

# 강섬유 철근콘크리트의 균열특성

## Crack Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete

강 보 순\*, 황성춘\*, 심형섭\*

Kang Bo-Soon, Hwang Seong-Chun, Shim Hyung-Seop

---

### ABSTRACT

Crack behavior of steel fiber concrete(SFC) and reinforced steel fiber concrete(RSFC) specimens has been experimentally and analytical investigated. Crack behavior of RSFC beams influenced by longitudinal reinforcement ratio, volume and type of steel fiber, strength of concrete. It can be observed from experimental result that addition of steel fiber to concrete specimen reduce crack width and increases stiffness, and thus enhances the behavior in serviceability limit states also high cyclic loading.

---

### 1. 서론

구조물의 사용성에서는 균열상태와 처짐변화의 관찰이 아주 중요하다. 특히 철도구조물은 공용 기간에 계속되는 반복하중이 받게 되므로 사용조건에 대한 균열발전은 구조물의 강성을 감소시키고 처짐이 증가하는 현상을 가져오게 된다. 특히 이런 사용성의 문제를 간과하게 되면 급기야 콘크리트 철도구조물의 붕괴도 야기 될 수 있으므로 본 논문에서는 철근콘크리트의 균열발전에 대하여 특성 및 사용성에 효과를 발휘하는 강섬유콘크리트를 소개하여 강섬유철근콘크리트의 균열 특성을 연구하고자 한다.

### 2. 강섬유콘크리트의 균열특성

강섬유콘크리트의 균열특성은 균열형성 및 균열발전에서 섬유효과와 균열발생후의 효과 사이에서 나눌 수 있다.(그림 1)

비균열 상태에서의 강섬유 효과는 자체응력에서 및 하중에 의한 마이크로 균열발생으로 나눌 수 있으며 균열발생에서 강섬유 효과는 균열폭 사이에 힘을 전달하여 균열폭을 제한한다.

---

\* 경주대학교 건설환경시스템공학부 전임강사

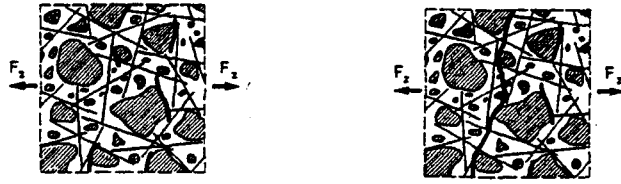


그림1---콘크리트의 균열발생 시 강섬유의 효과

강섬유는 콘크리트에서 미세한 내부균열을 억제하고 균열은 균열 뿌리가 강섬유를 도달할 때까지 발전된다. 강섬유는 그 균열 및 발전하는 다른 균열을 안정시킨다. 전체적으로 같은 변위가 일어날 경우에는 더 작은 균열들이 발생한다. 따라서 건조수축 균열발생률이 작아지며 가스 및 액체의 침투경과가 어렵고 건조경과( 및 그와 더불어 건조수축경과)는 서서히 종료 되어 발생되는 응력집중을 완화시키는 결과를 가져온다. 그리고 또한 콘크리트의 인장강도가 방향에 관계없이 균일해진다. 섬유와 콘크리트사이에 상대변위가 일어나지 않으므로 강섬유 길이방향에서 강섬유의 기하학적 변화는 균열발생에 큰 영향을 미치지 못하지만(예를 들면 파선모양, 후쿠처리된 모양의 섬유) 큰 섬유표면적을 갖고있는 섬유는 특별히 효과적이다. 즉 같은 혼입량일 경우 균일하게 분포된 작은 섬유가 더 좋은 효과를 가져올 수 있다.

