

# 강섬유 보강 철근콘크리트보의 균열특성에 관한 연구

## A Study on Crack Properties iber Reinforced Concrete Beams

강 보순\*

Kang, Bo-Soon

---

### ABSTRACT

In this paper, the crack properties fiber reinforced concrete (SFRC) beams by experimental method is discussed. The major role played by the steel fiber occurs in the post-cracking zone, in which the fibers bridge across the cracked matrix. Because of its improved ability to bridging cracks, SFRC has better crack properties than that of reinforced concrete (RC). Crack properties are influenced by longitudinal reinforcement ratio, volume and type of steel fibers, strength of concrete and the stress level. Crack width and number of cracks in SFRC beams have been evaluated from experimental test data at various levels of stress for the tested beams.

---

### 1 서론

최근에 환경 유해한 물질로부터 토양 및 수질을 보호하는 과제로 좀 더 수밀한 철근콘크리트구조물의 비중이 증대되고 있으며, 폐기물처리장, 폐기물소각장 그리고 화학산업분야와 같이 환경을 오염시킬 수 있는 매체를 다루고 저장하는 주변환경에 대한 차세대에 확실한 환경보호 설비 및 부대시설이 절실히 요구된다. 토질, 물(지하수) 및 공기의 청정은 앞으로 우리의 환경을 위하여 보다 더 높은 가치기준을 두고 보존해야 하므로 콘크리트구조물에게는 새로운 내지는 확산되는 적용분야의 문을 열어주게 된다. 이와 같은 구조물의 방어기능이 제대로 작용하기 위해서는 콘크리트구조물이 충분한 불 투수성을 갖고 있어야 한다<sup>1,2)</sup>. 따라서 콘크리트는 가능한 마크로 균열은 제거되고 콘크리트조직에서 전달경과를 저지하는 마이크로 균열상태로 유지되어야 한다. 이 논문에서는 휨하중 하에서 강섬유가 철근콘크리트보의 마크로 균열에 미치는 영향을 실험적 연구를 통해 수행되었고 그 결과는 정성적이고 정량적인 제시형태로 소개된다.

### 2 실험수행

휨시험편의 배합은 DIN 1045 에 의해 시멘트 PZ35F 가 사용되었고 물-시멘트의 비는 0.59 및 0.51 을 나타냈으며 유동화제는 시멘트부게의 1%를 넣었다. 후레쉬콘크리트의 워커빌리티는 콘시스턴스에서 KR( $a_1=a_2=38\text{cm}$ )를 나타내었다. 휨시험편의 인장철근은 단면에 대칭배근 하였고 전단철근으로는 4mm 스티럽을 6cm 간격으로 전체길이에 동일하게 배치하였다. 철근은 독일 철근 BST 500/500 S 사용되었으며 시험편은 각 변수 당 3 개씩 만들었다. 사용된 강섬유는 매끈한 일자 형태 A 형( $l/d=60$ )과 끝부분이

---

\* 정희원, 경주대학교, 건설환경시스템공학부 토목공학전공, 전임강사

후크처리된 B 형( $l/d=62.5$ )이 사용되었으며 다짐과정의 영향을 섬유분포에 적게 미치기 위해 외부탁상진동기를 이용하였다. 다음 표는 각 시편시리즈의 자세한 내용 및 변수를 나타내고 있다.

표 1: 휨시편의 상세 및 변수

Beam designation	Number of beam	Volume fraction of fibers $V_f$ [%]	Type of fibers	Degree of tension reinforcement $\mu_{01}=\mu_{02}$ [%]
B1	3	-		0.44
B2	3	0.8	straight	0.44
B3	3	1.6	straight	0.44
B4	3	-		1.23
B5	3	1.6	Hooked-end	1.23
B6	3	1.6	Hooked-end	1.23

휨균열발생은 휨시험편 측에 중앙과 직각으로 붓을 밀어 발생시켰다. 나사봉-압나사-역학원리를 이용해 원하는 처짐 및 하중을 고정시킬 수 있었으며 처짐측정 및 제어를 위해 보 중앙에 LVDT를 설치하였다. 압축봉에는 변형률 게이지를 붙여 해당하는 하중을 결정하였다. 실험 시 가능한 천천히 유사정하중을 재하 하였다.

