

剪斷補強이 있는 鋼纖維 補強 高強度 鐵筋 콘크리트 보의 剪斷 및 延성에 관한 研究

Shear Strength and Ductility of Steel-Fiber Reinforced
High Strength Concrete Beams with Shear Confinement

吳貞根* 李光洙*
權寧鎬** 申成雨***

요 약

전단보강된 고강도콘크리트 보의 역학적 거동을 알아보기 위하여 총 9개의 시험체가 제작되었다. 콘크리트 압축강도가 800kg/cm² 전단스팬비가 3 그리고 주근비가 0.5Pb로 일정할 때 주요변수로서 전단보강비($V_s=0,25,50\%$)와 섬유첨가율($V_f=0,0.5,1\%$)로 두었다. 시험결과로 섬유첨가율의 증가에도 극한강도의 변화는 별반 없었으나 연성 능력을 향상시켰으며, 전단보강철근으로의 대체성을 보여주었다.

Investigations on the behavior of steel fiber reinforced high strength concrete beams with shear confinement are accomplished to determine their ultimate shear strength including diagonal tension strength. The parameters varied were the shear confinement ratio(P_s), and fiber volume fraction(V_s). Ultimate shear strength increased significantly in steel fiber reinforced concrete beam without shear confinement. In steel-fiber reinforced high strength concrete beams with shear confinement, there is no increase of ultimate shear strength but shows much beneficial effects of Ductility Capacity.

1. 서 론

1.1 研究의 目的

現代 建築物의 高層化, 特殊化 및 大型化 추세에 따라 部材를 구성하는 材料의 高強度화는 必需的이다. 이를 위하여 高強度 콘크리트의 필요성은 급격히 증대되고있고, 이에 관한 研究 또한 시급히 요청되고 있다. 高強度 콘크리트는 普通強度 콘크리트에 비해서 모든 면에서

우수하지만 고강도화에 따른 材料自體의 취성적 破壞樣相은 部材 및 구조체의 延性能力증진이라는 측면에서 研究, 補完되어야 할 사항의 하나이다. 이와 더불어 고강도 鐵筋콘크리트 部材에 갑작스런 剪斷 破壞 등이 수반될 때에는 부재의 안정성에 문제를 던져주므로 이를 보완하기 위한 研究는 매우 시급한 실정이다. 이전에 剪斷補強이 없는 鋼纖維補強 高強度 鐵筋 콘크리트 보 試驗體의 실험결과(1)

* 漢陽大 大學院
** 大宇建設技術研究所
*** 漢陽大 助教授, 工博

· 1990.9.30점수, 본 논문에 대한 토론을 1991.3.30까지 본 학회에 보내주시면 1991.6월호에 그 결과를 게재해 드리겠습니다.

- B : 보(Beam)
- 3 : $a/d = 3$
- U : $P_b = 0.5P_b$ (Under Reinforced Concrete)
- 2 : 剪斷補強(V_s)=25% (1=0%, 3=50%)
- 0.5 : 纖維 添加率(0, 0.5, 1.0%)

2.2 使用된 材料 및 最適配合比

시멘트는 S사 製品의 輸出用 2종 포트랜드 시멘트를 對象으로 하였으며, 細骨材는 강모래, 그리고 粗骨材는 最大크기 13mm의 화강암 쇄석을, 混和劑는 Naphtalane계의 Super-20을, 鐵筋은 인천제철 제품 SBD 40의 D22를 사용하였으며 KS B 6801의 規定에 의해 鐵筋의 引張 시험단을 제작하였고, KS B 6802의 金屬材料 引張試驗 方法에 따른 試驗을 실시하였다.

本 研究에 사용된 鋼纖維는 단면이 원형이고, 직선형 강선으로 일정한 길이를 잘라서 사용하였다. 직경 $df=0.4\text{mm}$, 길이 $lf=40\text{mm}$, 그리고 纖維형상비(Asspect Ratio- lf/df)는 100이다.

콘크리트 배합은 요구되는 강도와 성형성에 맞게 설계되었으며, 이때 $W/C=0.3$ 그리고 S. P.제 사용량을 1.0%로 하였다. 타설과 동시에 KS F 2402에 따른 슬럼프 시험을 실시하였다. 試驗體는 온도가 25°C 이상에서 수중 양생하였다. 재령 28일 경과후 KS F 2405에 의한 압축강도 시험과 KS F 2423에 의한 활열강도 시험을 하였다.

