고강도 SFRC보의 전단성능 평가

Shear Capacity Evaluation of High-strength SFRC Beam

이 현 호* 권 영 호* 이 화 진* 천 영 수**
Lee, Hyun Ho Keon, Young Ho Lee, Hwa Jin Chun, Young Soo

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the shear strength of high-strength SFRC beam by the comparison of normal-strength SFRC beam. To achieve the goal of this study, 9th specimens were made and tested. From the analyzing test result and previous researches, the shear strengthening effect of steel fiber in high-strength is evaluated as superior than normal-strength concrete. And the proposed shear strength equation of SFRC is underestimated the shear capacity of high-strength SFRC beam. Finally, the shear strengthening effect of steel fiber in high-strength concrete is evaluated about 3.5 times larger than normal-strength concrete.

1. 서 론

최근 수년간의 연구결과 등으로 인하여 섬유보강콘크리트에 대한 기술이 많이 발전하고 있으며, 이는 취성적인 콘크리트의 성질을 개선할 수 있는 고급합성재료로서의 섬유 역할에 대한 인식 제고 및 관련 규정의 제정 등에 기인한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 선행 연구결과를 근거로 고강도에서의 강섬유 보강효과를 평가하고, 일반강도 SFRC(steel fiber reinforced concrete) 보의 연구결과에서 제안된 전단내력식의 적용가능성을 평가하고자 한다. 이를 위하여 전단 보강된 철근콘크리트 보의 전단능력 증진에 강섬유가 미치는 영향을 평가하기 위하여, 강섬유 혼입률(steel fiber volume fraction %, V_f) 및 강섬유 상대전단보강근비를 변수로 한 9개의 실험체를 제작 및 평가한다.

2. 고강도 SFRC 보의 전단성능 실험

전단 보강된 고강도 강섬유 보강 콘크리트 보의 전단거동을 규명하기 위한 실험변수는 강섬유 혼입률, 상대전단보강근비이다. 전단스팬비 1.5인 실험체를 대상으로 강섬유 혼입률 0%, 1.0%, 1.5%의 3종류, 상대전단보강근비 100%(6D10), 80%(5D10), 60(4D10)%의 3종류로 구성된 총 9개의 실험체를 대상으로 전단실험을 수행하였다. 본 실험에 적용한 콘크리트의 설계 강도는 90MPa이다. 본 연구에서 사용된 강섬유는 직경 0.9㎜, 길이 60㎜, 형상비 67의 양단고리(Hook)형이다. 실험체의 단면은 폭 12.5㎝, 춤 25㎝로 균일하게 하였으며, 상부근은 2-D13을, 하부근은 2-D16을 사용하였다. 가력점 사이 거리는 300mm이며, 하부 지점간 거리는 950mm 이다. 각 실험체는 2점 가력하였으며, 변위계(LVDT)는 실험체 중앙 하부에 설치하였다. 실험체 일람 및 압축강도(f_{ck}), 할렬인장강도(f_{sp})의 재료실험결과, 그리

* 정회원, 동양대학교 건축학부 교수, 공학박사
** 정회원, 대한주택공사 책임연구원, 공학박사

고 실험결과(보전단내력)를 표 1에 나타내었다. 여기서 H1515-100실험체의 경우, 하중재하가 급격히 발생하여 최대하중을 적절히 평가하지 못하였다. 그림 1에 나타낸 균열도에 의하면, 강섬유 보강량이 늘어남에 따른 보강효과를 확인할 수 있었다. 즉 강섬유량의 증가에 다른 파괴양상이 사인장 파괴에서 휨파괴로 전이됨을 확인 할 수 있었다.

표 1 고강도 SFRC 보 실험체 일람 및 결과

실험체명	강섬유 혼입률(V_f, %)	전단보강근	압축강도f_{ck}(MPa)	할렬인장강도f_{sp}(MPa)	보 전단 내력v_u(MPa)
H1500-100	0.0	6D10	90	4.41	35.7
H1510-100	1.0	6D10	103	8.86	38.7
H1515-100	1.5	6D10	109	12.8	fail
H1500-80	0.0	5D10	90	4.41	32.2
H1510-80	1.0	5D10	103	8.86	34.4
H1515-80	1.5	5D10	109	12.8	33.1
H1500-60	0.0	4D10	90	4.41	30.9
H1510-60	1.0	4D10	103	8.86	36.2
H1510-60	1.5	4D10	109	12.8	35.7

