

# 鋼纖維補強콘크리트의 力學的 舉動 特性

## Mechanical Properties of Steel-Fiber Reinforced Concrete

李 信 昊\* · 高 在 君\*\*  
Rhee, Shin Ho · Koh, Chae Koon

### Summary

The aims of this study were to determine mechanical properties of steel-fiber reinforced concrete under splitting tensile, flexural and compressive loading, and thus to improve the possible applications of concrete.

The major factors experimentally investigated in this study were the fiber content and the length and the diameter of fibers.

The major results obtained are summarized as follows :

1. The strength, strain, elastic modulus and energy absorption capability of steel-fiber reinforced concrete under splitting tensile loading were significantly improved by increasing the fiber content or the aspect ratio.

2. The flexural strength, central deflection, and flexural toughness of steel-fiber reinforced beams were significantly improved by increasing the fiber content or the aspect ratio. And flexural behavior characteristic was good at the aspect ratio of about 60 to 75.

3. The strength, strain, and energy absorption capability in compression were increased with the increase of the fiber content. These effects were not so sensitive to the aspect ratio. The energy absorption capability was improved only slightly with the increase of the fiber length.

4. The elastic modulus, transverse strains, and poisson's ratios in compression were not influenced by the fiber content.

5. The steel-fibers were considered to be appropriated as the materials covering the weakness of concrete because the mechanical properties of concrete in tension and flexure were significantly improved by steel-fiber reinforcement.

---

\* 安城農業專門大學

\*\* 서울大學校 農科大學

## I. 緒 論

콘크리트의 약점인 脆性을 보완하고 龜裂을 억제할 수 있는 鋼纖維補強콘크리트에 대해 Romualdi(1963) 이후로 많은 研究가 계속되고 있다. 연구 결과에 의하면 纖維 形態(fiber geometry), 纖維 形狀比(fiber aspect ratio), 纖維 混入量(fiber content), 纖維 配向(fiber orientation), 配合 設計 方法(mix design method) 등이 강섬유보강콘크리트의 性質과 破壞 形狀에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

그러나 이들 因子가 강섬유 콘크리트의 力學的 舉動特性에 미치는 영향은 완전히 규명되지 않아 아직도 많은 實驗的 研究가 요구되고 있다. 따라서 本 研究는 鋼纖維콘크리트의 壓縮·引張· 휨등의 力學的 舉動 特性에 대한 實驗的 結果를 提示함으로써 댐의 放水路, 水

路, 落差工, 防波堤 등의 水利 및 港灣構造物과 터널라이닝, 道路 鋪裝, 바닥슬래브, 止水壁 등의 建設材料로 利用性을 높이는 데 있다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 材料

供試體를 만드는 데 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트로서 그 物理的 性質은 Table-1 과 같다.

骨材는 영산강 지류에서 채취한 것으로서, 잔 骨材는 No. 4 체를 통과하고 KSF 2526에 규정된 粒度상태를 만족시키는 것이었고, 굵은 골재는 공시체의 크기와 사용성을 고려하여 최대치수를 10mm로 하였다. 이들의 性質은 Table-2와 같다.

Table-1. Physical property of normal portland cement.

S. G.	Fine. cm <sup>3</sup> /g	Normal Cons., %	Sound.	Setting,	min	Comp., N/mm <sup>2</sup>		Tens., N/mm <sup>2</sup>	
				Init.		Fin.	$\sigma_3$	$\sigma_7$	$\sigma_3$
3.14	3115	2.57	0.38	160	344	11.28	19.02	1.77	2.75

Table-2. Quality of Fine & Coarse Aggregate.

Kinds	S. G.	Absorp.	U. W. kg/m <sup>3</sup>	Sound.	Clay lump	Fine. Modu.	No. 200 pass, %	Abration, %	
		%						100R	500R
Fine	2.54	2.56	1.436	good	0.54	2.98	0.6	-	-
Coarse	2.48	5.61	1.453	good	0.10	-	-	11.1	44.0

鋼纖維는 직경 0.4, 0.5, 0.75mm의 원형단면으로 그 길이는 20, 30, 40mm이다. 이들의 一般的 性質은 Table-3과 같다.

Table-3. Typical property of steel fiber.

S. G.	Young's Modulus		Tensile Strength	
7.83	199	KN/mm <sup>2</sup>	451	N/mm <sup>2</sup>

### 2. 供試體 製作

공시체를 제작하기 위한 配合設計는 전형적

인 강섬유콘크리트의 배합설계<sup>6)</sup>를 참고하여 Table-4와 같이 하였다.

材料의 混合은 삼비비기로 하였는데, 순서는 시멘트와 잔골재를 섞은 다음 굵은 골재와 잘 혼합된 강섬유와 물을 넣었다.

供試體는 KSF 2403에 준하여 제작·양생하였다. 壓縮 및 割裂引張 試驗用 供試體는 지름 10cm, 높이 20cm이고, 휨試驗用은 6.7cm×6.7cm×35cm 크기의 것을 使用하였다.

강섬유의 混入率은 體積百分率로서 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%의 6가지로 하였다.

Table-4. Specified mix of concrete composites.

Cement kg/m <sup>3</sup>	Water kg/m <sup>3</sup>	W/C %	S/A %	Sand kg/m <sup>3</sup>	Gravel kg/m <sup>3</sup>	Air Content %
350	166	55	60	1061	707	2.0

다짐은 板 진동기(table, vibrator : MARUTO CE-62B, weight degree 140, 진동수 3000RPM, 원심력 310kg, 진폭치 0.57)와 다짐봉을 병용하였다.

공시체의 양생은 室溫狀態(23°~30°)에서 20~24시간 경화시킨 후 脫型하여, 水中에서 표준양생을 실시하였는데, 水槽의 수온은 23°± 3°를 유지하였다.

