

철도하중에 대한 콘크리트 슬래브궤도의 피로거동에 관한 실험적 연구

Experimental Investigation on Fatigue Behavior of Concrete Slab Tracks under Railway Loads

강 보 순*

Kang Bo-Soon

ABSTRACT

In this paper, fatigue behavior of concrete slab tracks under railway loads by experimental method is discussed. The addition of steel fibers to concrete mix has been receiving more attention as a way of improving the crack behavior of concrete beams and slabs tracks. This study has two objectives: 1) to observe the fatigue behavior of fiber reinforced concrete slab in labor, and 2) to present crack propagation and deflection of fiber reinforced concrete slab track under railway loads in the Waghäuser test line. Nine beams, two slabs and one test track were experimentally tested.

1. 서론

앞으로는 외국은 물론 국내의 교통 시스템은 200km/h를 넘는 고속철도가 수송에 큰 역할을 하게 될 것이다. 이와 같은 고속철도시스템의 여러 구성요소 중에 선로구조물에 대한 요구가 점차 증대되고 있다. 고속열차의 주행시 안정성, 내구성 및 부설에 따른 경제성 그리고 향후 유지관리 등의 측면에서 효과적이고 경쟁력 있는 슬래브 궤도가 비판적인 자갈선로의 대안이 될 수 있다.

차량이 고속화 될수록 침목 밑에 자갈의 반복되는 위치밀도는 궤도체에서 상이한 지점탄성발생을 발생시킨다. 주기적으로 반복되는 차량하중은 자갈마모와 골재의 위치변경을 가져온다. 자갈에 먼지가 쌓이면 급정거시 브레이크가 미끄러져 제기능을 못할 수 있다. 이러한 사실들은 궤도위치의 악화와 함께 승차감을 감소시키므로 유지관리비용의 증대뿐만 아니라 철도교통의 안정성과 신뢰성을 떨어 뜨리는 결과를 가져온다. 따라서 안정적이고 내구적이며 가능한 유지관리가 효율적인 궤도를 건설하기 위해 국내외에서는 콘크리트슬래브궤도의 개발에 꾸준한 연구가 진행되고 있다.

1977년에 독일 Karlsfeld에서 첫 슬래브 궤도 시스템이 건설되었다(그림1). 종방향 4.76m 길이, 횡방향으로 프리스트레스트된 제작 슬래브의 종방향 연결은 당시 슬래브에 보강되어 나온 종방향철근의 용접함으로써 성공적으로 수행되었다. 공용하중에도 불구하고 현재상태 하루에 거의 100,000하중 ton 과 거의 160km/h 속도의 Dachau-Karlsfeld에서 슬래브궤도 시스템은 기대에 부응하고 유지관리 장점을

* 경주대학교 건설환경공학부, 조교수

충분히 입증 해 주었다. 430m 길이의 시험구간에서 우수한 장기거동이 관찰되었다.

강섬유콘크리트는 특히 슛크리트와 산업슬래브포장과 같은 적용 분야에서는 벌써 주목할 정도로 성공적인 반면에 일반적인 건설실무에서는 적용가능성이 주로 경제적인 이유로 해서 지금까지는 부분적으로 제한되었다. 그러나 피로하중과 같은 동적하중이 작용하는 구조물에 대해서는 흥미로운 가능성을 열어 놓고 있다.

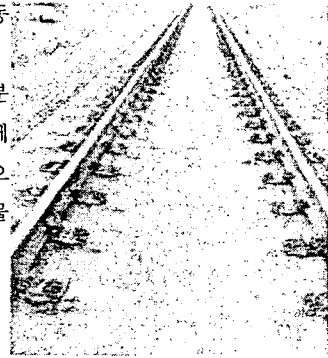


그림 1--- Karlsfeld 시험구간 (1977)

2. 동적거동을 위한 기본특성

2.1 사용피로하중에 대한 평균열 특성

강섬유 콘크리트슬래브케도를 위한 사용피로하중에 대한 강섬유철근콘크리트(SFRC)보의 사용성에 관한 실험적 기본연구로 균열발전을 다루었다. 사용된 실험변수로는 하중크기, 콘크리트강도 및 철근비 그리고 2가지 종류의 강섬유 및 혼입량을 선택하였다. 실험은 정적으로 최대사용하중까지 재하한 후 연속하여 각각 사용하중의 진폭에 따라 다량의 철근콘크리트 및 강섬유철근콘크리트 보를 피로하중하에서의 수행되었다.