3. 시 험

3.1 보 試驗體 設置

本 研究에 사용된 보 試驗體의 實驗裝置는 최대용량 100ton의 萬能 試驗器이다. 모든 試驗體는 剪斷스팬비에 관계없이 中央部 1點 加力을 하였으며 試驗體의 처짐을 測定하기 위하여 中央部에 1/100mm, 兩 단부의 회전을 측정하기 위하여 1/100mm의 정밀도를 갖는 전기 다이얼 Gauge를 각각 1개씩 설치하였다.

3.2 荷重載荷 및 測定方法

載荷過程은 豫想 終局 破壞荷重의 1/3까지의 荷重을 일정하게 增加시키는 荷重 調節 方式(Load Control)을, 그 후에는 加力速度를 加力點 中央部の 처짐과 變形 測定器(Strain Indicator)에 나타나는 變形등을 觀察하면서 변위 조절(Deflection control)방법으로 전환하여 실시하였다.

4. 實驗結果

4.1 一般的 破壞樣相

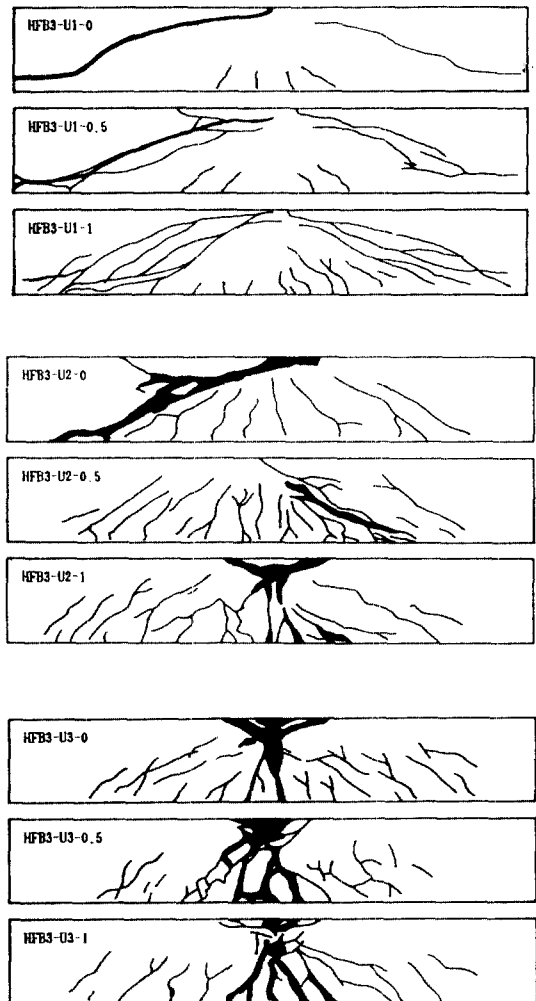
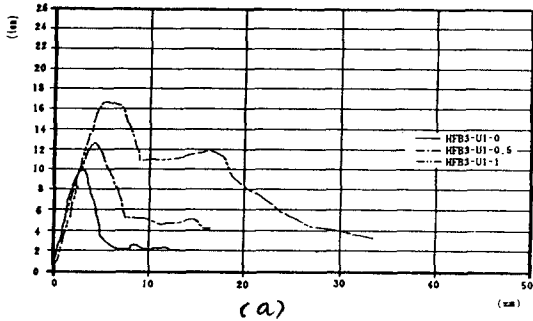
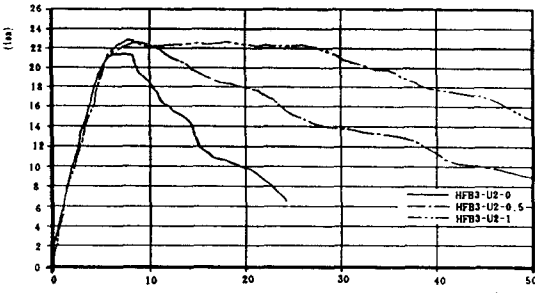


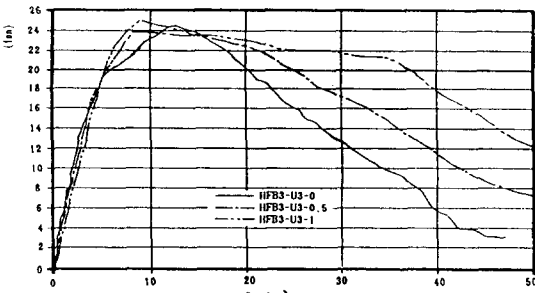
그림 2 각 試驗體별 破壞樣相



(a)



