

흑트강섬유보강 철근콘크리트보의 전단거동에 대한 실험적 연구

Experimental Study on the Shear Behavior of Reinforced Hooked-Steel-Fiber Concrete Beams

심종성* 이차돈** 김규선*** 오홍섭****
Sim, Jongsung Lee, Cha-Don Kim, Gyu Seon Oh, Hong Seob

요 약

강섬유보강콘크리트는 콘크리트의 취성을 극복하고 콘크리트 내의 강섬유의 구속작용과 균열제어에 카니즘, pull-out 저항 등에 의하여 강도가 증진되며 이러한 작용에 의하여 전단하중하에서도 강도와 연성의 증대를 가져온다. 강섬유보강콘크리트의 2차적인 보강효과는 휨보다는 전단거동에 대하여 더 효율적인 것으로 보고되고 있다. 따라서 시멘트계 재료에 흑트강섬유를 혼입함으로써 전단하중 하에서 흑트강섬유보강 철근콘크리트보(RHSFCB)의 전단저항력이 증가되고 결과적으로 보의 구조적 거동과 전단강도가 향상된다. 본 연구에서는 RHSFCB의 전단거동에 영향을 미치는 주요 변수들에 대한 각 영향을 실험적으로 고찰하였으며, 본 연구에서 고찰한 주요변수는 섬유혼입율, 전단-스팬비, 스테럽의 간격 등이다. 이론적 고찰은 문헌에 보고된 각 전단강도 예측식들에 본 실험에서 전단파괴한 9개 시험체와 문헌에 나타난 86개의 전단파괴시험체를 적용하여 각 예측식들의 전단강도를 비교하였으며, 그 결과치를 통계분석하여 전단강도예측식의 정확성을 고찰하였다.

Abstract

SFRC overcomes brittleness of concrete and has increases strength due to the action of confinement, crack arresting mechanism and pull-out resistances of steel fibers inside the concrete. These lead also to the increased strength and ductility under the shear stress. It has been reported that the secondary reinforcement effect of steel fibers is more pronounced in shear than flexure. Addition of hooked steel fibers into the cementitious materials enhanced shear resistance and consequently improves structural behavior and shear strength of Reinforced Hooked-Steel-Fiber Concrete Beam(RHSFCB) under the shear forces. Experimental observations were made on the main parameters effecting structural behavior of RHSFCB in this study. The volume fractions of fibers, shear span to depth ratios, and spacings of stirrups were taken into account as the main parameters. Some equations reported in the literatures, regarding the predictions of the shear strength of RHSFCB have been evaluated statistically based on the total number of 95 test results on RHSFCB failed in shear on shear-flexural mode.

Keywords : ductility, RHSFCB, SFRC, shear span to depth ratio, shear stress, spacing of stirrup, volume fraction

* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 부교수
** 정회원, 중앙대학교 건축공학과 부교수
*** 한양대학교 토목공학과 박사과정
**** 한양대학교 토목공학과 석사과정

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 1996년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

보통콘크리트에 강섬유를 혼입함으로써 전단거동 및 강도의 향상을 기대할 수 있다. 이에 따라 강섬유보강콘크리트의 구조적 효율성과 전단강도에 대한 해석모델 개발을 위한 연구가 진행되어왔다.⁽¹⁾

기존의 연구에 따르면, 강섬유를 혼입함으로써 철근콘크리트보의 스테럽을 부분적으로 대체할 수 있으므로 보-기둥접합부와 같이 철근이 밀집된 부재에 효율적이라는 것이 고찰되었다.⁽¹⁾

본 연구에서는 섬유혼입율(V_f), 전단-스팬비, 스테럽의 간격 등이 후드강섬유보강 철근콘크리트보(Reinforced Hooked-Steel-Fiber Concrete Beam : RHSFCB)의 전단기동(파괴양상과 하중처짐곡선)에 미치는 영향, 강섬유에 의한 스테럽의 대체효과 및 기존 문헌에 보고된 RHSFCB의 전단강도 예측식의 정확성 등을 고찰하였다.

2. 실험계획

2.1 실험 재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 보통 포틀랜드 시멘트로서 비중은 3.15이며, 골재는 안산에서 채취한 굵은골재 최대최수가 15mm인 강자갈을 사용하였다. 강섬유는 국내에서 유통되는 Dramix사의 상업용 후드강섬유로서 형상비가 60인 강섬유를 사용하였으며, 비중은 7.86이다.

2.2 배합

SFRC의 배합설계는 요구되는 강도와 시공성을 고려하여 설계되었으며 재료의 배합은 100l 강제식 믹서를 이용하여 수행하였다. 배합을 위한 순서는 다음과 같다.

1. 자갈+보래 전량
2. (물+혼화제)×1/3과 (콘크리트+플라이 애쉬)×1/2을 넣고 4분간 배합
3. 강섬유전량과 (물+혼화제)×1/3을 투입하

고 3분간 배합

4. 나머지를 투입하고 3분간 배합
5. 휴식 3분
6. 재배합 2분

본 연구에서 채택한 SFRC의 배합비는 Table 1과 같다.

Table 1 Mix Proportion of HSFRC

Mix Proportion	W/(C+F)	S/G	(S+G)/(C+F)	SP/(C+F)
	0.5	1	4.5	0.015

여기서, W : 물의 중량, C : 시멘트의 중량
 F : 플라이 애쉬의 중량
 S : 잔골재 중량, G : 굵은골재 중량
 SP : 고유동화제

2.3 시험체

본 연구에서 사용된 보 시험체의 단면은 Fig. 1과 같으며, 각 시험체의 스테럽의 간격은 스테럽을 대체하는 SFRC의 전단보강효과를 고찰하기 위하여 일반철근콘크리트 보의 최소전단철근간격 4.0cm를 기준으로 4.8, 5.6, 6.4cm로 전단철근간격을 늘려서 배근하였다. 전단스팬비(a/d)는 2.0과 3.5로 고정하였다. 본 실험에서 제작된 시험체의 변수는 Table 2와 같으며, 변수당 시험체는 각 1 개씩이다.

