

도시철도 본선 토공구간에서의 포장궤도 시험부설

Test Construction of the Paved Track at Subway Main Line

이일화* 강윤석* 공선용** 김상진*** 이순구**** 정연식*****
Lee Il-Wha Kang Yun-Suk Kong Sun-Yong Kim Sang-Jin Lee Shun-Gu Jung Yun-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 type paved track is developed. The paved track is a kind of concrete track using the prepacked concrete technique. The most important thing to design the paved track is to optimize the track structure and materials considering various conditions. Until now, the paved track is verified a various material and structure test. In this paper, it is introduce to the test construction at the urban subway main line. The test construction is completed at Dec. 2007. A major object and substance is a guarantee of construction progress on main line, track performance, construction technique for curved section, transition zone and winter season, recycling the used ballast and application of specific sleeper for sharp curved section.

1. 서론

포장궤도는 일정 도상자갈층을 시멘트모르터 주입 등의 방법으로 콘크리트 슬래브화(化)시키는 공법이다. 목적은 열차 운행에 지장을 주지 않으면서 궤도구조를 개선하여 기존선의 유지보수업무를 획기적으로 감소시키는데 있다. 현재까지 포장궤도는 다양한 시험부설을 통하여 성능을 검증하였으며, 본 논문에서는 도시철도 본선구간에서의 시험부설 내용을 소개하였다. 시험부설은 서울메트로 서울-남영역 구간에 2007년 12월 완료하였으며, 주요 목적 및 내용은 본선에서의 공정 확보, 포장궤도 성능 검증, 곡선부 시공방안 확보, 동절기 시공방안 확보, 재생자갈 활용, 급곡선용 침목의 적용성 확보, 접속부 처리방안 등이다.

2. 자갈도상 접속부 처리방안

포장궤도의 접속구간(자갈도상궤도)의 처리는 대형침목을 접속구간에 추가 부설하여 노반으로 전달되는 집중하중을 줄이는 방법이다. 또한 접속구간에 사용되는 탄성체감패드는 포장궤도용 체결구의 패드탄성계수(22.5kN/mm)보다 큰 값(75kN/mm)을 사용하여 궤도지지강성이 순차적으로 변화할 수 있도록 하였다. 해석모델은 그림 1과 같으며 궤도-차량 상호작용 해석프로그램인 TDYN A2를 사용

* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정회원
** 서울메트로 철도토목팀 팀장, 정회원
*** 서울메트로 철도토목팀, 정회원
**** 화성궤도 상무, 정회원
***** 쌍용양회기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원

하였다. 이 프로그램은 비선형 시간이력해석 동적해석수행과 침하로 인한 궤도틀림 진전 상태를 고려할 수 있다. 차량조건은 축중 150kN, 최고속도 80km/h로 주행할 때 그림 1의 해석조건에 대한 동적해석을 수행하였다.

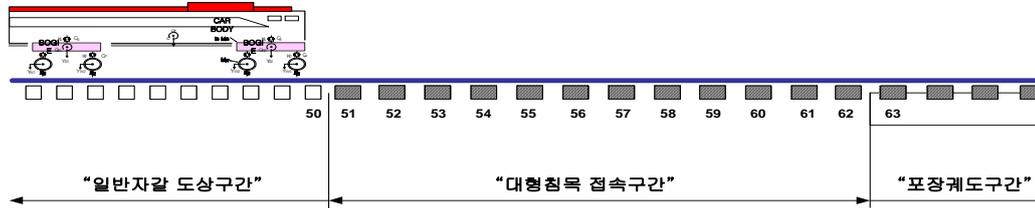


그림 1. 해석 궤도구조의 모형화

대표적 해석 결과로서 레일수직변위와 레일저부응력을 나타낸 것이 그림 2과 그림 3이다. 접속구간에서 수직변위가 완충되는 효과가 있는 것으로 나타났으며 레일저부응력은 탄성체감에 의해 점진적으로 변화하여 궤도지지강성을 줄여주는 것으로 나타났다. 윤증변동율, 윤증감소율, 부압력, 차체가속도에 대한 검토결과는 표 1과 같으며, 모두 기준값을 만족하는 것으로 나타났다.