### 3. 試驗 方法

#### 가. 引張 試驗

割裂引張試驗은 용량 100t의 萬能試驗機(SHIMADZU UH-100형, 1978년 生産)를 사용하여 KS F 2403(콘크리트 인장강도 시험방법)에 준하였고, 荷重載荷速度는 1.5mm/min으로 하였다.

引張彈性係數는 공시체의 단면 중앙에 하중 작용 방향과 직각방향으로 스트레인 게이지(strain gage, 67mm)를 부착하여 측정된 應力-變形率 관계로 부터 인장강도의 0.4배 되는 점에서의 시컨트 계수(secant modulus)로 하였다.

#### 나. 휨 試驗

휨인성은 KS F 2407(콘크리트의 휨강도 시험방법; 단순보의 중앙점 하중법)에 준하였다. 시험기는 인장시험과 동일하며 하중재하속도는 0.3mm/min으로 하였다.

휨성능은 시험기에 부착된 自記記錄計에 기록된 하중-처짐 곡선의 면적으로 하되, 그 범위는 ACI Committee 544(1978)에서 적합성을 인정한 처짐량 2.0mm까지로 하였다.

#### 다. 壓縮 試驗

壓縮試驗은 KS F 2405(압축강도 시험방법)에 준하였고, 하중재하속도는 1.0mm/min이었으며, 시험기는 인장시험과 동일한 것이었다.

壓縮에 따른 應力-變形率 관계는 시험기에 부착된 자기기록계의 의한 荷重-變位 曲線을 이용하였고, 이 관계로 부터 강섬유 콘크리트의 彈性限界와 인성 변화를 관찰하였다.

壓縮彈性係數와 프와송비는 KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 프와송비 시험방법)에 준하여 조사하였다. 탄성계수의 측정을 위해서 스트레인 게이지를 공시체의 측면 중앙에 하중방향과 평행하도록 부착하였고, 프와송비의 측정을 위해서 하중작용방향과 직각이 되도록 부착하였다.

## III. 結果 및 考察

### 1. 引張 舉動

#### 가. 纖維混入量에 따른 變化

割裂引張強度는 섬유혼입량( $V_f$ )의 증가에 따라 Fig. 1과 같이 그 增加幅이 상당히 크게 나타났으며, 섬유혼입량 2.0%에서는 섬유가 없는 상태에 비하여 63% 증가하였다. 이 현상은 동일한 조건으로 시험한 직접인장강도의 증가폭(李·高, 1987)보다 크게 나타났다. 이러한 차이는 직접인장에서는 引張龜裂이 수직으로

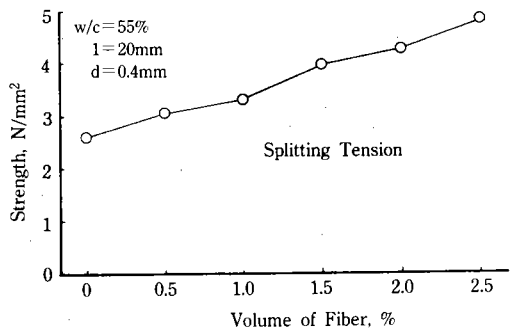


Fig. 1. Variation of Tensile Strength as a Function of Fiber Content.

전파되어 파괴되나, 할렬인장에서는 二軸壓縮 영역에서 剪斷抵抗이 增加하므로 인장균열이 발생한 후에도 섬유가 공시체의 파괴를 방해하기 때문이다. 한편 강도의 증가 정도는 Chen · Carson(1971), 文(1977), 朴(1978)의 시험결과와 유사한 경향을 보였다.

引張彈性係數는 Fig. 2와 같이 섬유혼입량이 증가하면 線形的으로 증가하는 경향을 보였는데, 이는 섬유혼입량이 인장 거동 특성을 향상시키는 요소로 작용함을 알 수 있었다.

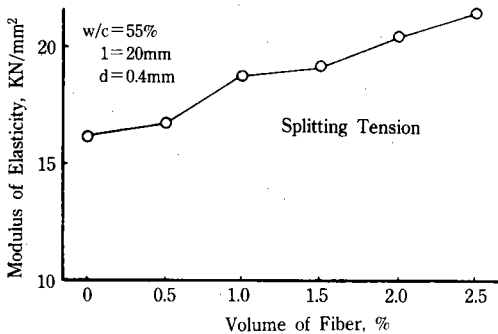


Fig. 2. Variation of Tensile Elastic Modulus as a Function of Fiber Content.

나. 纖維의 形狀에 따른 變化

섬유의 길이( $l$ )에 따른 인장강도의 변화를 살펴보면, Fig. 3과 같이 섬유길이가 길어지면 할렬인장강도가 線形的으로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 Chen · Carson(1971)과 朴(1978)의 시험결과에서도 밝혀졌는데, 이는 섬유의 길이가 길어지므로써 섬유와 콘크리트 사이의 부착강도가 증가하여 섬유의 저항효과가 증대되어 나타나는 현상이라고 생각된다.

섬유의 直徑( $d$ )에 따른 인장강도의 변화는 Fig. 4와 같이 직경이 커지면 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 섬유직경이 증대되어 섬유의 표면적이 커져서 발생하는 부착강도의 증가효과보다는 섬유와 個數가 줄어들어(혼입량은 일정하므로) 감소되는 섬유의 저항효과가 더 크게 작용하기 때문이다.

