

# 전단에 대한 강섬유 보강계수의 종합적 고찰

## The Overall Investigation of Steel Fiber Strengthening Factor in Shear

이현호\*      권영호\*      이화진\*

Lee, Hyun Ho   Kwon, Yeong Ho   Lee, Hwa Jin

---

### ABSTRACT

This study will have to define the shear strengthening effects of steel fiber in beam and column levels, as well as to suggest estimation method of maximum shear capacity of structural members. From review of literature surveys and perform structural member test results, following conclusion can be made; In beam level, steel fiber strengthening factor is suggested from the tensile splitting test results and beam test results. After suggesting shear capacity of beam without stirrups and beam with stirrups by proposed steel fiber strengthening factor, proposed equation is possible to evaluate the shear capacity of beam. In column level, with column test results and proposed steel fiber strengthening factor, shear capacity equation of steel fiber reinforced concrete in column is suggested.

---

### 1. 서론

본 연구에서는 강섬유가 콘크리트 전단에 미치는 영향을 평가하고자 보 및 기둥을 대상으로 다음과 같은 상세평가를 수행한다. 보에서는 전단보강 안된 강섬유 보강 콘크리트(Steel Fiber Reinforced Concrete, SFRC) 보와 전단보강된 강섬유 보강 콘크리트 보의 전단능력에 강섬유 계수 및 혼입률이 미치는 영향을 실험결과 및 내력식에 대하여 평가한다. 또한 기둥에서는 강섬유 보강된 철근콘크리트 기둥의 최대전단내력 산정방법을 제안하고자 한다.

### 2. SFRC 보의 강도 특성

#### 2.1 강섬유 보강계수

전단보강근이 없는 경우의 SFRC 보의 전단내력식을 제안한 4편의 기존논문 및 본 연구에 의한 연구결과를 분석한 결과, SFRC 보 전단실험의 주요변수는 전단스팬비( $a/d$ ), 강섬유 계수( $F$ ), 강섬유 혼입률( $V_f$ ) 등으로 정리될 수 있다. 그림 1은 강섬유 계수 대 압축강도, 할렬인장강도, 휨강도 및 보의 전단내력을 한꺼번에 나타낸 그래프이다. 이에 의하면 강섬유 계수에 의한 할렬인장강도의 증분이 전단내력의 증분과 거의 유사한 것으로 평가될 수 있었다. 이상의 결과로 할렬인장강도와 강섬유 계수로

---

\*정회원, 동양대학교 건축학부 교수, 공학박사

SFRC 보의 전단보강 효과를 예측할 수 있는 것으로 판단되어 식 (1)과 같이, 강섬유 계수를 이용한 강섬유 보강계수( $\alpha_f$ )를 회귀분석을 통하여 제안하였다.

$$\alpha_f = 1.2 + 0.92F \quad (1)$$

$\alpha_f$  = 강섬유 보강계수

$F = L_f/D_f \times \rho_f \times d_f$  = 강섬유 계수

$L_f/D_f$  : 강섬유의 형상계수(aspect ratio, AR)

$\rho_f$  : 강섬유 혼입비(ratio)

$d_f$  : 강섬유 부착계수

(직선형 0.5, 후크형 0.75, 톱니형 1.0)

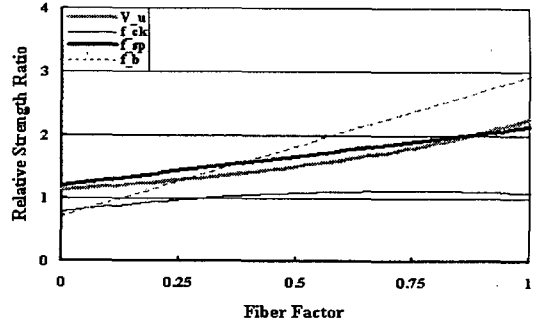


그림 3 강섬유 계수에 의한 상대강도비 비교

## 2.2 전단보강 안된 SFRC 보

강섬유가 보강되지 않은 일반 콘크리트에 대한 적정 내력식을 평가하고자 콘크리트 압축강도 및 활렬인장강도로 전단보강 안된 SFRC 보의 전단내력을 검토하였다. 표 1에 실험결과( $U_{test}$ ) 대 전단내력식( $U_{ACI}$  et al.) 상대비율 각 실험체별로 정리하여, 그 평균 및 표준편차를 나타내었으며, 전단내력 계산시 ACI, Zsutty, Narayanan, Shin 및 Kwak 등이 제안한 내력식을 사용하였으며, 제안식의 내용은 참고문헌을 참고하기 바란다.

