

새로운 슬래브궤도 개발을 위한 실험적 연구

Experimental Study on Development of A New Steel Fiber Concrete Slab Track

강 보 순*
Kang Bo-Soon

ABSTRACT

The Permanent Way consisting of rails and sleeper laid on ballast is a technically and economically viable solution. After two decades of targeted research and development activities Slab Track turned out to be a reasonable option on special fields. Slab Track proves that - especially under extreme condition and loads - they reliably help stability and a long service life of track. Technical and experimental solution of slab track are particularly underlined. This paper presents a few Results of the experiments of SFRC slab tracks under fatigue load.

1. 서론

앞으로는 우리 나라도 외국은 물론 국내의 교통 시스템은 200km/h를 넘는 고속철도가 수송에 큰 역할을 하게 될 것이다. 이와 같은 고속철도시스템은 구성된 궤도구조에 요구가 기존 궤도보다 점차 증대된다.

우리 나라는 슬래브궤도의 건설을 주로 터널 안으로 제한하지만 독일은 선로 제작을 위한 도상 궤도의 건설형태는 내구성이 좋은 콘크리트나 아스팔트와 같은 재료를 사용하여 자갈을 대체하고 있다. 고속 주행시 자갈궤도의 단점 -주기적으로 반복되는 동적 하중으로 자갈의 위치변화 및 부분적 파괴- 으로 인해 선로의 지점변형을 주어 승차감을 떨어뜨리고 마모를 유발시켜 유지관리시스템에 부정적 영향을 미치며 또한 급정차의 경우 자갈 및 비산이 바퀴에 튀어 안정성에도 문제를 발생시킬 수 있어 철도교통의 장점인 신뢰성과 정확성을 떨어뜨리는 결과를 가져올 수도 있다. 따라서 내구적이고 가능한 유지관리가 효과적인 선로를 건설하기 위한 대책이 필요하다.

슬래브궤도의 장점은 레일자체를 콘크리트 슬래브에 직접 체결하고 궤도의 강성을 높여 건설 후 유지보수비를 크게 감소시킬 수 있으며 빈번한 보수작업 없이 승객에 쾌적한 승차감을 제공하는 것이다. 슬래브궤도의 건설비용은 물론 지금은 자갈궤도보다 고가이나 계획된 50년 공용기간에 대한 제작비용 및 운용비용을 자세히 살펴보면 현저한 보수·보강비용의 절약하고 교통체증을 방지할 수 있어 오히려 큰 장점들을 가져다 준다. 본 연구에서는 새로운 슬래브궤도를 개발할 때 필

* 경주대학교 건설환경공학부 조교수

요한 먼저 휨시편의 기본적인 구조적인 성능 및 피로성능 실험 그리고 콘크리트슬래브의 구조적 성능 및 피로성능 실험 그리고 콘크리트슬래브의 구조적인 성능 및 피로성능의 향상을 위한 일례로 콘크리트에 강섬유를 보강하여 실제 열차하중 하에서 슬래브케도의 피로성능에 관한 연구결과를 보여준다.

2. Karlsfeld에서 첫시공과 슬래브 케도의 발전

1977년에 Karlsfeld에서 첫 슬래브 케도 시스템이 건설되었다(그림1). 종방향 4.76m 길이, 횡방향으로 프리스트레스된 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 슬래브케도 시스템은 기대에 부흥하고 유지 관리 장점을 충분히 입증 해 주었다. 430m 길이의 시험구간에서 우수한 장기거동이 관찰되었다.

