

콘크리트 슬래브레도의균열제한

Crack Control of Concrete Slab Track System

장 보 순*
Kang Bo-Soon

ABSTRACT

In this paper, the crack properties of steel fiber reinforced concrete (SFRC) beams by experimental method are 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 break crack, SFRC has better crack properties than that of reinforced concrete (RC). Crack properties are influenced by longitudinal reinforcement ratio, volume and type of steel fiber, strength of concrete and the stress level. Crack width and crack number in the SFRC beams have been evaluated from experimental test data at various levels in the beams.

1. 서론

고속철도에서는 선로 제작을 위한 궤도시스템은 내구성이 좋은 콘크리트나 아스팔트와 같은 재료를 사용하여 자갈을 대체하고 있다. 고속주행 시 자갈레도의 단점 -주기적으로 반복되는 동적하중으로 자갈의 위치변화 및 부분적 파괴- 으로 인해 선로의 지점변형을 주어 승차감을 떨어뜨리고 마모를 유발시켜 유지관리시스템에 부정적 영향을 미치며 급정차 경우 자갈 및 비산이 바퀴에 튀어 인경성에도 문제를 야기 시킬 수 있으므로 철도교통의 신뢰성과 정확성을 떨어뜨리는 결과를 가져온다. 따라서 내구적이고 가능한 유지관리가 효과적인 선로를 건설하기 위한 대책이 필요하다. 슬래브레도의 개발을 하려면 우선 슬래브레도시스템의 최적화를 위해 먼저 휨시편의 기본적인 구조성능을 위한 실험을 수행하고 반복되는 여러 가지 형태의 사용하중에 대한 균열특성의 향상을 위한 실험들은 수행한다. 그 일례로 콘크리트에 강섬유를 보강하여 실제 열차하중 하에서 슬래브레도의 균열제한에 관한 연구가 절실히 필요로 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 콘크리트는 가능한 마크로 균열은 제거되고 콘크리트조직에서 전달경과를 지지하는 마이크로 균열상태로 유지되어야 한다. 이 논문에서는 휨 하중 하에서 강섬유가 철근콘크리트보의 마크로 균열에 미치는 영향을 실험적 연구를 통해 수행되었고 그 결과는 정성적이고 정량적인 제시형태로 소개된다.

* 경주대학교 건설환경시스템공학부 조교수

2. 휨 실험

휨 시험편의 배합은 DIN 1045에 의해 시멘트 PZ35F가 사용되었고 물-시멘트의 비는 0.59 및 0.51을 나타냈으며 유동화제는 시멘트무게의 1%을 넣었다. 후레쉬콘크리트의 워커빌리티는 콘시스턴스에서 KR($a_1=a_2=38\text{cm}$)를 나타내었다. 휨 시험편의 인장철근은 단면에 대칭배근 하였고 전단철근으로는 4mm 스티립을 6cm 간격으로 전체길이에 동일하게 배치하였다. 철근은 독일 철근 BST 500/500 S 사용되었으며 시험편은 각 변수 당 3개씩 만들었다. 사용된 강섬유는 배근한 일자 형태 A형($l/d=60$)과 끝부분이 후크처리된 B형($l/d=62.5$)이 사용되었으며 다짐과정의 영향을 섬유분포에 적게 미치기 위해 외부탁상진동기를 이용하였다. 다음 Table은 각 시험시리즈의 자세한 내용 및 변수를 나타내고 있다.

Beam designation	Number Of beams	Volume fraction of fibers V _f [%]	Type of fibers	Degree of tension reinforcement $\mu_{01} \cdot \mu_{02}$ [%]
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	Hookedend	1.23
B6	3	1.6	Hookedend	1.23

표 1: |시험편의 상세 및 변수

휨 균열발생은 휨시험편 측에 중앙과 적각으로 붓을 밀어 발생시켰다. 나사 봉-압나사-역학원리를 이용해 원하는 처짐 및 하중을 고정시킬 수 있었으며 처짐 측정 및 제어를 위해 보 중앙에 LVDT를 설치하였다. 압축 붓에는 변형률 게이지를 붙여 해당하는 하중을 견정하였다. 실현시 가능한 천천히 유사정하중을 세하 하였다.