(b)



(c)

그림 3 各 試驗體別 荷重-처짐 曲線

모든 試驗體의 破壞樣相은 보의 중앙하부에 초기 龜裂이 발생되었으며, 하중이 增加함에 따라 剪斷스팬내에서 斜引張 龜裂(Diagonal Crack)로 이어졌다. 그 후 極限 破壞까지는 剪斷補強比(P_s) 및 纖維添加率(V_f)에 따라 다르게 나타났다. 剪斷補強이 0%인 試驗體는 纖維添加率 0%인 경우 斜引張 龜裂의 발생과 함

께 급작스런 剪斷破壞樣相을 나타내었으며, 纖維添加率이 增加함에 따라 鋼纖維의 龜裂억제 거동(Crack Arrest Mechanism)(5)에 의해 斜引張 龜裂이 여러개소에 분산 발생하면서, 剪斷 破壞에 저항함을 볼 수 있었으나, 최종破壞는 剪斷破壞였다.

剪斷 補強이 25%인 試驗體는 纖維 添加率(V_f)이 0%인 경우에는 斜引張 龜裂과 韌근의 항복에 의해 剪斷破壞로 이어졌으며, 纖維添加率 增加 할수록 韌근 및 鋼纖維의 剪斷저항 거동에 의해 剪斷 및 가력부 압축破壞가 거의 동시에 발생함을 볼 수 있다.

剪斷 補強比(P_s)가 50%인 경우 纖維添加率(V_f)의 增加에 따라 압축破壞의 결과를 보여 주었다.

4.2 荷重-처짐 曲線

各 試驗體는 그림 3에서 알 수 있듯이 일정 하중까지는 비슷한 강성 경사도를 보여주고 있으며, 剪斷 補強比(P_s) 및 纖維添加率(V_f)에 따라 최대내력의 차이가 있음을 알 수 있고, 剪斷 補強比 및 纖維添加率 增加함에 따라 최대 내력후에도 剪斷應力의 저항에 의한 延性 能力의 增大를 알 수 있다.

4.3.2 剪斷補強이 있는 보 試驗體

4.3.2.1 最大 剪斷應力

표 1과 같이 極限 剪斷應力의 값이 剪斷 補強 化 및 纖維添加率에 따라 다르게 나타남을 알 수 있다.

4.3.2.2 剪斷 補強比(P_s)에 따른 剪斷應力

그림 4에서 纖維添加率 0, 0.5, 1.0%인 경우 모두 剪斷 補強比가 0%에서 25%로 增加 할 경우에는 剪斷應力의 높은 增加를 보여주고 있으며, 특히 纖維 添加率 0%일 때 剪斷 補強比가 0%에서 25%로 增加함에 따라 極限 剪斷應力이 135%나 增加함을 볼 수 있다.

반면에 剪斷補強比가 25%에서 50%로 增加 할 경우에는 纖維添加率에 관계없이 極限 應力의 增加가 거의 없음을 알 수 있다.

표 1 各 試驗體別 實驗結果 一覽表

區分 試驗體名	剪 斷 스팬比 (a/d)	纖 維 添加率 (%)	剪 斷 補強比 (%)	f'c (kg/cm²)	剪 斷 實 驗 值(kg/cm²)		最 大 耐 力 (kg/cm²)
					斜 龜 裂 應 力	極 限 應 力	
FB3-U1-0	3.0	0.0	0	800	26.71	28.17	56.34
FB3-U1-0.5	3.0	0.5	0	840	28.55	31.25	64.50
FB3-U1-1	3.0	1.0	0	890	35.32	40.15	99.00
FB3-U2-0	3.0	0.0	25	800	32.40	64.90	129.70
FB3-U2-0.5	3.0	0.5	25	840	35.20	65.70	131.40
FB3-U2-1	3.0	1.0	25	890	36.70	64.60	129.10
FB3-U3-0	3.0	0.0	50	800	38.46	70.30	140.60
FB3-U3-0.5	3.0	0.5	50	840	39.40	68.60	137.20
FB3-U3-1	3.0	1.0	50	890	39.70	71.70	143.40