시험체 중앙부의 철근변형을 측정하기 위하여 주철근에 2개의 철근게이지를 설치하여 변형을 측

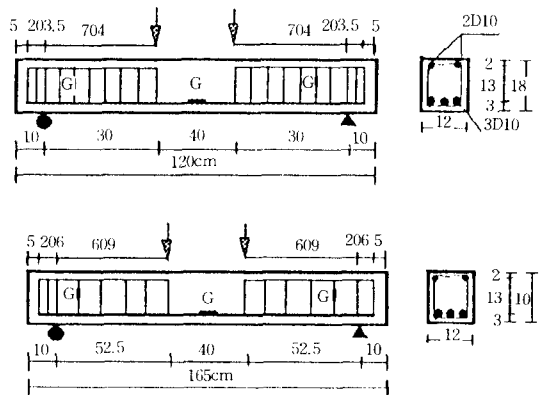


Fig. 1 Details of Test Beams(unit : cm)
(G : Steel strain gauge)

Table 2. Test results of specimens

	a/d	Volume Fraction (V_f)	Strip Spacing (s : cm)	Failure Mode	Fracture Load (ton)
SN0000-1	2.0	0.0	-	S	9
SN0010-1	2.0	0.0	4.0	S	11
SF0510-1	2.0	0.5	4.0	S	12
SF1010-1	2.0	1.0	4.0	FS	12.5
SF1510-1	2.0	1.5	4.0	F	12.6
SF1012-1	2.0	1.0	4.8	FS	12.6
SF1014-1	2.0	1.0	5.6	FS	11.7
SF1016-1	2.0	1.0	6.4	FS	11
SN0000-2	3.5	0.0	-	S	3.8
SN0010-2	3.5	0.0	9.0	FS	5.5
SF0510-2	3.5	0.5	9.0	F	6.0
SF1010-2	3.5	1.0	9.0	F	6.0
SF1510-2	3.5	1.5	9.0	F	6.7
SF1012-2	3.5	1.0	10.8	F	6.5
SF1014-2	3.5	1.0	12.6	F	6.2
SF1016-2	3.5	1.0	14.4	F	6.1

* S : Shear Failure,
 FS : Flexural Shear Failure,
 F : Flexural Failure

정하였으며, 스테럽의 변형은 각 시험체 지점부에서 유효높이($d=150\text{mm}$) 만큼 떨어진 곳의 스테럽에 4개의 철근게이지를 설치하여 스테럽의 변형을 측정하였다. 또한 시험체의 처짐을 측정하기 위하여 시험체 중앙부에 LVDT를 설치하였으며, 하중가력은 4점재하를 시행하였다. Table 2의 시험번호명에서 SN과 SF는 강섬유의 혼입유무를 나타낸다. 첫번째 두자리는 섬유혼입율을 나타내며 다음 두자리의 수는 전단철근배근간격을 나타낸다. 마지막의 1과 2는 전단 스펠비를 의미한다.

3. 실험결과

3.1 전단스펠비 2.0인 시험체의 일반 파괴양상 및 하중-처짐 곡선

3.1.1 섬유혼입율(V_f)의 영향

전단-스펠비가 2.0인 경우 SF1510을 제외한 모든 시험체에서 전단 또는 휘-전단파괴되었다.

전체적으로 시험체의 중앙부에서 초기 균열이 발생하였으며, 하중이 증가함에 따라 시험체 중앙부의 균열이 가력점으로 진전되었고, 지점부에서

사인장 균열이 발생, 가력점으로 진전하여, 중앙부의 휘균열과 결합하여 파괴되었다. 전단보강이 없고, 섬유혼입율이 0%인 시험체(SN0000-1)의 경우 지점부 양단에 사인장균열이 발생한 후 균열이 급속히 증가하여 파괴되는 취성파괴를 일으켰으며, 이때 발생한 균열은 시험체를 관통하였다. 강섬유가 혼입되지 않고 스테럽만으로 전단보강된 시험체(SN0010-1)의 경우는 초기에 시험체 중앙부에 초기 휘균열이 발생하였으며, 지점부에서 사인장 균열이 발생하여 가력점으로 진전되었으나, 가력점에서 전단파괴하였다(Fig. 2).

강섬유가 각각 0.5%, 1.0%, 1.5% 혼입되고 최소전단철근이 배근된 시험체(SF0510-1, SF1010-1, SF1510-1)의 경우 강섬유의 혼입량이 작은 시험체에 비하여 균열의 발생개소가 줄어들었으며, 초기균열하중이 증가하였다(Fig.2).

