

강섬유 보강계수를 사용한 전단보강 SFRC보의 전단내력 예측

Shear Capacity Estimation of SFRC Beam with Stirrups Considering Steel Fiber Strengthening Factor

이 현호* 권 영호* 이 화진* 허 무원**
Lee, Hyun Ho Keon, Young Ho Lee, Hwa Jin Hur, Moo Won

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the shear strength of SFRC beam that has stirrups. To achieve the goal of this study, two stage investigation, which is material and member level, is studied. From the reviewing of previous researches and analyzing of material and member test results, strengthening parameter of SFRC is defined as steel fiber coefficient. Based on above results, steel fiber strengthening factor is proposed. Therefore, shear strength equation of SFRC, which is considered the steel fiber strengthening factor, is proposed by regression analysis of test results.

1. 서 론

우리나라의 경우 1980년 후반부터 90년 초반까지 강섬유 보강콘크리트(steel fiber reinforced concrete, SFRC)의 재료특성에 대한 연구가 일부 진행되었으며, 90년대 후반부터 부재특성에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 이렇게 90년대 후반부터 SFRC에 대한 연구가 다시 시작된 것은 고급합성재료로서의 강섬유 역할 및 관련규정의 제정 등에 기인한 것으로 판단된다. 특히 강섬유 보강콘크리트는 보강되지 않은 콘크리트에 비하여 강도증진, 취성적인 콘크리트 성질개선 및 균열제어효과가 우수한 것으로 보고되고 있다. 부재에 있어 강섬유가 보강된 보는 일반콘크리트 보에 비하여 초기 균열 전단강도 및 최대 전단강도가 증가하며, 특히 스티럽과 강섬유를 동시에 보강했을 경우에 효과적인 것으로 평가되고 있다. 본 연구에서는 전단보강된 철근콘크리트 보의 전단능력 증진에 강섬유가 미치는 영향을 평가하고자, SFRC의 재료강도 및 부재 전단강도 특성을 강섬유 혼입률(steel fiber volume fraction %, V_f), 강섬유 계수(steel fiber coefficient, F) 및 상대전단보강근비의 수준에서 산정한다.

* 정희원, 동양대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정희원, 동양대학교 건축공학과 석사과정

2. 강섬유 보강계수 산정에 관한 선행 연구

기존 연구에 의하면 강섬유 계수(F, 식 (1) 참조)는 형상비, 혼입비 및 부착계수로 산정할수 있으며, 이러한 강섬유 계수가 SFRC의 재료 및 부재강도에 미치는 영향을 최적 회귀분석한 결과를 그림 1에 나타내었다. 그림 1은 압축강도(f_{ck}), 활렬인장강도(f_{sp}) 및 휨강도(f_b)에 대한 비보강대 보강의 상대강도비를 강섬유 계수의 상관으로 나타낸 것이며, 또한 보실험체의 전단내력(v_u)을 비보강 실험체에 대한 보강 실험체의 상대비를 나타낸 것이다. 이에 의하면 강섬유 계수 1까지는 활렬인장강도의 증분이 전단내력의 증분과 거의 유사한 것으로 평가되어 활렬인장강도의 증분으로 SFRC보의 전단내력을 측정할수 있는 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 활렬인장강도(f_{sp})의 상대비를 이용한 다음 식 (1)과 같이, 강섬유 계수에 대한 회귀분석 결과를 이용하여 강섬유가 보강된 보의 전단내력을 예측할 수 있는 강섬유 보강계수(α_f)가 제안되었다.

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

여기서 α_f =강섬유 보강계수, F=강섬유 계수 (F = 강섬유 형상비×강섬유 혼입비×강섬유 부착계수)

3. 강섬유 보강계수 F를 사용한 전단내력 예측

3.1 전단보강근이 없는 SFRC의 전단내력 산정에 관한 선행 연구¹

3.1.1 강섬유 비보강 실험체의 내력 산정

강섬유가 보강되지 않은 일반 콘크리트에 대한 적정 내력식을 평가하고자, 다음과 같은 전단내력식을 검토하였다. 이하의 식은 kg/cm²로 계수가 조정된 것이다.

