

도시철도 시험선 구간에서의 포장궤도 시험부설 및 성능평가

Construction and Evaluation of the Paved Track on Test Line

이일화* 심재규** 이춘호*** 박균서**** 류경식*****
Lee Il-Wha Shim Jae-Gyu Lee Choon-Ho Park Kyun-Seo Ryu Kyoung-Sik

ABSTRACT

Recently, the development of the paved track is required as a low-maintenance of conventional line. The main reason is that the line capacity and bearing of track are increased progressively. The important factors of paved track are stability and applicability. To be based on this subject, Cement Mortar Pouring(CMP) paved track is developed. CMP paved track is a kind of ballast reinforced track using the prepacked concrete technique. The most important thing to design the paved track is to optimize the track structure considering various conditions. In this study, the CMP track is constructed(30m) on a test line and the track performance tested by running train to evaluation the capability and workability. The track performance are tested to confirm the vibration acceleration of the car body, wheel and track, accumulated settlement, track irregularity and crack of surface.

1. 서론

포장궤도는 일정 도상자갈층을 시멘트모르터 주입 등의 방법으로 콘크리트 슬래브화(化)시키는 공법이라 할 수 있다. 주 목적은 열차 운행에 지장을 주지 않으면서 도상구조를 개선하여 기존선의 유지보수업무를 획기적으로 감소시키는데 있다. 현재 포장궤도 구성품에 대한 개발은 완료되었으며, 시험부설을 통하여 성능을 검증하고 현장 적용성을 개선하고 있다. 포장궤도 시험부설은 2005년부터 7회 걸쳐 수행되었는데 초기에는 단순한 재료시험이 목적이었으며, 그 이후 공정 확보, 시공장비 개선 등을 위하여 다양한 현장에서 시험부설을 수행하였다. 본 시험은 부산교통공사 관할 시험선에서 수행되었으며, 주요 시험 항목은 궤도 및 차량의 진동가속도, 누적침하량, 궤도틀림, 균열 등으로서 연속적인 상태의 평가를 통하여 주행 안정성을 검토하였다.

2. 시험부설

시험선에서의 부설 목적은 차량운행구간에서 열차주행에 따른 포장궤도의 성능을 평가하기 위함으로서 운행빈도는 낮으나 시험의 편리성 및 접근성 등을 고려하여 실시하였다. 주요 시험대상은 시공이음매부와 자갈도상궤도와의 접속부에 대한 평가로서 구조해석 및 반복재하시험 등을 통하여 성능을 평가하였으나, 이동하중에 대한 검토가 요구되어 시험부설을 실시하게 되었다. 적용된 표준도와 단계별 시공 전경 및 순서를 그림 1과 그림 2에 나타내었다.

* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정회원

E-mail : iwlee@krri.re.kr

Tel : (031)460-5326 Fax: (031)460-5319

** 부산교통공사 토목건축팀 팀장, 정회원

부산교통공사 토목건축팀 차장, 정회원

부산교통공사 토목건축팀 대리, 정회원

부산교통공사 토목건축팀 주입, 정회원

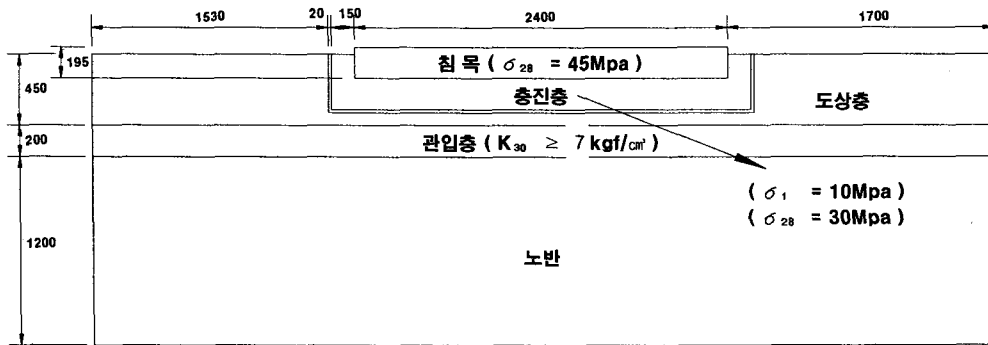


그림 1. 포장케도 표준도



그림 2. 시험부설 순서

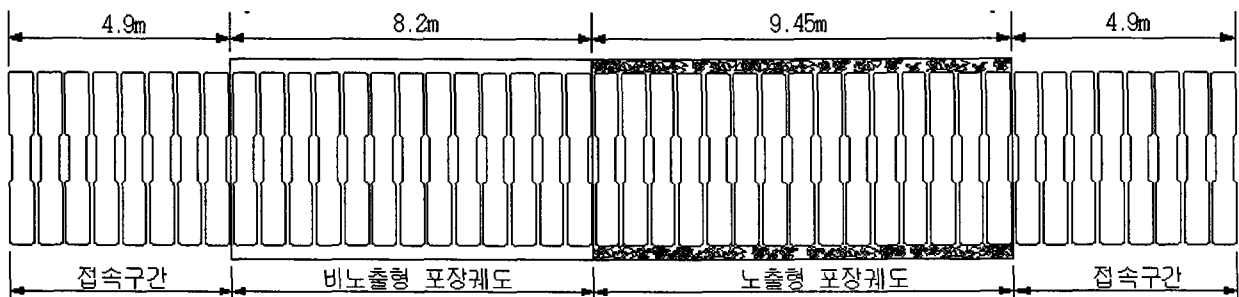


그림 3. 시험부설 구간의 구성

현장의 노반조건은 K_{30} 값이 7kg/cm^3 이하로 지지력이 낮은 것으로 조사되었다. 부설 구간은 그림 3과 같이 자갈이 노출되는 표면노출형과 기존 콘크리트케도와 같이 표면 미장처리를 한 표면폐쇄형 그리고 자갈도상케도와 접속구간의 3가지로 구분 할 수 있다. 표면노출형은 기본모델로서 주행구간용이며, 소음저감효과가 있으나 마감면이 깨끗하지 못한 단점이 있다. 표면폐쇄형은 자갈위로 완전히 모르

터가 충전되는 형태로서 미관이 수려하고 유지관리가 쉬우나 시공조건에 따라 균열이 발생할 가능성이 있다. 자갈도상궤도와 접속구간은 포장궤도용과 동일한 대형침목과 체결구를 사용하였으며, 베이스플레이트 패드를 다소 강성이 높은 것을 적용하였다. 시공연장은 양 끝단 접속구간 4.9m×2개소, 포장궤도가 표면노출형 8.2m, 표면폐쇄형 9.5m 이다.



(a) 표면노출형 포장궤도



(b) 표면폐쇄형 포장궤도

그림 4. 시공된 포장궤도 형식

3. 진동가속도 측정 결과

포장궤도 시공후 열차주행의 의해 발생하는 진동의 물리적 양을 검토하기 위하여 궤도에서의 진동가속도와 차체 및 윤축에서의 진동가속도를 측정하였다. 시험선에서의 측정값은 본선에서의 측정값과는 차이가 있을 수 있으나 포장궤도의 정성적 평가를 위하여 수행하였다. 시험차량은 부산지하철 1호선 통근형 직류전동차이며, 시험속도는 50km/h이다.

3.1 침목 수직진동가속도

궤도진동 가속도에 대한 객관적 평가를 위하여 대형침목의 중앙에 8개의 가속도계를 그림 5와 같이 부착시켜 수직방향 진동가속도를 측정하였다. 진동가속도는 측정위치에 대해 최고속도(50km/h)로 운행하는 시험운행 열차를 대상으로 측정하였다. 측정은 각 위치별 특성을 파악하기 위하여 시공이음매부, 포장궤도부, 포장궤도/자갈도상궤도 접속부로 나누어 측정하였다. 그림 6은 열차 주행시 8개의 측정위치(그림 5)

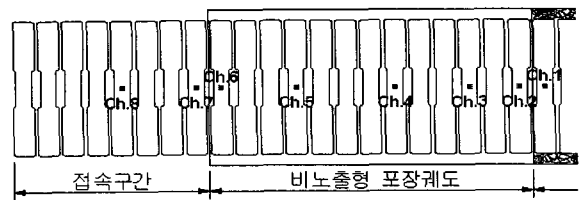


그림 5 가속도계 부착 위치(Ch.1~8)