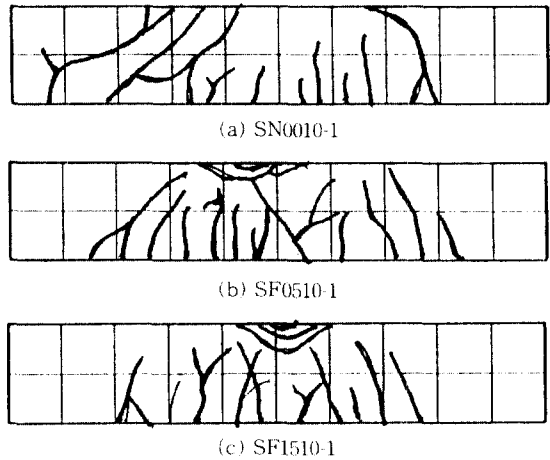


Fig. 2 Crack patterns of beams

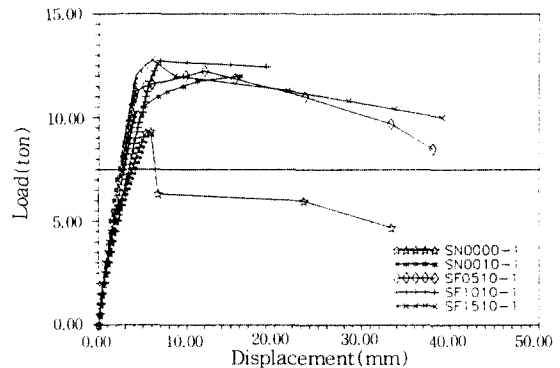


Fig. 3 Load-deflection relationships

또한 섬유혼입율이 증가할수록 전단보강철근의 간격이 동일한 조건에서 강도 후(post-peak) 영역의 연성이 증가하므로써 연성파괴하는 것이 고찰되었다(Fig. 3).

일반철근콘크리트보(SN0010-1)의 파괴형태는 전단파괴를 일으켰으나 전단철근비가 일정한 경우 섬유혼입율이 증가함에 따라 사인장파괴에서 휨파괴로 파괴형태가 변화하는 것이 관찰되었다(Fig.3). 이러한 파괴형태의 변화는 스테럽의 간격을 변화시킬 경우에도 관찰되었다(전단파괴 : SN0010-1, 휨-전단파괴 : SF1012-1, SF1014-1, SF1016-1).

3.1.2 전단철근 배근간격의 영향

섬유혼입율이 일정($V_f=1.0\%$)하고 전단철근의

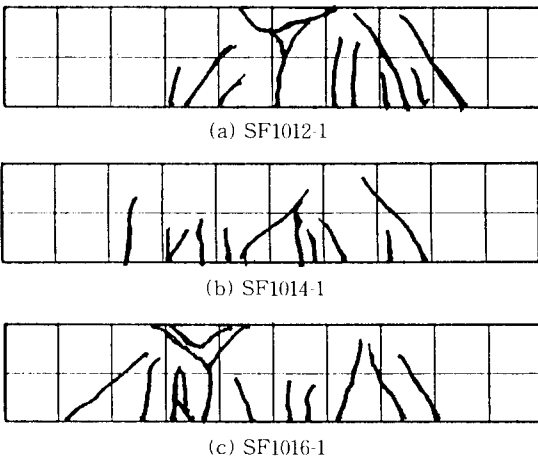


Fig. 4 Crack patterns of beams

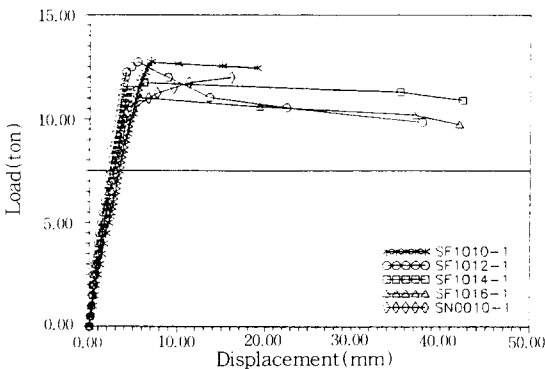


Fig. 5 Load-deflection relationships

배근간격을 $V_f=0\%$ 일 때의 철근콘크리트보의 최소전단철근간격(4cm)에 대한 비(간격비 : 1.0, 1.2, 1.4, 1.6)로써 일정만큼씩 증가시키면 최소전단철근으로 배근한 시험체(SF1010-1)에 비하여 전단철근의 배근간격이 넓어질수록 균열의 발생개소가 증가하였으며, 지점부에서 발생한 사인장균열이 시험체 중앙부에서 발생한 휨균열과 결합하여 파괴되는 형태를 나타내었다(Fig. 4). 전단철근의 간격이 가장 넓은 시험체(SF1016-1)의 경우 SN0010-1시험체와 유사하게 가력점에서 압축파괴되었다.

Fig. 5에 나타난 것과 같이 스테럽의 간격을 증가함에 따라 전단강도는 약간 감소하나, 강도 후 영역에서의 거동은 큰 차이를 나타내지 않으며, 강도전 영역의 강성도 거의 차이가 없는 것으로 관찰되었다(Fig. 5).

또한 최소전단철근배근간격의 1.4배로 배근된 시험체(SF1014-1)의 경우 SN0010-1과 거의 동일한 전단강도를 나타냈지만 아니라 파괴양상도 전단파괴에서 휨-전단파괴로 변화되어 연성의 증가가 확보됨으로써 강섬유에 의한 전단철근의 긍정적 인 대체 효과를 고찰할 수 있었다.

3.2 전단스팬비 3.5인 시험체의 일반 파괴양상 및 하중-처짐 곡선

3.2.1 섬유혼입율(V_f)의 영향

대체적으로 휨파괴 형상을 띄었으며, 무보강시험체(SN0000-2)의 경우 SN0000-1시험체와 같이 전형적인 취성전단파괴를 일으켰다. 전단철근만으로 보강된 시험체(SN0010-2)의 경우 초기 휨균열이 진전하여 지점부에서 발전된 사인장 균열과 결합하여 파괴되었다. 최소전단철근으로 배근된 RHSFCB시험체(SF0510-2, SF1010-2, SF1510-2)의 경우 전부 휨파괴 형태를 나타내었다(Fig. 6).