균열폭 [mm]

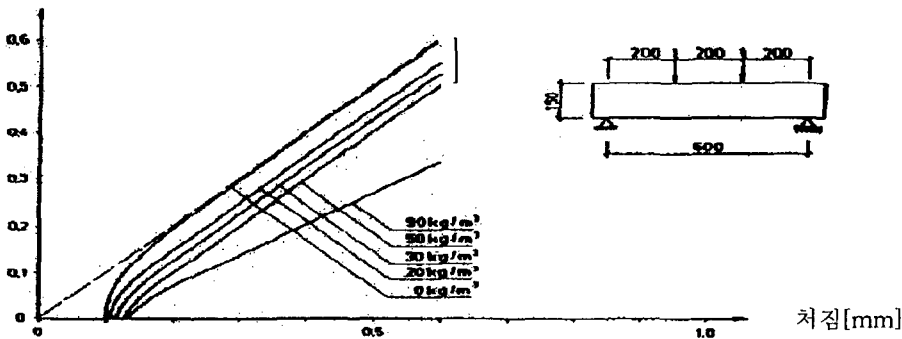


그림2---강섬유콘크리트의 처짐에 대한 균열폭

구조물의 단면을 완전히 지나는 균열이 발생할 경우에도 강섬유는 균열폭 사이에서 힘을 계속 전달하므로 벌써 균열발전 시 적어도 부분영역에서 균열을 분산시키는 결과를 가져오고 좀더 확대해서 보면 강섬유의 전 길이에 여러 개의 미세한 균열로 분산된다. 발생된 균열 폭의 합계는 강섬유가 없는 일반 콘크리트와 거의 같지만 각각 하나의 균열폭을 살펴보면 뚜렷하게 작은 것을 알 수 있다.(그림2) 균열폭에서 강섬유의 지속적인 힘의 전달은 보의 경우 단면내의 중립축의 이동이 작아져 균열깊이를 감소시킨다.(그림3)

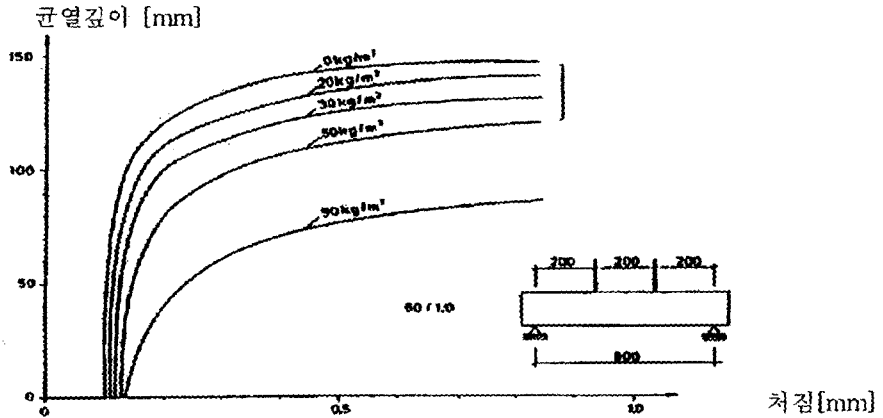


Fig.3--- 강섬유콘크리트의 치짐에 대한 균열깊이

균열 발생 후 섬유와 콘크리트사이에서는 상대변위가 발생한다. 충분한 섬유 자체강성이 수반된 강섬유의 길이방향의 변형은 생성된 우회적으로 전달되는 힘에 좋은 영향을 끼친다. 균열 면적을 통과해 충분한 힘의 전달을 위해서는 길고, 끝 부분을 후크 처리하여 기하학적으로 변화를 준 그리고 충분한 유연성이 있는 강섬유의 사용이 권장될 수 있다.

지금까지 언급한 모든 강섬유의 영향들은 콘크리트구조물의 조밀성에 대하여 아주 긍정적인 효과를 보여줌에 따라 강섬유 콘크리트는 수밀성이 요구되는 콘크리트 구조물분야의 널리 사용될 수 있다는 사실을 입증하였다.

### 3. 강섬유철근콘크리트의 균열특성

철근콘크리트 구조물에 강섬유의 혼입은 균열폭의 제한을 위해 특별히 효과적인 대책으로써 입증되었다. 이런 강섬유의 효과는 균열제한을 위한 적용시 직접적인 인장실험에서 확실히 할 수 있다. 그림4에서는 콘크리트, 철근콘크리트, 강섬유콘크리트, 강섬유철근콘크리트에 대한 직접 인장 실험시 하중과 변형의 진행을 보여주고 있다.