에서 얻은 진동가속도 값이다. 진동가속도값은 Req 또는 RMS 값을 사용하여야 하나 기존 자료들이 대부분 최대값을 사용하였기 때문에 상대 비교를 위하여 본 계측에서도 최대값을 기준으로 판단하였다. Ch.1은 시공이음매부로서 노출형과 폐쇄형의 중간에 위치한다. 진동가속도값은 1.8g로서 비교적 큰 값이 나타났는데, 이는 동일위치의 테르밋 용접부의 영향이다. Ch.2~6은 폐쇄형 포장궤도 내에 위치한 지점으로 진동가속도값은 0.4g 이내인 것으로 측정되었다. 일반적인 지하철 콘크리트궤도의 진동가속도값이 0.6~0.8g인 것을 감안할 때 다소 작은 값으로 나타났는데, 이는 시공직후이고 공차상태 및 저탄성패드의 적용이 원인인 것으로 판단된다. Ch.7, Ch.8은 자갈도상궤도와 포장궤도의 접속구간으로서 포장궤도 대형침목을 이용하여 완충구간을 시공하였다. 진동가속도값은 최대값을 기준으로 1.5~2.4g로 측정되었는데 일반적인 자갈도상궤도 침목의 진동가속도값이 1~6g 인 것을 감안하면 다소 작은 것을 알 수 있다. 적절한 다짐작업이 수반된다면 더 감소할 것으로 판단된다.

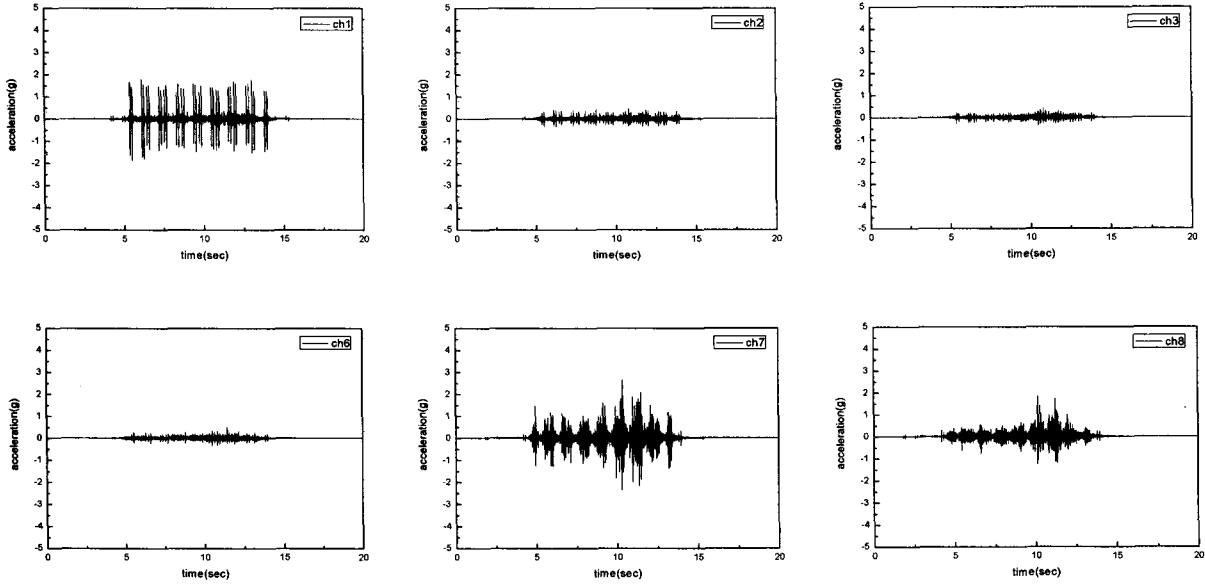


그림 6. 각 침목위치에서의 수직진동가속도

3.2 차체 수직진동가속도

차량내의 승차감과 포장궤도의 주행성능을 평가하기 위하여 차체 진동가속도를 측정하였다. 승차감에 대한 평가는 3축에 대한 진동가속도에 대한 측정결과를 누적빈도로 분석하여야 하나, 본 측정에서는 시험선의 여건상 왕복주행시 4회 측정된 수직방향 진동가속도 값만 사용하였다. 측정은 민감도를 높이기 위하여 가속도계를 대차중심의 차체바닥(출입문 바닥)에 부착하여 측정하였다.