한편, 섬유의 形狀比( $l/d$ )에 따른 인장강도

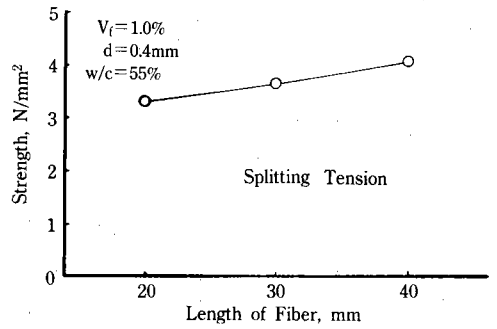


Fig. 3. Variation of Tensile Strength as a Function of Length of Fiber.

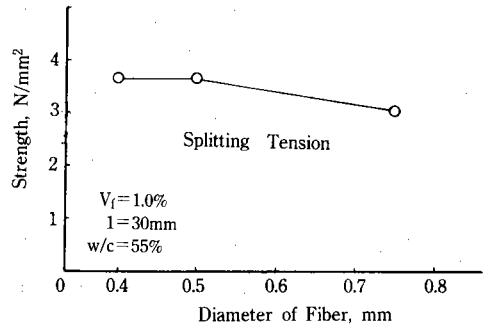


Fig. 4. Variation of Tensile Strength as a Function of Diameter of Fiber.

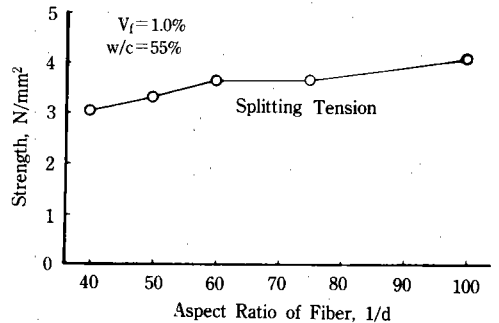


Fig. 5. Variation of Tensile Strength as a Function of Aspect Ratio of Fiber.

의 變化를 조사하여 보았던 바, Fig. 5와 같이 섬유형상비가 증가하면 할렬인장강도는 線形的으로 증가하였다. 즉, 섬유형상비가 커지면 섬유의 저항효과가 커짐을 알 수 있었다.

다. 纖維混入量과 纖維形狀比의 組合變數에 따른 變化

섬유혼입량과 섬유형상비의 조합변수( $V_f \cdot l/d$ )와 할렬인장강도의 관계는 Fig. 6과 같이 變

數  $V_f \cdot l/d$ 가 증가하면 인장강도가 線形으로 증가하였다. 또한 변수와 강도는 높은 相關性을 보였고( $r=0.97$ ), 相關方程式의 절편값은 섬유가 없는 상태의 콘크리트 강도를 잘 대변하였다. 따라서, 이 조합변수가 인장거동 특성에 영향을 끼치는 인자로 작용함을 알 수 있었다.

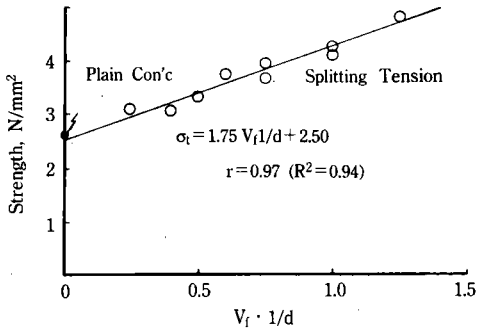


Fig. 6. Relationship between Tensile Strength and Combined Parameter,  $V_f \cdot l/d$ .

## 2. 휨舉動

### 가. 荷重-처짐 關係

荷重-처짐 曲線은 Fig. 7과 같았고, 이 曲線에서 휨거동의 변화를 살펴보면 섬유가 없는 콘크리트에서는 極限強度에 도달하면 급작스런 破壞가 발생하나, 강섬유가 혼입될수록 극한강도에서 처짐이 持續될 뿐만 아니라 극한강도 후에도 처짐이 서서히 진행되는 塑性變形을 나타내었다. 이러한 舉動 양상은 강섬유

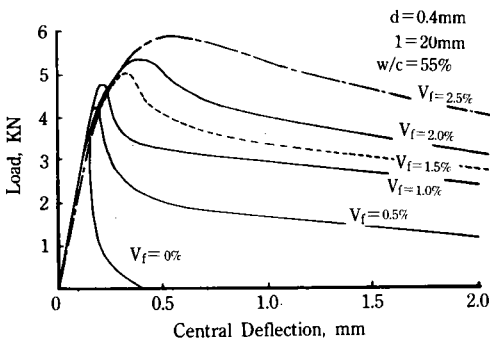


Fig. 7. Variation of Load-Deflection Curve as a Function of Fiber Content in Flexure.

가 콘크리트의 脆性を 改善하는 효과가 있음을 나타내는 것이다.

### 나. 纖維混入量에 따른 變化

휨強度(極限強度)는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 섬유혼입량이 증가하면 線形的으로 增加하여 混入量 2.5%에서는 섬유가 없는 상태보다 66% 정도 증가하였고, 最大荷重에서 供試體의 中央點 처짐량도 섬유혼입량이 증가하면 線形的으로 증가하였다.

휨인성은 Fig. 9에 나타난 바와 같이 섬유혼

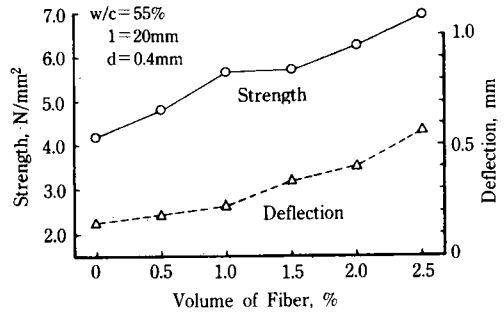


Fig. 8. Variations of Flexural Strength and Central Deflection at Maximum Load as a Function of Fiber Content.

