume Fraction), 섬유형상비(Asspect Ratio of Fibers), 할렬인장강도(Splitting Tensile Strength), 부재의 전단스팬비(Shear Span to Depth Ratio), 주근비(Ratio of Tensile Reinforcement) 및 전단 보강의 유무등으로 보고되고 있다.<sup>4,5)</sup>

본 연구에서는 강섬유보강 고강도 철근 콘크리트보( $f'_c = 800 \text{ kg/cm}^2$ )의 전단거동에 관한 연구를 위해 섬유첨가율( $V_f$ )을 0, 0.5, 1.0%로 하고, 전단스팬비( $a/d$ )를 2.0,

3.0, 4.5로 하였으며, 주근비( $\rho_t$ )는  $0.5\rho_b$ 로 하여 이들 변수에 따른 전단거동 및 전단응력을 고찰, 분석하고자 한다. 따라서 본 연구에서는

- 1) 강섬유보강 고강도 콘크리트의 제조에 관한 재료 및 공시체의 시험
- 2) 섬유첨가율( $V_f$ )의 증가에 따른 보시험체의 사인장 균열 전단응력(Diagonal Shear Stress) 및 극한 전단 응력(Ultimate Shear Stress)의 변화
- 3) 전단 스펠비( $a/d$ )에 따른 강섬유보강 고강도 철근 콘크리트보의 시험체의 전단 부담능력.
- 4) 본 실험의 결과와 기존 설계식과의 비교, 분석 및 섬유첨가율( $V_f$ ), 전단 스펠비( $a/d$ ), 주근비( $\rho_t$ )등의 각 변수에 의한 부재의 전단응력에 대한 설계식(Predictive Equation)의 제안등, 제반 연구를 주요 내용으로 한다.

## 2. 시험체

### 2.1 시험체 계획

본 연구에서 전단 보강이 없는 강섬유보강 고강도 철근 콘크리트보 부재의 전단 부담 능력을 고찰하기 위해 총 9개의 시험체를 제작하였고, 보시험체 상세는 Fig.2.1에 나타나 있다.

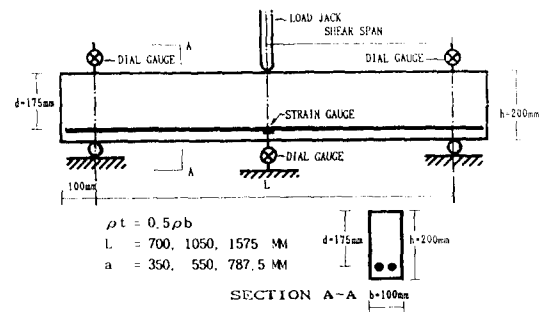


Fig.2.1 Detail of the specimen

시험체를 대별하면

- 1) 전단 스펠비에 따른 구분( $a/d = 2.0, 3.0, 4.5$ )
- 2) 섬유첨가율에 따른 구분( $V_f = 0, 0.5, 1.0\%$ )
- 3) 주근비( $\rho_t$ )에 따른 구분( $\rho_t = 0.5\rho_b$ , 단  $\rho_b =$  Balanced Steel Ratio)

예를 들면 HFB3-U1-0.5에서

H : 고강도 콘크리트(High Strength Concrete)

F : 섬유 보강(Fiber Reinforced)

B : 보(Beam)

3 : 전단 스팬비(a/d)=3.0

U :  $\rho_t = 0.5\rho_b$ (Under Reinforced Concrete)

1 : 전단보강( $V_s$ )=0(%)

0.5 : 섬유첨가율( $V_f$ )=0.5(%)

## 2.2 사용 재료 및 배합비

시멘트는 S사 제품의 수출용 2종 포틀랜드 시멘트를 대상으로 하였으며, 세골재는 강모래, 그리고 조골재는 최대 크기 13mm의 화강암 쇄석을, 혼화제는 Naphtalene 계의 Super-20을, 철근은 인천 제철 제품인 SBD40의 D22를 사용하였으며 KS B 0801의 규정에 의해 철근의 인장 시험편을 제작하였고, KS B 0802의 금속 재료 인장 시험 방법에 따른 시험을 실시하였다.