표 1 전단보강 안된 강섬유 비보강 실험체에 대한 제안식 적용

|      | $U_{test} / U_{ACI}$ | $U_{test} / U_{Zsutty}$ | $U_{test} / U_{Narayanan}$ | $U_{test} / U_{Shin}$ | $U_{test} / U_{Kwak}$ | $U_{test} / 1.2U_{Shin}$ | $U_{test} / 1.2U_{Kwak}$ |
|------|----------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 평균   | 2.55                 | 1.75                    | 1.50                       | 1.48                  | 1.38                  | 1.23                     | 1.15                     |
| 표준편차 | 1.15                 | 0.40                    | 0.28                       | 0.34                  | 0.22                  | 0.29                     | 0.29                     |

표 1에 의하면 실제 실험결과의 평균에 가장 근접하는 것은 Shin(신성우) 및 Kwak(곽윤근)의 제안식이나 다소 큰 값을 가진 것으로 판단된다. 따라서 강섬유 보강효과를 적용하기 위하여 본 연구에서 제안한 식 (1)에 의하면 비보강 실험체의 경우라도 1.2의 활중계수가 적용될 수 있는바, 신성우 및 곽윤근의 제안식에 의한 결과를 1.2배 활중하여 검토할 필요가 있다. 이를 근거로 신성우 및 곽윤근의 제안식에 1.2배 한 결과( $1.2U_{Shin}$ ,  $1.2U_{Kwak}$ )를 표 1에 기존결과와 같이 나타내었다. 그 결과 전단에 대한 안전율을 고려할 경우, 신성우 및 곽윤근의 제안식에 1.2배 하여 비보강 실험체의 전단내력을 산정할 수 있는 것으로 판단되었다.

표 2 전단보강 안된 강섬유 보강 실험체에 대한 제안식 적용

|      | $U_{test} / 1.2U_{Kwak}$ | $U_{test} / 1.2U_{Shin}$ | $U_{test} / U_{Kwak}$ | $U_{test} / U_{Shin}$ |
|------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 평균   | 1.28                     | 1.03                     | 1.19                  | 1.27                  |
| 표준편차 | 0.27                     | 0.28                     | 0.24                  | 0.29                  |

표 3 전단보강된 강섬유 보강 실험체에 대한 제안식 적용

|      | $U_{test} / U_{Narayanan}$ | $U_{test} / U_{Shin}$ | $U_{test} / U_{Kwak}$ | $U_{test} / U_{Sharma}$ | $U_{test} / U_{Lee}$ |
|------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|
| 평균   | 0.97                       | 1.01                  | 1.06                  | 0.96                    | 1.00                 |
| 표준편차 | 0.41                       | 0.43                  | 0.47                  | 0.34                    | 0.36                 |

강섬유 보강된 SFRC 보의 전단내력을 평가하기 위하여 식 (1)의 강섬유 보강효과를 곱한 수정된 신성우 및 곽윤근의 제안식의 결과와 강섬유 보강효과가 고려된 기존 식들을 검토하여 표 2에 평균 및 표준편차로 나타내었다. 그 결과 본 연구의 강섬유 보강효과(식 (1))가 반영되어 수정된 신성우 제안식( $1.2U_{Shin}$ )은 원식( $U_{Shin}$ )보다 우수한 전단능력 예측결과를 나타내는 것으로 평가되었다. 이상으로부터 신성우 제안식에 식 (2)의 강섬유 보강

계수를 곱한 다음 식 (2)와 같은 전단보강근이 없는 SFRC 보의 전단내력식(Lee 식으로 명명)을 제안한다.

$$a/d < 3 \quad v_u = 1.2 \times (0.22 \cdot f_{sp} + 2217 \cdot \rho_t \cdot (d/a)) + 0.92F \quad (2)$$

$$a/d \geq 3 \quad v_u = 1.2 \times (0.19 \cdot f_{sp} + 951 \cdot \rho_t \cdot (d/a)) + 0.92F$$

여기서,  $v_u$  = 전단내력 (kg/cm<sup>2</sup>),  $\rho_t$  = 인장철근비

### 2.3 전단보강된 SFRC 보

기존 전단내력식에 전단보강근의 부담 전단응력  $v_s$ 를 더하여 기존논문(김윤일, 신성우, Sharma) 및 본 실험결과를 적용하여 실험결과대 전단내력식의 상대비를 각 실험체별(총 27개 실험체)로 적용한 결과의 평균 및 표준편차를 표 3에 나타내었다. 이에 의하면 거의 모든 제안식이 적용가능한 것으로 평가되나 그중 식 (2)의 Lee의 연구결과가 평균 및 표준편차에 가장 적절한 것으로 판단되었다. 이상의 결과로부터 전단보강되지 않은 SFRC보의 전단내력 예측식에 상대전단보강근비( $a_v f_y / b_s$ )를 추가한 다음 식 (3)과 같이 전단보강된 SFRC 전단내력 예측식을 제안한다.