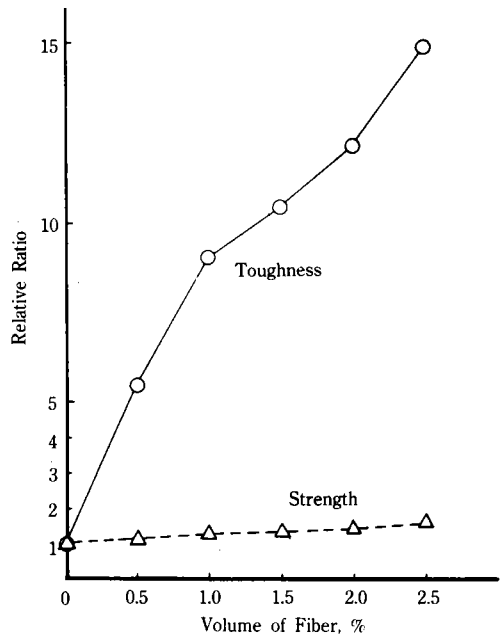


Fig. 9. Variation of Flexural Toughness as a Function of Fiber Content.

입량이 증가하면 섬유가 없는 상태보다 크게 증가하였다. 섬유가 혼입되지 않은 콘크리트에 대한 휨인성의 相對比는 휨강도의 相對比보다 훨씬 큰 값으로 나타나 혼입량 2.5%에서 약 15 배로 되었다. 그러므로 강섬유콘크리트는 荷重에 대한 抵抗性和 에너지 흡수능력이 뛰어난 것을 알 수 있었다.

이러한 결과는 섬유와 콘크리트 사이의 附着力이 증가되어 콘크리트의 균열이 억제되기 때문인 것으로 판단된다.

다. 纖維의 形狀에 따른 變化

섬유의 길이에 따른 휨강도와 처짐량, 인성의 변화는 Fig. 10과 같았다. 섬유의 길이가 20 mm에서 30mm를 길어지면 휨강도와 처짐량, 인성 모두 증가되었고, 30mm에서 40mm로 길어지는 경우, 휨강도는 비슷하였고, 처짐량은 증가한 반면 인성은 相對적으로 감소하였다.

따라서 섬유의 길이가 증가하면 휨舉動 特性이 改善되나, 휨거동에 따른 강섬유 길이의 實質的 限界가 30mm에서 40mm사이에 있음을 알 수 있었다. 그 이유는 섬유의 길이가 길어지면 섬유의 附着力이 증대하여 휨거동 特性의 改善效果가 있는 반면, 分散度가 좋지 않아 負의 영향이 있으므로 後者의 영향이 前者보다 커지게 되면 휨舉動이 改善되지 않는데 있다.

纖維의 直徑에 따른 휨強度와 처짐량, 인성의 變化는 Fig. 11과 같았다. 섬유의 직경이 0.75mm에서 0.5mm로 감소하면 휨강도와 인성은 현저히 증가하였고, 처짐량은 거의 변화가 없었다. 그러나 0.5mm에서 0.4mm로 감소하는 경우는 휨강도와 인성의 변화는 거의 없었고, 처짐량은 다소 증가하였다.

따라서, 섬유의 직경이 감소하면 휨거동 特性이 改善되나, 휨거동에 따른 강섬유 직경의 實質的 限界가 0.4mm에서 0.5mm사이에 있음을 알 수 있었다. 그 이유는 섬유 직경이 감소하면 섬유의 附着係數가 커지므로 휨거동 特性이 改善되는 반면, 分散度는 좋지 않아 휨거동에 負의 영향이 있기 때문이다.

纖維의 形狀比( $l/d$ )에 따른 휨거동 特性을

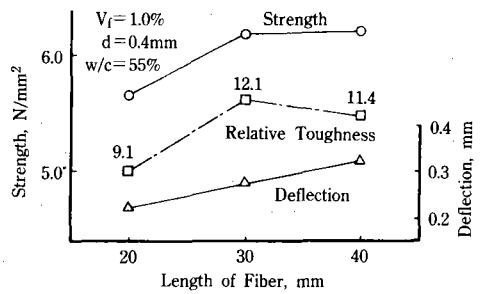


Fig. 10. Variations of Flexural Strength, Central Deflection at Maximum Load, and Toughness as a Function of Length of Fiber.

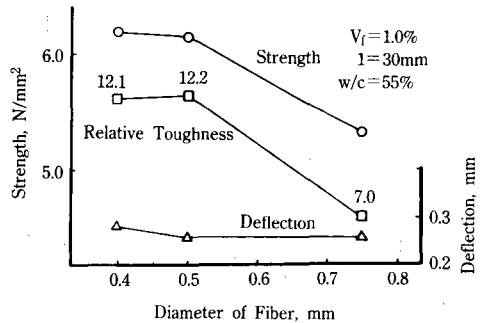


Fig. 11. Variations of Flexural Strength, Central Deflection at Maximum Load, and Toughness as a Function of Diameter of Fiber.

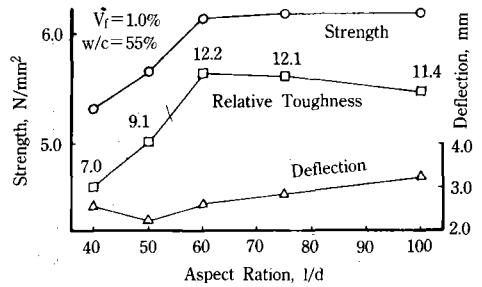


Fig. 12. Variations of Flexural Strength, Central Deflection at Maximum Load, and Toughness as a Function of Aspect Ratio.