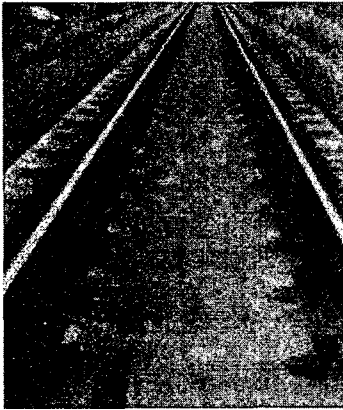


그림 1. Karlsfeld 시험구간

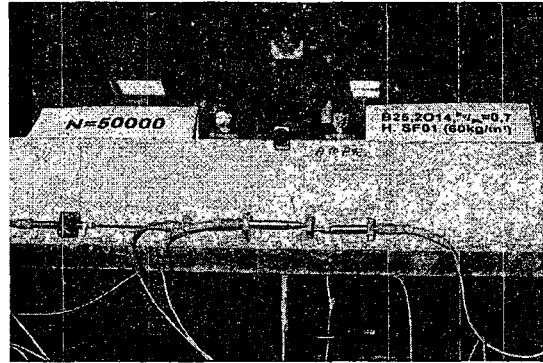


그림 2. 휨시편의 test set up

2. 실험

2.1 사용피로하중에 대한 강섬유 콘크리트보의 균열 및 강성거동

다음에는 강섬유 콘크리트 슬래브케도를 위한 사용피로하중에 대한 강섬유 철근콘크리트 (SFRC)보의 사용성에 대한 실험적 기본연구로 균열발전 및 강성변화를 다루었다. 사용된 실험변수로는 하중크기, 콘크리트강도 및 철근비 그리고 2가지 종류의 강섬유 및 혼입량을 선택하였다. 실험은 정적으로 최대사용하중까지 재하한 후 연속하여 각각 사용하중의 진폭에 따라 112개의 철근콘크리트 및 강섬유 철근콘크리트보를 피로하중 하에서의 수행되었다.

그림3에서는 사용피로하중에 대한 목표압축강도는 450 Kg/cm^2 이고 철근비가 0.5%인 강섬유 철근콘크리트보의 강섬유의 혼입량에 따른 균열특성을 잘 보여주고 있다. 강섬유 철근콘크리트보의 균열폭은 100만 번의 반복하중이 재하된 후 일반 철근콘크리트보의 균열폭보다 평균적으로 강섬유 30 Kg/m^3 를 혼입할 때는 35%, 60 kg/m^3 를 혼입할 때는 45% 정도로 감소된다. 일반 콘크리트보의 경우 50만 번부터는 균열발전의 기울기가 작아지는데 이것은 단순히 콘크리트의 진동크리프에

의한 것으로만 볼 수 있다. 반면에 강섬유(Harex) 30Kg/m³을 혼입할 때는 50만 번부터는 균열발전의 기율이 증가하는데 그 이유는 강섬유와 콘크리트사이의 부착효과가 상실된 것으로 판단된다. 따라서 장기적인 균열제한에는 강섬유(Harex) 60Kg/m³을 혼입하는 것이 적당한 것으로 판단된다.

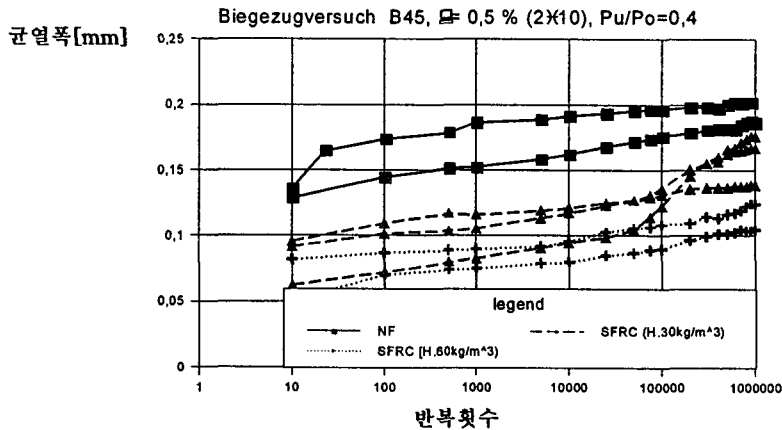


그림. 3 균열발전-반복횟수에 대한 강섬유의 영향

Dyn. EI[MNm²]