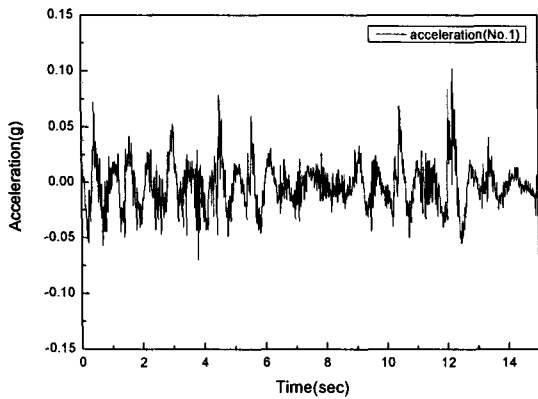


그림 7. 전체구간에서의 차체가속도

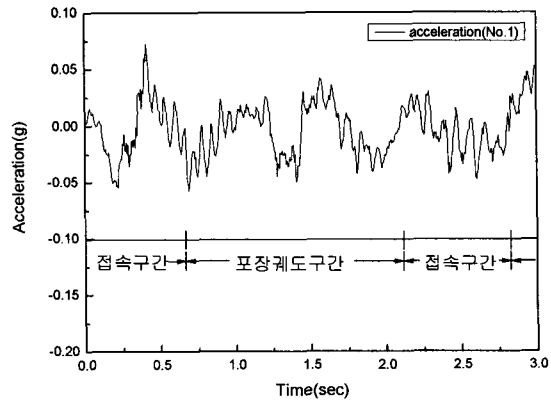


그림 8. 포장궤도구간에서의 차체가속도

그림 7은 시험주행구간 중 40km/h이상의 속도가 확보되는 구간에서의 공차시 차체가속도를 측정해서 얻은 결과값이다. 진동가속도에서는 낮은 주행속도와 저중량 등으로 인하여 약 0.1g이하로 측정되었으며, 주파수영역에서는 약 2Hz, 6.5Hz, 16Hz가 탁월한 것으로 나타났는데, 주로 정척레일의 이음매부와 차량 제원의 영향인 것을 알 수 있다. 그림 8은 포장궤도구간에서의 가속도 값으로서 양쪽 접속구간이 포함되어 있다. 포장궤도 구간의 최대가속도값은 0.05g 정도이며, 접속부에서는 약 0.07g정도를 나타내고 있다. 통상적으로 접속구간에서의 제한값이 0.13g 정도이기 때문에 현재까지의 가속도값은 양호한 수준인 것을 알 수 있으며, 접속구간의 다짐관리만 충분하다면 안정적인 궤도상태를 유지

할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 윤축 수직 및 수평 진동가속도

차량의 주행성능으로 궤도를 평가하기 위하여 차체가속도를 측정하였으나, 궤도상태에 대한 구분이 어려워 윤축상에 수직 및 수평가속도계를 부착하고 측정하였다. 그림 9는 포장궤도 구간에서의 윤축상 수직가속도와 수평가속도를 나타낸 그림이다. 그림에서 첫 번째 피크는 용접부의 영향이며, 두 번째 피크는 신축이음매부의 영향이다. 또한 수평가속도 측정결과에서 두 피크사이의 정현파 형상은 접속부의 영향이다.