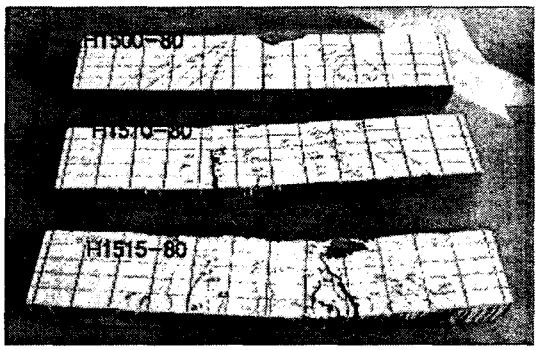


그림 1 균열도

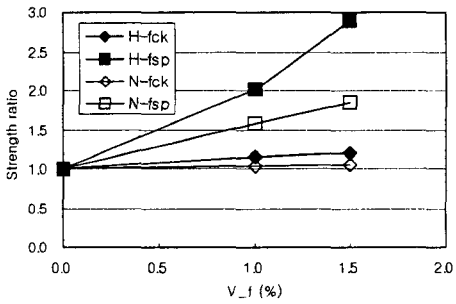


그림 2 SFRC의 재료특성

3. 강섬유 보강효과 평가

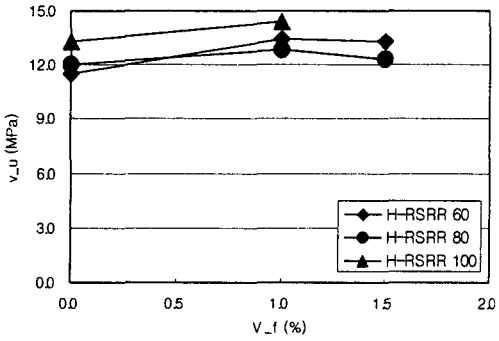
3.1 재료 특성 평가

그림 2에 본 실험에 사용한 고강도(hign) SFRC의 압축강도 및 할렬인장를 나타내었다. 또한 일반강도(normal)에 대한 선행연구 결과를 같이 표시하였는데, 강섬유 혼입률 0%, 1.0%, 1.5%에 대하여 압축강도는 32.6, 33.7, 34.1 MPa, 할렬인장강도는 2.99, 4.73, 5.50 MPa이다. 그림에서 각 결과는 강섬유 0%에 대하여 일반화되었다. 이에 의하면 고강도 콘크리트의 강도증진이 일반강도 콘크리트보다 우수한 것으로 나타났으며, 강섬유 1.5% 보강까지 거의 선형적으로 증가하는 것으로 평가되었다. 여기서 주목할 만한 것은 고강도 SFRC의 할렬인장강도의 증진인데, 강섬유 1.0% 보강은 비보강대비 2.01배, 1.5% 보강은 2.9배 증진된 것이다. 이는 고강도에 있어 강섬유 보강이 콘크리트의 취성을 월등히 개선할 수 있음을 의미하는 것이다. 향후 이에 대한 상세한 보완연구가 필요한 것으로 판단된다.

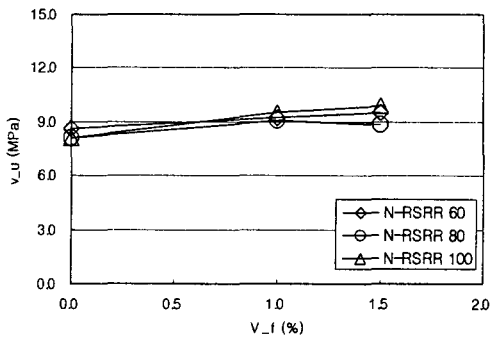
3.2 SFRC 보의 전단내력 평가

그림 3 (a)에 각 실험체별 전단내력을 강섬유 혼입률에 대한 전단능력(MPa)으로 나타내었다. 또한

상대전단보강근비 100, 80, 60을 개개의 시리즈로 정리하여 나타내었다. 이에 의하면 전단보강근비별 전단능력은 강섬유 보강량에 대해 거의 유사하게 증진되는 것으로 평가되었다. 즉 강섬유 혼입률에 따른 전단능력의 증진효과는 전단보강근비와 무관하게 일정한 증분이 있는 것으로 평가될 수 있는 것이다. 이는 그림 3 (b)에 같이 나타낸 동일조건의 일반강도 실험결과에서도 확인할 수 있었다. 그러나 강섬유 혼입률 1.5%인 경우 강도증진이 미흡한데, 이는 실험체 제작시, 강섬유의 적절한 분산혼합이 어려운 점에 기인한 것이다. 따라서 1.5% 강섬유 혼입의 실용화를 위해서는 별도의 혼합방법에 대한 검토가 필요한 것으로 판단된다. 전반적으로 강섬유 혼입률 1.0%까지의 전단능력 증진은 고강도가 일반강도보다 우수함을 확인할 수 있었다. 즉 강섬유 보강이 취성이 큰 부재일수록 효과적임을 확인할 수 있었다.