조사하여 보면 Fig. 12와 같았다. 섬유 형상비가 40에서 60까지 증가하면 휨강도 및 인성이 線形的으로 증가하였으나, 60以上이 되면 강도는 거의 변화가 없었고, 인성은 다소 감소하였다. 그리고 最大荷重에서의 처짐량은 형상비

40에서 60까지는 그 변화를 알 수 없었고 50 이상에서는 다소 증가하였다.

이러한 섬유 형상비와 휨강도의 관계는 Kar · Pal(1972), Parimi · Rao(1974), Swamy · Mangat · Rao(1974) 등이 제시한 理論과 符合된다. 그리고 Shah · Rangan(1971)의 시험 결과도 섬유 형상비 75까지는 휨강도와 인성이 증가하고 그 이상에서는 약간 감소되었고,朴 (1978)도 섬유의 길이가 30mm까지는 강도가 증가되나 그 이상이면 다소 감소된다고 하였다.

이러한 결과에 의하면 강섬유콘크리트의 휨거동 특성이 가장 良好하게 나타날 수 있는 섬유의 형상비는 60에서 75사이인 것으로 判斷된다.

라. 纖維混入量과 纖維形狀比의 組合變數에 따른 變化

휨강도와 섬유혼입량과 섬유형상비의 조합변수( $V_f \cdot l/d$ )의 관계는 Fig. 13과 같이 變數  $V_f \cdot l/d$ 가 증가하면 휨강도가 線形的으로 증가함을 알 수 있었다. 두 因子간의 相關關係는 좋았으나( $r=0.92$ ), 회귀방정식의 절편값은 섬유가 없는 상태의 휨강도보다 다소 크게 나타났다. 이것은 섬유가 혼입되면 아주 작은 량이라 해도 混合體의 強度가 增加됨을 암시하는 것이다(Fanella · Naaman, 1985).

最大荷重에서의 처짐량은 Fig. 13과 같이 變數  $V_f \cdot l/d$ 에 比例하여 증가하였다. 이들간의 회귀방정식은 양호한 相關性을 나타내었고( $r=0.91$ ), 이 방정식의 절편값은 섬유가 없는 상태의 처짐량보다 다소 작은 값으로 나타났다. 이것은 강섬유보강콘크리트의 처짐은 鋼纖維의 附着力에 많이 의존됨을 보여주는 것으로 判斷된다.

휨인성은 Fig. 14와 같이  $V_f \cdot l/d$ 가 증가하면 線形的으로 증가하는 것으로 나타났다. 이들간의 회귀방정식도 相關性이 높았고( $r=0.89$ ), 방정식의 절편값이 섬유가 없는 상태보다 현저하게 크게 나타났는데, 이는 휨강도의 경우와 유사하게 少量의 섬유가 混入되어도 混合體의 에너지 흡수능력이 상당히 크게 向上됨을 의

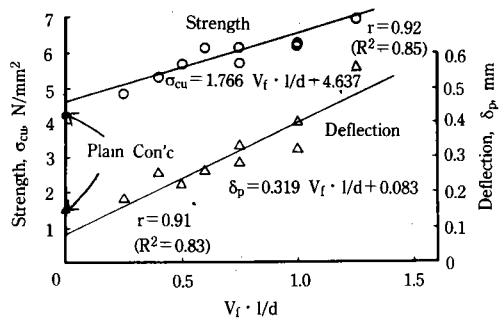


Fig. 13. Relationship between Flexural Strength, and Central Deflection at Maximum Load and Combined Parameter,  $V_f \cdot l/d$ .

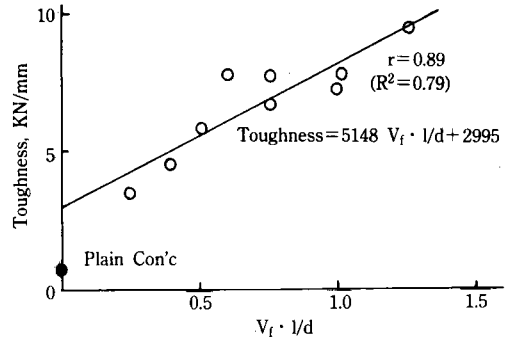


Fig. 14. Relationship between Flexural Toughness and Combined Parameter,  $V_f \cdot l/d$ .

미하는 것이다(Fanella · Naaman, 1985).

이상과 같은 결과에 의하면 휨舉動 특성은 變數  $V_f \cdot l/d$ 의 증가에 비례하여 改善됨을 알 수 있었는데, 이는 Johnston(1974)과 Shah · Naaman(1976)의 분석결과에서도 비슷하게 나타났다.

3. 壓縮舉動

가. 纖維混入量에 따른 變化

섬유혼입량에 따른 應力-變形率 曲線은 Fig. 15와 같았다. 섬유혼입량이 증가하면 초기에는 섬유가 없는 상태와 類似한 舉動을 하였고, 最大壓縮強度와 이에 對應하는 變形率은 증가될 뿐만 아니라 頂點 이후의 감소 정도가 완만하였다.

壓縮強度와 이에 對應하는 變形率은 Fig. 16

과 같이 섬유혼입량이 증가하면 線形的으로 증가하여, 혼입량 2.5%에서는 섬유가 없는 상태에 비하여 壓縮強度는 34%정도 증가하였고, 變形率은 2.7배에 달하였다.

Fig. 15의 應力-變形率 舉動으로 보면 강섬유콘크리트의 에너지 흡수능력, 즉 인성이나 延性이 섬유가 많이 혼입될수록 증대됨을 알 수 있었다.

이러한 결과는 섬유의 龜裂抑制作用이 증대되므로서 일어나며, Shah · Rangan(1971), Edington(1973), Williamson(1974), 文(1977), Kothari · Bonel(1978), Ramakrishman 등 (1981), Fanella · Naaman(1985) 등의 시험결과에서도 類似한 傾向을 보였다.