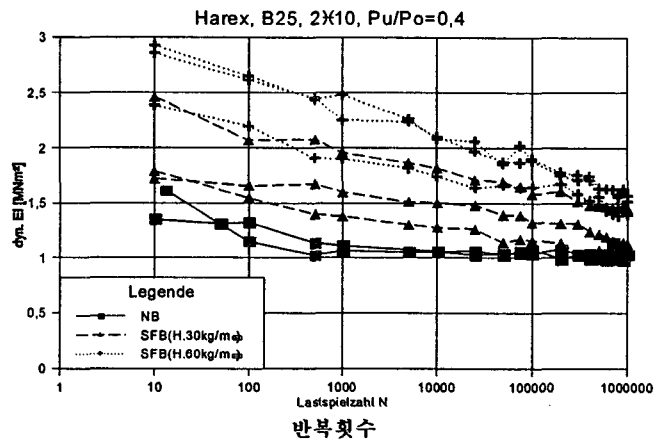


그림. 4 강성변화-반복횟수에 대한 강섬유의 영향

그림4는 사용피로하중에 대한 목표강도는 300 Kg/cm² 이고 철근비가 0.5%인 강섬유 철근콘크리트의 강섬유의 혼입량에 따른 강성의 변화를 나타내고 있다. 일반 철근콘크리트보의 경우에는 반복횟수1000부터 100만 번까지는 동적강성의 변화가 미세하다. 그 원인은 하중이 재하되고 연속적인 균열측정을 위해 LVDT가 설치된 중앙부 즉, 최대모멘트가 작용하는 부분에 사용하중범위에서는 실제적으로 강성이 더 이상 감소되지 않는 것으로 판단된다. 반면에 강섬유 철근콘크리트보의 강성은 계속되는 균열발전으로 인해 거의 일정하게 감소하는 것을 볼 수 있다. 100만 번의 반복하중이 재하된 후 일반 철근콘크리트보의 강성보다 평균적으로 강섬유 30kg/m³을 혼입할 때는 20%, 60kg/m³를 혼입할 때는 50% 정도로 증가된다.

2.2 사용피로하중에 대한 강섬유 콘크리트 슬래브의 균열 및 처짐거동

본 연구에서는 슬래브레도시스템의 최적화를 위해 3백만번의 사용반복휨하중을 슬래브에 재하시켰다. 기존 철근콘크리트 슬래브와 추가적으로 강섬유 Dramix 50/0.6를 40kg/m^3 (0.5 Vol, %) 혼입한 강섬유 철근콘크리트 슬래브가 연구되었다.

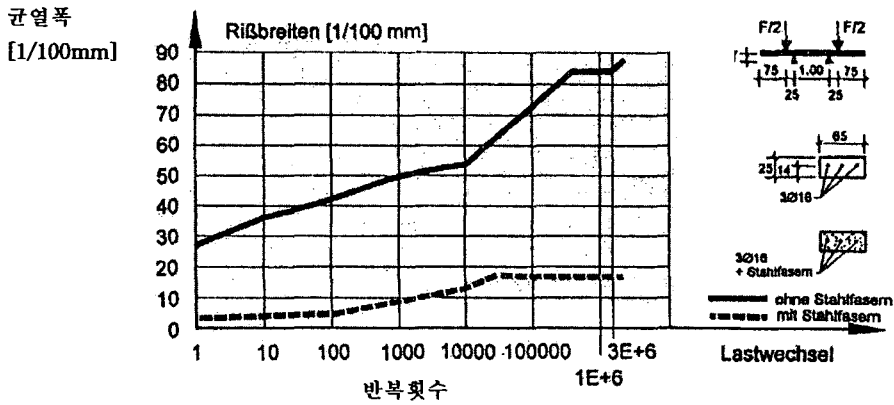


그림 5. 강섬유콘크리트 슬래브의 반복횟수에 대한 균열폭 진전

연구결과는 그림5에 나타나 있다. 그림3은 철근콘크리트 최대균열폭은 사용반복 휨하중하에서 크게 증가되고 3백만의 반복하중 후에는 0.9mm을 나타내는 반면에 강섬유 철근콘크리트 슬래브의 균열폭은 0.2mm에 불과해 높은 요구를 만족시켜준다.

