

初期龜裂이 있는 鋼纖維補強 콘크리트의 破壞特性

A Study on the Fracture Characteristics of Pre-Cracked Fiber Reinforced Concrete

郭 基 柱*
Kwak, Kee Ju

Summary

To investigate the fracture behavior of the steel fiber reinforced concrete, the specimens with different steel fiber contents of 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, were made and notched with different notch depth ratios of 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, and the three point bend tests were followed. Test results of 16 different types of above combined specimens were summarized as follows.

1. The load line deflection contents were found to increase 5%, 16%, 19%, respectively, compared to the unnotched specimen with the increased of initial notch depth ratio to 0.2, 0.4, 0.6, respectively.

2. The flexural strength were found to decrease 14%, 16%, 21%, respectively, compared to the unnotched specimen with the increase of initial notch depth ratio to 0.2, 0.4, 0.6, respectively.

3. The stress intensity factors of the steel fiber reinforced concrete were found to increase 1.1, 1.5, 1.9 times, respectively, compared to the concrete with no steel fiber content with the increase of fiber content to 0.5%, 1.0%, 1.5%, respectively.

4. The influence of the mass of the steel fiber reinforced concrete to the whole fracture energy was found to be minor with 6~8% contribution.

5. The fracture energy of the steel fiber reinforced concrete, considering the load-deflection curve and concrete mass was found to be approximately $350-380 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{m}^2$.

6. The regression analysis through the relationship between the compressive(σ_c)/tensile(σ_T) strength and fracture energy(G_f) showed that the fracture energy of the steel fiber

* 順天大學校 工科大學

키워드: 脆性材料, 破壞學動, 應力強度係數, 破壞進行臺, 微細龜裂領域, 回歸分析, 非線形破壞領域, 破壞領域, 3點載荷法

reinforced concrete could be predicted as follows.

$$G_f = 19.2662 \sigma_c - 3940.4$$

$$G_f = 246.876 \sigma_T - 6008.8$$

I. 緒 論

1. 研究背景

콘크리트構造物이 大形化됨에 따라 그 性能의 高度化가 要求되고 있으며 보다 優秀한 性能을 가진 콘크리트의 研究啓發이 要求되고 있다. 그동안 콘크리트의 缺點인 脆性 또는 韌이나 引張力에 抵抗할 수 있는 能力 등을 改善하기 위하여 콘크리트에 높은 引張強도와 彈性率을 가진 纖維材料를 補強하는 研究가 活潑하게 進行되어 왔다.^{5,6)} 1940年度에 美國 等地에서 多樣한 形態의 特許가 出現되기 始作했고 그 實用化를 위한 研究는 1963年 美國의 ROMULDI⁹⁾ 等に 의한 鋼纖維補強콘크리트의 研究에서 始作되었다. 和泉意登¹⁴⁾에 따르면 鋼纖維補強콘크리트의 引張特性은 普通콘크리트에 비해 強度의 差보다 變形의 差가 顯著하게 크며 纖維의 混入率이 增加할 수록 強度도 增加하는데 鋼纖維 混入率이 2%의 境遇 約 1.8倍 增加되고 4% 以上되면 오히려 引張強도가 減少되며 韌強度나 剪斷強도도 纖維量의 증가에 따라서 增加하는데 靑은 骨材率이 높거나 骨材의 最大최수가 커질 수록 補強效果가 떨어진다고 하였다. FANELLA³⁾에 의하면 鋼纖維補強콘크리트의 壓縮強도는 纖維量의 增加에는 큰 影響이 없으나 물시멘트비가 작아질수록 纖維混入率에 의한 壓縮強도의 影響이 크게 나타나고 물시멘트비가 增加하면 壓縮強도의 增加率은 鈍化된다고 하였다. 小林一輔¹³⁾에 따르면 鋼纖維補強콘크리트는 鋼纖維가 龜裂의 進行과 靑에 抵抗하여 耐衝激性을 顯著히 改善할 수 있다고 하였다. 또 SWAMY¹⁰⁾ 등은 纖維의 斷面形狀을 變化시

키거나 表面處理하여서 附着性能을 改善시킬 수 있다고 하였다.

文濟吉¹⁵⁾은 콘크리트에 鋼纖維를 混入하면 引張強도와 韌強度가 顯著하게 增進되며 그 增加率은 壓縮強도의 增加率보다 더욱 크다고 하였다. 또 吳炳煥¹⁶⁾은 콘크리트破壞에너지는 安定된 3點載荷試驗을 通하여 決定할 수 있으며 또 荷重-처짐曲線下의 面積으로부터 求할 수 있고 破壞에너지는 初期龜裂比가 커짐에 따라 減少된다고 하였다. 지금까지의 研究結果를 보면 鋼纖維補強콘크리트의 強度特性에 대해서는 어느정도 糾明되어 있으나 破壞舉動에 대한 研究는 아직 未洽한 實情이다. 특히 初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트의 破壞特性은 多樣한 形態로 나타나기 때문에 이에 대한 體系의인 研究가 必要하다고 본다.