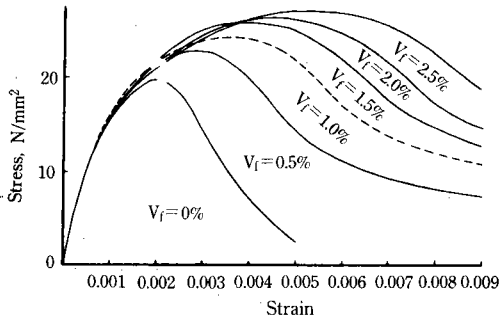


Fig. 15. Variation of Stress-Strain Curve as a Function of Fiber Content in Compressive Test.

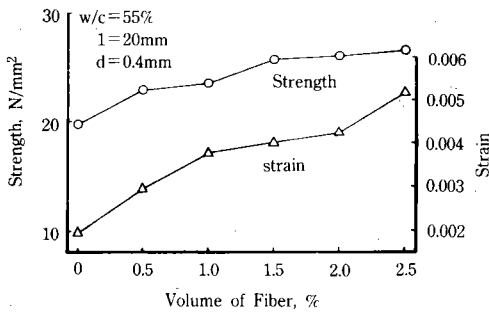


Fig. 16. Variations of Compressive Strength and Strain at Maximum Stress as a Function of Fiber Content.

나. 纖維의 形狀에 따른 變化  
섬유의 길이에 따른 應力-變形率 曲線은

Fig. 17과 같았다. 이 曲線에 의하면 섬유길이가 40mm인 경우가 다른 길이에 비하여 에너지 흡수능력이 크게 나타났으나, 最大壓縮強度와 이에 대응하는 變形率은 섬유길이가 길어지면 다소 증가하였으나 그 영향이 매우 작았다(Fig. 18 참조). 이 결과는 섬유길이는 압축 강도에는 큰 영향이 없고, 에너지 흡수능력을 증대시키는 효과가 있음을 보여주는 것으로 Chen · Carson(1971)의 시험결과에서도 비슷하게 나타났다.

섬유의 直徑에 따른 應力-變形率 曲線은 Fig. 19와 같았다. 이 曲線에 의하면 섬유직경이 0.75mm인 경우 에너지 흡수능력이 크게 低下되었다. 그리고 섬유직경이 壓縮強度와 이에 對應하는 變形率에 미치는 영향을 판단하면, 0.4mm와 0.5mm에서는 비슷하였고, 직경 0.75

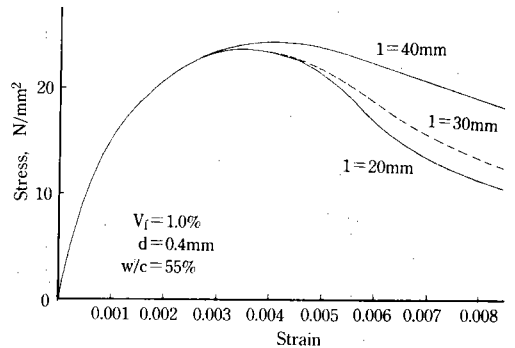


Fig. 17. Variation of Stress-Strain Curve as a Function of Length of Fiber in Compressive Test.

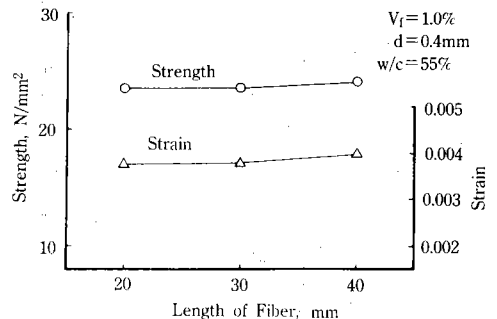


Fig. 18. Variations of Compressive strength and Strain at Maximum Stress as a Function of Length of Fiber.



mm에서 변형율은 현저히 감소된 반면 壓縮強度는 큰 차이를 찾아볼 수 없었다(Fig. 20 참조). 이 결과는 섬유직경이 너무 커지면 섬유 龜裂抑制能力이 떨어지는 것을 보여주는 것이다.

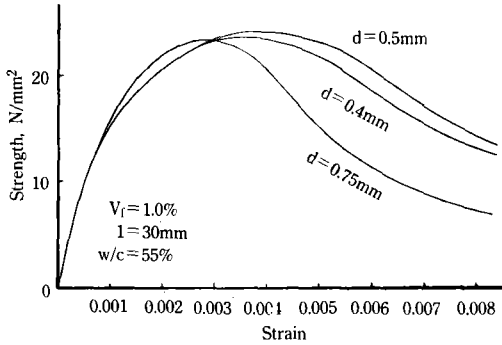


Fig. 19. Variation of Stress-Strain Curve as a Function of Diameter of Fiber in Compressive Test.

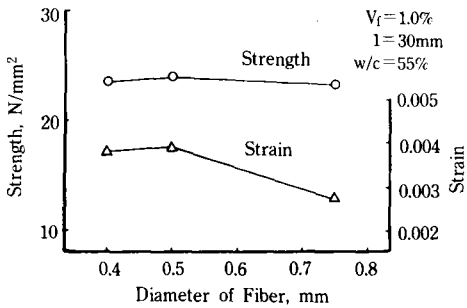


Fig. 20. Variations of Compressive Strain at Maximum Stress as A Function of Diameter of Fiber.

