

# 前 龜裂을 준 鋼纖維 콘크리트보의 破壞特性

## Fracture Characteristics of the Pre-Cracked Fibrous Concrete Beams

郭 桂 煥\* · 朴 鍾 健\*\* · 朴 世 雄\*\*  
Kwark, Kae Hwan · Park, Jong Gun · Park, Sai Woong

### Summary

In our researches we made mix-design, with the mixing ratio and pre-cracked ratio of steel fibrous different from each other, building the steel fibrous concrete beam which had pre-cracks. To obtain the fracture characteristics of steel fibrous reinforced concrete, series of experiment were conducted on pre-cracked beam subjected to 3-point bending. Thus, we carried out experiments on the destructive characteristics of its pre-crack and post-crack and the result is as follows.

1. The compressive strength of steel fibrous concrete beam increased more slightly than plane beam, and the tensile strength increased 37%, 59%, 94% and 121% respectively when the amount of fibrous was 0.5%, 0.1%, 1.5%, and 1.75% respectively.

2. As the amount of steel fibrous mixing increased and the steel fibrous inhibited the crack growth, the crack condition of steel fibrous concrete beam was retarded irregularly, and this increased fracture load.

3. The defiance of destruction was reduced in the ratio of 1.35 times and 1.22 times respectively when the length of pre-crack was each 2cm and 4cm in comparison with the case of being without the length, and was similar to that of plane beam when the amount of steel fibrous mixing was below 1.0%, and increased linearly when it was above 1.0%.

4. The experimental formula seeking fracture energy was follows and thus we found that the value of fracture energy depended upon tensile strength and the size of specimen.

\* 圓光大學校 工科學

\*\* 圓光大學校工業技術開發研究所

키워드: 配合設計, 萬能試驗機, 破壞荷重 鋼纖維,

應力強度係數, 破壞에너지, 龜裂成長, 養生.

$$G_f = K \cdot f_t' \cdot da / E_c$$

5. We observed that in the load-strain curve of steel fibrous concrete beam the progress of the crack became slow, compared with plane beam because the crack condition became long to the extent of about 10 times.

Concrete was faultiest brittleness fracture through the study, it was known ductile.

## I. 緒 論

最近에는 산업의 발달로 각종 構造物이 대형화 되고 다양해짐에 따라 콘크리트에 대한 성능도 차츰 다양화 해지고 高度化되어 종래와 같이 단적인 두가지 複合만으로는 이러한 요구를 충족시키기 어려우므로, 내재된 단점을 보완하여 더욱 高度化 되어야 한다. 콘크리트는 建設材料중 가장 중요한 材料로써 壓縮強度가 높고 耐久性이 크기 때문에 建設材料로써 널리 使用되고 있다. 그러나 壓縮強度에 비하여 휨 強度와 引張強度가 낮고 龜裂에 대한 抵抗性이 매우 약하여 결국 龜裂에 의하여 破壞에 이르른다.

그래서 이러한 콘크리트의 脆性에 대한 단점을 補強하고 龜裂에 대한 抵抗性을 높이기 위해 도입한 기술 중의 하나가 鋼纖維를 補強하는 鋼纖維 콘크리트이다. 最近에 鋼纖維 콘크리트가 많이 使用되고 있고 鋼纖維 콘크리트 部材의 強度特性에 대해 많은 研究가 되어 있으나 鋼纖維 콘크리트 部材의 前 龜裂과 後 龜裂의 破壞特性이 다양한 형태로 나타나기 때문에 이에 대한 많은 研究가 필요하다고 본다.

콘크리트 構造物에 있어서 破壞에 대한 抵抗性은 매우 중요하다. 특히 龜裂은 거의 필연적이다. 이유인즉, 콘크리트 構造物은 대부분 여러가지 형태의 龜裂을 가지고 있기 때문이다. 그래서 이 龜裂의 진행방향을 억제하기 위해 즉 構造物의 安定性을 충족시키기 위해 最近에는 新材料로 纖維를 使用하고 있다. 이 纖維중에서 鋼纖維를 使用하는 構造物은 신뢰성과

安定性이 더욱 높기 때문에 활용도가 증가하고 있다. 이것은 고속도로, 비행장의 포장, 교량의 데크(decks), 댐 그리고 構造物 보수공사 등에 이용되고 있다.<sup>4)</sup> 이는 延性이 크기 때문에 後 龜裂이 매우커서 일반 철근 콘크리트보다 약 10배 가량 크기 때문에 安定性을 높이는 중요한 요소가 된다.

本 研究에서는 일반 철근콘크리트와 鋼纖維 콘크리트의 抵抗性을 比較하고 鋼纖維 콘크리트안에 들어가는 纖維 첨가량의 비율을 각각 나누어 前 龜裂 깊이에 따라 破壞特性을 알아 본다. 또한 實驗結果와 數值解析 結果를 比較 檢討하여 일반 콘크리트보와 鋼纖維 콘크리트보의 力學的 特性을 比較하고 考察하는데 있다.