균열특성시험은 콘크리트표면에 요소별로 나누어 표시하였고 균열폭은 균열면기경으로 측정하였고 균열폭의 측정은 4군대를 측정하여 평균값으로 나타내었다. 취합한 휨균열은 다음과 같은 분석에서 최대균열폭 과 균열수로 나타내고 각 균열특성은 철근콘크리트와 강섬유 보강 철근콘크리트가 상이한 하중-처짐 거동으로 발생하는 영향인자를 제거하기 위해 세하 된 하중function이 아니라 보 중앙의 처짐에 따른 각각의 보 시리즈(Bi)의 평균값으로 나타내었다. 정성적인 균열특성 외에 다양한 변수의 영향이 고정된 하중레벨 δv (V =비교레벨)의 도움으로 나타내었다. 하중레벨 δv 는 사용된 철근비에 대하여 구해진 허용사용하중 P_{max} 을 세하 했을 때 상응되는 보 중앙에 처짐이 발생하는 하중레벨 이다. 낮은 철근비 실험보는 보 시리즈 B1에 속한 하중-처짐 곡선으로부터 중앙 처짐 $\delta v=18\text{mm}$ 을 나타내고 있다. 또한 계속되는 정량적 관찰이 수질을 오염시키는 물질과 함께 있는 주변 환경 일 경우 표면처리를 하지 않은 콘크리트 구조물을 위하여 독일콘크리트학회가 "사용성 검증"위해 규정한 압축 대늘이($0 \leq x \leq x_{min}$)와 함께 및 자정효과($w_{1,95}=0.10\text{mm}$)가 있는 휨하중 구조물 경우 경계

모세 제안된 균열폭 $w=0.10\text{mm}$ 을 기준으로 수행되었다.

3. 실험결과

3.1 일반

취할한 휨균열은 다음과 같은 분석에서 최대균열폭 과 균열수로 나타내었고 각 균열특성은 철근콘크리트와 강섬유 보강 철근콘크리트가 상이한 하중-처짐 거동으로 발생하는 영향인자를 제거 하기 위해 제하 된 하중Function이 아니라 보 중앙의 처짐에 따른 각각의 보 시리즈(BI)의 평균값으로 나타내었다. 정상적인 균열특성 외에 다양한 변수의 영향이 고정된 하중레벨 δv (V=비교레벨)의 도움으로 나타내었다. 하중레벨 δv 사용된 철근비에 대하여 구해진 허용 사용하중 P_{max} 을 제 하 했을 때 상응되는 보 중앙에 처짐이 발생하는 하중레벨 이다. 낮은 철근비를 갖고있는 휨시험체는 보 시리즈 B1에 속한 하중-처짐 곡선으로부터 중앙 처짐 $\delta v=18\text{mm}$ 을 나타내고 있다. 또한 계속되는 정량적 관찰이 수질을 오염시키는 물질과 함께 있는 주변 환경의 경우 표면처리를 하지 않은 콘크리트 구조물을 위한 독립콘크리트학회가 "사용성 평가"를 위해 규정한 압축 존 높이($0 < x < x_{min}$)와 함께 및 자정효과($w_{1,95}=0.10\text{mm}$)가 없는 휨하중 제하 구조물일 경우 경계모세 제안된 균열폭 $w=0.10\text{mm}$ 을 기준으로 수행되었다.

3.2 최대균열폭

3.2.1 강섬유혼입량에 따른 영향

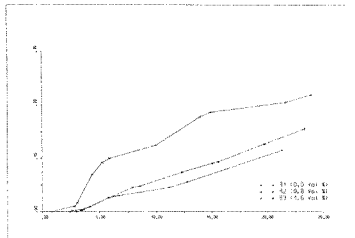


그림 1. 강섬유혼입량에 대한 최대균열폭-처짐 곡선

강섬유혼입량의 변수에 따른 영향평가를 위해 그림 1에 나타난 보 시리즈 B1(철근콘크리트), B2(강섬유보강 철근콘크리트: 0.8 Vol.%) 및 B3(강섬유보강 철근콘크리트: 1.6 Vol.%) 살펴보면 철근콘크리트 및 강섬유보강 철근콘크리트는 차별된 처짐 거동이 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. 강섬유보강 철근콘크리트 경우 첫 균열형성이 근사하게 일치하는 하중레벨