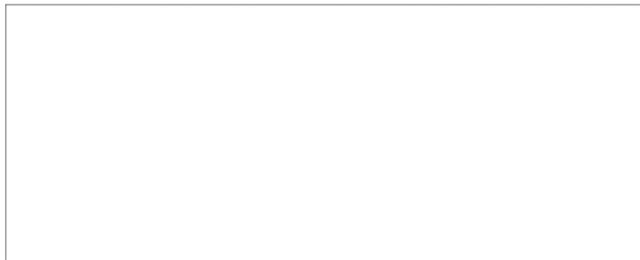


그림 2. 레일변위 해석결과

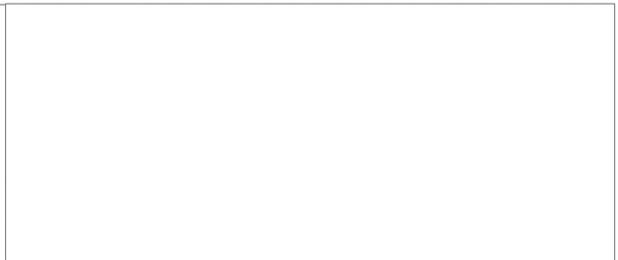


그림 3. 레일응력 해석결과

표 1. 접속구간의 해석결과 비교

구 분	윤증변동률 (무차원)	윤증감소율 (무차원)	레일응력 (MPa)	레일변위 (mm)	체결구 부압력 (kN)	차체가속도 (m/s ²)
기준값	0.19	0.10	90.0	3.0	체결력 70% =11.2kN	1.3
최대값	0.034	0.804	79.75	2.45	3.07	0.031
판 정	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K

3. 급곡선용 침목의 적용성

서울메트로의 경우, 급곡선 구간 주행시 궤도에 발생하는 각종 부담력으로 인해 빈번한 궤도틀림과 재료훼손 등이 발생되어 이에 대한 대책으로서 급곡선용 침목을 별도로 제작하여 교체하였다. 급곡선용 침목은 폭 300mm로 포장궤도용 침목(360mm)보다 작으며, 추후 포장궤도의 적용까지 고려하였다. 따라서 본 연구에서는 기 설치되어 있는 급곡선용 침목구간에서의 포장궤도 적용성도 확인하기 위하여 유한요소해석을 수행하여 침목의 폭에 따른 영향을 검토하였다. 검토는 대표단면을 중심으로 유한요소해석프로그램인 ABAQUS를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 단면의 구성은 3차원 선형탄성모델을 이용하였으며, 작용하중은 LS22를 사용하였다. 해석내용으로는 침목 폭에 따른 응력-변형 특성을 파악하기 위하여 기본 모델(360mm)과 급곡선용 침목(300mm)과 차이를 검토하였다.