Fig. 7과 같이 강도 전(pre-peak) 영역의 거동은 강섬유가 각각 0%(SN0010-2), 0.5% (SF0510-2), 1.0% (SF1010-2) 혼입된 시험체는 유사한 결과를 나타냈으나, 1.5% 혼입된 시험체의 경우 강성과 전단강도의 증가를 알아볼 수 있다. 무보강시험체

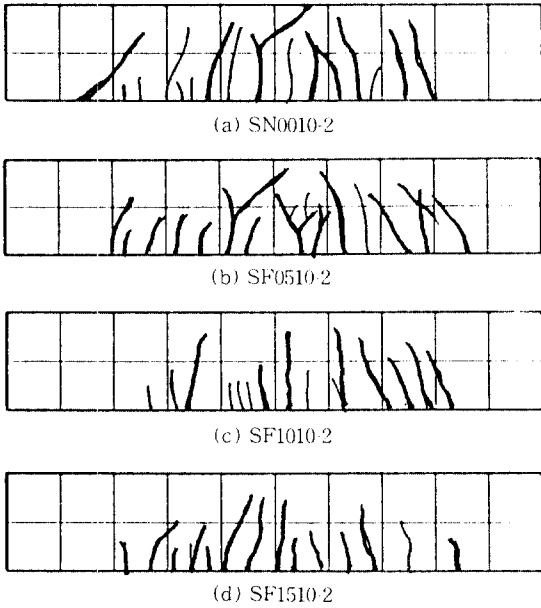


Fig. 6 Crack patterns of beams

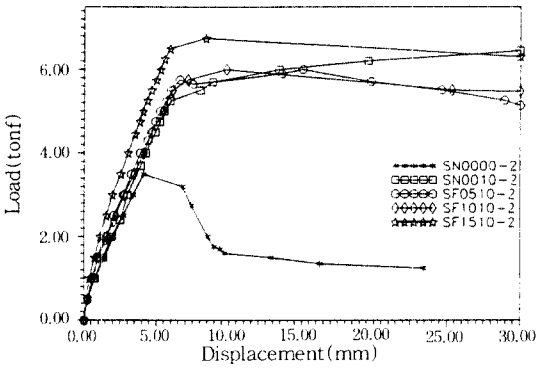


Fig. 7 Load-deflection relationships

(SN0000-2)의 경우 전단스팬비가 2.0일 때의 경우와 동일하게 최대강도 후 영역에서의 거동에서 잔류저항력이 급격히 감소함으로써 최성 파괴하였다(Fig.7).

3.2.2 전단철근 배근간격의 영향

전단철근의 배근간격을 변수로 조절한 경우 배근간격이 넓어질수록 균열의 발생개소가 증가하였으며, 균열의 폭도 넓어졌다. 이때에도 파괴형상은 휨 파괴형태를 나타내었다(Fig. 8).

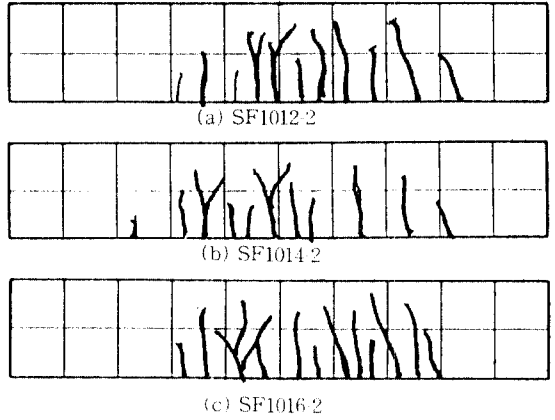


Fig. 8 Crack patterns of beams

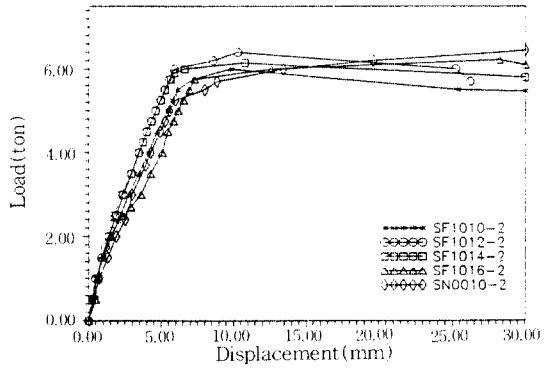


Fig. 9 Load-deflection relationships

시험체의 전단스팬비가 3.5인 시험체에서 강섬유 혼입율(V_f)이 1%로 일정한 RHSFCB인 경우 전단보강철근의 간격을 증가시켰을 경우 초기 강성은 일반철근콘크리트 보(SN0010-2)의 강성과의 동일하였으며, 강도 후 거동 역시 충분한 연성을 확보한 것으로 나타났다(Fig. 9).

3.3 강섬유보강 철근콘크리트보의 전단거동에 대한 주요변수의 영향

3.3.1 전단-스팬비에 의한 상대전단강도의 영향

Fig. 10은 전단-스팬비가 2.0인 경우 SN0010-1의 전단강도에 대한 동일조건인 RHSFCB의 상대전단강도비와 전단-스팬비가 3.5인 경우 SN0010-2의 전단강도에 대한 RHSFCB의 상대강도비를 나타낸다.