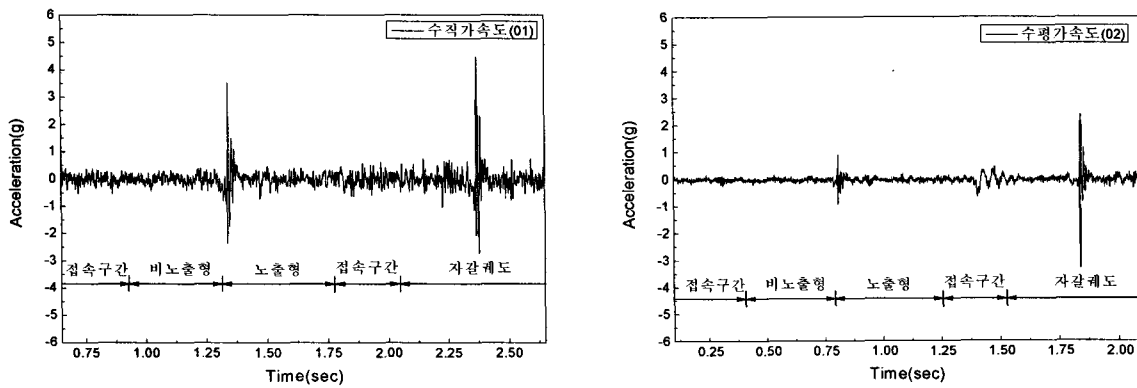


그림 9. 포장궤도 구간에서의 윤축상 수직 및 수평 가속도

4. 균열조사 결과

일반적으로 콘크리트궤도에서 구조적 균열이 아닌 경우, 일정 범위(0.3-0.5mm)까지는 허용하고 있지만, 포장궤도에서는 균열발생 억제를 목표로 연구를 진행중이다. 표면노출형의 경우, 초기 균열이 발생하였지만, 주입장비의 개량 및 공정개선을 통하여 개선하였으나 표면폐쇄형의 경우, 건조수축균열이 크게 발생하였다. 균열의 특징은 시공이후 양생기간(1-2개월) 동안 균열이 발생하며 진행성을 보였다. 조사는 균열이 발생한 길이와 폭을 확인하였으며, 진행상황을 추적하였다. 전체 구간중 0.3mm이상의 균열 위치가 26개소였으며, 미세균열들이 큰 균열 사이에서 발달하였다. 균열의 발생은 우선 침목의 격임각부에서 발생하여 구속력이 약한 종방향으로 발생한 후, 횡방향으로 발달하였다. 표면폐쇄형에서 균열이 발생하는 원인은 표면노출형에서는 전혀 균열이 발생하지 않은 것으로 판단할 때 모르터의 건조수축 때문인 것으로 판단된다. 재료적 측면에서 균열억제는 어렵기 때문에 습윤양생과 줄눈 등으로 수축발생을 억제할 수 있을 것으로 사료된다.

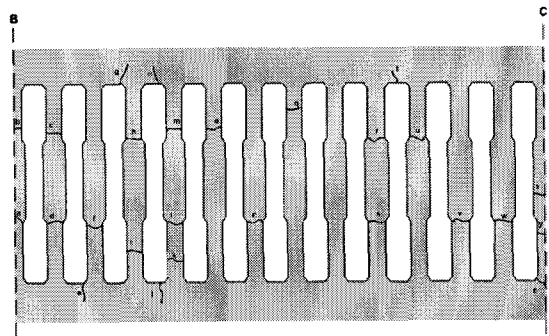


그림 10. 표면폐쇄형 구간에서의 균열도

5. 침하량 측정 결과

침하 측정은 접속구간 및 포장궤도 전구간에 대하여 시간의 경과 및 차량의 반복하중으로 인한 궤도의 누적침하량을 평가하기 위하여 실시하였다. 측정은 포장궤도 시공 2주 후, 1차 측정(2007/6/13)을 하고 35일 후 2차 측정(2007/7/18)을 하였다. 그림 11은 각 침목위치에서 침하량을 측정한 값으로서 1차 측정과 2차 측정을 비교해 보면 평균적으로 0.702mm의 침하가 발생하였으며, 접속구간에서의 평

균 침하량은 1.05mm로 포장궤도 구간보다 다소 크게 측정되었다.

6. 궤도틀림 측정

궤도 선형의 변형정도를 확인하기 위하여 선형 검측을 시행하였다. 정밀선형 계측장비(Track Master)에 의한 1차 계측을 7월 18일 실시하였는데 절대값의 크기는 의미가 없으며, 추후 추가 계측을 통하여 계측기간 동안의 변화를 검토할 계획이다.