본 연구에 사용된 강섬유는 단면이 원형이고, 직선형 강섬유로 일정한 길이로 잘라서 사용하였다. 직경(D)=0.4MM, 길이(L)=40MM, 섬유형상비(Aspect Ratio=L/D)는 100이며, Table 2.1에 강섬유의 물리적 특성이 잘 나타나 있다.

Fig.2.1 Properties of steel fibers

항복강도	극한강도	탄성계수	단위중량
13.28E+03	18.185E+03	2.27E+06	7.8

(단위 : kg/cm)

강섬유보강 고강도 콘크리트의 배합은 요구강도와 성형성에 맞게 설계되었으며, 물시멘트비(W/C)는 0.3으로 S.P.제 사용량은 1.0%로 하였다. 타설과 동시에 KS F 2402에 따른 슬럼프 시험을 실시 하였다. 공시체 및 보 시험체는 온도가 25℃이상의 수조에서 수중양생 하였다. 재령 28일 경과 후 KS F 2405에 의한 압축 강도 시험과 KS F 2423에 의한 활열 인장 강도 시험을 하였으며 그 결과가 Table 2.2에 나타나 있다.

Table 2.2 Compressive strength and split cylinder strength of steel fiber reinforced high strength concrete

재 령	28 일		
	0.5(%)	0.5(%)	1.0(%)
섬 유 첨 가 율	0.5(%)	0.5(%)	1.0(%)
압 축 강 도	810	860	900
활 열 인 장 강 도	65	102	125

(단위 : kg/cm)

## 3. 시험

### 3.1 보 시험체 설치

본 실험에 사용된 시험기는 최대용량 100 TON의 U.T.M 이다. 모든 시험체는 전단스팬비(a/d)에 관계없이 중앙부 1점가력하였으며 시험체의 처짐을 측정하기 위해 중앙부에 1/100MM, 양 단부의 회전을 측정하기 위해 1/1.000MM의 정밀도를 갖는 전기 다이얼게이지를 각각 1개씩 설치하였다.

### 3.2 하중재하 및 측정

재하과정은 예상극한파괴하중의 1/3범위까지는 하중을 일정하게 2.0TON씩 증가시켰으나 그 후에는 속도를 하중점하부에 설치된 중앙부 Dial Gauge의 처짐과 Strain Indicator에 나타나는 변형등을 관찰하면서, 가력속도를 변위조절방식(Deflection Control)으로 바꾸었다. W.S.G 및 D.G의 변형은 UCAM과 Strain Indicator에 의해 기록되었으며 모든 보 시험체의 표면에 하중재하에 따른 균열의 위치와 진전상황 및 그에 따른 하중을 표시하였고, 동시에 하중재하에 따른 균열상태도를 모눈종이에 그렸다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 일반적 파괴 양상

모든 시험체의 일반적 파괴 양상은 휨 활열 계수(Modulus of Rupture)에 근거한 예상하중에서 보의 중앙부 가력점 하부에 초기균열이 발생하기 시작하였으며 하중이 증가하면서 휨 균열이 연장되어 가력점과 지지점 사이의 전단 스팬 내에서 사인장균열(Diagonal Crack)로 이어졌다.

섬유첨가율이 0%인 시험체는 사인장균열 후에 곧바로 극한 파괴에 도달함을 볼 수 있고, 섬유보강을 한 시험체는 초기균열 발생 후에도 높은 전단 응력에 저항함을 알 수 있다. 즉, 섬유첨가율이 0.5%인 경우, 사인장 균열 발생 이후 극한 파괴에 이르는 보유강도가 어느 정도 증가함을 볼 수 있으며, 섬유첨가율이 1.0%인 경우에는 균열폭이 좁아짐과 동시에 발생균열의 개소가 증가함을

이 수 있는데 이것은 Romoli와 Batson에 의한 섬유유리 섬유 복합체의 균열 억제 효과(Crack Arrest Mechanism)으로 설명되어 있다.<sup>20)</sup>

모섬유첨가율(Vf)에 관계없이 초기 균열 강도(Initial Crack Strength) 및 사인상 균열 발생 강도는 전단 스패닝에 관계없이 비슷한 값을 보여주는데, 이것은 강섬유가 콘크리트 매트릭스에 첨가될 경우 강섬유가 초기균열후 콘크리트 균열을 서로 잡아 줌으로서 후기균열강도(Post Cracking Strength)에 더 효과적임을 알 수 있다.