(a) 고강도 SFRC (본 실험)



(B) 일반강도 SFRC (기존 실험)

그림 3 SFRC의 재료특성

4. 기존 전단내력식 적용성 평가

본 연구의 선행연구에서는 강섬유가 보강된 일반강도 보의 전단내력을 예측할 수 있는 강섬유 보강계수(α_f)를 제안하였으며(식 (1) 참조), 이를 이용한 전단보강된 보의 전단내력식을 제안하였다(식 (2)참조).

$$\alpha_f = 1.2 + 0.92F \tag{1}$$

a/d <3 $\quad v_u = 1.2\times(0.22\cdot f_{sp} + 221.7\cdot \rho_t \cdot (d/a)) + 0.92F + v_s$ (2)

a/d ≥ 3 $\quad v_u = 1.2\times(0.19\cdot f_{sp} + 95.1\cdot \rho_t \cdot (d/a)) + 0.92F + v_s$

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

v_u = 전단내력(MPa), f_{ck} = 압축강도(MPa), f_{sp} = 할렬인장강도강도(MPa)

a/d=전단스팬비, ρ_t = 인장철근비, v_s=전단보강근 부담전단력비

그러나 이는 일반강도만을 대상으로 한 것이므로, 고강도 SFRC보의 적용가능성을 평가할 필요가 있다. 따라서 그림 4에 실험결과 대 식 (2)에 의한 계산결과의 비를 나타내었는데, 고강도 SFRC보의 내력을 증진시키는 강섬유 보강 효과는 일반강도 보다 월등히 우수한 것으로 나타났다. 즉 식 (2)로 고강도 SFRC보의 강섬유 보강효과를 적절히 예측할 수 없는 것으로 평가되었다. 이는 그림 2의 재료

시험결과에서도 나타난 것으로, 고강도 SFRC보의 전단내력예측에 대한 보완연구가 필요한 것으로 판단된다. 개략적이지만, 그림 2 및 그림 4의 연구결과를 바탕으로 식 (2)의 이론치를 3.5배 한 결과를 그림 5에 나타내었다. 그 결과 제한된 실험결과이지만, 일반강도 대비 3.5배 증가된 고강도 SFRC 보의 전단내력을 근사적으로 유추할 수 있는 것으로 평가되었다. 그러나 향후 다양한 형태의 고강도 SFRC 보에 대한 성능평가가 필요한 것으로 판단된다.

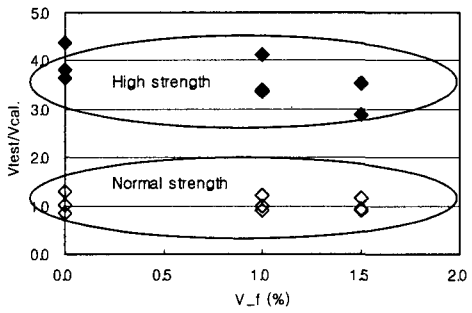


그림 4 실험 결과 대 계산 결과 비교

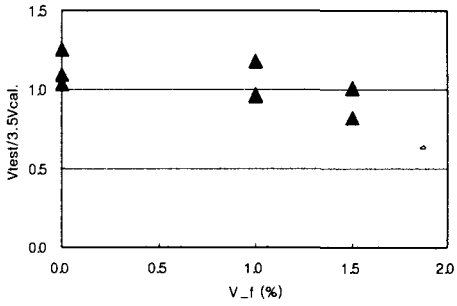


그림 5 실험 결과 대 3.5×계산 결과 비교

5. 결 론

본 연구에서는 강섬유 보강된 고강도 SFRC 보의 전단내력을 평가하였다. 그 결과 강섬유 보강효과는 일반강도 보다 우수한 것으로 평가되었으며, 고강도콘크리트에서 특히 취약한 취성적인 성능개선에 매우 유효한 것으로 평가되었다. 일반강도에 근거한 기존 제안식으로 고강도 SFRC 보의 전단내력을 평가하는 것은 무리가 있는 것으로 판단되며, 일단강도 대비 고강도는 약 3.5배의 내력증진이 있는 것으로 평가되었다. 그러나 고강도 SFRC 보에 대한 실험연구는 거의 부족한 실정이라, 향후 적절한 보완연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이현호, 권영호, 이화진, 허무원, "강섬유 보강계수를 사용한 전단보강 SFRC보의 전단내력 예측", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제16권 1호, 2004.5, pp.260~263