4.3.2.3 纖維添加率(Vf)에 따른 剪斷應力

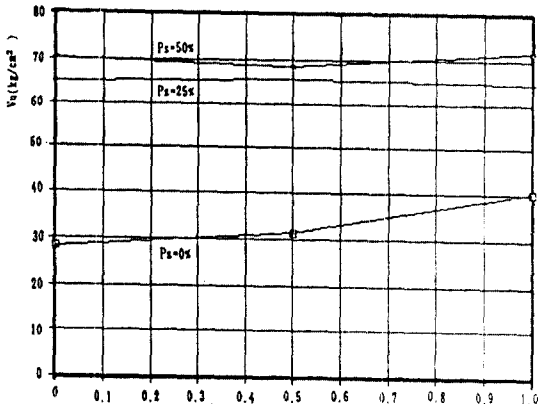


그림 5 纖維添加率에 따른 剪斷應力 (Vs)

그림 5에서 剪斷補強比가 0%인 試驗體에 있어서는, 纖維添加率이 增加함에 따라(Vf=1%) 極限 剪斷應力이 43% 增加함을 보여주고 있다. 그러나 剪斷 補強比가 25%, 50%인 경우에는 纖維添加率의 增加에 관계없이 極限 剪

斷應力값이 일정함을 보여주고 있는데, 이는 鋼纖維의 添加가 部材의 剪斷應力의 增加에는 효과적이지 못함을 보여주고 있다.

4.4 延性지수(Ductility Index)

4.4.1 各 試驗體別 延性지수

延성은 어떤 하중이상에서의 비탄성 처짐을 유지하기 위한 재료, 단면, 部材, 구조의 能力을 나타낸다. 여기에서는 部材 자체의 延성에 관해서 고려해 볼 때 部材의 延성은 처짐에 의해 표시되어 질 수 있는데, 처짐 延性지수(Deflection Ductility Index)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.(17)

$$\mu_f = \frac{\delta_f}{\delta_y} \dots\dots\dots (1)$$

δ_f : 하중-처짐 곡선에서 極限 하중후의 경로에서 極限 하중의 80%와 일치하는 처짐.

표 2 各 試驗體別 延性指數(Ductility Index)

區分 試驗體名	剪 斷 스팬比	剪 斷 補強比 (%)	纖 維 添加率 (%)	最 大 荷 重 (ton)	δ_y (cm)	δ_f (cm)	μ_f (= δ_f/δ_y)
HFB3-U2-0	3	25	0.0	22.7	0.35	1.07	3.05
HFB3-U2-0.5	3	25	0.5	23.0	0.36	1.78	4.94
HFB3-U2-1	3	25	1.0	22.6	0.35	3.76	10.74
HFB3-U3-0	3	50	0.0	24.6	0.37	2.20	5.95
HFB3-U3-0.5	3	50	0.5	24.0	0.36	2.72	7.56
HFB3-U3-1	3	50	1.0	25.1	0.36	3.92	10.89

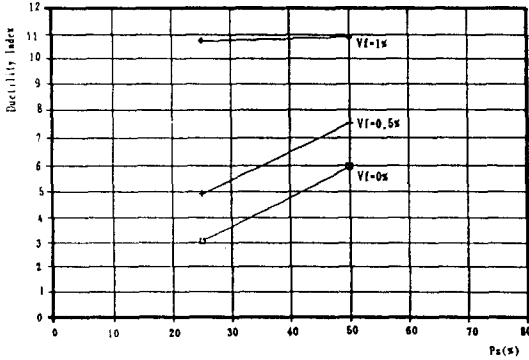


그림 6 剪斷補強비에 따른 延性지수

δy : 주근의 항복점에서의 部材의 처짐.

앞의 정의에 의한 延性지수를 각 試驗體별로 나타내면 앞의 표와 같다.

4.4.2 剪斷 補強비에 따른 延性指數

그림 6에서는 각각의 纖維添加率($V_f=0, 0.5\%$)에 있어서 剪斷補強비가 25%에서 50%로 增加함에 따라 대체적으로 延性지수는 增加하지만 纖維添加率이 1%인 경우에는 거의 증가하고 있지 않음을 알 수 있다.