균열특성취합은 콘크리트표면에 요소별로 나누어 표시하였고 균열폭은 균열현미경으로 측정하였다. 균열폭측정은 4군데를 측정하여 평균값으로 나타내었다.

취합한 휨균열은 다음과 같은 분석에서 최대균열폭 과 균열수로 나타내었고 각 균열특성은 철근콘크리트와 강섬유 보강 철근콘크리트가 상이한 하중-처짐거동으로 발생하는 영향인자를 제거하기 위해 재하된 하중 Function 이 아니라 보 중앙의 처짐에 따른 각각의 보 시리즈(Bi)의 평균값으로 나타내었다. 정성적인 균열특성 외에 다양한 변수의 영향이 고정된 하중레벨  $\delta v$ (V=비교레벨)의 도움으로 나타내었다. 하중레벨  $\delta v$ 는 사용된 철근비에 대하여 구해진 허용사용하중  $P_{max}$ 를 재하 했을 때 상응되는 보 중앙에 처짐이 발생하는 하중레벨 이다. 낮은철근비 시험보는 보 시리즈 B1에 속한 하중-처짐곡선으로부터 중앙처짐  $\delta v=18mm$ 를 나타내고 있다. 또한 계속되는 정량적 관찰이 수질을 오염시키는 물질과 함께 있는 주변환경 일 경우 표면처리를 하지않은 콘크리트 구조물을 위하여 독일콘크리트학회가 "사용성 검증" 위해 규정한 압축 대높이( $0 \leq x \leq x_{min}$ )와 함께 및 자정효과( $w_{1,95}=0.10mm$ ) 없는 휨하중 구조물 경우 경계로써 제안된 균열폭  $w=0.10mm$ 를 기준으로 수행되었다.

### 3 실험결과

#### 3.1 일반

취합한 휨균열은 다음과 같은 분석에서 최대균열폭 과 균열수로 나타내었고 각 균열특성은 철근콘크리트와 강섬유 보강 철근콘크리트가 상이한 하중-처짐거동으로 발생하는 영향인자를 제거하기 위해 재하된 하중 Function 이 아니라 보 중앙의 처짐에 따른 각각의 보 시리즈(Bi)의 평균값으로 나타내었다. 정성적인 균열특성 외에 다양한 변수의 영향이 고정된 하중레벨  $\delta v$ (V=비교레벨)의 도움으로 나타내었다. 하중레벨  $\delta v$  사용된 철근비에 대하여 구해진 허용 사용하중  $P_{max}$ 를 재하 했을 때 상응되는 보 중앙에 처짐이 발생하는 하중레벨이 다. 낮은 철근비를 갖고있는 휨시험체는 보 시리즈 B1에 속한 하중-

처짐곡선으로부터 중앙처짐  $\delta v=18\text{mm}$  를 나타내고 있다. 또한 계속되는 정량적 관찰이 수질을 오염시키는 물질과 함께 있는 주변환경의 경우 표면처리를 하지않은 콘크리트 구조물을 위한 독일콘크리트학회가 "사용성 검증"위해 규정한 압축존 높이( $0 \leq x \leq x_{\min}$ ) 와 함께 및 자정효과( $w_{1,95}=0.10\text{mm}$ )가 없는 휨하중재하 구조물일 경우 경계로써 제안된 균열폭  $w=0.10\text{mm}$  을 기준으로 수행되었다.