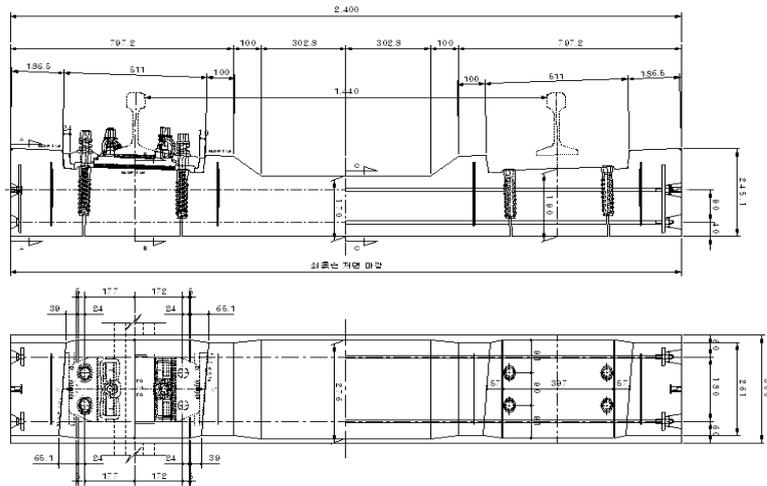


그림 4. 급곡선용(SKL12형) 침목

그림 5는 침목에 폭에 따른 측정위치별 수직응력을 비교한 그림이다. 침목을 제외한 측정위치에서는 최대응력값은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 침목의 경우, 360mm 침목은 171kg/cm², 300mm 침목은 198kg/cm²으로 침목폭이 감소함에 따라 약 15%의 응력증가가 발생하였다. 그림 6는 침목에 폭에 따른 포장케도의 측정위치별 수직변위를 비교한 그림이다. 레일을 제외한 측정위치에서는 변위차가 없는 것으로 나타났으며, 레일에서의 변위차도 오차범위인 것으로 판단된다. 검토결과, 구조해석적 차이는 크지 않는 것으로 평가되었지만 물리적 재료적 차이는 다소 크게 발생할 것으로 예상된다.

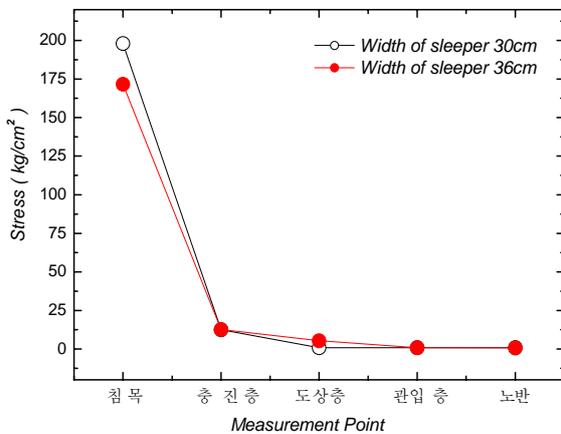


그림 5. 침목의 폭에 따른 응력 변화

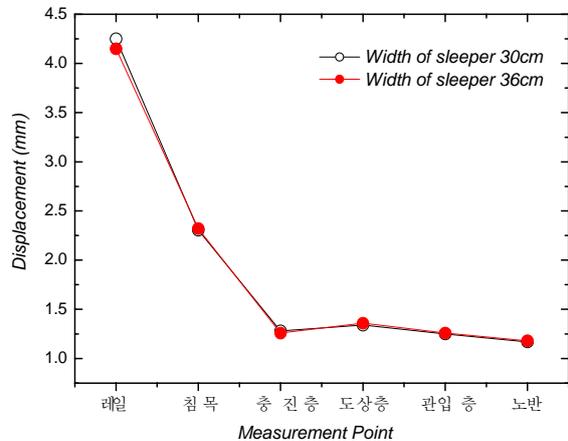


그림 6. 침목의 폭에 따른 변위 변화

4. 동절기 시공방안

포장케도 모르타 주입작업은 야간에 시행되는데 초봄이나 늦가을의 경우도, 야간온도가 영하로 내려가기 때문에 양생을 위한 적절한 조치를 취하여야 한다. 본 연구에서는 이를 감안하여 동절기용 배합을 별도로 개발하여 사용하였으며, 양생시 대기온도가 5°C이하일 경우, 별도의 BASCON-MF 한중공사 시공지침을 따르는 것으로 하였으며 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) BASCON-MF는 시공 당일의 기온을 감안하여, 최대한 보온 상태를 유지한다.
- 2) 혼합수는 당일 시공에 필요한 수량의 1.5배 이상을 준비하여야 하며, 수온은 반드시 시공시 배합수의 온도가 30~33°C가 유지될 수 있도록 관리하여야 한다.