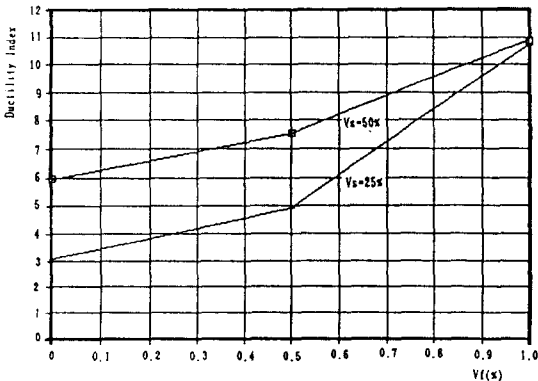


그림 7 纖維添加率에 따른 延性지수

4.4.3 纖維添加率에 따른 延性지수

그림 7에서 보는 바와 같이 剪斷補強비가 25%일 때는 纖維添加率이 增加함에 따라 높은 延性지수의 增加를 볼 수 있으며 纖維添加率(V_f)이 1%인 경우에는 3.5배 이상의 延性的 增加를 나타내고 있다. 剪斷補強비가 50%인

때에도 역시 纖維添加率이 1%인 경우 2배 이상 延性지수의 增加를 볼 수 있다.

5. 既存 提案式에 對한 考察 및 實驗的 解析

5.2 剪斷補強이 있는 보 試驗體

5.2.1 剪斷應力에 대한 고찰 및 분석

剪斷 補強이 없는 鋼纖維補強 高強度 鐵筋 콘크리트 보의 極限 剪斷應力에 관한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_u = e[0.24f_{sp}f_c + 815P(d/a) + V_{fp}] \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$e = 1.0 \text{ when } a/d > 2.8$$

$$e = 2.8(d/a) \text{ when } a/d < 2.8$$

$a/d > 3$ 인 경우

$$V_u = 0.19f_{sp}f_c + 951P(d/a) + 0.834V_{fp} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$a/d < 3$ 인 경우

$$V_u = 0.22f_{sp}f_c + 2217P(d/a) + 0.83V_{fp} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \dots\dots\dots (4)$$

剪斷補強을 한 경우 표 1에서 알 수 있듯이 纖維添加率의 增加에 관계없이 極限 剪斷應力은 비슷한 값을 나타내고 있다.

위의 제안식 (2), (3), (4)를 이용한 纖維添加率의 변화에 따른 極限 剪斷應力 값의 변화는 다음과 같다.

표 3에서 알 수 있듯이 剪斷補強이 없는 경우 Narayanan이 제안된 식에 의하면 纖維添加率이 1.2%인 경우(64.9kg/cm^2)에 剪斷補強比 25%와 같은 極限剪斷應力값(64.9kg/cm^2)을 보여주고 있으며, 본 研究에 의한 제안식(3), (4)에 의한 계산값을 살펴볼 때 纖維添加率이 2.0%인 경우의 極限 剪斷應力값(64.9kg/cm^2)은 剪斷補強比가 25%인 경우의 剪斷應力값(64.9kg/cm^2)과 같은 값을 보여준다.

표 3 纖維添加率에 따른 極限剪斷應力

Vf(%)	1.0	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6.	1.7	1.8	1.9	2.0
Vu : 式(2) (kg/cm ²)	60.0	62.7	64.9	67.1	69.3	71.4	73.2	75.1	77.0	78.4	79.6
Vu : 式(3) (kg/cm ²)	43.4	45.4	47.3	49.1	51.4	53.4	55.4	57.2	59.5	62.2	64.1

이는 高強度 콘크리트의 경우 鋼纖維의 添加에 의해 剪斷補強比 25%와 같은 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

5.2.2 部材의 延성에 관한 고찰 및 분석

구조部材의 延성은 실질적으로 하중이 집중되는 곳이나 지진의 위험이 있는 곳에서 필요로 하고 있다. Blume, Newmark 그리고 Corning(19)은 지진지역에서의 최소 처짐 延性지수로 4에서 6까지의 값을 제안하였다. Furlong(20)은 보에 있어서 모멘트의 합리적인 재분배를 위해, 延性지수는 $1+0.235(a/d)$ 이상이어야 한다고 제안하였다.

위의 제안값을 기준으로 할 경우 표 5에서 볼 수 있듯이 剪斷補強比가 25%이고 纖維添加率이 0.5%인 경우에는 延性지수 4.94의 값을 보여주고 있어 내진설계에 효과적임을 보여주고 있다. 또 纖維添加率이 1.0%인 경우에는 延性지수가 10.74임을 볼 수 있는데 이는 剪斷補強比가 50%인 경우의 延性지수 (D.I.=5.95)와 비교할 때 1.8배의 증가를 보여주는데 이는 部材의 延性 측면에서 纖維의 添加에 의해서 剪斷補強근을 대체할 수 있음을 보여준다.