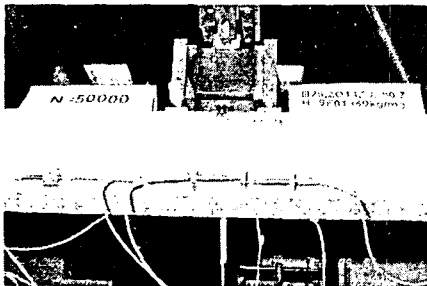


그림 2--- test set up

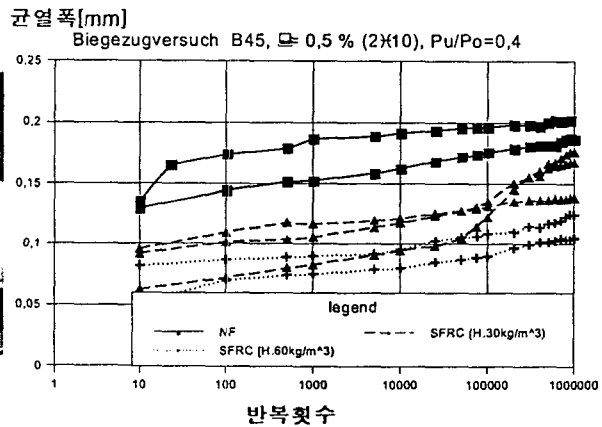


그림 3--- 반복횟수-균열발전에 관한 강섬유의 영향

그림3 에서는 사용피로하중에 대한 목표압축강도는 450 kg/cm^2 이고 철근비가 0.5%인 강섬유철근콘크리트보의 강섬유의 혼입량에 따른 균열특성을 잘 보여주고 있다. 강섬유 철근콘크리트보의 균열폭은 100만번의 반복하중이 재하된 후 일반 철근콘크리트보의 균열폭보다 평균적으로 강섬유 30kg/m^3 를 혼입할 때는 35%, 60kg/m^3 를 혼입할때는 45% 정도로 감소된다. 일반 콘크리트보의 경우 50만번 부터는 균열발전의 기울기가 작아지는데 이것은 단순히 콘크리트의 진동크리프에 의한 것으로만 볼 수 있다. 반면에 강섬유(Harex) 30kg/m^3 를 혼입할 때는 50만번 부터는 균열발전의 기울기가 증가하는데 그 이유는 강섬유와 콘크리트사이의 부차효과가 상실된 것으로 판단된다. 따라서 장기적인 균열제한에는 강섬유(Harex) 60kg/m^3 을 혼입하는 것이 적당한 것으로 판단된다.

3. 콘크리트슬래브케도의 피로성능

본 피로실험에서는 슬래브케도시스템의 최적화를 위해 3백만번의 사용반복하중을 슬래브에 재하시

졌다. 기존 철근콘크리트 슬래브와 추가적으로 강섬유 Dramix 50/0.6를 40kg/m^3 (0.5 Vol, %) 혼입한 강섬유철근콘크리트 슬래브가 연구되었다.

연구결과와의 하나로서 그림 4 에서 나타난 것처럼 철근콘크리트 슬래브레도가 사용피로하중에서 크게 증가되고 3백만의 반복하중 후에는 0.9mm 을 나타내는 반면에 강섬유철근콘크리트 슬래브의 균열폭은 0.2mm에 불과해 철도하중과 같은 공용기간에 주기적으로 반복되는 사용하중에 대한 고도의 요구를 만족시켜 주는 것을 알 수 있다.