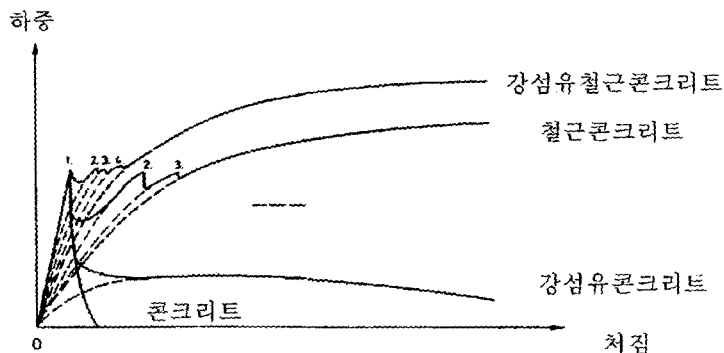


Fig.4--- 다양한 종류의 콘크리트 하중-치짐 곡선

강섬유철근콘크리트의 진행이 철근콘크리트에 강섬유콘크리트를 합한 값에 거의 일치하는 것을 확실히 알 수가 있다. 이때 균열 발전부분에 특별히 관심을 갖고 보면 첫 균열발생 후 강섬유철근 콘크리트는 철근콘크리트보다 현저하게 큰 강성을 갖고있다 이것은 같은 변위조건 일 경우 더 많은 균열수를 갖고 있는 것을 의미한다. 강섬유의 영향은 부착시스템의 각각 성분에 대한 인장하중의 분할로부터 정량적으로 유도 될 수 있다. 발생한 균열폭은 하중분할의 변화에 따라 달라진다.

#### 4. 강섬유철근콘크리트의 균열이론

그림5에서는 강섬유철근콘크리트의 균열단면에서의 각각의 응력상태를 도식화하여 보여주고 있다. 일반적으로 순수한 인장이나 휨하중 하에 있는 철근콘크리트 구조물의 균열발생은 인장부분의 가장 취약한 곳에서 콘크리트의 인장강도를 초과할 때 발생한다. 이곳의 콘크리트 단면의 응력은 없다고 가정하고 철근이 인장력을 받으므로 철근응력이 큰 폭으로 증가 하게된다. 그러나 강섬유 철근콘크리트에서는 균열단면에서 우회하는 응력의 일부분을 강섬유가 부담 하게되어 균열단면의 콘크리트의 응력이 없어지는 것이 아니라 일정량의 강섬유응력이 콘크리트의 응력을 대신하여 계속 유지하게 된다. 따라서 균열단면의 철근응력은 상대적으로 작아져 그에 상응하는 철근과 콘크리트의 유효부착길이도 작아지므로 균열폭이 작아지게된다.