전단스패닝에 따른 파괴양상을 볼 때 전단스패닝비가 2.0인 경우에는 전단스패닝 내에서 초기균열이 발생되면서 전단거점으로 연결되어 압축부에서 최대 응력에 저항하는 경사압축균열(Diagonal Compression Splitting)에 의한 파괴 양상을 보여준다.

전단스패닝비 3.0이상인 경우에는 섬유첨가율에 비례하여 수직균열의 발생후에 전단균열이 발생하였고 전단응력의 많은 손실을 섬유유에 의해서 저항됨을 볼 수 있었으며 강섬유가 전단 마지막 단계에 도달하여 압축 부분과 수직균열을 따라 균열이 연장되는 것을 볼 때 압축부분의 콘크리트와 Dowel Action에 의한 2차 전단거동임을 알 수 있었다.

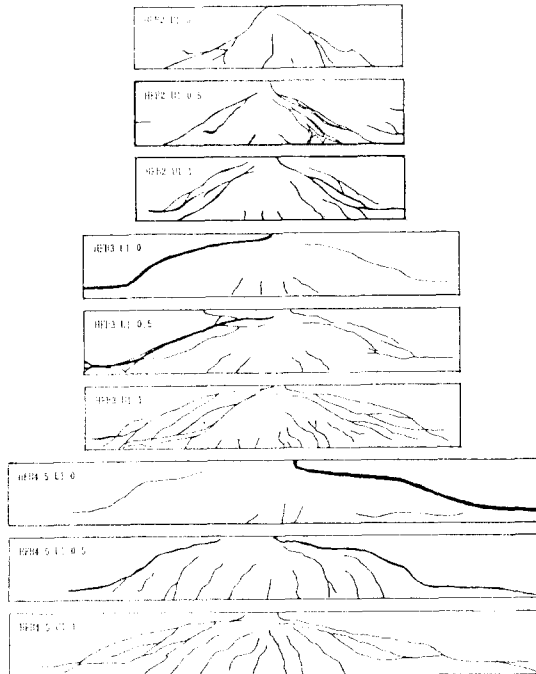


Fig.4.1 Crack patterns for specimen

#### 4.2 하중-처짐 곡선

전단스패닝비 2.0인 시험체의 하중-처짐 곡선은 전단스패닝비가 3.0, 4.5인 시험체와 비교할 때 강성경사도가 큰 것을 알 수 있다. 또 섬유첨가율이 증가함에 따라 강성경사도의 차이는 없지만, 최대하중 이후 섬유의 균열 억제 기동에 의한 제2차 하중-처짐곡선이 발생함을 볼 수 있다. 즉 이러한 2차 하중-처짐 곡선은 전단 보강이 없는 시험체의 경우 부재의 급작스런 전단 파괴를 방지할 수 있음을 보여준다.

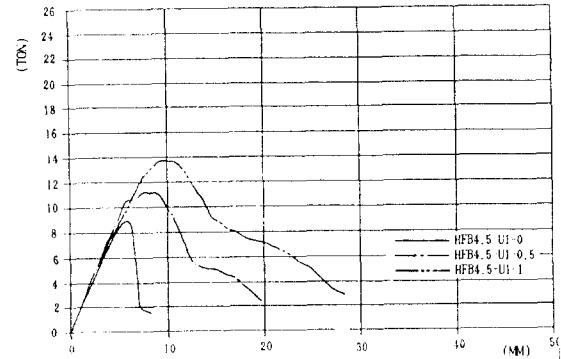
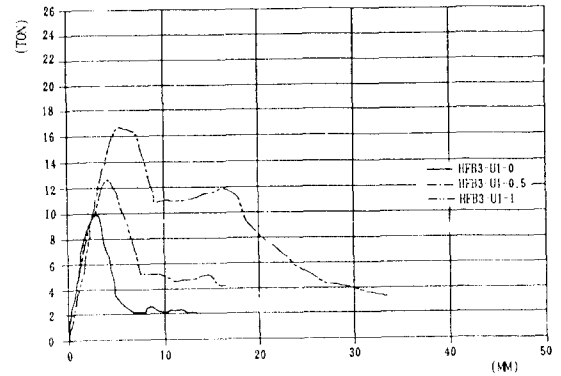
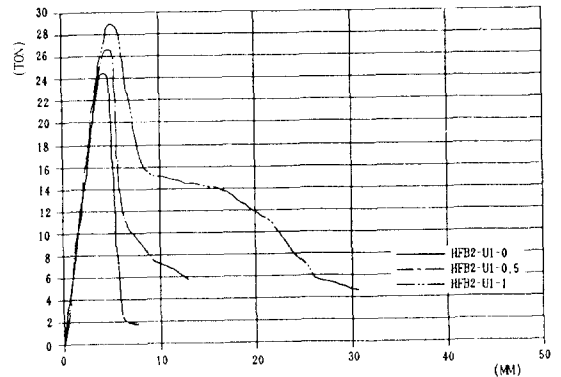