### 3.1 일반

취합한 휨균열은 다음과 같은 분석에서 최대균열폭 과 균열수로 나타내었고 각 균열특성은 철근콘크리트와 강섬유 보강 철근콘크리트가 상이한 하중-처짐거동으로 발생하는 영향인자를 제거하기 위해 재하된 하중 Function 이 아니라 보 중앙의 처짐에 따른 각각의 보 시리즈(Bi)의 평균값으로 나타내었다. 정성적인 균열특성외에 다양한 변수의 영향이 고정된 하중레벨  $\delta v$ (V=비교레벨)의 도움으로 나타내었다. 하중레벨  $\delta v$  사용된 철근비에 대하여 구해진 허용 사용하중  $P_{\max}$  를 재하 했을 때 상응되는 보 중앙에 처짐이 발생하는 하중레벨이 다. 낮은 철근비를 갖고있는 휨시험체는 보 시리즈 B1 에 속한 하중-처짐곡선으로부터 중앙처짐  $\delta v=18\text{mm}$  를 나타내고 있다. 또한 계속되는 정량적 관찰이 수질을 오염시키는 물질과 함께 있는 주변환경의 경우 표면처리를 하지않은 콘크리트 구조물을 위한 독일콘크리트학회가 "사용성 검증"위해 규정한 압축존 높이( $0 \leq x \leq x_{\min}$ ) 와 함께 및 자정효과( $w_{1,95}=0.10\text{mm}$ )자정효과와 없는 휨하중재하 구조물일 경우 경계로써 제안된 균열폭  $w=0.10\text{mm}$  을 기준으로 수행되었다.

### 3.2 최대균열폭

#### 3.2.1 강섬유 혼입량의 변수에 따른 영향

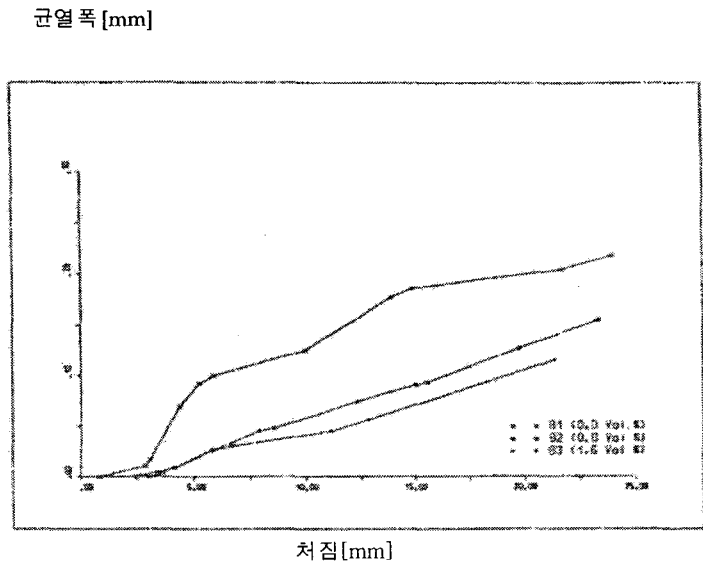


그림 1: 강섬유 혼입량에 대한 최대균열-처짐곡선

강섬유혼입량의 변수에 따른 영향평가를 위해 그림 1 에 나타난 보 시리즈 B1(철근콘크리트), B2(강섬유보강철근콘크리트 0.8 Vol.%) 및 B3(강섬유철근콘크리트 1.6 Vol.%) 살펴보면 철근콘크리트 및 강섬유보강철근콘크리트는 차별된 처짐거동이 검증되고 있다. 철근콘크리트 경우 아주 작은 하중레벨에 속한 첫 균열(미세균열)형성과 낮은 하중범위에서 기하학적 균열폭이 증가하는 모습을 볼 수가 있다. 하중레벨  $\delta=6\text{mm}$  까지 시리즈 B1, B2 및 B3 사이에 균열폭차는 절대치 균열폭  $w=0.07\text{mm}$  로 증가된다. 강섬유철근콘크리트 경우 첫 균열형성이 근사하게 일치하는 하중레벨에서 일어난다. 두 강섬유철근콘크리트 보 시리즈 (B2 및 B3)의 전체 처짐 스펙트럼은 거의 직선거동을 나타내고있다. 하중레벨  $\delta=6\text{mm}$  위로는 보통철근콘크리트와 0.8Vol.%의 강섬유보강철근콘크리트사이에는 거의 같은 일정한 균열폭차  $\Delta w_{\text{const}}=0.07\text{mm}$  로 고정되어있으며 두 종류의 강섬유보강 철근콘크리트의 경우  $\delta=11\text{mm}$  부터는 일정한 균열폭차  $\Delta w_{\text{const}}=0.02\text{mm}$  를 유지하고 있다. 분명한 것은 0.8Vol.% 강섬유에서 두 배인 1.6 Vol.%는 더 이상의 증가 시 보통 콘크리트에 0.8Vol.%의 강섬유를 혼입한 것처럼 영향을 미치지 못한다는 사실이다.