## II. 實驗方法

### 1. 實驗概說

本 實驗은 前 龜裂이 있는 鋼纖維 콘크리트의 破壞特性을 규명코자 破壞 實驗을 통하여, 前 龜裂 長이를 각각 다르게 주어 각 시편의 종류마다 前 龜裂 長이의 비에 따라 하중-처짐 곡선을 구하고, 鋼纖維 混入率과 前 龜裂의 長이에 따른 鋼纖維 콘크리트의 破壞荷重을 測定하였으며 壓縮強度 實驗과 引張強度 實驗을 통하여 보통 콘크리트와 鋼纖維 補強콘크리트를 比較하였다. 實驗에 使用된 部材는 鋼纖維混入率에 따라 5종류로 구분하고 이를 다시 前 龜裂 長이별로 3종류로 구분하여 도합 15개의 部材를 製作하였다.

Table-1. Dimensions of different sizes of specimens

| Beam no. | Fiber content (Vol. %) | Crack length ratio | Beam no. | Fiber content (Vol. %) | Crack length ratio | Beam no. | Fiber content (Vol. %) | Crack length ratio |
|----------|------------------------|--------------------|----------|------------------------|--------------------|----------|------------------------|--------------------|
| IS1      | 0.00                   | 0.0                | III S1   | 1.00                   | 0.0                | VS1      | 1.75                   | 0.0                |
| IS2      | 0.00                   | 0.2                | III S2   | 1.00                   | 0.2                | VS2      | 1.75                   | 0.2                |
| IS3      | 0.00                   | 0.4                | III S3   | 1.00                   | 0.4                | VS3      | 1.75                   | 0.4                |
| IIS1     | 0.50                   | 0.0                | IV S1    | 1.50                   | 0.0                | -        | -                      | -                  |
| IIS2     | 0.50                   | 0.2                | IV S2    | 1.50                   | 0.2                | -        | -                      | -                  |
| IIS3     | 0.50                   | 0.4                | IV S3    | 1.50                   | 0.4                | -        | -                      | -                  |

\*. I : 재료의 구분으로 강섬유 혼입율 0.00% S : Static test의 약자  
 II : 재료의 구분으로 강섬유 혼입율 0.50% 1 : 前 龜裂 길이비 0.0cm  
 III : 재료의 구분으로 강섬유 혼입율 1.00% 2 : 前 龜裂 길이비 2.0cm  
 IV : 재료의 구분으로 강섬유 혼입율 1.50% 3 : 前 龜裂 길이비 4.0cm  
 V : 재료의 구분으로 강섬유 혼입율 1.75%

實驗部材의 종류는 Table-1과 같다.

## 2. 部材의 諸元

本 實驗에 使用된 部材의 寸수는 단면의 크기를 10cm×10cm로 하였고 그 길이는 100cm로 하였으며, 그 部材의 諸元은 Fig. 1과 같다.

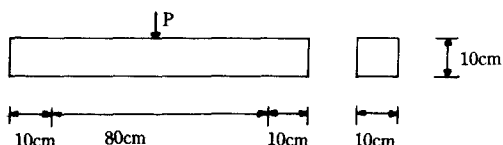


Fig. 1. Geometry of specimens

## 3. 使用材料의 特性

本 實驗에서 使用된 鋼纖維는 미국 BE-KAERT사에서 生産한 직경 0.5mm, 길이 50mm (중형비 L/d=100)인 鋼纖維를 使用하였다.

Table-2. Material properties of steel fiber

| Dia. (cm) | Length (cm) | Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> ) | Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Aspect ratio (L/d) |
|-----------|-------------|-----------------------------------|---|--------------------|
| 0.05      | 5.00        | 7.85                              | 13.0                                    | 100                |

## 4. 鋼纖維 補強 콘크리트의 配合設計

鋼纖維 補強콘크리트(Steel fiber reinforced concrete : SFRC) 配合에 使用된 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트이고, 골재는 강모래와 쇠석을 使用하였다.

여기서 쇠석의 최대치수는 25mm로 정하였고, 鋼纖維의 균일한 混合을 위하여 소량식 믹서내에 투입시켰다. 鋼纖維 콘크리트配合은 한국콘크리트 시방서의 기준에 基礎를 두고 設計했다. 그러나 鋼纖維에 관한 기준이 없기 때문에 이의 정립을 위해 Table-3과 같이 配合設計하여 活用하였다.

Table-3. Mixing proportion

| G <sub>max</sub> (mm) | Air (%) | Water (kgf) | Cement (kgf) | W/C ratio (%) | Fine aggre. (kgf) | Coarse aggre. (kgf) |
|-----------------------|---------|-------------|--------------|---------------|-------------------|---------------------|
| 25                    | 1.5     | 13.3        | 24.32        | 45.7          | 32.98             | 49.44               |
| Fiber volume (%)      | 0.00    | 0.05        | 1.00         | 1.50          | 1.75              |                     |
| Slump (cm)            | 12      | 10          | 8            | 6             | 3                 |                     |
| Weight ((kgf)         | 0       | 1.725       | 3.450        | 5.175         | 6.037             |                     |

### 5. 보 및 供試體 製作

보를 製作할때 콘크리트 標準示方書의 配合設計에 準하여 鋼纖維의 混入率이 각각 다르게 配合된 鋼纖維 콘크리트로 前 龜裂 길이가 각각 0cm, 2cm, 4cm인 3종류의 보 15개를 製作하였다.