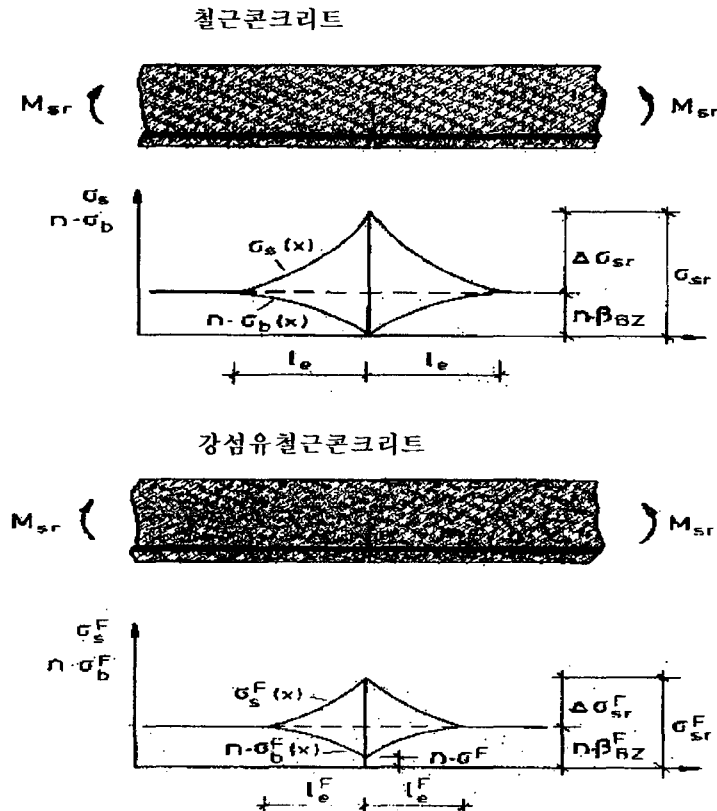


그림5--- 균열단면에서의 철근응력 및 콘크리트응력의 변화

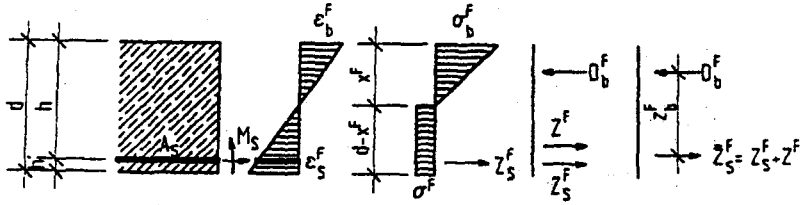


그림6--- 휨부재의 균열단면에서 작용하는 강섬유철근콘크리트의 응력 및 힘

그리고 또한 강섬유철근콘크리트의 중립축의 위치가 콘크리트 압축방향으로 작게 이동하게 되어 같은하중하에서 강섬유철근콘크리트의 균열깊이가 강섬유가 없는 보통철근콘크리트 보다 작아져서 결과적으로는 강성을 증가시키고 처짐을 감소시킨다. 이러한 균열특성의 결정적인 변화는 강섬유를 보강함으로써 철근콘크리트 구조물의 변위 내지는 사용성 상태에 큰 영향을 줄 수가 있다. 강섬유철근콘크리트에서는 균열단면에서 응력의 일부분을 강섬유가 부담 하게되는 것을 고려하여 감소된 철근응력을 결정한다.