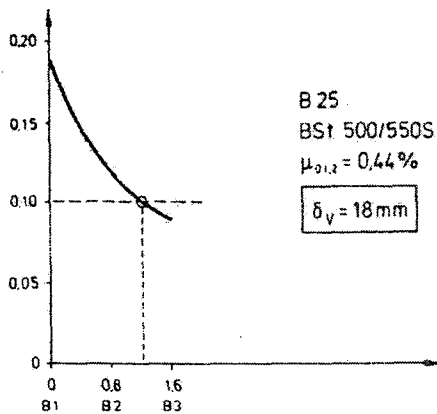


그림 2. 하중레벨 18mm 에 대한 최대균열폭

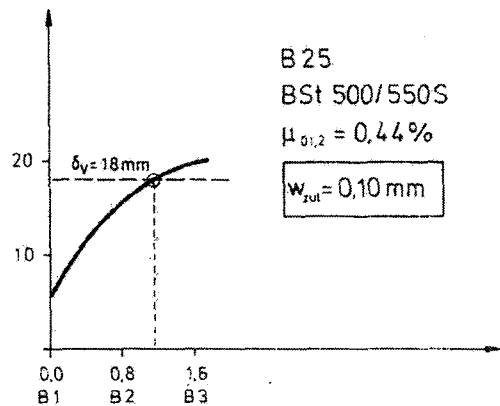


그림 3. 균열폭 0.1mm 에 대한 처짐

그림 2 에서는 하중레벨  $\delta=18\text{mm}$  에 대한 강섬유량혼입량에 따른 균열폭의 진행을 보여주고 있다. 보통철근 콘크리트 경우의 균열폭은  $w=0.19\text{mm}$  이고 0.8Vol.%의 강섬유보강철근콘크리트는 균열폭이  $w=0.12\text{mm}$  를 나타내며 1.6Vol.%의 강섬유보강철근콘크리트는 균열폭이  $w=0.09\text{mm}$  를 보여주고 있다. 상대적으로 보통철근 콘크리트는 B2 에 비해서는 60%, B3 에 비해서는 110% 더 증가된 균열폭을 갖고 있다. 0.8Vol. % 강섬유보강철근콘크리트의 균열폭은 1.6Vol. %의 강섬유보강철근콘크리트의 균열폭보다 35%정도 큰 균열폭을 갖고 있다. 최대 사용하중에 대한 보통철근콘크리트보가 균열폭  $w=0.1\text{mm}$  를 초과되지 않아야만 한다면 이런 강섬유의 최소량을 혼입함으로써 현실화 시킬 수 있다.

그림 3 은 세 실험 시리즈 B1,B2 및 B3 의 보가 허용균열폭  $w=0.1\text{mm}$  발생시킨 처짐에 도달할 경우를 보여준다. 처짐을 하중레벨  $\delta_v$  에 대입시키면 그림 3 으로부터 균열제한을 위해 요구되는 최소섬유혼입량을 얻을 수가 있다. 그림 2 와 3 은 최대 균열폭  $w$  또는 처짐과 최소 섬유량 사이에 비선형 상관관계를 확실하게 나타내 주고 있다. 그림 1 에서는 요구되는 사항들(즉 하중레벨  $\delta_v$  와 허용균열폭  $w$  으로 한계를 명시한 사항들)을 얻기 위해 다양한 섬유혼입량과 균열폭, 처짐곡선 사이에 선형적인 삽입의 도움으로 최소섬유량을 바로 결정 할 수가 없으나 이런 문제는 구별된 실험적인 강섬유혼입량 연구를 통해 해결 될 수가 있다.