전단스팬비가 2.0인 보의 경우는 SF1510-1 시험체를 제외한 모든 시험체가 전단파괴 또는 휨-전단파괴를 한 반면 전단스팬비가 3.5인 경우는 $V_f=0\%$ 인 SN0010-2 시험체만 전단파괴하고 동일한 조건의 나머지 RHSFCB는 휨파괴한 것을 고려할 때 강섬유의 보의 강도에 대한 보강효과는 휨강도보다는 전단강도 증진에 더 효과적임을 볼 수 있다. 따라서 SFRC의 사용은 전단응력이 휨응력보다 더 지배적인 곳에 사용함이 더 효율적이라고 사료된다.

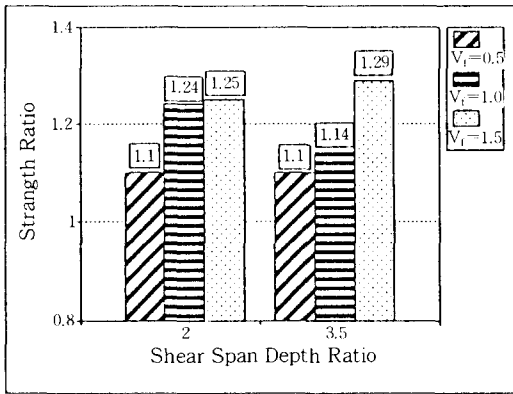


Fig. 10 Effect of a/d on the shear strength

3.3.2 스테럽간격이 미치는 상대전단강도의 영향

스테럽간격에 따르는 전단강도의 영향은 일반 철근콘크리트보의 최소전단보강철근간격($a/d=2.0$, 4cm인 경우)을 기준으로 각 시험체의 전단철근간격을 1.2, 1.4, 1.6배로 하였을 때 전단-스팬비가 2.0인 경우 스테럽의 간격이 넓어짐에 따라 대체적으로 전단강도는 감소함을 볼 수 있다(Fig. 11). 그러나 전단철근의 간격을 1.4배로 배근한 시험체(SF1014-1)와 최소전단철근간격으로 배근한 시험체(SF1010-1)의 강도를 비교하면 약 94% 정도의 전단강도를 나타내며 또한 최소전단철근간격으로 배근한 일반철근콘크리트(SN0010-1)와 비교하여 약 98% 정도의 강도를 나타내고 있어 강섬유보강에 의한 전단철근의 대체효과를 고찰할 수 있다.

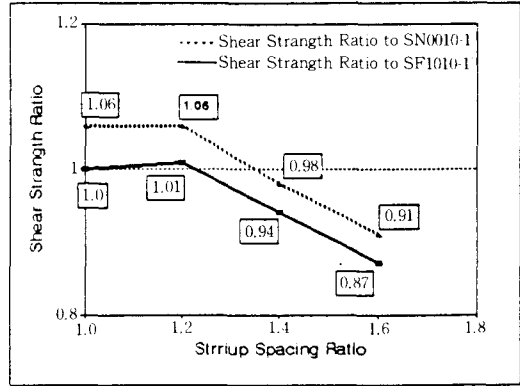


Fig. 11 Effect of Strriup spacing on the shear strength ($a/d=2.0$, $V_f=1.0\%$)

3.3.3 섬유혼입율의 영향

전단철근의 간격이 동일한 시험체의 경우 섬유혼입율이 증가할수록 전단강도는 증가하였으나 전단-스팬비가 2.0인 경우에는 섬유혼입율이 1.5% 혼입된 시험체(SF1510-1)의 경우 강도의 증가 정도가 강섬유가 1.0% 혼입된 시험체(SF1010-1)의 경우와 거의 동일하게 나타났다(Fig. 12).

Fig. 13는 전단스팬비에 따라 섬유혼입율의 값의 차이에 따른 보의 파괴양상영역을 나타낸다. 이 그림에 의하면 비교적 작은 전단스팬비인 $a/d=2.0$ 에 대해서도 $V_f=1.5\%$ 의 SFRC를 사용하였을 경우 휨파괴한 것을 살펴볼 수 있다. 또한 전단스팬비가 작아질 수록 강섬유혼입율이 클 때 휨파괴가 일어나는 것을 알 수 있다.

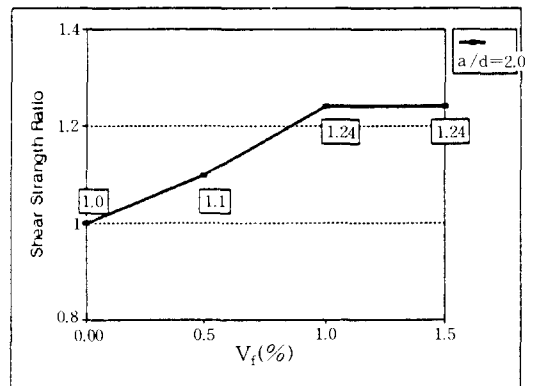


Fig. 12 Effect of V_f on the shear strength ($a/d=2.0$, $s=4cm$)

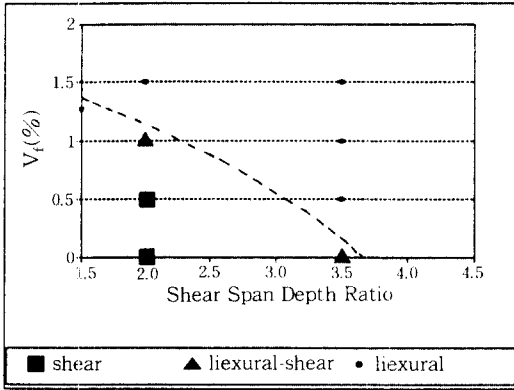


Fig. 13 Failure mode change as varying of V_f and a/d ($\rho=0.8\rho_b, S=4cm$)

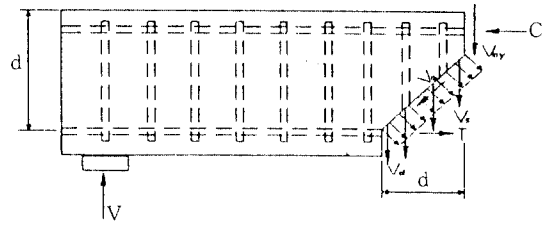


Fig. 14 Forces at diagonal crack in fibrous concrete beam

각 문헌들에 나타난 이론식들은 기본적으로 콘크리트 또는 강섬유보강철근콘크리트의 전단강도 (V_{cf}) 및 강섬유 자체의 전단저항력 (V_{fs})에 대한 약간의 다른 예측식의 형태로 구분된다.