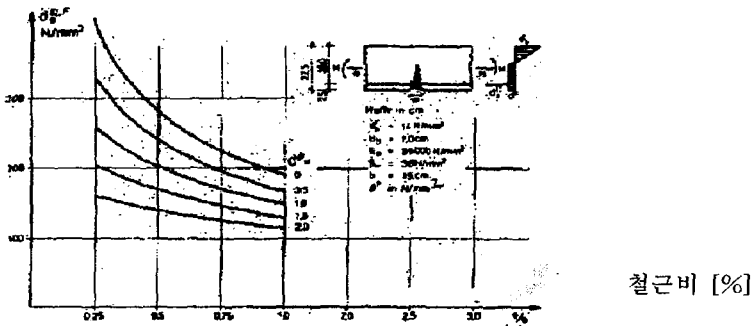


그림7--- 균열단면에서의 철근비에 대한 철근응력 변화

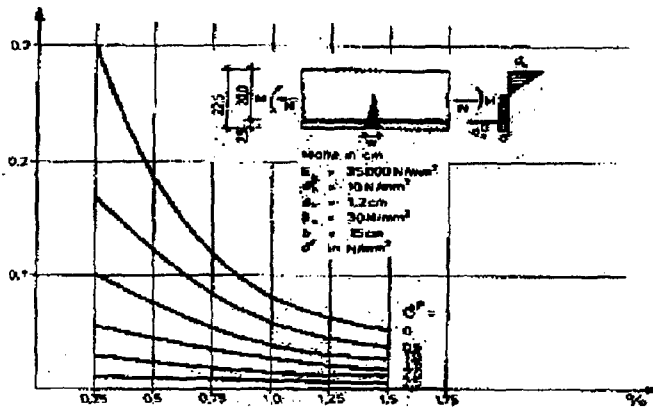


그림.8-- 균열단면에서의 철근비에 대한 균열폭의 변화

그림7에서는 압축축의 상단에서 콘크리트 응력이 일정한 때 균열단면에서 철근비 및 강섬유응력에 따른 철근응력의 변화를 보여주고 있다. 철근비가 0.25%일 때 섬유응력이 2.0N/mm<sup>2</sup> 일 경우 강섬유가 없는 일반 철근콘크리트보다 60%가 넘게 균열단면에서 철근응력이 감소한다. 철근비가 1.0 %일 때 강섬유가 없는 일반 철근콘크리트보다 40%로 균열단면에서 철근응력이 감소한다. 그림8은 철근비가 작은 경우 작은 섬유응력이 계산된 균열폭이 50%가 넘게 작아질 수가 있다. 또한 철근비가 1.0%까지 균열폭 감소가 곡선형태로 크게 벌어지는 반면에 큰 철근비를 갖고있는 경우 균열폭 감소가 거의 일정한다. 구 그림을 통해서 강섬유에 의해 전달되는 힘이 철근이 받는 힘보다 같거나 더 큰 경우 강섬유의 영향이 더욱 더 효과적 나타난다. 따라서 철근비가 작은 철근콘크리트 구조물에 강섬유보강이 적합한 사실을 알 수 있다.

위에서 언급한 이론을 토대로 또한 강섬유보강을 고려한 철근콘크리트 균열폭의 계산을 위한 간략식이 제공될 수 있다.

### 균열거리

$$a_{sfrc} = a_{rc} \left( \frac{\sigma_{bt} - \sigma^F}{\sigma_{bt}} \right)^{\frac{1-b}{1+b}}$$

### 균열폭

$$w_{sfrc} = w_{rc} \left( \frac{\sigma_{bt} - \sigma^F}{\sigma_{bt}} \right)^{\frac{2}{1+b}}$$

여기서  $a_{sfrc}, w_{sfrc}$  : 강섬유철근콘크리트의 균열거리 및 균열폭

$a_{rc}, w_{rc}$  : 철근콘크리트의 균열거리 및 균열폭

$\sigma_{bt}$  : 콘크리트의 휨인장강도

$\sigma^F$  : 강섬유응력(=post cracking strength)

$b$  : 철근과 콘크리트의 부착특성에 관한 상대변위의 상수 ( $\tau = a \cdot \sigma_c \cdot s^b$ )

목표강도: 300kg/cm <sup>2</sup> 철근비: 0.5%	실험치 w <sub>m</sub> [mm]	이론치 w <sub>m</sub> [mm]	실험치/이론치 [-]
NB	0,105	---	---
Dramix 30	0,070	0,073	0,96
Dramix 60	0,061	0,058	1,05
Harex 30	0,080	0,077	1,04
Harex 60	0,062	0,059	1,05

표---강섬유철근콘크리트의 균열폭에 대한 실험치 및 이론치의 비교

표에서 나타난 것처럼 균열폭에 대한 실험치와 이론치가 허용할 수 있을 만큼 잘 일치하는 것을 알 수가 있다.

## 5. 강섬유철근콘크리트의 피로하중에 대한 균열발전

본 연구에서는 또한 강섬유보강철근콘크리트(RSFC)의 피로하중에 대한 전단거동의 향상 및 균열억제효과에 대한 철근콘크리트(RC) 및 강섬유보강철근콘크리트(RSFC)를 혼합하여 사용한 시험편의 전단이음부의 피로전단거동에 관한 실험적 연구로서, 사용된 실험변수로는 2가지 형식의 전단이음부 및 2가지 종류의 강섬유의 혼입량을 선택하였다. 실험은 정적하중하에서의 6개의 전단시험편과 피로하중하에서의 18개의 전단시험편을 사용하여 수행하였다.

### 5.1 시험체

반복하중 하에서도 통계학적으로 보다 확실한 실험결과를 얻기 위해서 비교적 큰 전단면을 갖는 시험편의 균열표면에 직각으로 변화될 수 있고, 정의된 인장강성 설치한 시험방법을 사용하였다. 동시에 듀벨효과를 제거하기 위해 시험전단면에 외부로 프리스트레스 및 인장을 조절할 수 있는 Tendon을 설치하였다.