$$a/d < 3 \quad v_u = 1.2 \times (0.22 \cdot f_{sp} + 2217 \cdot \rho_t \cdot (d/a)) + 0.92F + v_s \quad (3)$$

$$a/d \geq 3 \quad v_u = 1.2 \times (0.19 \cdot f_{sp} + 951 \cdot \rho_t \cdot (d/a)) + 0.92F + v_s$$

### 3. SFRC 기둥의 강도 특성

기존 전단내력식의 적용성을 평가하기 위하여 강섬유가 보강되지 않은 총 70개 비보강 실험체의 최대전단강도( $V_{test}$ )를 미국 ACI 규준식(1999), 일본 AIJ 개량 B법(AIJ MB, 1997), 뉴질랜드 NZS 3101 규준식(1989), Hiroswa 등(1990)의 제안식, Priestley 등(1994)의 제안식으로 산정된 전단내력( $V_{calculation}$ )으로 나눈 결과의 평균 및 표준편차를 표 4에 정리하였다. 여기서 내력식은 참고문헌을 참고하기 바란다.

표 4 비보강 실험체의 전단내력식 적용 결과

|      | $V_{test} / V_{calculation}$ |           |             |                |           |
|------|------------------------------|-----------|-------------|----------------|-----------|
|      | ACI<br>318-99                | AIJ<br>MB | NZS<br>3101 | Hiroswa-<br>wa | Priestley |
| 평균   | 1.32                         | 0.89      | 1.14        | 2.13           | 0.83      |
| 표준편차 | 0.65                         | 0.22      | 0.40        | 0.60           | 0.26      |

표 5 보강 실험체의 전단내력식 적용 결과

|      | $V_{test} / V_{calculation}$ |           |             |           |
|------|------------------------------|-----------|-------------|-----------|
|      | ACI<br>318-99                | AIJ<br>MB | NZS<br>3101 | Priestley |
| 평균   | 1.27                         | 0.85      | 1.11        | 0.88      |
| 표준편차 | 0.65                         | 0.23      | 0.47        | 0.51      |

이에 의하면 실험결과와 평균에 가장 근접하는 것은 AIJ MB 및 NZS 3101의 내력식으로 평가되었으며, 실험결과대 계산결과 비가 각각 0.89배, 1.14배인 것으로 나타났다. 따라서 강섬유 보강효과를 고려하기 위하여 기존 연구에서 제안된 식 (1)의 강섬유 보강계수를 비보강 실험체의 모든 내력식에 의한 결과에 1.2배 할증하여 검토할 필요가 있다. 표 5에 강섬유보강계수를 적용한 SFRC 기둥의 실험대 계산치의 비를 나타내었는데, 전단에 대한 안전율을 고려한다면 NZS 3101의 내력식에  $\alpha_t$ 를 적용하여 보강 실험체의 전단내력을 산정할 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 기존 전단내력식중 실험결과를 근사적으로 예측할 수 있으며, 강섬유 보강효과를 적절히 반영할 수 있는 것으로 평가된 NZS 3101의 제안식에 다음 식 (4)와 같이 강섬유 보강효과를 반영한 SFRC 기둥의 전단내력식을 제안한다.

$$V_n = 1.2 [ V_c + V_s ] + 0.92F \quad (4)$$

$$V_c = v_b (1 + 3P / f'_c A_g) b_w d \quad V_s = (A_v f_y d) / s \quad v_b = (0.07 + 10 \rho_w) \sqrt{f'_c}$$

#### 4. 결론

본 연구에서는 최근 널리 사용되고 있는 공학재료인 강섬유 보강 콘크리트의 부재 성능을 평가하였다. 제안된 강섬유 보강계수를 근거로 보 및 기둥의 전단내력을 평가한 결과는 아래와 같다.

- 1) SFRC 보의 강도 특성을 평가한 결과, 강섬유 계수(F)로 SFRC 보의 전단보강 효과를 예측할 수 있는 것으로 평가되었다. 따라서 회귀분석을 통하여 강섬유 보강계수( $\alpha_f$ )를 제안하였으며, 전단보강 근의 부담능력이 고려된 SFRC 보의 전단내력식을 제안하였다.
- 2) 강섬유 보강계수( $\alpha_f$ )로 SFRC 기둥의 전단내력을 적절히 예측할 수 있는 전단내력식을 제안하였다.

#### 참고문헌

1. 이현호, 권영호, 허무원, 천영수, “전단보강되지 않은 강섬유보강 콘크리트보의 재료 및 부재 강도 특성을 고려한 전단능력 평가”, 한국구조물 진단학회 가을학술발표회 논문집, 제7권 2호, 2003, pp. 245~250.
2. K.K. Chang H.H. Lee, “Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Columns under Cyclic Loading”, 한국콘크리트학회논문집, 제 16권, 3호, 2004, pp 415~423.