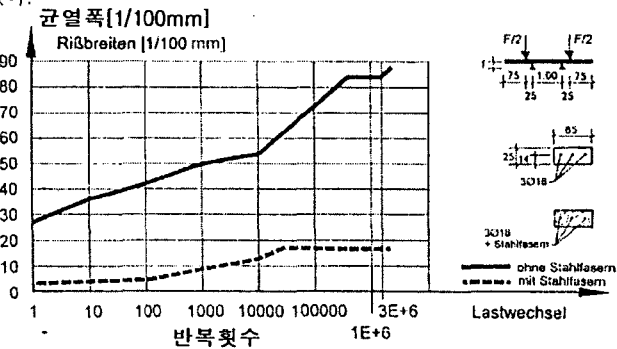


그림 4---콘크리트슬래브의 반복횟수에 대한 균열폭 진전

사용반복하중후에는 슬래브를 파괴 상태까지 재하시켰고 그결과가 그림 5에 나타나 있다. 강섬유혼보강으로 슬래브내하력이 320kN에서 490kN 증가는 물론 특히 사용하중범위에서 강섬유철근콘크리트 슬래브의 강성이 현저히 증가되는 현상을 볼 수 있다. 실무에서 이런 이유로 인해 강섬유철근콘크리트 슬래브는 지반관계에서 더 잘 어울리는 차별화를 비교할 수 있으며 그 외에도 보다 작은 균열폭으로 보통 철근콘크리트의 대책보다 더 우수한 사용성 거동을 나타낸다.

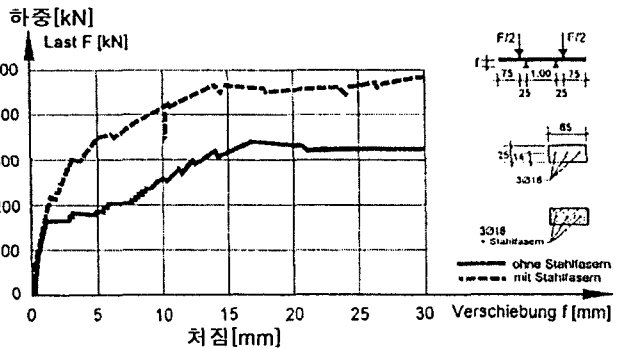


그림 5--- 강섬유철근콘크리트슬래브의 하중-처짐 곡선

3. Waghäuser 슬래브레도 시험구간

이러한 실험결과로 인해 130m 시험구간을 독일 Waghäuser에서 강섬유철근콘크리트로 제작할 수 있었다. 공용조건하에서 두 대책의 거동을 관찰하기 위해서 비교구간으로 130m 철근콘크리트구간과 함께 이 시험구간을 약 3년간 관찰하였다. 그림 6은 공용조건하에서 3년 동안 두 노선구간 위한 측정된 균열폭을 보여주고 있다. 그림 9에서는 강섬유를 혼입한 철근콘크리트 구간의 평균균열은 0.05mm 불과하고, 최대균열폭은 0.2mm를 나타냈다. 반면에 강섬유가 없는 철근콘크리트구간은 평균균열폭은 0.2mm이고 최대균열폭을 0.5mm였다.

강섬유를 혼입함으로써 이 제한된 균열폭 감소는 끝없는 철근콘크리트밴드의 사용성을 팔목 할만큼 향상시키고 내구성도 양호하게 한다. 계속되는 이런 방향에서의 연구는 더 나아가 철근량의 감소를 기대하게 된다. 첫번째로는 실제 차량이 운행되는 시험구간에서 적용하였다. Waghäuser에 강섬유철근콘크리트 시험구간에서의 연구는 실험실에서도 보여준 것처럼 혼합철근구상으로 특히 주기적으로 반복되는 하중 및 온도변화에 대한 균열폭 진전에 대하여 일반 철근콘크리트 슬래브레도보다 월등히 좋은 결과를 보여주었다. 중앙온도변화시의 균열도 0.2mm 아래로 작게 되어 그것은 곧 슬래브레도의 처짐이 계획한대로 아주 작아지게 결과를 낳게 된다.