Fig.4.2 Load versus central deflection for beams

Table 4.1 Beam details and test results

區分 試驗體名	剪斷 스팬비 (a/d)	纖維 添可率 (%)	剪斷 補強比 (%)	f <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	剪斷實驗值(kg/cm <sup>2</sup> )		最大 耐力 kg/cm <sup>2</sup>
					符號裂 應力	極限 應力	
HFB2-U1-0	2.0	0.0	0.0	800	32.70	61.25	122.50
HFB2-U1-0.5	2.0	0.5	0.0	840	38.50	67.00	134.00
HFB2-U1-1.0	2.0	1.0	0.0	890	45.30	72.50	145.00
HFB3-U1-0	3.0	0.0	0.0	800	26.71	28.17	56.34
HFB3-U1-0.5	3.0	0.5	0.0	840	28.55	31.25	62.50
HFB3-U1-1.0	3.0	1.0	0.0	890	35.32	40.16	80.32
HFB4.5-U1-0	4.5	0.0	0.0	800	21.60	25.43	44.50
HFB4.5-U1-0.5	4.5	0.5	0.0	840	24.75	27.75	56.50
HFB4.5-U1-1.0	4.5	1.0	0.0	890	30.43	33.75	67.50

### 4.3 전단 응력(Shear Strength)

#### 4.3.1 최대 전단 응력

Table 4.1에 실험에 의한 사인장균열 전단응력과 극한 전단응력의 실험 결과가 나타나 있다. 표에서 볼 수 있듯이 섬유첨가율(Vf)이 증가함에 따라 극한전단응력값이 높게 증가함을 알 수 있으나 사인장균열 강도는 다소 낮은 증가율을 보여주고 있다.

#### 4.3.2 전단스팬비에 따른 전단응력

섬유첨가율(Vf)이 일정할 때 전단스팬비(a/d)에 따른 사균열전단응력(Diagonal Cracking Shear Strength) 및 극한전단응력(Ultimate Shear Strength)이 Fig.4.3과 Fig. 4.4에 나타나 있는데, 사균열 전단응력의 변화를 볼 때 전단스팬비가 증가할 수록 사균열 전단응력이 완만하게 감소함을 볼 수 있으며, 극한전단응력의 경우는 전단스팬비가 2.0에서 3.0으로 바뀔 때 따라 극한전단응력이 급격하게 감소함을 볼 수 있으며, 전단스팬비가 3.0에서 4.5로 변할 때는 그 감소 추세가 완만함을 보여주고 있다. 이는 전단스팬비가 2.0인 경우에는 철근 콘크리트보가 아치 작용(Arch Action)을 나타내다가, 전단스팬비가 3.0에서 보 작용(Beam Action)으로 전환함에 따른 결과라고 사료된다.