각 문헌에서 제안한 전단모델들에 대하여 간략히 정리하면 다음과 같다.

M. A. Mansur의 2인⁽²⁾ :

$$V_c = (0.16\sqrt{f'_c} + 17.2 \frac{\rho V_d}{M})bd > (0.29\sqrt{f'_c})bd$$

$$V_{cf} = \sigma_{tu} \cdot bd \quad (2)$$

$$\frac{M}{V} = \frac{M_{max}}{V} - \frac{a}{2} \quad a \leq 2d \text{ 일 경우}$$

$$\frac{M}{V} = \frac{M_{max}}{V} - d \quad a > 2d \text{ 일 경우} \quad (3)$$

여기서, f'_c = 콘크리트의 압축강도

A. K. Sharma[3] :

$$V_{cf} = kf'_c \left(\frac{d}{a}\right)^{0.25} \cdot b \cdot d \quad (4)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \quad (5)$$

여기서, f'_c = 콘크리트의 인장강도

S = 스테럽 간격

A_v = 전단철근의 면적

$k = 2/3$

R. L. Jindal⁽⁴⁾ :

$$V_{cf} = (0.41 \sigma_{tu})bjd \quad (6)$$

$$\sigma_{tu} = 0.97\sigma_m (1 - V_f) + 3.41V_f(l/d) \quad (7)$$

여기서, σ_m = 콘크리트의 휨인장응력

V_f = 섬유혼입율

4. 실험 결과와 기존 제안식에 대한 비교, 분석

4.1 기존 연구결과 고찰

일반적으로 강섬유보강철근콘크리트보의 전단 거동은 강섬유의 혼입률(V_f), 전단-스팬비(a/d), 인장철근비(ρ), 콘크리트의 압축강도(σ_{ck}), 강섬유의 형상비(l_f/d_f), 강섬유의 부착강도(τ) 등의 영향을 받는다.^(1,2,3,4,5,7)

문헌에 나타난 강섬유보강철근콘크리트보의 전단강도를 예측하는 식들^(2,3,4,5,11)은 기본적으로 기존의 철근콘크리트보의 전단강도를 예측하는 이론식에 사인장균열에 따라 저항하는 강섬유의 전단저항력을 함께 고려함으로써 산정한다.

최대전단강도는 Fig. 14에서와 같이 전단파괴된 보의 자유물체도를 이용하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$V_n = V_{cf} + V_s \quad (1)$$

$$V_{cf} = V_c + V_{fy}$$

여기서, V_c = 콘크리트의 전단저항력
($=V_a + V_{by}$)

V_{fy} = 강섬유의 pull-out 저항력의 수직 성분

V_s = 스테럽 저항력의 수직성분

R. Narayanan의 1인^[51] :

$$V_{cf} = e[A'f_{spsc} + B'\rho\frac{d}{a}] \cdot b \cdot d \quad (9)$$

$$V_{fv} = v_d \cdot b \cdot d \quad (10)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S}$$

여기서, $e=1.0$ $a/d > 2.8$ 일 때

$$e=2.8 \frac{d}{a} \quad a/d \leq 2.8 \text{일 때}$$

$$A'=0.24, \quad B'=80N/mm^2$$

$$f_{spsc} = \frac{f_{cuf}}{A} + B + C\sqrt{F} : (\text{할렬 강도})$$

$$F = (L/D) \cdot \rho_t \cdot d_t, \quad A=20 - \sqrt{F}$$

$$B=0.7N/mm^2, \quad C=1N/mm^2$$

$$v_d = 0.41 \cdot \tau \cdot F$$

τ = 강섬유와 콘크리트의 부착강도

T. Y. Lim의 2인^[11] :

참고문헌 11에서는 소성모델과 트러스모델을 이용하여 각 전단스팬비에 따라 지배영역을 설정하고자 다음과 같이 식의 값들의 lower-bound에 따라 전단강도를 예측하는 이론식을 제안하였다.

(1) Plasticity model

$$V_{cf} = [\sigma_{tu} \cdot \cot \beta + \frac{1}{2}v \cdot \sigma_{cu}(1 - \cos \beta) \frac{1}{\sin \beta}] \cdot b \cdot h \quad (11a)$$

$$V_s = S_y \cdot \cot \beta \cdot b \cdot h \quad (11b)$$

$$\psi < \frac{\sqrt{((\frac{a}{h})^2 + 1)} - \frac{a}{h}}{2\sqrt{((\frac{a}{h})^2 + 1)}} = \lambda \text{에서는}$$

$$\frac{\tau}{v\sigma_{cu}} = \frac{1}{2} \left[\left[1 + \left(\frac{a}{h} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{a}{h} \right] + \psi \frac{a}{h}$$

$$\lambda \leq \psi \leq \frac{1}{2} \text{에서는 } \frac{\tau}{v\sigma_{cu}} = \sqrt{\psi(1-\psi)}$$

$$\psi > \frac{1}{2} \text{에서는 } \frac{\tau}{v\sigma_{cu}} = \frac{1}{2}$$

여기서, $v = 0.7$ (유효계수)