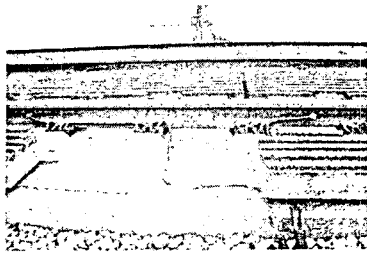


그림 8--- 슬래브케도 시험구간

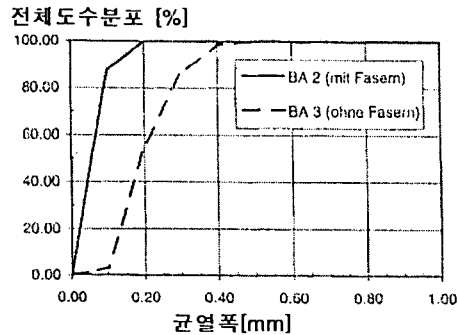


그림 9--- 2년 반 동안의 공용하중에 대한 전체 균열폭

연구는 실험실에서도 보여준 것처럼 혼합철근구상으로 특히 주기적으로 반복되는 하중 및 온도변화에 대한 균열폭 진전에 대하여 일반 철근콘크리트 슬래브케도보다 월등히 좋은 결과를 보여주었다. 중앙온도변화시의 균열도 0.2mm 아래로 작게 되어 그것은 곧 슬래브케도의 처짐이 계획대로 아주 작아지게 결과를 낳게 된다.

4. 실제시험구간 및 실험실에서 콘크리트 슬래브케도의 특성

시험구간 Waghäuser에서 지금까지 3년이 넘는 균열측정의 결과를 갖고 있다. 독일 철도청의 내부적 공용규정은 새로운 개발된 시스템일 경우 5년 동안 150만 ton하중집합에 대한 긍정적인 결과가 도출된다면 우선 사용될 수 있다고 명시하고 있다. 이러한 방침은 기본적으로 중요한 것으로 교통시스템에 대해서는 각 성분들이 확실하고 장기적인 검증은 필요로 한다.

몇 가지 대표적인 실험에 의해 온도변화 및 건조수축과정으로 인한 주기적인 반복하중에 대한 철근콘크리트와 특히 강섬유철근콘크리트의 거동이 지금 검증되고 있다. 3.5m길이 단면이 0.4x0.2m 철근콘크리트와 강섬유철근콘크리트로 된 슬래브가 변위제어로 0.5%는 정적으로 그리고 0.2%는 반복하중을 5Hz로 10만 번 재하 시켰다.

전형적인 실험결과인 그림10 에서와 같이 강섬유 40kg/m³을 혼합함으로써 균열폭 실제적으로 50%로 감소된다. 이 결과는 시험구간 Waghäuser에서도 실제조건하에 목표하는 결과 얻을 수 있었다.

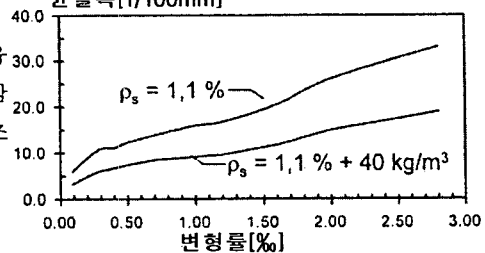


그림 10---강섬유철근콘크리트슬래브케도의 철근변형률에 대한 균열폭

5. 결론

- (1) 강섬유보강으로 슬래브 내하력이 320kN에서 490kN 증가로 증가된다.
- (2) 강섬유 40kg/m³을 혼합함으로써 슬래브케도의 균열폭이 실제적으로 50%로 감소된다.
- (3) 사용반복 횟수중하에서 철근콘크리트 슬래브 최대균열폭은 3백만의 반복하중후에는 0.9mm인 반면에 강섬유철근콘크리트 슬래브의 균열폭은 0.2mm에 불과하다.
- (4) 철도차량으로 인한 피로하중하에서 철근콘크리트에 보강된 강섬유는 뚜렷한 균열억제와 처짐이 감소 하여 공용기간에 강섬유철근콘크리트 슬래브케도의 사용성이 향상됨을 입증하였다.

참고문헌

1. Kang, B.S. : Stahlfaserbeton unter Betriebsbedingungen bei Dauerbeanspruchung, DFG Forschungsbericht Bewehrte Betonteile unter Betriebsbedingungen, Wiley-Vch, 2000