그래프제안에 대한 생각은 실무자가 규정된 요구사항들을 만족하기 위한 최소섬유 혼입량을 다양하게 하여 선택된 철근비와 조화를 이루어 섬유종류에 따라 충분한 섬유혼입량등급의 고려하여 실험적 다이어그램에서 바로 읽을 수 있도록 하기 위한 것이다.

외적특성을 관찰할 경우 앞에서 강섬유혼입으로 하중-처짐거동에 영향을 미치므로 균열폭제한을 위해 다른 내용은 안전한 측면에 놓여 있다. 예를 들면 1.6Vol.% 강섬유보강철근콘크리트보 시리즈 B3 에 철근콘크리트보의 최대 허용하중 Pmax 에 상응하는 값을 재하 할 경우 보통철근콘크리트에 비해 15% 작은 처짐을 보여주고 있다.

### 3.2.2 높은 철근비 경우 강섬유혼입량의 영향

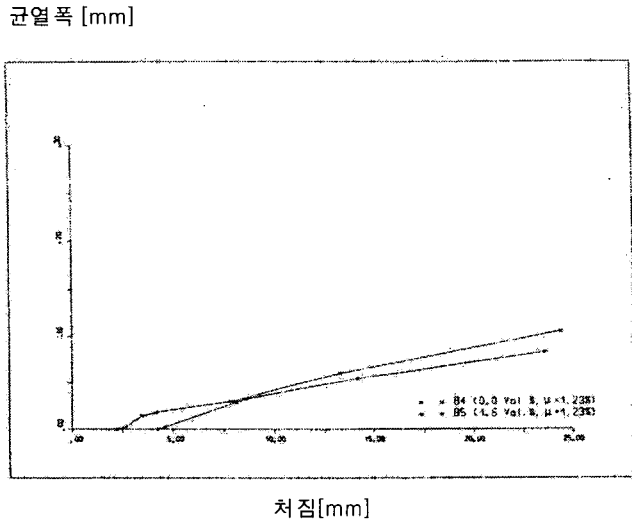


그림 4. 높은 철근비의 경우 최대균열폭-처짐 곡선

보 시리즈 B4 및 B5 는  $\mu_{01} = \mu_{02} = 1.23\%$ 의 철근비를 갖고 있다. 그림 4 는 철근콘크리트와 강섬유보강철근콘크리트보의 상이한 첫 균열형성에 대한 처짐을 나타내고 있다. 강섬유콘크리트의 균열폭은 보통 콘크리트보다 항상 작지만 1.6Vol.% 강섬유혼입량은 낮은 철근비 시험편( $\mu_{01} = \mu_{02} = 0.44\%$ )에서와 같이 그렇게 의미 있는 변화를 주지는 못한다.

### 3.2.3 강섬유 종류의 영향

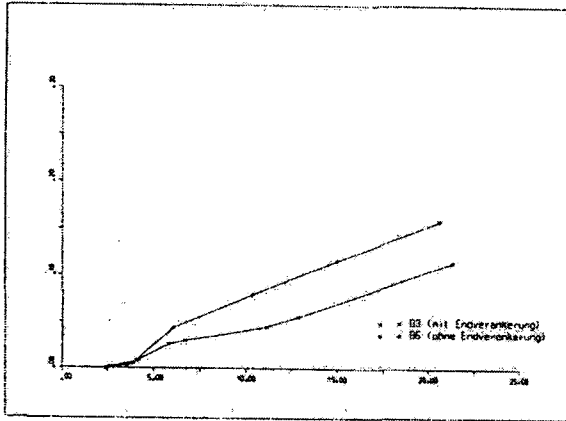
두 종류의 강섬유를 사용할 경우 그림 5 에서처럼 유사한 균열-처짐관계를 얻을 수 있다. 같은 하중레벨에서 첫 균열발생후 작은 균열폭증가를 보여주고 높은 균열폭성장단계로 연결된다. 서로 다른 큰 증가에 의한 커브는 계속해 교차 진행한다. 이런 현상은 하중레벨을 초과해 충분한 처짐에 대해서도 계속해 얻어지며 약  $\delta = 13\text{mm}$  정도부터 끝까지 거의 일정한 균열폭차이가  $\Delta w_{const} = 0.05\text{mm}$  로 고정된다. 직선 강섬유를 사용한 시험편은 같은 처짐에서 후크처리된 강섬유 시험편보다 약 80% 정도 더 큰 균열폭을 갖고 있다.