• Narayanan & Darwich (1987)
$$v_u = e \cdot [0.24 \cdot f_{sp} + 816 \cdot \rho_t \cdot (d/a)] + v_b \quad (2)$$

• 신성우 & 오정근 (Shin, 1991)

$$a/d < 3 \quad v_u = 0.22 \cdot f_{sp} + 2217 \cdot \rho_t \cdot (d/a) + 0.834 \cdot v_b \quad (3)$$

$$a/d \geq 3 \quad v_u = 0.19 \cdot f_{sp} + 951 \cdot \rho_t \cdot (d/a) + 0.834 \cdot v_b$$

• 콕윤근 (Kwak, 2002)

$$a/d < 2.5 \quad v_u = [2.5 \cdot (d/a)] \cdot [28.2 \cdot [f_{sp} \cdot \rho_t \cdot (d/a)]^{(1/3)} + 0.95 \cdot v_b] \quad (4)$$

$$a/d \geq 2.5 \quad v_u = 28.2 \cdot [f_{sp} \cdot \rho_t \cdot (d/a)]^{(1/3)} + 0.95 \cdot v_b$$

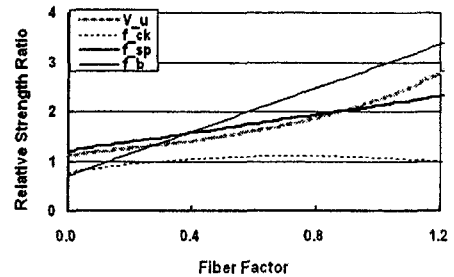


그림 1 강섬유계수에 대한 상대강도비 비교

여기서 u_u = 전단내력(kg/cm²), f_{ck} = 압축강도(kg/cm²), F = 강섬유계수(식 (1) 참조), a/d =전단스팬비
 f_{sp} = 할렬인장강도강도 (kg/cm²), ρ_t = 인장철근비, $\tau = 42.34 \text{ kg/cm}^2$ (강섬유 부착응력)
 $e = 1$ if $a/d > 2.8$, $e = 2.8(d/a)$ if $a/d \leq 2.8$, u_b = 강섬유 인발 응력 = $0.41 \cdot \tau \cdot F$ (kg/cm²)

이상의 전단내력식에 선행실험의 강섬유가 보강되지 않은 9개의 실험결과를 적용하여 그 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1은 실험결과대 전단내력식 상대비를 각 실험체별로 적용하여, 그 평균 및 표준편차로 나타낸 것이다. 이에 의하면 실험결과와 평균에 가장 근접하는 것은 신성우 및 박윤근의 제안식으로 평가되었으나, 실험결과대 계산결과 비가 각각 1.48배, 1.38배인 것으로 나타났다. 이러한 수치들은 제안식의 안전율을 고려하더라도 다소 큰 값을 가진 것으로 판단된다. 따라서 강섬유 보강효과를 적용하기 위하여 본 연구에서 제안한 식 (1)의 강섬유 보강계수에 의하면 비보강 실험체의 경우라도 1.2의 할증계수가 적용될 수 있는바, 신성우 및 박윤근의 제안식에 의한 결과를 1.2배 할증하여 검토할 필요가 있었다. 이를 근거로 신성우 및 박윤근의 제안식에 1.2배 한 결과를 표 1에 기존결과와 같이 나타내었다. 그 결과, 실험결과대 계산결과와의 비가 신성우 제안식의 경우 약 1.23배, 박윤근의 제안식은 약 1.5배로 평가되었다. 따라서 전단에 대한 안전율을 고려한다면 신성우 및 박윤근의 제안식에 1.2배를 하여 비보강 실험체의 전단내력을 산정할 수 있는 것으로 판단된다.