섬유의 形狀比( $l/d$ )에 따른 壓縮強度와 變形率을 조사한 결과 Fig. 21과 같았다. 섬유형상비의 증가는 압축강도에 큰 영향을 미치지 못하였으나 전체적인 傾向으로 판단하면 다소 증가하였다. 그리고 압축강도에 대응하는 變形率을 보면, 형상비 40에서는 50이상인 경우보다 현저히 작은 값이었고 형상비 50이상에서는 비슷한 값을 보였는데, 전체적인 傾向은 형상비가 증가하면 다소 증가하는 것으로 나타났다.

이와 같이 섬유형상비가 인장이나 휨에는

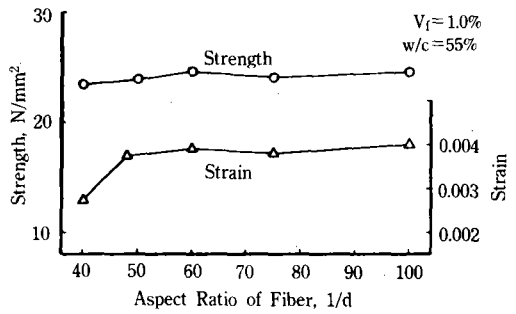


Fig. 21. Variations of Compressive Strength and Strain at maximum Stress as a Function of Aspect Ratio of Fiber.

영향을 크게 미치는 반면 압축에는 그 영향이 작은 것은 다음과 같이 설명할 수 있다.

引張舉動에서는 섬유가 혼합체의 破壞形狀에 대한 영향이 직접적인 데 반하여 Kar · Pal, 1972, Edington, 1973, Parimi · Rao, 1974, Hanant, 1978, Brandt, 1984 등), 壓縮舉動에서는 引張應力에 의하여 發生하는 橫方向 變形을 섬유가 억제하므로 混合體의 破碎(crushing)를 간접적으로 방해하기 때문이다. 또한 콘크리트 인장응력은 압축응력에 비하여 상대적으로 아주 작기 때문에 이러한 현상이 발생하는 것으로 판단된다.

다. 纖維混入量과 纖維形狀比의 組合變數에 따른 變化

섬유혼입량과 섬유형상비의 조합변수( $V_f \cdot l/d$ )와 압축거동의 관계를 조사한 결과, Fig. 22와 같이 압축강도와 이에 대응하는 변형율은

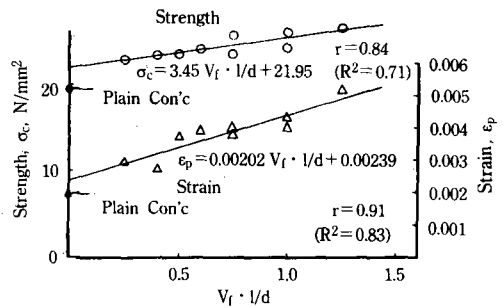


Fig. 22. Relationship between Compressive Strength, and Strain at Maximum Stress and Combined Parameter,  $V_f \cdot l/d$ .

변수  $V_f \cdot l/d$ 가 증가하면 線形的으로 증가됨을 알 수 있었다. 그리고 이들간의 회귀방정식은 양호한 相關性을 보였고( $r=0.84, r=0.91$ ), 방정식의 절편값이 섬유가 없는 상태보다 다소 크게 나타났는데 이는 휨강도와 類似하게 섬유가 少量이라도 混入되면 實質的 混合體의 압축강도가 改善되는 것을 의미한다. 이는 Johnston(1974)의 分析結果와 類似하다.

라. 壓縮彈性係數와 橫方向 變形

應力-變形率 曲線에서 보면(Fig. 15 참조) 初期부터 非彈性 舉動 양상을 보였으나, 應力 10 N/mm<sup>2</sup> 정도까지는 거의 彈性 舉動을 하는 것으로 나타났다.

壓縮彈性係數는 Fig. 23과 같이 纖維混入量과 相關關係가 거의 없었고 10% 前後의 차이가 있을 뿐이었다. 강섬유콘크리트의 압축탄성계수는 Edington(1973)의 경우 섬유혼입량 1.2%이면 섬유가 없는 상태보다 6% 증가를 발표하였고, Williamson(1974)은 영향이 없다고 하였으며朴(1977, 1978)은 增減을 相反되게 발표하였다. 콘크리트는 骨材가 混合體의 70% 정도되므로 압축탄성계수는 骨材의 영향을 가장 많이 받는데, 섬유혼입량은 3% 이하에 지나지 않으므로 거의 영향이 없을 것으로 판단된다. 따라서, 試驗結果의 차이는 실험과정이나 측정방법에 기인하는 것으로 생각된다.

纖維混入에 의한 應力-橫方向 變形率의 變化는 Fig. 24와 같았다. 섬유가 혼입되면 混合體의 應力은 증가하여도 橫방향 變形률은 큰 變化가 없었고, 프와송비도 섬유혼입량에 관계

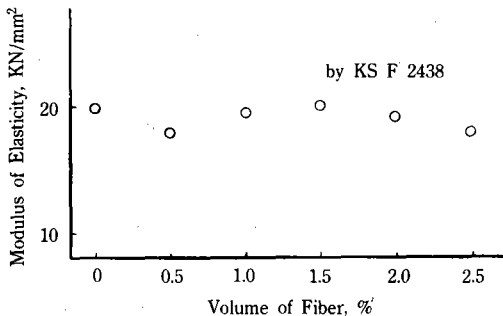


Fig. 23. Variation of Compressive Elastic Modulus as a Function of Fiber Content.

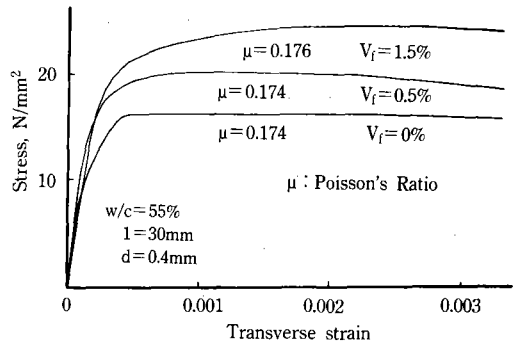


Fig. 24. Relationship between Compressive Stress and Transverse Strain at Midheight of the Specimen in Compressive Test.