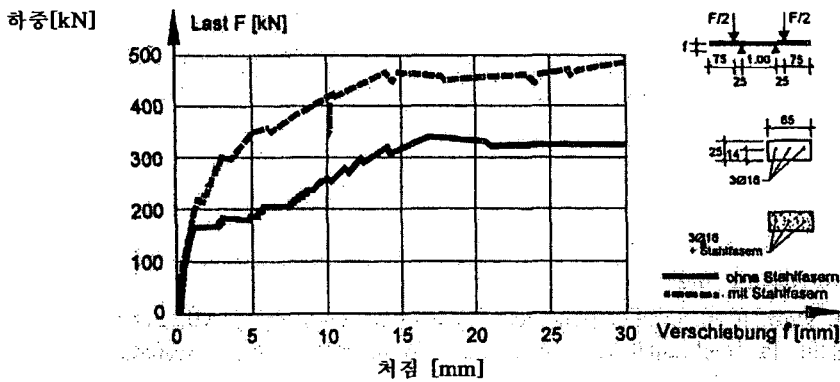


그림 6. 강섬유콘크리트 슬래브의 반복횟수에 대한 처짐

사용반복하중 후에는 슬래브를 파괴상태까지 재하시켰고 그 결과가 그림4에 나타나 있다. 강섬유보강으로 슬래브 내하력이 320kN에서 490kN 증가는 물론 특히 사용하중범위에서 강섬유 철근콘크리트 슬래브의 강성이 현저히 증가되는 현상을 볼 수 있다. 실무에서 이런 이유로 인해 강섬유 철근콘크리트 슬래브는 지반관계에서 더 잘 어울리는 차별화를 비교할 수 있으며 그 외에도

보다 작은 균열폭으로 보통철근콘크리트의 대책보다 더 우수한 사용성을 나타낸다.

3. Waghäuser계도 시험구간

과감한 이 실험결과로 인해 130m 시험구간을 독일Waghäuser에서 강섬유 철근콘크리트로 제작할 수 있었다. 공용조건하에서 두 대책의 거동을 관찰하기 위해서 비교구간으로 130m 철근콘크리트구간과 함께 이 시험구간을 약 3년간 관찰하였다.

그림7은 공용조건하에서 3년 동안 두 노선구간 위한 측정된 균열폭을 보여주고 있다. 그림5에서는 강섬유를 혼입한 철근콘크리트 구간의 평균균열은 0.05mm불과하고, 최대균열폭은 0.2mm를 나타냈다. 반면에 강섬유가 없는 철근콘크리트구간은 평균균열폭은 0.2mm이고 최대균열폭을 0.5mm였다. 강섬유를 혼입함으로써 이 제한된 균열폭의 감소는 끝없는 철근콘크리트밴드의 사용성을 팔목할만큼 향상시키고 내구성도 양호하게 한다. 계속되는 이런 방향에서의 연구는 계속해서 철근량의 감소를 기대하게 된다. 첫 번째로는 시험구간에서 적용하였다. Waghäuser에 강섬유 철

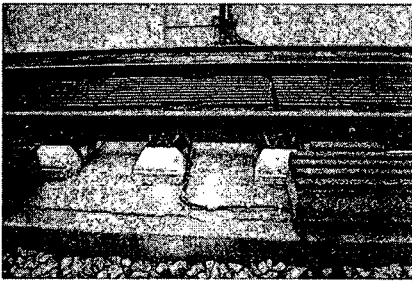


그림 7. 시험구간의 슬래브계도

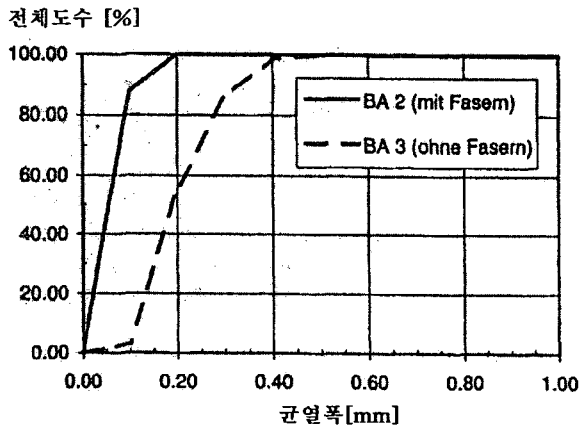


그림 8. 2년 반 동안의 공용하중에 대한 전체 균열폭

근콘크리트 시험구간에서 연구는 실험실에서도 보여준 것처럼 혼합철근구상으로 특히 주기적으로 반복되는 하중 및 온도변화에 대한 균열폭 진전에 대하여 일반 철근콘크리트 슬래브계도보다 월등히 좋은 결과를 보여주었다. 중앙온도변화시의 균열도 0.2mm 아래로 작게 되어 그것은 곧 슬래브계도의 변위가 계획한대로 아주 작아지게 결과를 낳게 된다.