각 층을 다진후 2시간이 되어 불리딩現象으로 올라와 있는 수분을 제거한 후 켈핑을 하고 濕潤養生을 하였다. 보가 성형된지 48시간내 몰드를 제거한 후 24~25℃의 온도로 28일간 水中養生하였다. 이 보를 製作할때 측면높이 10cm, 폭이 2cm, 4cm인 얇은 켈름을 넣고 콘크리트를 타설하여 前 龜裂을 만들었다.

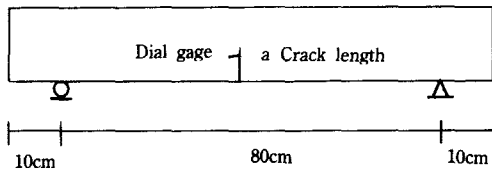


Fig. 2. Details of specimen

鋼纖維 콘크리트의 壓縮強度와 引張強度를 알아보기 위하여 試片製作에 使用된 콘크리트를 使用하여 鋼纖維 混入量에 따라 각각 3개씩 모두 30개의 供試體를 製作하였다. 供試體를 몰드 내부에 그리스를 얇게 바른 후 3층으로 나누어 콘크리트를 채워 각 층마다 다짐대로 25회씩 다진후 다짐봉으로 두드려서 몰드에 공극을 없게 했다. 그리고 몰드를 제거하기 전에 供試體 상단을 켈핑하고 供試體 성형후 48시간내에 몰드를 제거한 후 28일간 23±2℃의 온도로 水中 養生하였으며 供試體 치수는 φ10cm×20cm이 다.

### III. 數值解析

#### 1. 應力強度係數 提案式

3점 荷重 휨시험의 경우 應力強度係數  $K_I$ 을 구하는 방법에는 다음과 같은 ASTM E 399-74 식과 Bazant, Z. P(1984)<sup>1)</sup>의 제안식이 있다.

가. ASTM E 399-74의 提案式<sup>3)</sup>

$$K_I = \frac{PL}{tb^{3/2}} f\left(\frac{a}{b}\right) \dots\dots\dots(1)$$

여기서,

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

$P$  = 하중                       $L$  = 보의 길이

$t$  = 보의 폭                     $b$  = 보의 높이

$a$  = 前 龜裂길이

나. Bazant, Z. P의 提案式<sup>1)</sup>

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

여기서,

3점 荷重인 경우 :  $f_3(\alpha) = 1.635 - 2.603\alpha$

$$+ 12.30\alpha^2 - 21.27\alpha^3 + 21.86\alpha^4$$

$\alpha = \frac{a}{d}$                                $d$  = 보의 길이

$L$  = 보의 높이                   $p$  = 하중                       $b$  = 보의 폭

#### 2. 破壞에너지 決定 提案式

破壞에너지는 本 實驗으로부터 얻은 Fig. 3의 實驗結果를 이용하여 구하였으며, 破壞에너지를 구하는 식을 다음과 같이 提案하였다.<sup>6)</sup>