없이 거의 같은 값이었다. 따라서 섬유가 混合體의 破碎를 방해하여 강도는 증가시키나 橫方向으로의 變形에는 영향을 끼치지 못함을 알 수 있었다.

IV. 結 論

本 研究는 鋼纖維보강콘크리트의 引張·휨·壓縮 등의 力學的 舉動 特性을 實驗的으로 究明함으로써 建設材料로의 利用性을 높이고자 한 것이다. 試驗의 主要因子는 纖維의 混入量, 길이, 直徑 등과 이들의 組合變數였다.

그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 割裂引張試驗에서 섬유의 混入量과 形狀比가 증가하면 引張強度, 變形率, 에너지 吸收能力, 彈性係數 등의 引張舉動 特性이 改善되었다.

2. 휨試驗에서 섬유의 혼입량과 형상비가 증가하면 휨강도, 처짐량, 인성, 등의 휨舉動 特性이 改善되었으며, 섬유형상비가 60에서 75사이인 경우 휨舉動 特性의 改善 效果가 가장 양호한 것으로 나타났다.

3. 壓縮試驗에서 섬유의 混入量이 증가하면 壓縮強度, 變形率, 에너지 吸收能力 등의 壓縮舉動 特性이 改善되었으나, 섬유의 形狀比는 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 단지 섬유의 길이가 길어지면 에너지 흡수능력은 증대되는 효과가 있었다.

4. 纖維의 混入은 壓縮彈性係數와 橫方向 變形, 프와송비에는 거의 영향을 주지 못하였다.
5. 鋼纖維는 引張 性質을 나타내는 割裂引張과 힘에서 콘크리트의 力學的 性質을 全般的으로 改善하는 效果가 있으므로 콘크리트의 약점을 보완시키는 材料로 적당하다고 판단된다.

### 參 考 文 獻

1. 文濟吉, 1977. 鋼纖維補強콘크리트의 強度 特性에 관한 基礎的 研究. 大韓土木學會 論文集, 25(4) : 123-132.
2. 朴承範, 1977. Fiber補強콘크리트의 彈性 特性 및 耐久性에 관한 研究. 忠南大學校 工業技術開發研究所 論文集, 4(1) : 17-23.
3. 朴承範, 1978. 纖維補強이 콘크리트의 力學 的 特性과 鐵筋콘크리트의 龜裂性狀에 미 치는 影響에 관한 研究. 韓國農工學會誌, 20(2) : 17-59.
4. 李信昊, 高在君, 1987. 鋼纖維콘크리트의 直接引張 舉動 特性. 韓國農工學會誌, 29(4) : 124-131.
5. ACI Committee 544, 1978. Measurement of properties of fiber reinforced concrete. J. ACI, 75(7) : 283-289.
6. ACI Committee 544, 1985. State-of-the-Art report on fiber reinforced concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 5 : 544. 1R-82 or ACI Pub. 1984, SP81 : 441-432.
7. Brandt, A. M., 1984. On the optimization of the fiber orientation in cement based composite materials. FRC, ACI, SP 81-13, pp. 267-285.
8. Chen, W.-F. and J. L. Carson, 1971. Stress-strain properties of random wire reinforced concrete. J. ACI, 68(12) : 933-936.
9. Edington, J., 1973. Steel fiber reinforced concrete. Unpublished data (Ph. D thesis in University of Surrey).
10. Fanella, D. A. and A. E. Naaman, 1985. Stress-strain properties of fiber reinforced mortar in compression, J. ACI, 82(4) : 475-483.
11. Hannant, D. J., 1978. Fibre cement and fibre concretes. John Wiley & Sons.
12. Johnston, C. D., 1974. Steel fiber reinforced mortar and concrete : A review of mechanical properties. FRC, ACI, SP 44-7, pp. 127-142.
13. Kar, J. N. and A. K. Pal 1972. Strength of fiber reinforced concrete. ASCE, J. St. Div., 98(ST5) : 1053-1068.
14. Kothari, N. C. and E. A. Bonel, 1978. Strength properties of concrete reinforced with epoxy-coated steel fibers. J. ACI, 75(10) : 550-553.
15. Parimi, S. R. and J. K. S. Rao, 1974. On the fracture toughness of fiber reinforced concrete. FRC, ACI, SP 44-4, pp. 79-92.
16. Ramakrishnan, V., W. V. Coyle, V. Kulan-daisamy, and E. K. Schrader, 1981. Performance characteristics of fiber reinforced concretes with low fiber contents. J. ACI, 78(5) : 388-294.
17. Romualdi, J. P. and G. B. Batson, 1963. Mechanics of crack arrest in concrete. ASCE, J. Engg. Mech., 89(EM3) : 147-168.
18. Shah, S. P. and A. E. Naaman, 1976. Mechanical properties of glass and steel fiber reinforced mortar. J. ACI, 73(1) : 50-53.
19. Shah, S. P. and B. V. Rangan, 1971. Fiber reinforced concrete properties. J. ACI, 68(2) : 126-135, Discussion 68(8) : 626-633.
20. Swamy, R. N., P. S. Mangat, and C. V. S. K. Rao, 1974. The mechanics of fiber reinforcement of cement matrices. FRC, ACI, SP 44-1, PP1-28.
21. Williamson, G. R., 1974. The effect of steel fibers on the compressive strength of concrete. FRC, ACI, SP 44-11, pp. 195-208.