2. 研究目的

一般的으로 콘크리트의 應力-變形率의 關係는 塑性變形 또는 粘性流動의 舉動을 하는 것으로 알려져 왔고 또한 이에 대해서는 그동안 많은 研究가 進行되어 왔다. 이들 研究의 大部分은 콘크리트가 갖고 있는 特異性 때문에 理論的인 研究보다는 오히려 實驗的인 方法에 의해서 이루어지고 있다. 近來에 들어서 콘크리트를 線形彈塑性 變形硬化材料로 取扱하게 되었으며 荷重으로 載荷하면 여기에는 반드시 微細한 龜裂이 發生하여 콘크리트의 内部構造에 影響을 미치는 斷面에서 不連續表面을 갖는다고 前提⁸⁻¹¹⁾하고 있다. 그러나 이러한 過程에 대한 妥當性의 研究는 더욱 많은 實驗을 통하여 糾明되어야 할 것이다. 한편 最近에는 有限要素法 등을 利用하여 鐵筋콘크리트의 剪斷破壞強도를

求하려는 많은 研究들이⁷⁾ 繼續되고 있다. 콘크리트 構造物의 破壞에 대한 抵抗性은 大端히 重要하며 特히 콘크리트 構造物에 있어서 龜裂이란 거의 必要의이며 大部分의 콘크리트 構造物은 여러가지 形態의 龜裂을 갖고 있기 마련이어서 初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트部材의 破壞에 대한 抵抗性의 研究가 切實한 實情이다. 또한 鋼纖維補強콘크리트의 龜裂끝에서 微細 龜裂이 發生하기 때문에 荷重增加에 따른 龜裂의 全破길이를 正確하게 測定하기는 大端히 어렵다. 이러한 어려움을 克服하기 위한 方法은 荷重-처짐線圖를 利用하는 方法이다. 또 荷重-처짐線圖의 面積을 測定하므로써 콘크리트의 破壞에너지를 計算할 수 있다. 이러한 點에 注目하여 本 研究에서는 初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트의 破壞에너지를 決定하고 이 破壞에너지의 豫測公式를 導出하였으며 初期龜裂比와 처짐關係 및 鋼纖維混入率과 破壞荷重과의 關係를 調査하였다. 또 破壞에 대한 抵抗性을 調査하기 위하여 應力強度係數를 比較

하였으며, 初期龜裂比가 韌強度에 미치는 影響을 調査하였다.

II. 實驗材料 및 方法

1. 시멘트

시멘트는 市中에서 팔고있는 普通포틀랜드 시멘트를 使用하였으며 그 物理的인 性質은 Table-1과 같다.

2. 細骨材

모래는 順天地方에서 採取되는 骨材를 使用하였으며 그 物理的인 性質은 Table-2와 같다.

3. 粗骨材

자갈은 全南昇州地方에서 採取되는 骨材를 使用하였으며 그 物理的인 性質은 Table-3과 같다.

Table-1. Physical properties of cement

Gravity	Fineness (cm ² /g)	Residual contents	Stability (%)	Setting time		Compressive strength (kg/cm ²)			Tensile strength (kg/cm ²)		
				Initial setting (min)	Last setting (Time)	3 day	7 day	28 day	3 day	7 day	28 day
3.15	2.910	2.9	0.1	230	6 : 10	162	245	342	20	23	32

Table-2. Physical properties of sand

Gravity	Absorption ratio (%)	Sieve analysis ratio (%)							Fineness modulus
		10mm	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	
2.65	1.06	100	99.7	94.0	86.9	46.4	22.3	2.1	2.80

Table-3. Physical properties of gravel

Gravity	Absorption ratio (%)	Sieve analysis ratio (%)							Fineness modulus
		50mm	40mm	25mm	19mm	13mm	10mm	No. 4	
2.65	1.04	100	99	-	40	-	9.0	-	7.20

Table-4. Physical composition of steel fiber

Size (cm)	Slenderness ratio	Weight (mg)	Gravity	Tensile strength (kg/cm ²)	Young's modulus (kg/cm ²)
φ 0.09×5.4	62	30	7.68	13,000	2.1×10 ⁶

4. 鋼 纖 維

鋼纖維는 鋼線을 切斷하여 製造한 纖維를 使用하였으며 그 物理的인 性質은 Table-4와 같다.

Table-5. Mixed design

Gravel maz. (mm)	Slump (cm)	Air entrain (%)	Unit water (kg)	Unit cement (kg)	W/C (%)	S/a (%)	Unit sand (kg)	Unit gravel (kg)	σ _{ck} (kg/cm ²)
25	8	1.5	178	371	48	41	748.3	1077.6	210

5. 콘크리트配合

콘크리트配合은 우리나라 콘크리트 標準示方書의 配合設計基準에 準하여 決定하였으며 그 配合結果는 Table-5와 같다.