#### 4.3.3 섬유첨가율(Vf)에 따른 전단응력

Fig.4.5와 Fig.4.6은 섬유첨가율(Vf)에 따른 사균열전단응력 및 극한전단응력의 변화를 나타내는데, 섬유첨가율(Vf)에 따른 사균열전단응력의 효과를 볼 때 Fig.4.5에서 볼 수 있듯이 1.0%의 섬유첨가율에 의해 전단스팬비가 2.0인 경우 39%, 3.0인 경우 32%, 4.5인 경우 29%의

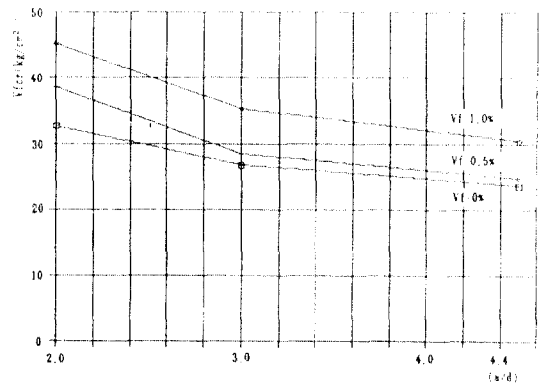


Fig.4.3 Diagonal cracking shear strength versus shear span to depth ratio for beams

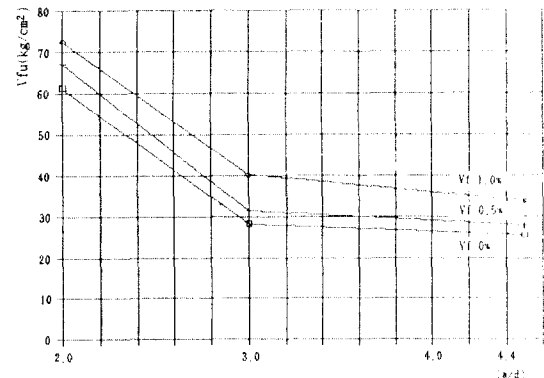


Fig.4.4 Ultimate shear strength versus shear span to depth ratio for beams

사균열전단응력의 증가를 보여주고 있다.

또, 극한전단응력은 섬유첨가율이 0%에서 1.0%로 증가함에 따라 전단스팬비가 2.0인 경우에는 18%, 3.0인 경우에는 42%, 전단스팬비가 4.5인 경우에는 32%

의 증가를 나타냈다.

실험 결과로 볼 때 강섬유 보강은 사균열 전단응력보다 극한 전단응력에 더 효과적임을 알 수 있다. 즉 강섬유의 첨가에 의해 초기균열강도의 증진보다는 초기균열 발생 후에 섬유의 균열억제거동(Crack Arrest Mechanism)에 의해 후기균열 강도가 증가함을 알 수 있는데, 이는 본 연구에서 사용된 강섬유가 직선형 강섬유(Round Steel Fiber)로서 끝이 구부러진 섬유(Deformed Steel Fiber)나 주름진 섬유(Crimped Fiber)보다 초기균열 억제 거동에서 다소 불리한 것으로 사료된다.

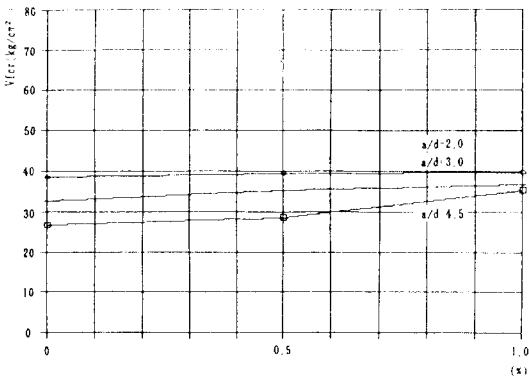


Fig.4.5 Diagonal cracking shear strength versus fiber volume fraction

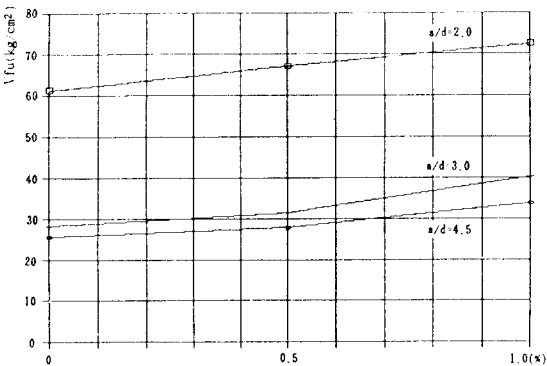


Fig.4.6 Ultimate shear strength versus fiber volume fraction

## 5. 기존 제안식의 고찰 및 실험식의 제안

### 5.1 기존 제안식의 고찰

현재 건설부 규준이나 ACI규준에는 섬유보강을 한 철근 콘크리트 부재의 전단강도에 대한 식이 제안되어 있지 않다. 최근 몇년간 섬유보강 철근 콘크리트 부재의