前龜裂을 준 鋼纖維 콘크리트보의 破壞特性

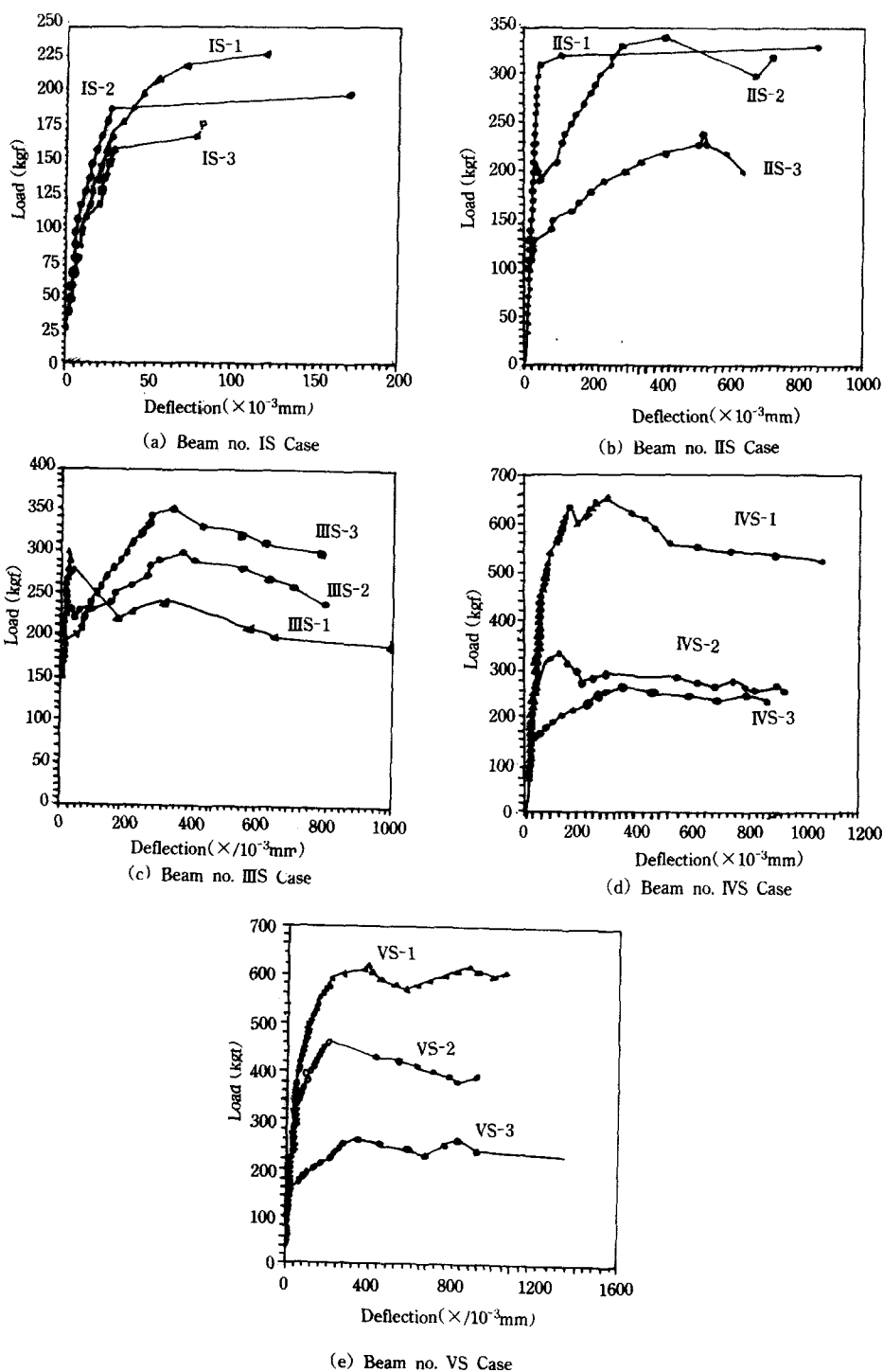


Fig. 3. Relation between load-deflection

$$G_f = \frac{A_1 + M \cdot g \cdot \delta_0}{b(d-a)} \dots\dots\dots(3)$$

여기서,  $\delta_0$  = 콘크리트보의 최대처짐

b = 보의 폭

a = 前 龜裂길이

$A_1$  = 시편의 크기에 따라 결정되는 상수

M = 보의 중량

d = 보의 깊이

g = 중력 가속도

따라서 하중-처짐선도의 면적과 보의 자중에 의한 영향을 考察하여 破壞에너지를 구하고 그 結果를 Fig. 3으로 나타냈다. Fig. 4는 강섬유 혼입율과 파괴하중의 관계도로서 前 龜裂比가 커짐에 따라 鋼纖維 콘크리트의 破壞에너지는 증가함을 알 수 있다. 또 前 龜裂이 아주 작은 경우에 破壞에너지가 크게 계산되는 것은 破壞 진행과정에서 외곽의 콘크리트가 압력을 많이 받아 추가적인 에너지가 소모되기 때문으로 分析된다.

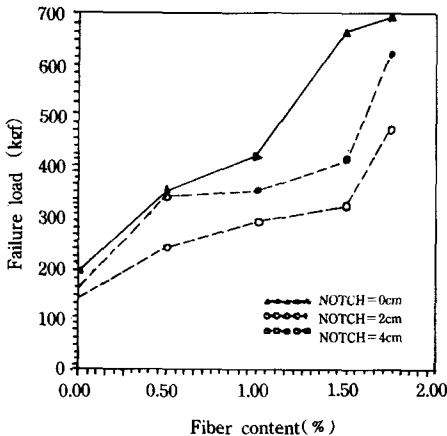


Fig. 4. Relation of failure load to fiber content

### 3. 破壞에너지 豫測 公式

콘크리트 부재의 파괴진행 영역에서는 미세

균열현상이 수반되고 이것은 변형 연화 현상을 나타내는 응력-변형률 관계로 기술하고 있다.

Bazant<sup>2)</sup>에 따르면  $G_f = W_c A = 1/2 W_c \epsilon_0 f_t'$ 였는데 미세균열 진행대의 폭  $W_c$ 는 굵은골재의 최대치수  $d_a$ 에 비례하고, 또  $\epsilon_0 = C_1 \epsilon_p$ ,  $\epsilon_p = f_t' / E_c$ 로 표시할 수 있다고 하였기에

$$G_f = \frac{1}{2} C_0 C_1 f_t'^2 \frac{d_a}{E_c} = C_2 f_t'^2 \frac{d_a}{E_c}$$

$$G_f = \frac{1}{2} C_1 C_2 C_3 f_t' \frac{d_a}{E_c} = C_4 f_t' \frac{d_a}{E_c}$$

윗식에서  $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4$ 는 상수로써 실험자료로 부터 결정할 수 있다. 그래서 위의 상수에 관한 값을 K라고 표시하면

$$G_f = K f_t' \frac{d_a}{E_c}$$

라고 제안할 수 있다.