6. 供試體製作

實驗에 使用된 供試體는 Table-6과 같이 鋼纖維의 混入率에 따라서 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% 等 4種類로 區分하고 이들을 다시 初期龜裂比別로 0.0, 0.2, 0.4, 0.6 等 4種類로 區分하여 都合 16種類로 하였으며 이들을 各種類別로 3個씩 48個의 供試體를 製作하였다. 또 이때에 壓縮強度와 引張強度測定用 供試體에 48

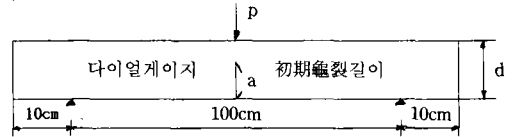


Fig. 1. Details of specimen

個를 製作하였다.

7. 破壞試驗

휨強度는 萬能試驗機(用量100t)를 使用하여 3點載荷法으로 測定하였으며 이때 荷重載荷速度는 破壞荷重의 約 50%까지는 빠른速度로 作用시키었고 그 後에는 壓縮強度는 增加가 每分 10kg/cm²를 超過하지 않도록 一定한 速度로 徐徐히 荷重을 加하였는데 그 光景은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 試片의 中央部下端에 電氣式 다이얼게이지를 附着하고 荷重의 增加에 따라 처짐量을 測定했으며 이때에 휨強度 計算에 使用된 公式은 式(1)과 같다.

Table-6. Dimension of different size of specimen

Mixing No.	Fiber Content (%)	Notch Depth (a/d)	Mixing No.	Fiber Content (%)	Notch Depth (a/d)
A1	0.0	0.0	C1	1.0	0.0
A2	0.0	0.2	C2	1.0	0.2
A3	0.0	0.4	C3	1.0	0.4
A4	0.0	0.6	C4	1.0	0.6
B1	0.5	0.0	D1	1.5	0.0
B2	0.5	0.2	D2	1.5	0.2
B3	0.5	0.4	D3	1.5	0.4
B4	0.5	0.6	D4	1.5	0.6

$$\sigma = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots(1)$$

P=供試體의 最大破壞 荷重(kg)
 L=供試體의 支間길이(cm)
 d=供試體의 幅(cm)

b = 供試體의 높이(cm)

σ = 휨強度(kg/cm²)

또 壓縮強度와 引張強度는 콘크리트配合時에 製作된 供試體를 콘크리트의 壓縮強度試驗機(用量1500t)로 測定하였다. 壓縮強度를 測定할 때 荷重의 載荷速度는 供試體가 破壞될때까지 每秒 2kg/cm²의 速度로 加壓하고 供試體가 破壞될때의 荷重을 供試體의 斷面積으로 나누어서 壓縮強度를 測定하였으며 精密度는 0.1까지하였다. 또 引張強度 測定時 荷重載荷 供試體가 破壞될때까지 繼續해서 荷重을 加하여 引張強度가 每分 10kg/cm²의 一定한 比率로 增加하도록 하여 試片이 完全히 破壞 되었을때의 값을 읽어서 引張強度를 0.1의 精密度까지 測定하였다. 이때에 引張強度를 求한 公式은 式(2)와 같다.

$$T = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots(2)$$

T = 引張強度(kg/cm²)

P = 最大破壞荷重(kg)

D = 供試體의 지름(cm)

L = 供試體의 길이(cm)

8. 應力強度係數提案式

本 試驗에서 얻은 實驗값은 다음의 提案式에 代入하여 平均應力強度係數를 求하여 供試體의 破壞에 대한 抵抗性을 檢討하였다.

가. ASTMZ 399-74의 提案式²⁾

$$K_1 = \frac{PL}{tb^{3/2}} f\left(\frac{a}{b}\right) \dots\dots\dots(3)$$

$$f\left(\frac{a}{b}\right) = 2.9\left(\frac{a}{b}\right)^{1/2} - 4.6\left(\frac{a}{b}\right)^{3/2} + 21.8\left(\frac{a}{b}\right)^{5/2} - 37.6\left(\frac{a}{b}\right)^{7/2} + 38.7\left(\frac{a}{b}\right)^{9/2}$$

P = 荷重

L = 보의 길이

t = 보의 폭

b = 보의 높이

a = 初期龜裂長

나. G₀, C, G의 提案式⁴⁾

$$K_1 = \frac{M}{W^{1.5}} \left[A_1 \left(1 - \frac{a}{W}\right)^2 + A_2 \left(1 - \frac{a}{W}\right) + A_3 + A_4 \left(1 - \frac{a}{W}\right)^{-1} + A_5 \left(1 - \frac{a}{W}\right)^{-2} \right] \dots\dots(4)$$

M = 휨모멘트값

W = 보의 높이

a = 初期龜裂 길이

A₁~A₅ = 常數

A₁~A₅까지의 常數는 試片의 크기에 따라 決定되는 常數임.