의미 있는 하중레벨  $\delta_v$  시 후크처리가 되지 않은 직선 강섬유를 사용한 시험편은  $w = 0.14\text{mm}$  인 균열폭과 후크처리된 강섬유 시험편은  $w = 0.09\text{mm}$  인 균열폭을 보여주고 있다. 단순보에 1.6Vol.%

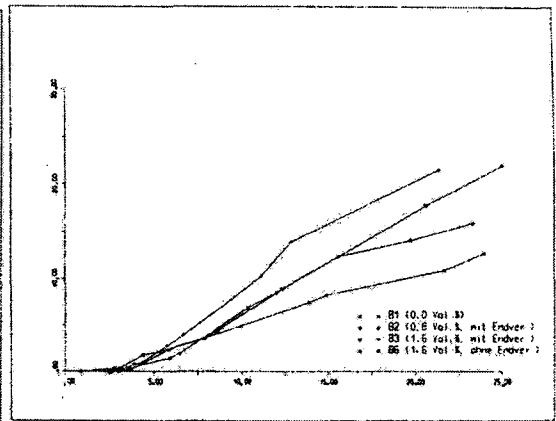
강섬유혼입시 균열한계  $w=0.10\text{mm}$  를 유지하기 위해서는 후크처리된 강섬유만 도달 할 수 있다. 두 종류의 강섬유를 사용할 경우 설정한 균열폭은 강섬유가 없는 철근 콘크리트 시험편보다 뚜렷이 작아진다.

균열폭 [mm]

균열수 [-]



처짐 [mm]



처짐 [mm]

그림 5. 직선섬유와 후크처리된 섬유에 대한 최대균열폭-처짐곡선

그림 6. 균열수-처짐곡선에 대한 강섬유혼입량과 섬유종류의 영향

### 3.3 균열수

강섬유보강으로 시험편의 균열수가 줄어드는 현상이 그림 6에 나타나 있다. 균열수에 대한 B3(직선 강섬유)커브와 B6(후크처리된 강섬유)커브의 비교를 통해 상이한 섬유종류의 효과를 볼 수가 있다. 하중레벨  $\delta_v$  하에서 균열수의 증가는 40%-100%를 나타내고 있다. 각각의 균열폭  $w=0.10\text{mm}$ 에 도달 할 경우 균열수를 관찰하면 300%와 700%사이에서 증가를 보여주고 있다.

## 4 결론

실험결과의 도움으로 휨하중하에서 철근콘크리트보에 강섬유의 보강은 마크로균열형성에 긍정적인 영향을 끼친 사실이 입증되었다. 강섬유혼입량과 강섬유형태의 선택은 균열발생에 대하여 충분히 작은 균열폭과 증가된 균열수를 가져다 준다. 그러나 증가되는 철근비에 대해서는 그 영향이 점차 감소된다. 스케치된 그래픽법은 DIN 1045으로 휨인장철근을 최대한 활용할 경우 허용균열폭을 유지할 수 있는 강섬유혼입량을 결정하기 위한 제안이다.

### 참고문헌

1. Stangenberg, F.: Leistungsfähigkeit von Stahlfaserbeton bei Bauteilen mit Schutzfunktion fuer Boden und Wasser, VDI Berichte Nr.869, S.261-280, Duesseldorf 1991.
2. Schiessl, P.: Reuter, C: Sachstandsbericht, Betonbau beim Umgang mit wassergefahrdenden Stoffen, Teilbericht 3, DafStb, Heft 416, Berlin 1991.
3. B.S. Kang: Stahlfaserbeton und stahlfaserverstaerkter Stahlbeton unter Schwellbeanspruchung. Dissertation, Ruhr-Univ. Bochum, 1998.
4. DafStb-Richtlinie: Gebrauchsfähigkeitsnachweise fuer unbeschichtete Betonbauteile beim Umgang mit wassergefahrdenden Stoffen, Entwurf, Stand 6/91.