## IV. 實驗結果의 分析 및 考察

### 1. 鋼纖維 콘크리트의 壓縮強度와 引張強度

Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 鋼纖維콘크리트 壓縮強度는 鋼纖維 混入率에 비례하여 약간씩 증가하였고, 또한 割裂引張強度도 纖維量 증가에 따라 증가하는 양상을 나타냈다.

### 2. 前 龜裂比와 처짐

前 龜裂이 있는 鋼纖維 콘크리트 部材에 3점 載荷시험을 행하고 載荷荷重과 前 龜裂比의 변화에 따른 처짐의 변화를 기록하여 前 龜裂比와 처짐關係를 조사한 결과 Fig. 7과 같다. 最大荷重에 대한 처짐은 보통콘크리트에 비하여 鋼纖維 混入率이 0.5%, 1.0% 1.5%, 1.75%인 鋼纖維 콘크리트에서 평균 1.13%, 1.69%, 2.88%씩 각각 증가하였으며, 前 龜裂길이가 2cm,

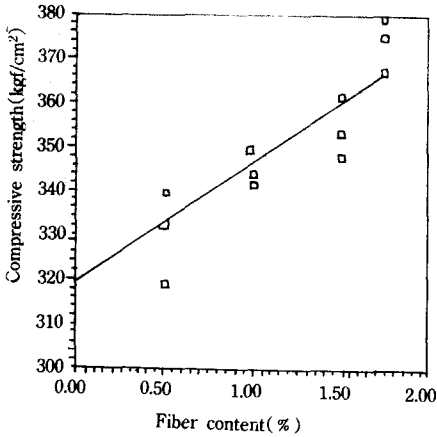


Fig. 5. Relation of fiber content to compressive strength

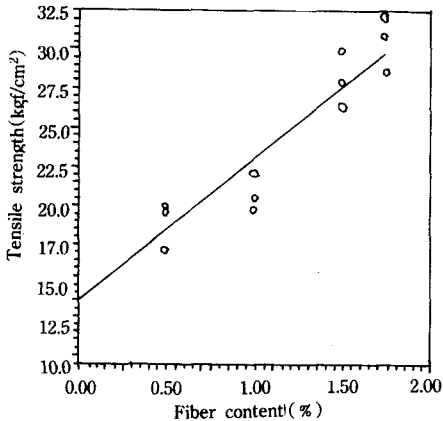


Fig. 6. Relation of fiber content to tensile strength

4cm인 部材의 처짐은 前龜裂이 없는 部材에 비하여 평균 8% 증가하고, 10% 증가함을 알았다.

### 3. 鋼纖維 混入量에 다른 龜裂成長과 破壞荷重

콘크리트에 있어서 破壞學動을 규명하는 중요한 인자중 한 가지는 破壞에 도달하기전에 항상 龜裂이 존재한다는 사실이다. 즉 콘크리트는 初期龜裂의 有無와 관계없이 항상 龜裂에 의하여 破壞에 이르게 되는 것이다.

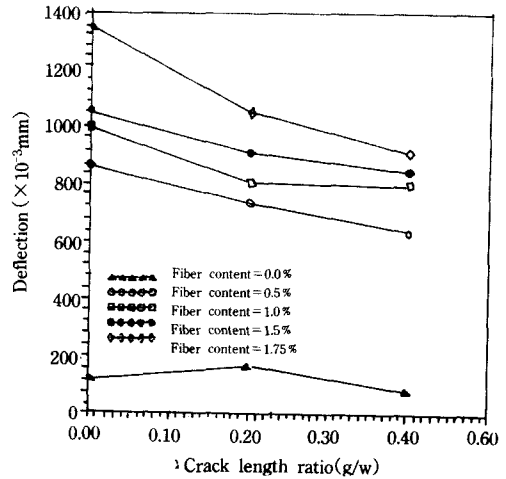


Fig. 7. Relation between crack length ratio and deflection

Griffith의 원리에 의하면, 理論強度와 實驗的으로 관측된 強度와의 차이는 微細龜裂 또는 국부결합이 材料중에 존재하여 그 주위에 아주 큰 應力集中을 일으키기 때문에 破壞된다고 하였다.

위의 내용에 따라, 本 實驗에서도 破壞에 이르기전에 龜裂이 발생하여 그 龜裂이 진행됨에 따라 破壞되었으며 흠이 있는 前 龜裂의 부분에서 부터 應力집중을 일으켜 龜裂이 成長되었음을 알 수 있었다.

보통 콘크리트는 龜裂이 발생하는 즉시 바로 재하점으로 진행됨에 따라 脆性破壞되었으나, 鋼纖維 補強 콘크리트는 龜裂이 발생하지만 그 龜裂 진행방향을 鋼纖維가 억제함에 따라 龜裂이 여러 방향으로 불규칙적으로 진행되었으며 그로 인해 破壞荷重도 鋼纖維 混入率에 따라 線形的으로 증대되었다.