剪斷 補強比가 50%일 경우에는 纖維添加率 이 增減함에 따라 延性지수의 증가를 보여주고 있으며, 纖維添加率이 1.0%인 경우에는 10.89의 延性지수값을 보여 주는데 이는 剪斷補強比가 25%이고 纖維添加率이 1.0%인 경우9D.I.=10.74)와 비슷한 값을 보여주는데 이는 纖維添加率이 1.0% 이상의 경우에는 延性지수의 증가율이 감소함을 보여준다.

6. 結 論

剪斷 補強이 있는 鋼纖維補強 高強度 鐵筋

콘크리트 보에 剪斷補強比(P_s)와 纖維添加率 (V_f)을 변수로 한 본 研究의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 鋼纖維의 龜裂抑制舉動(Crack Arrest Mechanism)에 의해 鋼纖維의 添加率이 增加함에 따라 剪斷 補強이 없는 試驗體의 경우 後期 龜裂強度(Post Cracking Strength)와 斜引張 龜裂 剪斷應力 및 極限剪斷應力の 높은 增加를 보여주고 있다.

2) 剪斷補強이 있는 鋼纖維補強 高強度 鐵筋 콘크리트보에 있어서 鋼纖維 添加率(V_f)이 增加함에 따라 斜引張 龜裂 剪斷應力은 미소하게 증가하지만 極限 剪斷應力의 增加에는 효과적이지 못함을 알 수 있다.

3) 전단보강비($P_s=25\%$)가 낮은 경우, 강섬유의 보강에 의해, 높은 剪斷補強比($V_s=50\%$)와 같은 部材의 延성을 얻을 수 있어 鋼纖維의 添加에 의해 剪斷補強근을 대체할 수 있음을 알 수 있다.

4) 낮은 剪斷補強比에서도 纖維의 添加에 의해, 部材의 높은 延性지수값을 보여주는데, 이는 鋼纖維의 補強이 내진 설계에 매우 효과적임을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 1988~1991년도 연구비지원에 의해 수행되었음을 감사히 생각합니다.

参 考 文 献

1) Romualdi, J.P., and Baston, G.B., "Behavior of Reinforced Concrete Beams with closely spaced Reinforced.", ACI Jr. Vol. 60, 1963, June, 1963, pp.775-790.

2) Romualdi, J.P., and Baston, G.B., "Mechanics of Crack Arrest in Concrete. "ASCE, Proceedings, Vol.89, EM3, June, 1963, PP. 147-168.

3) La Fraugh, R.W., and Moustafa, S.E., "Experimental Investigation of the Use of Steel Fiber for shear Reinforcement," Concrete Technology Associates, Tacoma, Jan, 1975, 53pp.

4) Williamson, G.R., and Knab, L.I., "Full Scale Fiber Concrete Beam Tests, "Fiber Reinforced Cement And Concrete(RILEM Symposium, London), Construction Press, Lancaster, 1975, pp.209-214.

5) Jindal, Roop I., "Shear and Moment Capacities of Steel fiber Reinforced concrete Beams," Fiber Reinforced Concrete-International Sym-

posium, SP-81, ACI, Detroit, 1984, pp.1-16.

6) Muhidin, N.A., and Regan, P.E., "Chopped Steel Fibers as Shear Reinforcement in Concrete Beams," Fiber Reinforced Materials, Institution of Civil Engineerings, London, 1977, pp.135-149.

7) Narayanan, R., and Kareem-Palanjian, A.S., "Effect of Fiber Addition of Concrete Strengths," Indian Concrete Journal(Bombay), V.58, No.4, Apr.1984, pp.100-103.

8) Romualdi, James P., and Mandel, James A., "Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement," ACI Jr., Proceedings V.61, No.6 June, 1964, pp.657-671.

9) R.Narayanan and I.Y.S.Darwish, "Use of Steel Fibers as Shear Reinforcement," ACI Structural Jr. May-June. 1987, pp.216-227.

10) De Vekey, R.C., and Majumdar, A.J., "Determining Bond Strength in Fiber-Reinforced Composites. "Magazine of concrete Research (London), V. 20, No.6, June, 1968, pp.229-234.