에서 얻어진다. 두 강섬유보강 철근콘크리트 보 시리즈(B2 및 B3)의 전체 처짐 스펙트럼은 거의 직선 거동을 나타내고있다. 하중레벨 $\delta = 6\text{mm}$ 위로는 보강철근콘크리트와 0.8Vol.의 강섬유보강 철근콘크리트 사이에는 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.의 강섬유에서 두 배인 1.6 Vol.은 더 이상의 증가 시 보강 콘크리트에 0.8Vol.의 강섬유를 혼입한 것처럼 영향을 미치지 못한다는 사실이다.

그림2에서는 하중레벨 $\delta = 18\text{mm}$ 에 대한 강섬유혼입량에 따른 균열폭의 진행을 보여주고 있다. 보강 철근콘크리트 경우의 균열폭은 $w = 0.19\text{mm}$ 이고 0.8Vol.의 강섬유보강 철근콘크리트는 균열폭이 $w = 0.12\text{mm}$ 을 나타내며 1.6Vol.의 강섬유보강 철근콘크리트는 균열폭이 $w = 0.09\text{mm}$ 을 보여주고 있다. 상대적으로 보강 철근콘크리트는 B2에 비해서는 60%, B3에 비해서는 110% 더 증가된 균열폭을 갖고 있다. 0.8Vol.의 강섬유보강 철근콘크리트의 균열폭은 1.6Vol.의 강섬유보강 철근콘크리트의 균열폭보다 35%정도 큰 균열폭을 갖고 있다. 최대 사용하중에 대한 보강철근콘크리트보가 균열폭 $w = 0.1\text{mm}$ 을 초과되지 않아야만 한다면 이런 강섬유의 최소량을 혼입함으로써 현실화 시킬 수 있다.

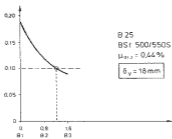


그림 2. 하중레벨 18mm에 속한최대균열폭

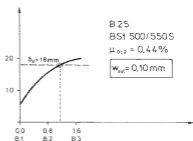


그림 3. 균열폭 0.1mm에 속한 처짐

그림3은 세 실험 시리즈 B1, B2 및 B3의 보가 허용균열폭 $w = 0.1\text{mm}$ 를생시킨 처짐에 도달한 경우를 보여준다. 처짐을 하중레벨 δ 에 대입시키면 그림3으로부터 균열제한을 위해 요구되는 최소섬유 혼입량을 얻을 수가 있다.

그림2 와 3은 최대 균열폭 w 또는 처짐과 최소 섬유량 사이에 비선형 상관관계를 확실하게 나타내 주고 있다. 그림1에서는 요구되는 사항들(즉 하중레벨 δ 와 허용균열폭 w 으로 한계를 명시한 사항들)을 얻기 위해 다양한 섬유혼입량과 균열폭-처짐 곡선 사이에 선형적인 삽입의 도움으로 최소 섬유량을 바로 결정 할 수가 없으나 이런 문제는 구별된 실험적인 강섬유혼입량의 연구를 통해 해결 될 수가 있다.

그레드제안에 대한 생각은 실무자가 규정된 요구사항 들을 만족하기 위한 최소섬유 혼입량을 다양 하게 하여 선택된 철근비와 조화될 이루어 섬유종류에 따라 충분한 섬유혼입량의 능급을 고려하여 선택의 다이아그램에서 바로 얻을 수 있도록 하기 위한 것이다.

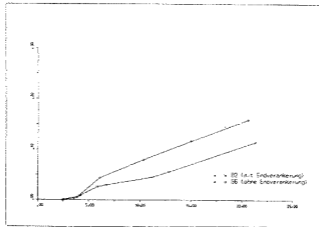
외적특성을 관찰한 경우 앞에서 강섬유혼입으로 하중-처짐 거동에 영향을 미치지모 균열폭의 제한을 위해 다른 내용은 안전한 측면에 놓여 있다. 예를 들면 1.6Vol.의 강섬유보강 철근콘크리트보 시리즈

즈 B3에 철근콘크리트보의 최대 허용하중 P_{max} 에 상응하는 값을 제하 할 경우 보통철근콘크리트에 비해 15% 작은 치점을 보여주고 있다.