β = 사인장균열 각도

ρ = 주철근비

S_y = 스테럽에 의한 전단응력

(2) Truss model

$$V_{cf} = 2bhv\sigma_{cu}(\psi_1 + \psi_2) \quad (12)$$

(3) Moment Capacity

$$x = \frac{d\sigma_{tu} + \frac{f_y}{b}}{\alpha\sigma_{cu} + \sigma_u}$$

내부모멘트 팔길이(h)는

$$h = d - \frac{x}{2} \quad (13)$$

$$M_u = F_y + \sigma_{tu} \frac{b}{2} (h^2 - \frac{x^2}{4})$$

$$V_{cf} = \frac{M_u}{a' \cdot b \cdot h} \quad (14)$$

여기서, a' = 지점에서 가력점까지의 거리

아래에서는 위에서 고찰한 이론식들을 기존의 RHSFCB 실험 자료^(2,3,4,511) 중 전단파괴한 86개 보와 본 연구에서 수행한 16개의 RHSFCB의 시험체 중 전단파괴한 9개의 시험체의 전단실험치에 대하여 그 적합성을 통계적으로 고찰하였다.

4.2 전단모델의 비교 및 고찰

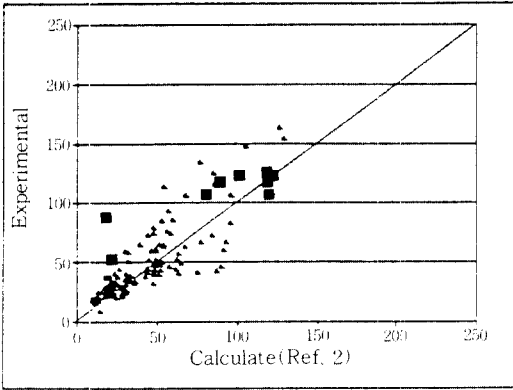
다음의 Table 3은 각 예측식의 결과와 실험치와의 비교에 대한 평균과 표준편차를 나타낸다.

Fig. 15는 예측식의 결과와 실험치와의 비교를 나타내고 있다.

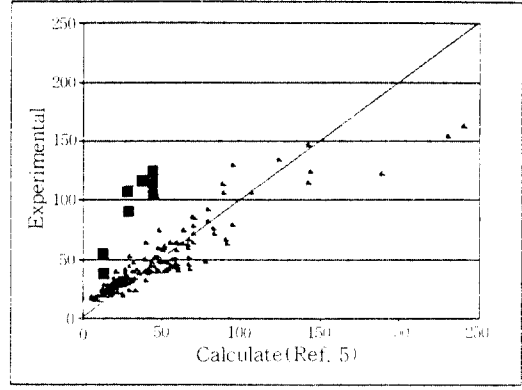
Table 3 Statistical comparison results on the experimental to theoretical shear strength

Ref.	No. of Eq.	Means Value (E/C)	Standard deviation	Coefficient of variation
2	2	1.33	0.482	0.362
3	4, 5	1.2	0.386	0.321
4	6, 7	1.7522	1.319	0.752
5	9	1.3166	0.6535	0.466
11	11, 12, 14	1.255	0.610	0.4861

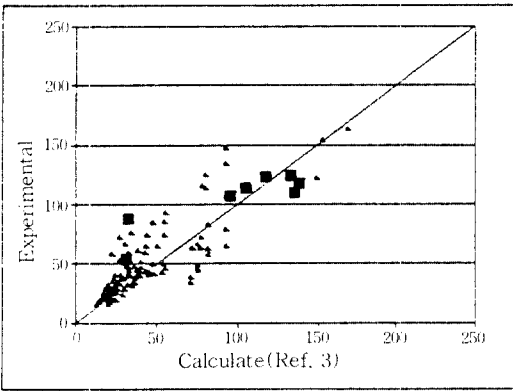
E : Experimental result, C : Calculated result



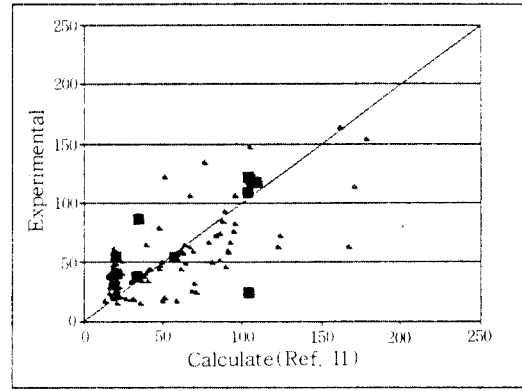
(a) Equation of Reference 2
 (▲ : Ref. data, ■ : Test result)



(d) Equation of Reference 5
 (▲ : Ref. data, ■ : Test result)

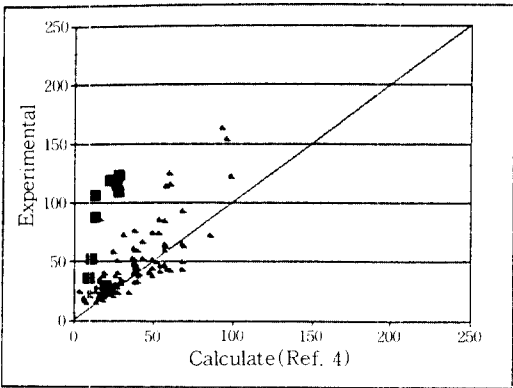


(b) Equation of Reference 3
 (▲ : Ref. data, ■ : Test result)