전단 응력에 대한 실험식이 몇몇 연구자들에 의해 제안되었는데 R.Narayanan과 I.Y.S.Darwish(이하 Narayanan)는 기존의 전단응력에 대한 제안식을 정리하였으며<sup>5)</sup> 또, 그들의 실험을 통하여 섬유보강 철근 콘크리트 부재의 사균열전단응력과 극한전단응력에 관한 다음과 같은 이론과 제안식을 전개하였는데 먼저 섬유인발응력(V<sub>fp</sub>=Fiber Pullout Stress)에 관한 이론을 전개하면 다음과 같다.

Narayanan Romualdi et al이 제안한<sup>6)</sup> 부재단면의 섬유의 갯수(N<sub>w</sub>)에 대한 이론

$$N_w = \frac{1.64 V_f}{\pi D^2} \quad (1)$$

; V<sub>f</sub> = 섬유첨가율 D = 섬유의 직경

을 도입하여 섬유인발응력(V<sub>fp</sub>)에 관한 식을 다음과 같이 전개하였다.

$$\begin{aligned} V_{fp} &= 0.41 \cdot df \cdot L/D \cdot Vf \\ &= 0.41 \cdot \tau \cdot F \quad (F = (L/D) \cdot Vf \cdot df) \end{aligned} \quad (2)$$

위에서 τ값은 Swamy 등의 연구에 의해 42.34kg/cm<sup>2</sup>(4.15N/mm<sup>2</sup>)의 값을 나타내고 있다.<sup>9)</sup> 또 F는 Fiber Factor로서, 여기에서 df의 값은 직선형 섬유(Straight-Round Fiber)의 경우에는 0.5, 주름진 섬유(Crimped Fiber)의 경우에는 0.75, 끝이 굽어진 섬유(Indented Fiber)는 1.0값으로 주어진다.

Narayanan은 위의 이론을 바탕으로 그들의 실험을 통하여 강섬유보강 철근 콘크리트부재의 사균열전단응력 및 극한 전단응력에 관한 다음과 같은 식을 제안하였다.<sup>7)</sup>

$$\begin{aligned} V_{fcr} &= 0.24f_{spfc} + 20 \cdot \rho \cdot (d/a) + 0.5V_{fp} \quad (\text{N/mm}^2) \\ &= 0.24f_{spsc} + 204 \cdot \rho \cdot (d/a) + 0.5V_{fp} \quad (\text{kg/cm}^2) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_{fu} &= e[0.24f_{spfc} + 80 \cdot \rho \cdot (d/a)] + V_{fp} \quad (\text{N/mm}^2) \\ &= e[0.24f_{spsc} + 816 \cdot \rho \cdot (d/a)] + V_{fp} \quad (\text{kg/cm}^2) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{cases} e = 1.0, & \text{when } a/d \geq 2.8 \\ e = 2.8(d/a), & \text{when } a/d < 2.8 \end{cases}$$

### 5.2 본연구에 의한 제안식

본 연구 결과 콘크리트 강도가 증가할수록 강섬유보강 철근 콘크리트부의 전단강도는 섬유보강 콘크리트의 활열 인장강도(f<sub>spfc</sub>)와 섬유첨가율(V<sub>f</sub>)에 의한 섬유인발응력

(Vfp)에 크게 의존하는 것으로 나타났다. 특히 콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 섬유유리 섬유재가동이 향상되어 보통 강도 콘크리트보다 활열인장강도(fspfc) 및 섬유인발응력(Vfp)이 더 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 본 실험에서 얻은 사인장균열 전단강도(Vfcr)와 극한전단응력(Vfu) 활열인장강도(fspfc), 주근비( $\rho$ ), 전단스팬비(a/d), 그리고 섬유인발응력(Vfp)의 관계를 회귀 분석한 결과 사균열전단응력과 극한전단응력에 대하여 다음과 같은 식을 제안할 수 있다.