- 3) 모르타르 주입시 외기온이 본 지침서에서 규정하는 온도 이하의 경우에는 응결조절제의 양을 조절 등의 조치를 취해야 하며, 이와 관한 사항은 현장 관리자의 지시에 따른다.
- 4) 재료의 특성상 급결성을 가지고 있으므로 내부와 외부의 온도차에 의한 균열을 방지하기 위하여 피막양생제를 도포한다.
- 5) 표면 마감처리 후 반드시 2시간 이상 양생을 실시한다.
- 6) 재료의 수화열이 외부로 방출되는 것을 방지하기 위하여 양생포 등을 설치하여야 하며, 온도가 급격히 낮아질 경우, 양생포 내부에 할로겐 램프 등을 설치하여 양생온도를 높여 주어야 한다.

5. 시험부설

2007년 상반기까지 재료 및 공정에 대한 개발은 완료하였으나, 본선 부설경험이 없었기 때문에 시간 및 공간상 제한조건에서의 공정을 확인하지 못하였다. 그래서 본선에서의 공정확보 및 실용성평가를 위하여 도시철도 구간 중 가혹조건하에서 시험부설을 추진하였다. 부설장소는 서울메트로 1호선 서울역-남영역 토공구간으로서 연간 통과통수가 가장 많으며 선로조건은 R700곡선부, 켄트 70mm, 슬랙 3mm, 차단시간 3시간이며 공정상 12월 야간에 모르타르를 타설하였다.

5.1 설계단면

시험부설구간의 표준단면은 그림 7, 부설구간은 그림 8과 같다. 부설구간은 크게 3가지 모델로 시공되었는데, 급곡선용 침목구간은 표면폐쇄형, 표준침목은 표면폐쇄형과 표면노출형으로 각각 부설되었다. 접속구간은 양쪽 끝단에 각 6m 씩 시공되었다.