鋼纖維 콘크리트의 破壞荷重은 Fig. 8과 같이 鋼纖維의 混入量이 클수록 破壞荷重이 증대함을 알 수 있고, 이것은 보통 콘크리트에 鋼纖維를 첨가하면 耐久性이 보통 콘크리트 보다 우수함을 나타낸다.

따라서, 鋼纖維를 混入하게 되면 龜裂에 대한

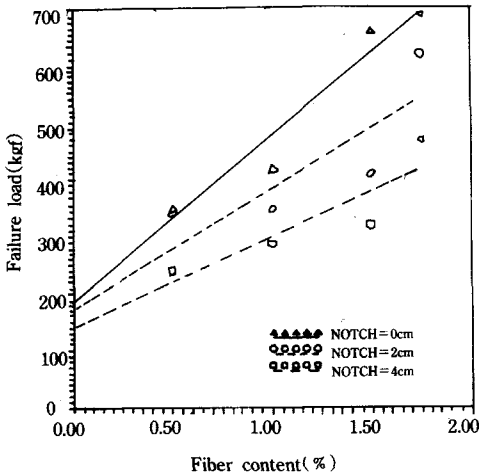


Fig. 8. Relation between fiber content and failure load

抵抗性和 破壞荷重의 증가의 효과를 가져 왔으며, 이는 다른 研究内容들과 일치 하였음을 알 수 있었다.

#### 4. 보의 靜的 實驗

鋼纖維 철근콘크리트보의 荷重과 중앙처짐關係, 荷重과 變形率關係, 龜裂成長過程을 관찰하여 Table-4와 같이 鋼纖維 콘크리트의 압축강도를 구하였다. 기본 實驗으로는  $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 圓柱形 供試體를 이용하여 壓縮強도와 引張強도를 구했다. 荷重과 중앙처짐 關係를 實驗할때는 鋼纖維 콘크리트보의 중앙부 하단에 처짐을 測定할 다이알 게이지를 부착하고, 荷重의 증가에 따라 처짐과 變形率을 測定하였다.

Table-4. Compressive strength of concrete

| Beam no. | Strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Beam no. | Strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Beam no. | Strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|
| IS1      | 216.6                           | III S1   | 263.6                           | VS1      | 318.3                           |
| IS2      | 211.5                           | III S2   | 225.5                           | VS2      | 328.0                           |
| IS3      | 188.1                           | III S3   | 268.8                           | VS2      | 322.0                           |
| II S1    | 195.7                           | IV S1    | 294.4                           | -        | -                               |
| II S2    | 185.0                           | IV S2    | 283.2                           | -        | -                               |
| II S3    | 202.0                           | IV S3    | 272.6                           | -        | -                               |

Table-5. Tensile strength of concrete

| Beam no. | Strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Beam no. | Strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Beam no. | Strength (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|
| IS1      | 15.3                            | III S1   | 19.8                            | VS1      | 32.2                            |
| IS2      | 14.6                            | III S2   | 22.5                            | VS2      | 28.5                            |
| IS3      | 11.6                            | III S3   | 23.7                            | VS3      | 30.9                            |
| II S1    | 17.1                            | IV S1    | 22.4                            | -        | -                               |
| II S2    | 19.6                            | IV S2    | 30.0                            | -        | -                               |
| II S3    | 20.0                            | IV S3    | 27.9                            | -        | -                               |

破壞試驗時 荷重의 載荷方法은 KS F 2408에 의하여 3점 載荷方法을 택하였으며, 荷重을 가하는 방법은 시편이 破壞단계에 이를때까지 10 kgf씩 증가시키면서 보의 처짐과 變形率, 破壞상태를 測定하였다. 또한 鋼纖維 콘크리트의 壓縮強도와 割裂引張強도를 測定하기 위하여 보를 製作할 때 혼합한 콘크리트로 供試體를 製作하여 KS F 2405와 KS F 2423에 준하여 시험하였다. 強度測定 값은 소수점이하 첫째자리까지 취했으며, 使用한 實驗機는 萬能試驗機 (미국 SATEC사 제품, U.T.M.)이다.

#### 5. 보의 龜裂成長

보에 前 龜裂을 사전에 준 경우와 주지 않은 경우에 따라서 龜裂成長過程이 달랐으며, 前 龜裂의 경우도 前 龜裂의 크기에 따라 龜裂成長이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 9는 龜裂成長過程으로서 前 龜裂크기가 클수록 初期龜裂이 생기는 하중이 작았고 전균열이 없는 경우는 初期龜裂의 발생하는 하중이 크게 되었다. 龜裂成長이 증가하여 파괴에 이르는 위치는 前 龜裂에 관계없이 보의 중앙부분에서 이루어짐을 알 수 있었다.