[사균열전단응력]

$$Vfcr = 0.20fspfc + 680 \cdot \rho \cdot (d/a) + 0.52Vfp \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (5)$$

$$= 0.20fspfc + 6800 \cdot \rho \cdot (d/a) + 0.52Vfp \text{ (psi)}$$

표준편차(S)=6.12

[극한전단응력]

a/d  $\geq$  3인 경우

$$Vfu = 0.19fspfc + 951 \cdot \rho \cdot (d/a) + 0.834Vfp \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (6)$$

$$= 0.19fspfc + 13571 \cdot \rho \cdot (d/a) + 0.834Vfp \text{ (psi)}$$

표준편차(S)=3.41

a/d < 3인 경우

$$Vfu = 0.22fspfc + 2217 \cdot \rho \cdot (d/a) + 0.834Vfp \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (7)$$

$$= 0.22fspfc + 31671 \cdot \rho \cdot (d/a) + 0.834Vfp \text{ (psi)}$$

표준편차(S)=4.12

### 5.3 기존 제안식과 본 연구의 비교

Narayanan et al의 제안식에 의한 계산값과 본 실험에 의한 결과 및 제안식에 의한 계산값이 Table 5.1에 나타

나 있다. Table 5.1과 Fig.5.1과 Fig.5.2에서 볼 수 있듯이 본 실험에 의한 사균열전단응력(Diagonal Cracking Shear Strength) 및 극한전단응력(Ultimate Shear Strength)의 값이 다소 낮게 나타나는데, 이는 Narayanan et al의 제안식이 주근비( $\rho$ )와 전단스팬비(a/d), 섬유인발응력(Vfp)을 과대 평가하고, 활열인장강도(fspfc)의 영향을 과소평가하였기 때문이라고 사료된다.

또한 콘크리트의 압축강도(f'c)의 경우에도 Narayanan et al의 경우 400kg/cm<sup>2</sup>에서 600kg/cm<sup>2</sup>의 범위로서 본 연구의 800kg/cm<sup>2</sup>이상에 비하여 다소 낮아 활열인장강도가 본 연구에서의 값보다 낮게 나타난 결과라고 사료된다.

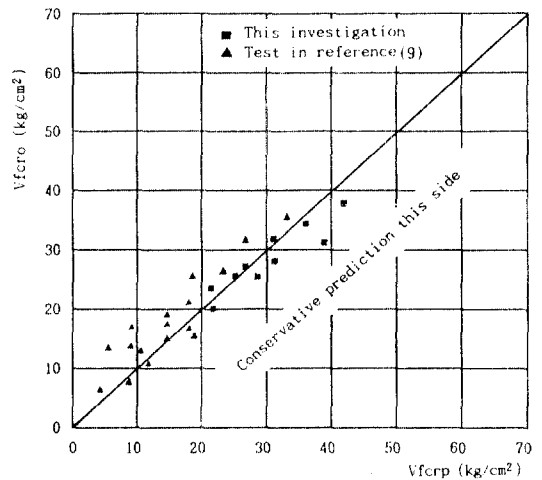


Fig.5.1 Observed diagonal cracking shear strength versus predicted values using the proposed Eq(5)

Table 5.1 Comparison of test results

區分	剪斷應力 實驗值		計算值(式(3)(4))		計算值(式(5)(6)(7))	
	斜龜裂 應力	極 限 應力	斜龜裂 應力	極 限 應力	斜龜裂 應力	極 限 應力
HFB2-U1-0	37.70	61.25	29.10	59.16	23.73	50.10
HFB2-U1-0.5	38.50	67.00	36.50	67.30	32.61	62.44
HFB2-U1-1	45.32	72.50	41.10	72.36	38.13	70.17
HFB3-U1-0	26.71	28.17	25.77	30.45	21.99	33.66
HFB3-U1-0.5	28.55	31.25	32.67	37.48	31.43	42.54
HFB3-U1-1	35.32	40.16	37.27	39.99	36.95	48.06
HFB4.5-U1-0	21.60	25.43	22.72	26.88	20.07	30.59
HFB4.5-U1-0.5	24.75	27.75	30.12	33.91	29.52	39.47
HFB4.5-U1-1	30.40	33.75	34.72	37.03	35.03	44.99

(單位: kg/cm<sup>2</sup>)