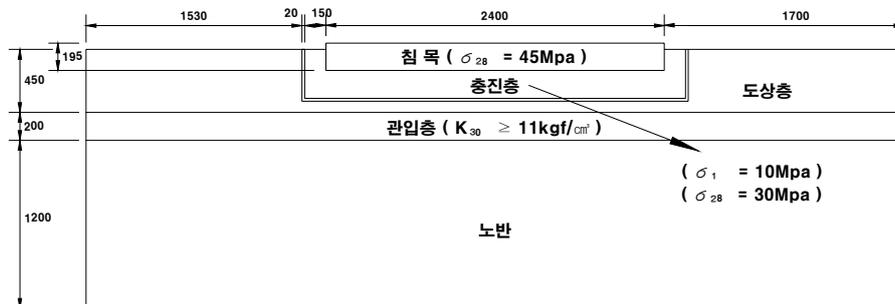


그림 7. 시험부설 구간의 표준단면

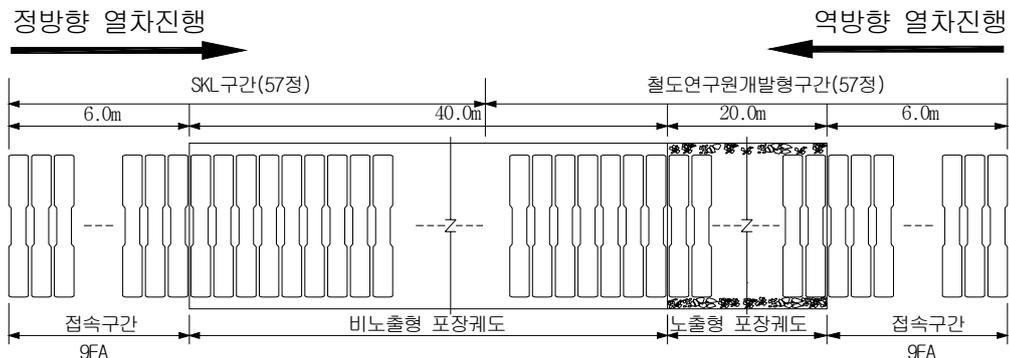


그림 8. 시험부설 구간의 구성

5.2 시공공정

시공공정은 그동안의 시험부설을 통하여 본선구간에 적합하도록 최적화된 공정을 적용하였으나 시공시간 및 공간상의 제약으로 인하여 당초 공정보다 다소 늦어졌다. 특히 현장까지의 이동시간때문에 모르터 주입시간이 30분 밖에 확보되지 않아 불가피하게 판넬 연장을 7.5m로 제한하였다. 가장 많은 시간이 요구되는 공정은 자갈 굴착 및 반출로 기계화장비 투입이 요구되며, 각 공정별로도 추가 개선이 필요한 부분이 있다.

		
① 시험부설대상구간(R700,C70,S30)	② 도상자갈 재활용(터널반출자갈사용)	③ 기존 도상자갈 및 침목 철거
		
④ 노반 다짐	⑤ 모르터 누출방지용 부직포 설치	⑥ 광폭침목 설치
		
⑦ 선형정정	⑧ 갱환완료후 안정화	⑨ 모르터 충전(15m/1hr)
		
⑩ 자연유하방식 모르터 충전	⑪ 미장마감 및 피막양생제 도포	⑫ 충전 직후의 표면상태

그림 9. 본선 토공구간 시공공정



그림 10. 표면폐쇄형 포장궤도(급곡선용 침목구간) 그림 11. 표면노출형 포장궤도(표준침목 구간)

5.3 재생골재

포장궤도에서는 모르터의 부착력을 확보하기 위하여 골재를 세척하여 사용하여야 한다. 그러나 국내에서 세척골재의 수급은 경상도 지역에서만 가능하므로 운반비가 비싸고 수세척이기 때문에 세척효율이 떨어진다. 그래서 본 연구에서는 별도의 세척설비를 사용하였으며, 골재는 기존 터널개량으로 반출된 폐기용 자갈을 재활용하였다. 골재의 입도가 작기 때문에 주입성이 다소 떨어질 수 있으나, 압축강도는 확보할 수 있다.

5.4 곡선부 시공

부설구간은 전 구간에 걸쳐 R700의 캔트 70mm의 원곡선 구간이므로 모르터 주입시 이를 감안하여 시공하여야 한다. 물과 믹싱된 모르터는 유동성이 매우 높아 자연유하방식으로 주입하면 경사부 시공시 애로사항이 있기 때문에 골재(도상자갈) 채움작업시 이를 고려하여 일정 구배를 형성해 주었다. 표면폐쇄형의 경우에는 애로사항이 있었으나, 표면노출형의 경우에는 캔트 100mm까지는 기존 방식으로 시공하는 것이 가능할 것으로 판단되며, 그 이상의 곡선구간에서는 2단 타설 등의 방법을 강구하여야 한다.

5.5 시공결과

최초의 본선 부설로서 계획보다 다소 공정이 지연되었으나, 추후 공정 및 공법 개선을 통하여 공기를 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다. 시공상의 큰 문제점은 없었으나 자갈도상궤도와 접속부에서 다소 다짐이 부족하여 침목진동이 발생하였기 때문에 추가적인 접속부 다짐관리가 필요하다. 또한 표면폐쇄형의 경우, 미장 마감작업의 오류로 일부 미세균열이 발생하였다. 균열억제 및 곡선부에서의 원활한 시공을 위해서는 표면노출형이 유리한 것으로 판단된다.

6. 결론 및 향후계획

시험부설을 통하여 본선 시공공정을 확보하였으며, 동절기 시공, 곡선부 시공, 접속부 시공 등에 대한 시공기술도 확보하였다. 본선에서는 시간 확보가 매우 어렵기 때문에 공정 단축 및 기계화시공에 대한 필요성이 대두되었다. 부설구간 성능은 2008년 상반기부터 실시하는 현장계측시험 결과를 장기적으로 분석하여 제시할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 기존선 도상자갈궤도 생력화를 위한 포장궤도개발[시멘트모르터충진형] (2007), 한국철도기술연구원