다. Bazant Z. P.의 提案式¹⁾

$$K_1 = \sqrt{\pi a} \frac{PL}{bd^2} f_3(\alpha) \dots\dots\dots(5)$$

$$f_3(\alpha) = 1.635 - 2.603\alpha + 12.30\alpha^2 - 21/27\alpha^3 + 21.86\alpha^4$$

$\alpha = \frac{a}{b}$ 이며, d = 보의 높이, L = 보의 길이임.

III. 實驗結果 및 考察

1. 初期龜裂比와 最大처짐

初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트에 대하여 初期龜裂比가 0.2, 0.4, 0.6으로 변함에 따라 각 부재의 처짐의 變化狀態를 3點載荷法으로 調査하였는데 그 結果는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 鋼纖維混入率이 높아질수록 最大처짐량도 높게 나타났으나 初期龜裂比가 커질 때는 처짐量은 減少되는 樣相을 보여주고 있다. 또 처짐量의 減少量을 初期龜裂比別로 比較해 보면 初期龜裂比가 0.2, 0.4, 0.6으로 增加됨에 따라 각 部材처짐量은 初期龜裂이 없는 部材처짐量의 約 5.3%, 15.8

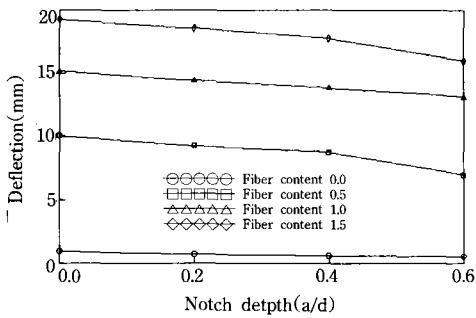


Fig. 2. Relationship between notch depth and deflection

%, 19.3%씩 각각 減少되었다. 또 鋼纖維混入率別로 각 部材의 平均처짐량의 增加率을 보면 鋼纖維混入率이 0.5%, 1.0%, 1.5%로 增加됨에 따라 平均 처짐량은 普通콘크리트部材의 처짐량의 12배, 19배, 24배로 각각 增加되었다. 특히 初期龜裂比가 0.4以上에서는 각 部材의 처짐량의 減少率이 顯著하게 작게 나타났다. 이와같이 鋼纖維混入率이 增加됨에 따라 처짐량도 增加되는 理由는 鋼纖維混入率이 높아질수록 附着力이 커져서 破壞에 대한 抵抗性이 높아지기 때문으로 分析되었다.

2. 鋼纖維混入率과 破壞荷重

初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트에 대하여 鋼纖維混入率의 變化에 따른 破壞荷重의 變化狀態를 調査하였는데 그 結果는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 破壞荷重은 初期龜裂比가 커짐에 따라 減少되었으나 鋼纖維混入率이 커질수록 破壞荷重도 增加되는 樣相을 보여주었다. 또 平均破壞荷重의 減少率을 보면 初期龜裂比가 0.2, 0.4, 0.6으로 增加됨에 따라 初期龜裂이 없는 試片의 平均破壞荷重의 約 45%, 72%, 87%씩 각각 減少되었다. 또 鋼纖維混入率이 0.5%, 1.0%, 1.5%로 增加됨에 따라 普通콘크리트破壞荷重의 約 12배, 19배, 24배로 각각 增加되었다. 특히 初期龜裂比가 0.6일 때는 鋼纖維混入率의 增加에 따른 破壞荷重의 增加

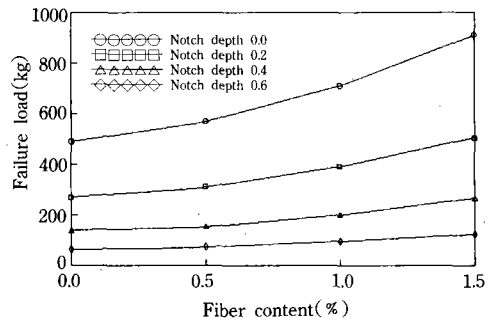


Fig. 3. Relationship between fiber content and failure load

率이 別로 심하지 않았으나 初期龜裂이 전혀 없는 콘크리트部材에 있어서는 鋼纖維混入率의 增加에 따른 破壞荷重의 增加率이 극심함을 알 수 있었다. 이와같이 鋼纖維混入率이 增加할수록 또 供試體의 높이가 一定하고 初期龜裂 길이가 커질수록 破壞荷重이 增加되는 理由는 鋼纖維混入率이 커질수록 附着力도 커져서 콘크리트의 龜裂發生을 抑制하는 能力이 커지기 때문으로 分析되었다.