#### 6. 應力強度係數의 比較

破壞에 대한 抵抗性을 알아보기 위하여 본 實驗에서 얻은 實驗값을 Bazant<sup>2)</sup>, Pertersson<sup>6)</sup> 그리고 Wecharatana<sup>8)</sup> 등의 여러 研究者들의



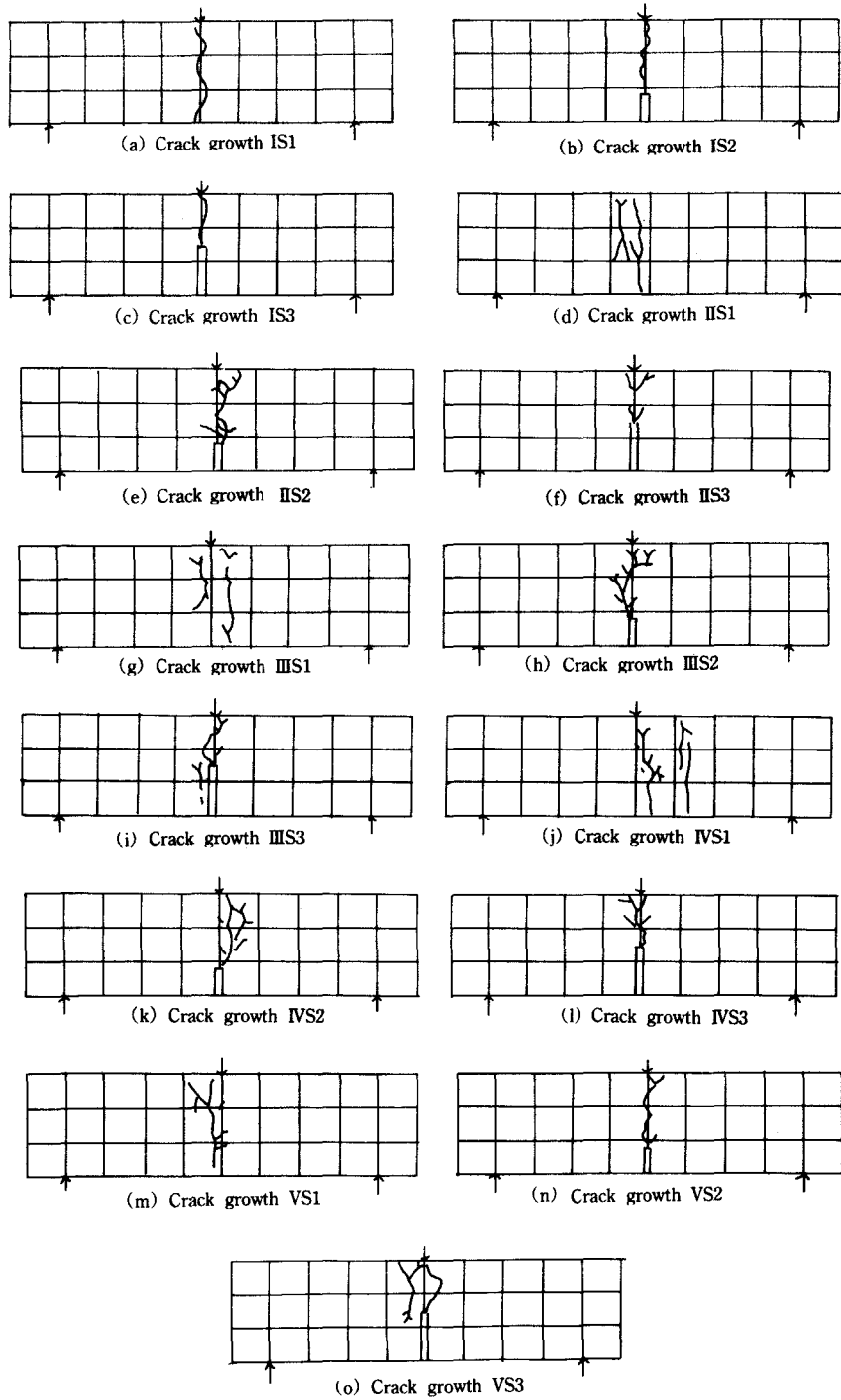


Fig. 9. Crack growth of beam

제안식에 대입, 比較해 본 結果는 Table-6과 같다. Table-6과 같이 應力強度係數는 前 龜裂 길이가 2cm 때 鋼纖維 混入量이 0.00%, 0.50%, 1.00%, 1.50%, 1.75%로 변함에 따라 각각 보통 콘크리트보다 2.12배, 2.19배, 2.56배, 3.81배씩 증가 하였고 前 龜裂길이가 4cm일 때는 1.71배, 2.07배, 2.29배, 3.36배로 각각 변화하였으며 이들 結果는 鋼纖維의 混入量이 1.00% 이상일 때는 破壞에 대한 抵抗性이 선형적으로 증가함을 나타냈다. 또 前 龜裂길이가 2cm, 4cm, 6cm일때의 破壞에 대한 抵抗性은 龜裂이 없는 경우에 비하여 1.0, 0.8, 0.7배로 각각 감소함을 알 수 있었다. 本 研究結果에서 얻은 應力強度係數 제안식에 대입하여 그 값을 구하였다.