표 1 강섬유 비보강 실험체에 대한 제안식 적용

	$U_{test}/U_{Narayanan}$	U_{test}/U_{Shin}	U_{test}/U_{Kwak}	$U_{test}/1.2U_{Shin}$	$U_{test}/1.2U_{Kwak}$
평균	1.50	1.48	1.38	1.23	1.15
표준편차	0.28	0.34	0.22	0.29	0.29

3.1.2 강섬유 보강 실험체의 내력 산정 및 내력식 산정

3.1.1절의 결과로부터 강섬유 보강효과가 고려되도록 신성우 및 박윤근의 제안식에 식 (1)의 강섬유 보강효과가 곱하여진 결과 및 강섬유 보강효과가 고려된 기존 식 (2) ~ (4)에 기존실험의 실험결과를 적용한 결과를 표 2에 정리하였다. 본 연구의 강섬유 보강효과가 반영되어 수정된 박윤근의 제안식은 전단스팬비가 2.5이상인 경우 부재의 전단내력을 과소평가하여, 최초로 박윤근이 제안한 결과보다 좋지 않은 결과를 나타내었다. 이에 반하여 강섬유 보강계수가 적용되어 수정된 신성우 제안식은 원식보다 우수한 전단능력 예측결과를 나타내는 것으로 평가되었다.

표 2 강섬유 보강 실험체에 대한 제안식 적용

	$U_{test} / U_{1.2Kwak}$	$U_{test} / U_{1.2Shin}$	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

이상으로부터 강섬유가 보강되지 않은 실험결과 및 보강된 실험결과에 규준식 및 제안식을 적용한 결과 식 (3)의 신성우 제안식에 식 (1)의 강섬유 보강계수를 곱한 다음 식 (5)로 전단보강근이 없는 SFRC 보의 전단내력식이 제안되었다(Lee, 2003).

$$a/d < 3 \quad v_u = 1.2 \times (0.22 \cdot f_{sp} + 2217 \cdot \rho_t \cdot (d/a)) + 0.92F \quad (5)$$

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

3.2 전단보강된 강섬유 보강 실험체의 기존 제안식 적용성 평가

표 3은 기존 전단내력식에 전단보강근 v_s 를 더하여 김윤일, 신성우, Sharma의 연구결과 및 본 연구에 의한 실험결과를 적용하여 실험결과대 전단내력식의 상대비를 각 실험체별(총 27개 실험체)로 적용한 결과를 나타낸 것이다.(Lee, 2003) 이에 의하면 거의 모든 제안식이 적용가능한 것으로 평가되나 그중 Lee의 연구결과가 평균 및 표준편차에 가장 적절한 것으로 판단되었다. 그림 2는 Lee의 결과를 정리한 것으로 제안식이 전단보강된 SFRC 보 실험체의 내력을 적절히 평가하는 것으로 나타났다.

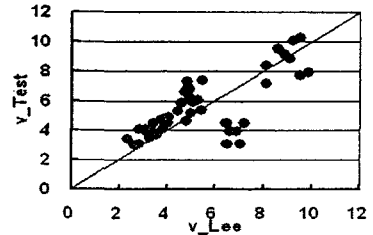


그림 2 Lee 제안식 적용결과

표 3 전단보강된 강섬유 보강 실험체에 대한 제안식 적용

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

이상의 결과로부터 전단보강되지 않은 SFRC보의 전단내력 예측식을 제안한 Lee의 연구결과에 전단보강근비($v_s = a_v f_y / b_s$)를 추가한 다음 식 (6)과 같이 전단보강된 SFRC 전단내력 예측식을 제안한다.

$$a/d < 3 \quad v_u = 1.2 \times (0.22 \cdot f_{sp} + 2217 \cdot \rho_t \cdot (d/a)) + 0.92F + v_s \quad (6)$$

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

4. 결 론

본 연구에서는 강섬유가 전단보된 SFRC 철근콘크리트 보의 전단능력 증진에 미치는 영향을 평가하고자 SFRC의 재료강도 및 부재 전단강도 특성을 강섬유 혼입률, 강섬유 계수 및 전단보강근비의 수준에서 평가하였다. 그 결과, 강섬유 보강계수를 적용한 Lee(2003)의 연구결과에 전단보강근의 저항능력이 고려된 전단내력식을 제안하였으며, 이 제안식은 전단보강근 유무에 상관없이 적용 가능성이 높으므로 판단되었다.

참고문헌

1. 이현호, 권영호, 허무원, 천영수 “전단보강되지 않은 강섬유보강 콘크리트보의 재료 및 부재 강도 특성을 고려한 전단능력 평가”, 한국구조물진단학회 가을학술발표회 논문집, 제7권 2호, 2003.11, pp.245~250