3. 應力強度係數比較

本 試驗에서 얻은 試驗값을 3개의 應力強度係數提案式(식3, 식4, 식5)에 代入하여 產出된 平均應力強度係數를 鋼纖維混入率別로 그 關係를 調査하였는데 그 結果는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 보는 바와같이 平均應力強度係數는 鋼纖

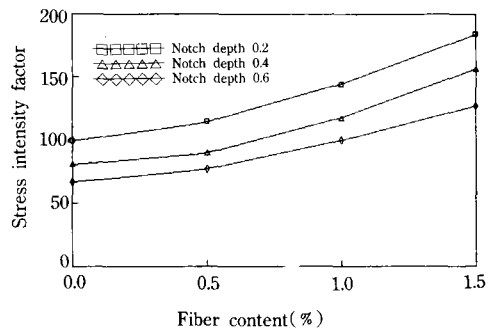


Fig. 4. Relationship between fiber content and stress intensity factor

維混入率이 增加할 때는 커졌으나 初期龜裂比가 커질때는 減少되는 樣相을 보여주고 있다. 또 鋼纖維混入率이 0.5%, 1.0%, 1.5%로 增加될때 初期龜裂比別로 應力強度係數의 平均增加率을 보면 初期龜裂比가 0.2일때는 15.4%, 45.1%, 84.8%씩 增加했고 0.4일때는 11.2%, 45.2%, 93.3%씩 增加했으며 0.6일때는 15.2%, 49.6%, 90.3%씩 增加하였다. 이와같이 鋼纖維混入率이 增加됨에 따라 應力強度係數도 增加되는 理由는 鋼纖維와 콘크리트 매트릭스間에 附着力이 생겨서 破壞에 대한 抵抗力이 增大되기 때문으로 分析되었다.

4. 初期龜裂比와 靱強度

鋼纖維補強콘크리트에서 鋼纖維混入率과 初期龜裂比가 靱強度에 미치는 影響을 調査하였는데 그 結果는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 初期龜裂比가 0.2, 0.4, 0.6으로 커짐에 따라 靱強度는 普通콘크리트 靱強度의 約 13.9%, 16.1%, 20.9%, 씩 各各 減少되었다. 또 鋼纖維混入率의 增加에 따른 靱強度의 增加量을 보면 鋼纖維混入率이 0.5%, 1.0%, 1.5%로 增加됨에 따라 靱強度도 普通콘크리트 靱強度의 約 1.1倍, 1.5倍, 1.9倍로 各各 增加되었다.

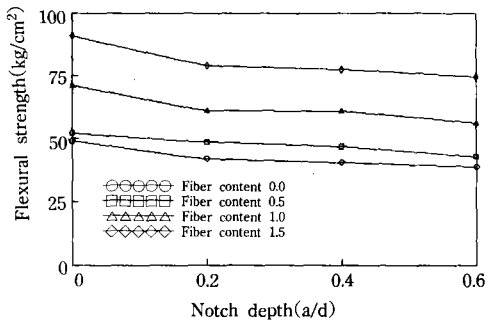


Fig. 5. Relationship between notch depth and flexural strength

5. 破壞에너지

初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트의 破壞

에너지를 決定하기 위하여 本試驗에서 얻은 實驗結果를 利用하여 荷重-처짐線圖를 그렸는데 그 結果는 Fig. 6과 같다. 또 위의 荷重-처짐線圖의 面積과 試片의 自重을 考慮하여 破壞에너지를 求했는데 그 結果는 Table-7과 같다. 그리고 試片의 自重에 의한 破壞에너지는 全破壞에너지의 約 7%이었다. 그리고 破壞에너지 算出에 使用된 公式¹²⁾은 式(6)과 같다.

$$G_f = \frac{\int_0^{\delta_0} P(\delta) d\delta + W \delta_0}{B(b-a)} \dots\dots\dots(6)$$

- δ_0 = 콘크리트 最大처짐
- W = 보의 自重
- B = 보의 幅
- b = 보의 깊이
- a = 初期龜裂 길이

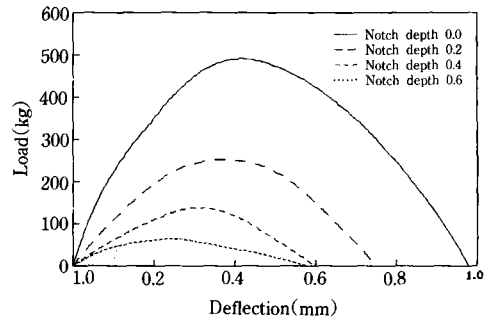


Fig. 6(a). Relationship between deflection and load(w=0.0)