Table-6. Comparisons of stress intensity factor

| Beam no. | δ (mm) | P <sub>re</sub> (kgf) | M (kgf.m) | K <sub>I</sub> (1) (kgf cm <sup>-2/3</sup> ) | K <sub>I</sub> (2) (kgf cm <sup>-2/3</sup> ) | K <sub>I</sub> (3) (kgf cm <sup>-2/3</sup> ) |
|----------|--------|-----------------------|-----------|--|--|--|
| IS1      | 0.17   | 190                   | 47.75     | -  | -  | -  |
| IS2      | 0.14   | 160                   | 40.00     | 59.128                                       | 59.003                                       | 59.066                                       |
| IS3      | 0.12   | 140                   | 35.00     | 87.705                                       | 87.351                                       | 87.528                                       |
| IIS1     | 0.71   | 350                   | 87.50     | -  | -  | -  |
| IIS2     | 0.68   | 340                   | 85.50     | 125.647                                      | 125.382                                      | 125.515                                      |
| IIS3     | 0.64   | 240                   | 60.00     | 150.358                                      | 149.745                                      | 150.051                                      |
| III S1   | 0.76   | 420                   | 105.00    | -  | -  | -  |
| III S2   | 0.81   | 350                   | 87.50     | 129.343                                      | 129.070                                      | 129.207                                      |
| III S3   | 0.91   | 290                   | 72.50     | 181.675                                      | 180.942                                      | 181.308                                      |
| IV S1    | 0.61   | 660                   | 165.00    | -  | -  | -  |
| IV S2    | 0.67   | 410                   | 102.50    | 151.516                                      | 151.196                                      | 151.356                                      |
| IV S3    | 0.80   | 320                   | 80.00     | 200.466                                      | 199.660                                      | 200.063                                      |
| VS1      | 0.41   | 690                   | 172.50    | -  | -  | -  |
| VS2      | 0.67   | 620                   | 155.00    | 229.122                                      | 221.263                                      | 225.193                                      |
| VS3      | 0.78   | 470                   | 117.50    | 294.438                                      | 293.251                                      | 293.845                                      |

- 주 : 1) K<sub>I</sub>(1) : Bazant 파괴에너지 제안식  
 2) K<sub>I</sub>(2) : Pertersson 파괴에너지 제안식  
 3) K<sub>I</sub>(3) : 파괴에너지 예측공식  
 4) δ : 균열길이  
 5) P<sub>re</sub> : 초기 휨 균열 발생 하중  
 6) M : 부재 파괴시의 극한 모멘트

## V. 結 論

本 研究에서 鋼纖維 混入率과 前 龜裂比가 서로 다르게 配合設計를 하고 前 龜裂이 있는 鋼纖維 콘크리트보를 製作하여 이의 前 龜裂과 後 龜裂에 관한 破壞 特性의 實驗結果는 다음과 같다.

1. 壓縮強度와 割裂引張強度는 섬유량에 비례하여 증가하는 양상을 나타냈다.

2. 鋼纖維 混入量의 증가에 따른 鋼纖維 콘크리트보의 龜裂양상은 鋼纖維가 龜裂成長을 억제함에 따라 불규칙적으로 지연되었으며, 이로 인해 破壞荷重도 증가하였다.

3. 破壞에 대한 抵抗性은 前 龜裂길이가 2cm, 4cm일때가 龜裂이 없는 경우에 비하여 평균 1.35, 1.22배가 각각 감소하였고, 鋼纖維 混入量이 1.0% 이하 일때는 보통 콘크리트와 변화가 비슷하게 나타났으며 鋼纖維 混入量이 1.0% 이상 일때 線形的으로 증가하였다.

4. 破壞에너지를 구하는 實驗公式은 다음과 같으며, 따라서 破壞에너지 값은 引張強度와 部材의 크기에 의존됨을 알 수 있었다.

$$G_f = K \cdot f_t' \cdot da / E_c$$

5. 鋼纖維 콘크리트 보의 하중-변형을 곡선에 의하면 보통 콘크리트에 비해 後 龜裂 상태가 약 10배정도로 길어지므로 龜裂의 진행이 늦어진다는 것을 알 수 있었다.

6. 提案한 公式으로 계산한 콘크리트의 破壞 에너지와 實驗에 의한 결과치가 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

## 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. Bazant, Z. P. and Oh, B. H., : Crack Band Theory for Fracture of Concrete, Materials and Structural Division, ASCE, Vol. 108, Apr., pp. 833-848, 1982.
  3. Carpinteri, A., : Application of Fracture Mechanics to Concrete Structures, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 108, Apr., pp. 833-848, 1982.
  4. Kae-Hwan Kwak, June Suh and Cheng-Tzu Thomas Hsu : Shear-Fatigue Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams, Structural Journal of the American Concrete Institute, Vol. 88, No. 2, pp. 155-160, March-April, 1991.
  5. Kare Hellen, Introduction to Fracture Mechanics, McGraw-Hill Inc, 1984, pp. 73-76.
  6. Pertersson, P. E., : Fracture Energy of Concrete, Method of Determination, Cement and Concrete Research, Vol. 10, pp. 78-89, 1980.
  7. Romualdi and Bastson : Mechanics of Crack Arrest in Concrete, Proc. ASCE, Vol. 89, EM 3, June 1963.
  8. Wecharatana, W. and Shah. S. P., "A Model for Predicting Fracture Resistance of Fiber Reinforced Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 13, No. 6, Nov., pp. 819-829, 1983.