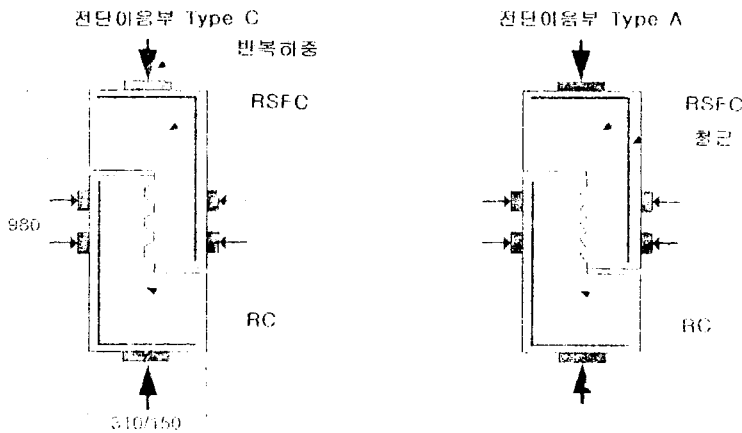


그림9--- 저단이음부 시험체

### 5.2. 피로실험 결과분석

피로실험시의 상한하중은 정적인 최대하중을 전단설계안전비( $\gamma=2.1$ )로 나누어 구해진다. 전단이음부 A와 C의 상한하중은 각각 100kN과 80kN이고 강섬유 철근 콘크리트의 첫 균열 발생은 강섬유혼입량에 따라 각각 높은 반복하중횟수에서 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 전단이음부 A인 경우 강섬유가 균열이 발생한 후 콘크리트를 일체로 유지시킴으로써 피로하중 하에서 전단변위의 현저한 감소효과를 나타낸다. (Fig.5 참조)

수행된 연구를 통해 예상된 결과와 같이 콘크리트에 강섬유를 혼입함으로써 피로하중에 대한 균열특성이 섬유 혼입량에 따라 확실히 향상되었다.

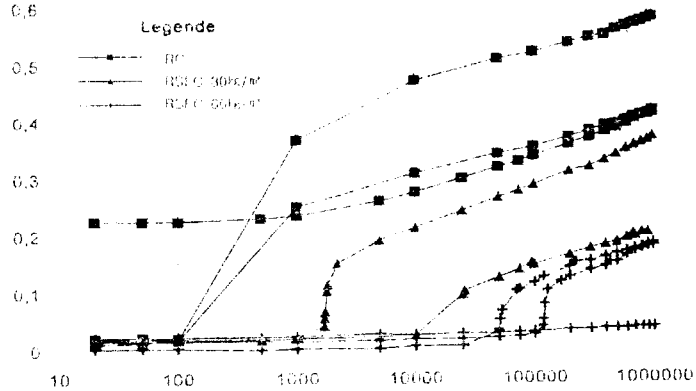


그림10---피로하중에 대한 전단이음부의 상대변위발전

## 6. 결론 및 추후연구과제

### (1) 강섬유콘크리트 및 강섬유철근콘크리트의 균열특성

- 균열단면에서의 섬유혼입량의 증가에 따라 철근응력 감소로 균열폭이 감소한다
- 낮은 철근비의 철근콘크리트에 더욱 효과적이다.
- 균열에 대한 실험치와 계산치가 양호하게 일치한다.
- 강섬유는 균열이 발생된 조인트의 잔존 전단강도를 증가시키고 섬유혼입량의 증가에 따라 그 전단강도는 증대 한다.

### (2) 피로실험

- 강섬유 보강 콘크리트의 경우 조인트 첫 균열이 상당히 늦게 발생한다.
- 강섬유 보강 콘크리트의 경우 조인트의 강도가 현저하게 증가한다.
- 강섬유 보강 콘크리트의 히스테리시스 커브는 현저히 작은 소성변위를 보인다. 즉, 강섬유는 강한 균열 억제와 균열발생 후 콘크리트를 일체로 유지시킴으로써 피로하중에 대한 저항성을 증대시킨다.

### 참고문헌

- /1/ Heiland, D. : Untersuchungen zum Dämpfungsverhalten von stahlfaserverstärktem Stahlbeton bei globaler und elementweise differenzierter Betrachtungsweise. Dissertataion, Ruhr-Universität Bochum, 1991.
- /2/ Schnütgen, B. : Rohre aus Stahlfaserbeton. Beton- und Stahlbetonbau 1/1989, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1989.
- /3/ White, R. N., and Holley, M.J. (1972). "Experimental studies of membrane shear transfer." J. Struct. Div., ASCE, 98(8), 1835-1852.
- /4/ Kang, B.S. : Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärkter Stahlbeton unter Schwellbeanspruchung. Dissertataion, Ruhr-Universität Bochum, 1998.