(e) Equation of Reference 12
 (▲ : Ref. data, ■ : Test result)

Fig. 15 Comparisons the theoretical equations with test result including other research results



(c) Equation of Reference 4
 (▲ : Ref. data, ■ : Test result)

Fig. 15와 Table 3에 나타난 것과 같이 참고문헌(2)와 (3)에서 제안한 식의 결과가 실제 실험결과에 가장 근접한 결과를 나타내었다. 반면 참고문헌(4)의 제안식은 가장 큰 실험치와의 오차를 나타내었는데 이는 SFRC가 RHSFCB의 전단강도에 미치는 주요변수(전단스팬비, 주철근비) 등의 영향을 무시한데에 기인한다고 사료된다. 전반적으로 전단강도예측식들은 실험치와 비교적 큰 오차를 보였는데 정확한 예측식의 개발을 위해서는 주요변수(강섬유 혼입율, 전단스팬비, 인장철근비, 모체콘크리트의 압축강도, 전단배근비, 부착강도)들에 대한 충분한 분석이 요구되며 추후 RHSFCB의 전단강도 예측식 개발의 필요성이 시

급하다고 사료된다.

5. 결 론

1. 본 연구에서 수행된 전단시험에서 전단보강철근의 간격이 일정한 경우 전단스팬비가 2.0인 경우에 강섬유의 혼입량이 증가함에 따라 전단파괴, 휨-전단파괴, 휨파괴 양상으로 파괴모드가 변화하였으며, 이는 강섬유보강에 의하여 단면의 전단저항능력이 향상되었음에 기인한다.

2. 강섬유의 혼입량이 일정하고($V_f=1\%$) 전단철근의 배근간격을 최소전단철근간격의 1.0, 1.2, 1.4 그리고 1.6배로 배근한 경우 전단스팬비가 2.0인 경우에는 전단철근간격이 1.2배일 때까지는 전단강도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 전단철근간격이 1.4인 시험체(SF1014-1)의 경우는 SF10 10-1 시험체 전단강도의 94%, SN0010 시험체의 98% 정도의 전단강도를 발휘함으로써 강섬유혼입에 의한 전단철근의 대체효과가 가능한 것으로 기대된다. 또한 SN0010-1 시험체의 파괴형태가 전단파괴한 반면 SF1014 시험체의 경우에는 휨-전단파괴되어 파괴형태 또한 바람직하게 변화된 것을 볼 수 있다.

3. 전단스팬비가 2.0인 보의 경우는 SF1510 -1 시험체를 제외한 모든 시험체가 전단파괴 또는 휨-전단파괴를 한 반면 전단스팬비가 3.5인 경우는 $V_f=0\%$ 인 SN0010-2 시험체만 전단파괴하고 동일한 조건의 나머지 RHSFCB는 휨파괴한 것을 고려할 때 강섬유의 보에 대한 보강효과는 휨강도의 증가보다는 전단강도 증진에 더 효과적임을 볼 수 있다. 따라서 SFRC의 사용은 전단응력이 휨응력보다 지배적인 곳에 사용함이 더 효율적이라고 사료된다.

4. 각 문헌에 나타난 제안식을 실험결과와 비교한 결과 참고문헌 2의 제안식(식(2))과 참고문헌 3의 제안식(식(4), (5))이 가장 실험치와 근접한 것으로 나타났다. 정확한 예측식의 개발을 위해서는 주요변수(강섬유 혼입율, 전단스팬비, 인장철근비, 모체콘크리트의 압축강도, 전단배근비, 부차강도)들에 대한 충분한 분석이 요구되며 기존의 예측식들이 실험체들과 비교적 큰 오차를 보임으

로써 추후 RHSFCB의 전단강도 예측식 개발의 필요성이 시급하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 학술진흥재단의 공모과제(01 E 1044)연구비에 의하여 진행되었음을 알려드립니다.

참 고 문 헌

1. ACI Committe. 544, "State of Art Report on Fiber Reinforced Concrete", Report: 544, IR-82, ACI, Detroit, May, 1982, p.16
2. "Shear Strength of Fibrous Concrete Beams without Stirrups", M.A. Mansur, K.C.G. Ong, P. Paramasivan, ASCE, Vol.112, No.9, July, 1986, pp.2066~2079
3. "Shear Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams", A.K. Sharma, ACI, July, 1986, pp.624~628
4. "Fiber Reinforced Concrete Beams", Roop L. Jindal, ACI SP-81, pp.1~16
5. "Use of Steel Fibers as Shear Reinforcement", R. Narayanan, Y.S. Darwish, ACI Strucruural Journal, 84-S23, pp.2066~2079
6. "Shear Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams", K.H. Tan, K. Murugappan, P. Paramasivam, ACI Strucruural Journal, 90-S1, pp.3~11
7. "Chopped steel fibres as shear reinforcement in concrete beams", N.A. Muhidin, P.E. Regan
8. "Shear Strength of Reinforced Concrete Beams with Fibre Reinforcement", Taketto Uomoto, Ranjan K Weerantane
9. "Steel Fiber as Shear Reinforcement in Beams", G. Batson, E. Jenkins, R. Spatney, J of ACI, October, 1972, pp.640~644
10. "Reinforced Concrete Beams with Steel Fibers under Shear", E.I. El-Niema, Journal of ACI, V.88, No.2, 1991, pp.95~100
11. "Shear and Moment Capacity of Reinforced Steel-Fibre-Concrete Beams", T.Y. Lim, P. Paramasivan, S.L. Lee, Magazine of Concrete Research, Vol.39, No.140, 1987, pp.148~160

(접수일자 : 1995. 9. 22)