4. 실제현장 및 실험실에서 슬래브계도의 특성

시험구간 Waghäuser에서 지금까지 3년이 넘는 균열측정의 결과를 갖고 있다. 독일철도청의 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 검증을 필요로 한다.

몇 가지 대표적인 시험에 의해 온도변화 및 건조수축과정으로 인한 주기적인 반복하중에 대한

철근콘크리트와 특히 강섬유 철근콘크리트의 거동이 지금도 검증되고 있다. 3.5m길이 단면이 0.4x0.2m 철근콘크리트와 강섬유 철근콘크리트로된 슬래브가 변위제어로 0.5%는 정적으로 그리고 0.2%는 반복하중을 5Hz로 10만 번 재하시켰다.

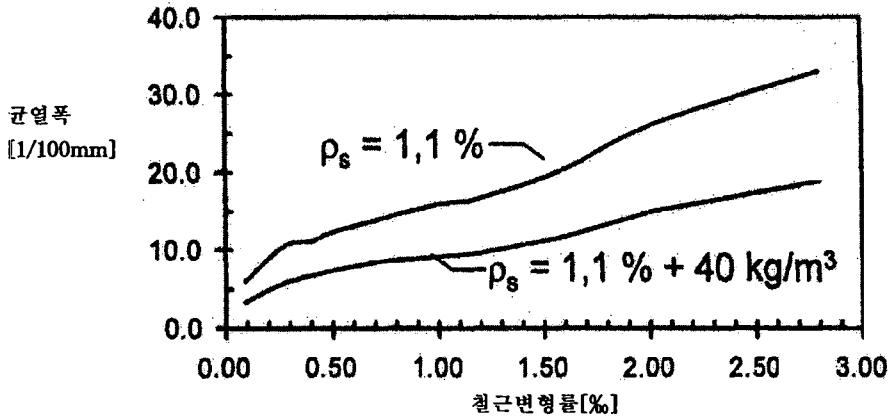


그림 9. 강섬유 철근콘크리트슬래브케도의 철근변형률에 대한 균열폭

전형적인 실험결과가 그림9에 나타나 있다. 강섬유 40Kg/m³을 혼입함으로써 균열폭 실제적으로 50%로 감소된다. 이 결과는 시험구간 Waghäuser에서도 실제조건하에 목표하는 결과 얻을 수 있었다.

5. 결론

- 강섬유보강으로 휨시편의 균열폭이 백만번의 사용반복하중 후 45%정도까지 감소된다.
- 강섬유보강으로 휨시편의 강성이 백만번의 사용반복하중 후 50%정도까지 증가된다.
- 강섬유보강으로 슬래브 균열폭이 3백만의 사용반복하중 후 0.9mm에서 0.2mm로 감소된다.
- 강섬유보강으로 슬래브 내하력이 320kN에서 490kN 증가로 증가된다.
- 강섬유보강으로 슬래브 균열폭이 3백만의 사용반복하중 후 0.9mm에서 0.2mm로 감소된다.
- 강섬유 40Kg/m³을 혼입함으로써 슬래브케도의 균열폭이 실제적으로 50%로 감소된다.

실무적인 슬래브케도 설계에서 철근콘크리트에 강섬유를 보강함으로써 실제 공용조건에서의 다양한 반복되는 사용하중에 대해 뚜렷한 균열억제 및 처짐 감소를 현실화시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] Oberweiler, G. und Osswald, R : "Die Forschungsprojekte zur Entwicklung der Festen Fahrbahn" ETR 41 (1992), H. 11
- [2] Kang, B.S. : Stahlfaserbeton und stahlfaserverstärkter Stahlbeton unter Schwellbeanspruchung. Dissertataion, Ruhr-Universität Bochum, 1998
- [3] Kubat, B : Ermüdungsfestigkeit u. Traglast vorgespannter Platten aus Stahlfaserbeton Braunschweiger Bausemir 1993, Heft 105