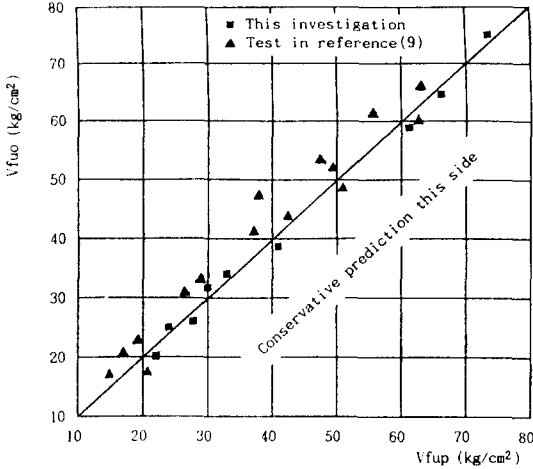


Fig.5.2 Observed ultimate shear strength versus predicted values using the proposed Eq(6)(7)

5. 결론

전단 보강이 없는 강섬유보강 고강도 철근 콘크리트보에 섬유첨가율(Vf)과 전단스팬비(a/d)를 변수로 한 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 섬유첨가율(Vf)의 증가에 따른 섬유 균열억제거동(Crack Arrest Mechanism)에 의해 보의 파괴 양상이 전단 파괴(Shear Failure)에서 휨 파괴(Flexural Failure)로의 전환을 보여주고 있으며, 강섬유의 첨가는 고강도 콘크리트보의 급작스런 전단파괴에 효과적으로 저항함을 볼 수 있다.

2) 고강도 철근 콘크리트 부재에 강섬유를 첨가할 경우 섬유첨가율이 증가함에 따라 사균열전단응력 및 극한전단응력의 높은 증가를 볼 수 있다. 특히 극한전단응력의 높은 증가를 보여주는데 이는 본 연구에서 사용한 강섬유가 직선형의 강섬유로서 초기균열강도 보다는 후기균열강도에 더 효과적임을 보여준다.

3) 강섬유보강 고강도 철근 콘크리트보는 섬유보강을 하지 않은 시험체와 비교할 때 후기균열강도(Post Cracking Strength)와 에너지 흡수능력(Energy Absorption Capacity)이 높게 증가함을 알 수 있다.

4) 섬유보강 콘크리트에 대한 채반 규준식이 요구되고 있으며, 이러한 규준식의 정립을 위해 섬유보강 콘크리트에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다.

1. Romuladi, J.P., and Batson, G.B., "Behavior of Reinforced Concrete Beams with closely spaced Reinforcement.", ACI Journal Vol.60, 1963, June, 1963, pp.775-790.
2. Romualdi, J.P., and Batson, G.B., "Mechanics of Crack Arrest in Concrete." ASCE, Proceedings, Vol.89, EM3, June, 1963, pp.147-168.
3. Jindal Roop I., "Shear and Moment Capacities of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams." Fiber Reinforced Concrete International Symposium, SP-81, ACI, Detroit, 1984, pp.1-16.
4. Muhidin, N.A., and Regan, P.E., "Chopped Steel Fibers as Shear Reinforced in Concrete Beams." Fiber Reinforced Materials, Institution of Civil Engineering, London, 1977, pp.135-149.
5. Narayanan, R and Kareem-Palanjian, A.S., "Effect of Fiber Addition on Concrete Strength." Indian Concrete Journal(Bombay), V.58, No.4, Apr. 1984, pp.100-103.
6. Romualdi, James P., and Mandel, James A., "Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement." ACI Journal, Proceedings Vol.61, No.6, June, 1964, pp.657-671.
7. R. Narayanan and I.Y.S.Darwish, "Use of Steel Fibers as Shear Reinforcement." ACI Structural Journal, May-June, 1987, pp.216-227.
8. De Vekey, R.C., and Majumdar, A.J., "Determining Bond Strength in Fiber Reinforced Composites." Magazine of Concrete Research (London), Vol.20, No.6, June, 1968, pp.229-234.
9. Swamy, R.N., Mangat, P.S., and Rao, C.V.S.K., "The Mechanics of Fiber Reinforcement of Cement Matrices." Fiber Reinforced Concrete, SP-44, American Concrete Institute, Detroit, 1974, pp.1-28.

(접수일자 : 1991. 8. 12)