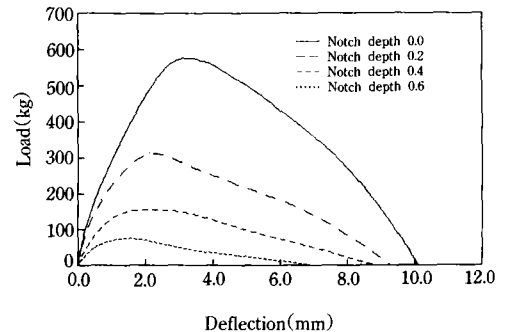


Fig. 6(b). Relationship between deflection and load(w=0.5)

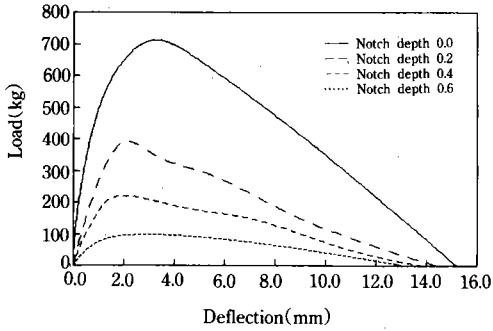


Fig. 6(c). Relationship between deflection and load($w=1.0$)

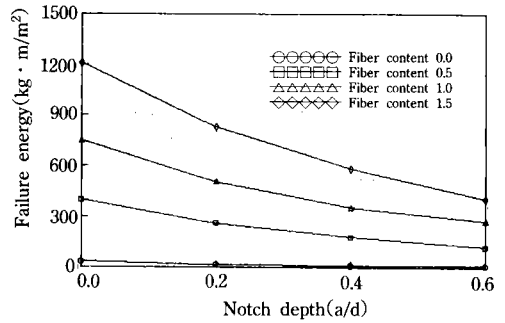


Fig. 7. Relationship between notch depth and failure energy

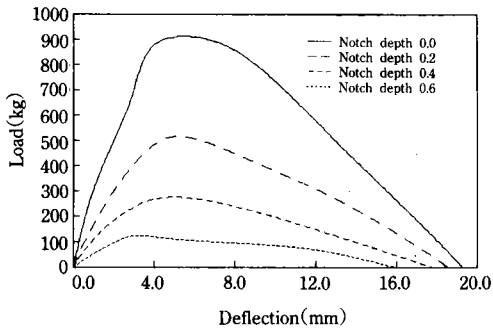


Fig. 6(d). Relationship between deflection and load($w=1.5$)

Table-7. Fracture energy of steel fiber reinforced concrete.

Mixing No.	Notch depth (a/d)				Mean value
	0.0	0.2	0.4	0.6	
A ₁₋₄	33.9	18.7	11.2	9.1	18.2
B ₁₋₄	399.8	263.4	178.7	120.3	240.6
C ₁₋₄	749.5	507.5	356.2	276.6	472.5
D ₁₋₄	1210.2	829.7	585.3	405.5	757.7
Mean value	598.4	404.8	282.9	202.9	372.3

6. 初期龜裂比의 破壞에너지

本試驗에서 얻은 破壞에너지와 初期龜裂比의 關係를 調査하였는데 그 結果는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 破壞에너지는 鋼纖維混入率이 增加함에 따라 破壞에너지도

增加하였으나 初期龜裂比가 增加할 때는 減少되는 樣相을 보여주고 있다. 特히 初期龜裂比가 0.4以上에서는 破壞에너지의 減少의 幅이 줄어들어서 어떤 一定한 값으로 收斂하고 있으나 初期龜裂比가 0.4以下에서는 減少 幅이 顯著하게 크게 나타났다. 또 鋼纖維混入率의 增加에 따라 平均破壞에너지의 增加率을 보면 鋼纖維混入率이 0.5%, 1.0%, 1.5%로 增加됨에 따라 普通콘크리트 破壞에너지의 約 13倍, 25倍, 42倍로 各各 增加됨을 알 수 있었다. 이와같이 높이가 一定한 供試體에서 初期龜裂 길이가 작아질수록 破壞에너지가 커지는 理由는 破壞進行臺 외각의 콘크리트가 應力을 많이 받아서 追加的인 에너지가 消耗되기 때문에 分析되었다. 또 鋼纖維混入率이 增加될수록 破壞에너지가 커지는 理由는 鋼纖維가 콘크리트의 매트릭스 影響을 많이 받기 때문에 分析되었다.

7. 破壞에너지 豫測公式

콘크리트部材의 破壞進行領域에서는 微細한 龜裂現狀이 隨伴되며 이것은 變形軟化現狀을 나타내는 應力-變形關係로 敘述할 수 있으며 두개의 線形區間으로 理想化시킬 수 있다.^{1,16} 이 研究結果를 利用하여 線形的으로 回歸分析하여 破壞에너지 豫測公式를 誘導하였다.