3.2.2 높은 철근비 경우 강섬유 혼입량의 영향거동

보 시리즈 B4 및 B5는 $\mu_{01} = \mu_{02} = 1.23\%$ 의 철근비를 갖고 있다. 실험결과에서는 철근콘크리트와 강섬유보강 철근콘크리트보의 상이한 첫 균열형성에 대한 치점을 살펴보면 강섬유 콘크리트의 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 그림4와 같이 유사한 균열-치점 관계를 얻을 수 있다. 같은 하중 레벨에서 첫 균열발생 후 작은 균열폭 증가를 보여주고 높은 균열폭 성장단계로 연결된다. 서로 다른 증가에 의한 커브는 계속해 교차 진행한다. 이런 현상은 하중레벨을 초과해 충분한 치점에 대해서도 계속해 얻어지므로 약 $\delta = 13\text{mm}$ 정도부터 끝까지의 거의 일정한 균열폭 차가 $\Delta w_{const} = 0.05\text{mm}$ 로 고정된다. 직선 강섬유를 사용한 시험편은 같은 치점에서 후크치리된 강섬유 시험편보다 약 80% 정도 더 큰 균열폭을 갖고 있다.

의미 있는 하중레벨 δ 시 후크치리가 되지 않은 직선 강섬유를 사용한 시험편은 $w = 0.14\text{mm}$ 인 균열폭과 후크 치리된 강섬유 시험편은 $w = 0.09\text{mm}$ 인 균열폭을 보여주고 있다. 단순보에 1.6Vol.% 강섬유혼입시 균열한계 $w = 0.10\text{mm}$ 를 유지하기 위해서는 후크치리된 강섬유만 도달 할 수 있다. 두 종류의 강섬유를 사용할 경우 설정한 균열폭은 강섬유가 없는 철근 콘크리트 시험편보다 뚜렷이 작아진다.

3.3 균열수

강섬유보강으로 시험편의 균열수가 줄어드는 현상이 그림5에 나타나 있다. 균열수에 대한 B3(직

선 강섬유) 커브 와 B6(후크 처리된 강섬유) 커브의 비교를 통해 상이한 섬유종류의 효과를 볼 수가 있다.

하중레벨 σ_v 하에서 균열수의 증가는 40%~100%을 나타내고 있다. 각각의 균열폭 $w=0.10\text{mm}$ 에 도달 할 경우 균열수를 관찰하면 300%와 700%사이 에 증가를 보여주고 있다.

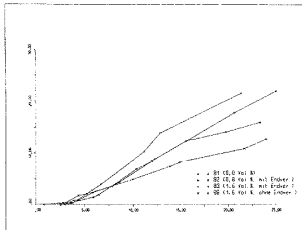


그림 5. 균열수-처짐곡선에 대한 강섬유혼입량 및 종류의 영향

4. 결론

실험결과의 도움으로 쉘 하중 하에서 철근콘크리트보에 강섬유의 보강은 마크로 균열형성에 긍정적인 영향을 끼친 사실이 입증되었다. 강섬유혼입량과 강섬유형태의 선택은 균열반응에 대하여 충분히 작은 균열폭과 증가된 균열수를 가져 다 준다. 그러나 증가되는 철근비에 대해서는 그 영향이 점차 감소된다. 스케치 된 그래픽 법은 DIN 1045으로 쉘 인장철근을 최대한 활용할 경우 허용균열 폭을 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 wassergefährdenden Stoffen, Teilbericht 3, DafStb, Heft 416, Berlin 1991.
3. Schuetgen, B.: Verhalten von Stahlfaserbeton, Darmstaeter Massivbau-Seminar 1990, Band 3.
4. DafStb-Richtlinie: Gebrauchsfähigkeitsnachweise fuer unbeschichtete Betonbauteile beim Umgang mit wassergefährden Stoffen, Entwurf, Stand 6/91.
5. Kang, B.S. Stahlfaserbeton und stahlfaserverstaerkter Stahlbeton unter Schwellbeanspruchung. Dissertataion, Ruhr-Universitaet Bochum, 1998.