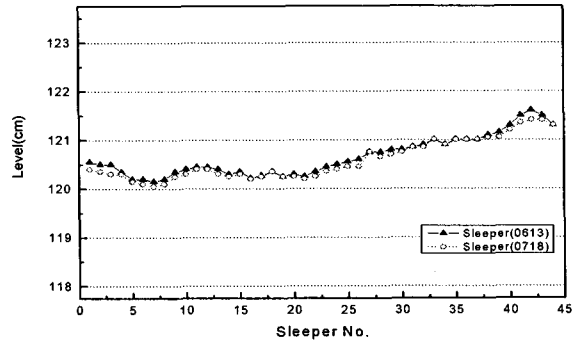
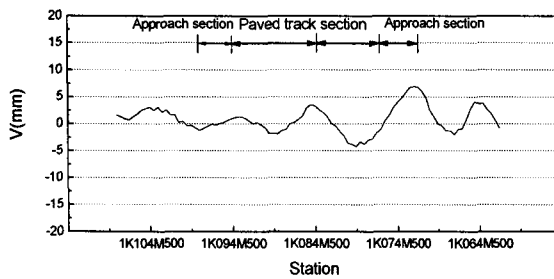
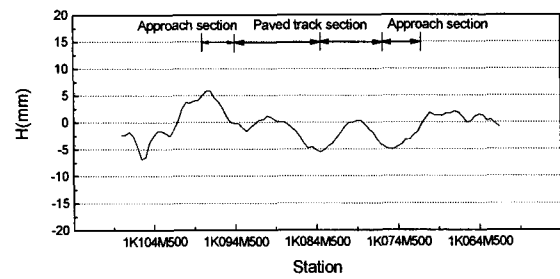


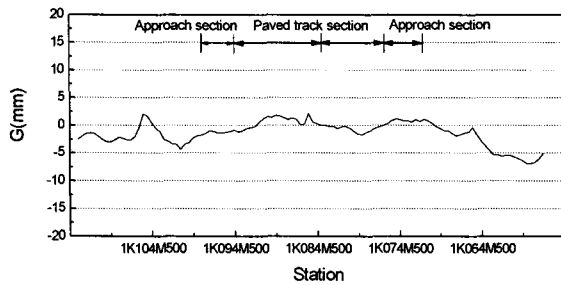
그림 11. 포장궤도 레벨 측정값



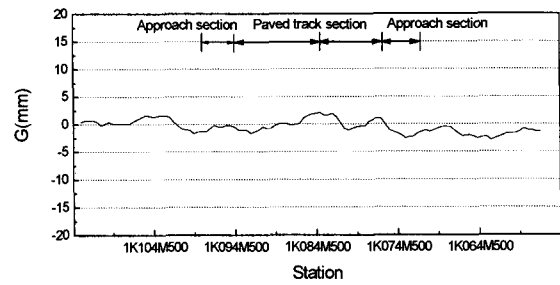
(a) 줄틀림



(b) 면틀림



(c) 캔트



(d) 궤간

그림 12. 궤도틀림 측정 결과

7. 결론

이동하중에 대한 포장궤도 성능을 평가하기 위하여 실시한 차체, 윤축 및 궤도가속도, 궤도틀림, 누적침하량에 대한 검토 결과, 기존 자갈도상궤도에 비하여 주행안정성은 안정적인 상태인 것으로 판단된다. 표면 균열 문제는 재료 및 단면 자체의 특수성으로 인하여 발생이 불가피한 것으로 판단되지만, 피막양생제, 습윤양생 및 줄눈 등으로 균열 억제가 가능할 것으로 판단되며, 이를 위한 공정개선을 실시할 계획이다.

참고 문헌

1. "기존선 도상자갈궤도 생력화를 위한 포장궤도개발[시멘트모르타충진형]"(2006), 한국철도기술연구원.
2. "지하철 궤도시설 안전성 확보방안에 대한 연구(2002)", 한국철도기술연구원.