가. 壓縮強度와 破壞에너지

初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트의 破壞

에너지 豫測公式을 導出하기 위하여 本 試驗에 서 얻은 초기균열비가 0.2, 0.4, 0.6인 부재들의 壓縮強度(σ_c)와 破壞에너지(G_f)와의 相關圖을 鋼纖維混入率別로 그렸는데 그 結果는 Fig. 8과 같다. 또 이 關係를 回歸分析하여 鋼纖維混入率로 別로 破壞에너지 豫測公式을 誘導하였는데 그 結果는 다음과 같다.

- 鋼纖維混入率(0.5%) $G_f = 9.8114\sigma_c - 1871.8$
- 鋼纖維混入率(1.0%) $G_f = 35.3088\sigma_c - 7644.5$
- 鋼纖維混入率(1.5%) $G_f = 89.6985\sigma_c - 21119.8$
- 鋼纖維混入率(0.5~1.5%) $G_f = 19.2662\sigma_c - 3940.4$

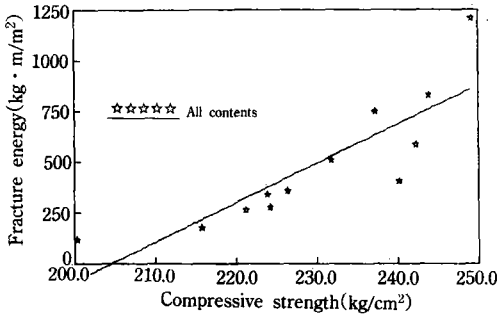


Fig. 8(a). Variation of fracture energy for compressive strength

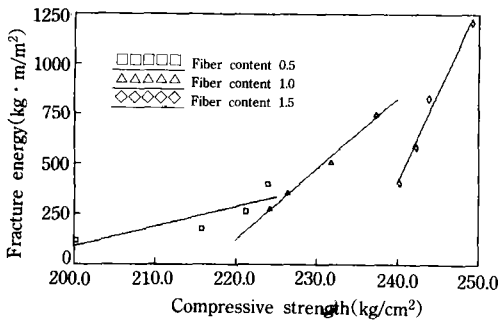


Fig. 8(b). Variation of fracture energy for compressive strength

나. 引張強度와 破壞에너지

初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트의 破壞 에너지 豫測公式을 導出하기 위하여 本 實驗에 서 얻은 初期龜裂比가 0.2, 0.4, 0.6인 部材의

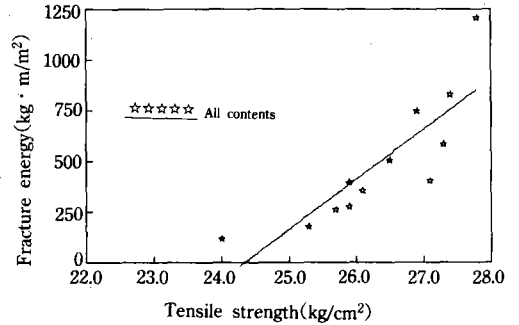


Fig. 9(a). Variation of fracture energy for tensile strength

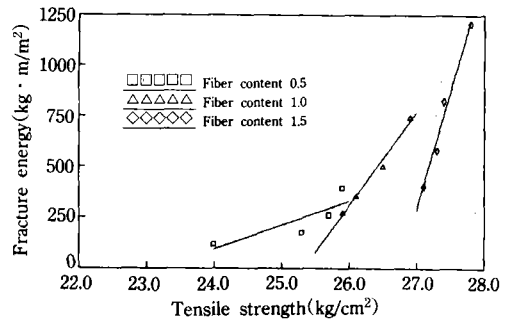


Fig. 9(b). Variation of fracture energy for tensile strength

引張強度(σ_t)와 破壞에너지(G_f)와의 相關圖을 鋼纖維混入率別로 그렸는데 그 結果는 Fig. 9와 같다. 또 이것을 回歸分析하여 鋼纖維混入率 別로 破壞에너지 豫測公式을 誘導했는데 그 結果는 다음과 같다.

- 鋼纖維混入率(0.5%) $G_f = 119.3211\sigma_t - 2769.3$
- 鋼纖維混入率(1.0%) $G_f = 465.814\sigma_t - 11801.7$
- 鋼纖維混入率(1.5%) $G_f = 1168.815\sigma_t - 31268.8$
- 鋼纖維混入率(0.5~1.5%) $G_f = 246.876\sigma_t - 6008.8$

IV. 結 論

本 研究에서는 初期龜裂이 있는 鋼纖維補強 콘크리트의 破壞特性을 調査하기 위해서 鋼纖維混入率을 各各 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%로

하고 初期龜裂比를 各各 0.0, 0.2, 0.4, 0.6으로 하는 16種의 試片을 各各 3個씩 製作하여 3點 載荷法으로 破壞試驗을 行하였는데 그 結果는 다음과 같이 要約할 수 있었다.

1. 初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트의 처짐량은 初期龜裂比가 0.2, 0.4, 0.6으로 增加됨에 따라 初期龜裂이 없는 콘크리트의 처짐량의 約 5%, 16%, 19%씩 各各 減少하였다.

2. 初期龜裂이 있는 鋼纖維補強콘크리트의 휨強度는 初期龜裂比가 0.2, 0.4, 0.6으로 커짐에 따라 初期龜裂이 없는 콘크리트의 휨強度의 約 14%, 16%, 21%씩 各各 增加되었다.

3. 鋼纖維補強콘크리트의 應力強度係數는 鋼纖維混入率이 0.5%, 1.0%, 1.5%로 增加됨에 따라 鋼纖維가 混入되지 않은 콘크리트應力強度係數의 約 1.1倍, 1.5倍, 1.9倍로 各各 增加되었다.

4. 鋼纖維補強콘크리트의 自重이 破壞에너지에 미치는 影響은 그다지 크지 않았으며 全體 破壞에너지의 約 6~8% 程度이었다.

5. 荷重-처짐線圖의 面積과 콘크리트自重을 考慮하여 計算된 鋼纖維補強 콘크리트의 破壞 에너지값은 大略 350~380kg · m²이다.

6. 鋼纖維補強콘크리트의 壓縮強度(σ_c), 引張強度(σ_t) 破壞에너지(G_f)와의 相關關係를 回歸分析하여 導出된 破壞에너지 豫測公式은 다음과 같다.

$$G_f = 19.2662\sigma_c - 3940.4$$

$$G_f = 246.876\sigma_t - 6008.8$$

감사의 글: 이 論文는 1991年度 教育部支援 韓國學術振興財團의 自由公募(地方大學育成)課題 學術研究助成費에 의하여 研究되었으며, 이에 感謝를 드립니다.

參 考 文 獻

1. Bazant, Z. P. and Cedolin, L., "Approximate

Linear Analysis of Concrete Fracture by R-Curves", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 110 No. 6, Jun., pp. 1336-1345, 1984.

2. Carpinteri, A., "Application of Fracture Mechanics to Concrete Structures", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, Apr., pp. 833-848, 1982.

3. Fanella, D. A. and Naaman, A. E., "Stress-Strain Properties of Fiber Reinforced Mortar in Compression", Journal of ACI, Jul.~ Aug., pp. 475-483, 1985.

4. Go, C. G., Swartz, S. E. and Hu, K. K., "Stress Intensity Factors for Single-Edge-Notch Beam", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 110, No. 4, Apr., pp. 629-632, 1984.

5. Jenq, Y. S. and Shan, S. P., "Crack Propagation in Fiber-Reinforced Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 112, No. 1, Jan., pp. 19-34, 1986.

6. Kobayashi, K. and Umeyama, K., "Method of Testing Flexural Toughness of Steel Fiber Reinforced Concrete", Proceedings, Japan Society of Civil Engineers(Tokyo), May, pp. 251-254, 1980.

7. Kennedy, R. P., "A Review of Procedures for the Analysis and Design of Concrete Structure to Resist Missile Impact Effects", Nuclear Engineering and Design 37, 1976.

8. Lin, C. S. and Scordelis, A. C., "Nonlinear Analysis of RC Shells of General Form", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 101, No. ST3, Mar., pp. 523-538, 1975.

9. Romualdi, J. P. and Mandel, J. A., "Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement", Journal of ACI,

- Vol. 61, No. 6, Jan., 1964.
10. Swamy, R. N., et al., "Bond Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete", Concrete, Vol. 8, Aug., 1974.
 11. Valliappan, S. and Dealan, T. F. "Nonlinear Stress Analysis of Reinforced Concrete", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 98, No. ST. 4, Apr., pp. 885-897, 1972.
 12. Wecharatana, M. and Shah, S. P., "Predictions of Nonlinear Fracture Process Zone in Concrete", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 109, No. 5, Oct., pp. 1231-1246, 1983.
 13. 小林一輔, "纖維補強 콘크리터 특성及 應用", 오름社, pp. 93-94, 1981.
 14. 和泉意登志, "鋼纖維補強 몰탈의 力學的 性質에 及ぼ스 纖維配向影響", 建築學會大會 梗概集, pp. 10-20, 1976. 10.
 15. 吳炳煥. 콘크리트의 破壞舉動 糾明과 等價 龜裂길이 理論確立에 關한 研究", 大韓土木 學會論文集, 第7卷, 第2號, pp. 59-68, 1987. 6.
 16. 文濟吉, "鋼纖維補強 콘크리트의 強度特性에 關한 基礎的 研究", 大韓土木學會論文集, 第 25卷, 第4號, pp. 123-132, 1977. 12.