

팽창성 수지 주입을 통한 매립형궤도 침하 급속복원 시험시공

Settlement Restoration of Embedded Rail Track Using Expansible Resin Injection

이수형[†], 강윤석^{*}, 정우태^{**}, 박정근^{***}

Su Hyung Lee[†], Yun-Suk Kang^{*}, Wootae Chung^{**}, Jung Geun Park^{***}

Abstract An active application of tram is being expected in Korea in the near future. For the tram operation in urban area, the embedded rail track where rails are completely embedded with pavements is required to share tramway track with road traffic. When the serviceability of tramway is lost due to the settlement of track, the municipal transportation system can be damaged by traffic suspension and a rapid restoration is required. A settlement restoration method using expansible resin injection was applied to the embedded rail track on soft ground which consists of the concrete slab with 32m length and 46cm thickness. Differential settlement of maximum 5.7cm could be restored effectively in three hours.

Keywords : Embedded rail track, Settlement, expansible resin, Injection, Rapid restoration

초 록 최근 국가연구개발 사업을 통하여 도심지에서 도로교통과 병행하여 트램과 자동차의 동시 운행이 가능한 선로형식인 매립형궤도가 개발 되었다. 매립형궤도가 침하되어 사용성이 저하되는 경우 공공 교통수단인 트램 운행의 지장으로 도시 교통 전체에 영향을 미칠 수 있으며, 따라서 긴급한 복구가 필요하다. 본 연구에서는 팽창성 수지 주입으로 실물크기 매립형궤도 시험체의 침하를 복원하는 현장시험을 수행하였다. 매우 연약한 지반에 설치되어 부등침하가 발생한 길이 32m, 두께 46cm의 매립형궤도 슬래브에 20개의 주입공을 천공하고, 궤도 하부 노반 1m 깊이에 팽창성수지를 주입하였으며, 위치에 따라 최대 5.7cm 정도 발생한 부등침하를 3시간 정도의 짧은 작업시간에 효과적으로 급속복원한 사례를 제시하였다.

주요어 : 매립형궤도, 침하, 팽창성 수지, 주입, 급속복원

1. 서 론

최근 고가 경전철의 국내 도시에 대한 적용성 문제를 극복할 수 있는 건설비가 저렴한 교통약자 중심의 친환경 교통수단인 트램이 국가 연구개발 사업으로 개발되었다. 트램은 1898년 국내에 도입되어 총 연장 40.6km의 11개 노선과 72개 역으로 운영된 바 있으나, 자동차 보급과 함께 1968년 모든 노선이 폐쇄되었다. 반면 지난 30여 년간 유럽, 아시아, 미국 등 전 세계적으로는 136개 노선의 트램이 건설되어 운행 중이며, 현재 50여개 신규 노선이 추가 건설 중이다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부(geoxlee@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

** 한국철도기술연구원 녹색교통시스템연구소

*** (주)ERS 대표이사

국외에서는 이와 같이 활발한 트램 운행과 더불어 각국의 도심 운행에 적합한 노면선로에 대한 기술개발이 함께 이루어져 왔다. 그러나 국내에서는 최근까지 이와 관련된 기술 개발이 전무하였던 상태였으나, 2009년 12월부터 국가 연구개발사업으로 새로운 친환경 트램 차량과 매립형궤도 선로 개발이 이루어지고 있다.

트램은 전용선이나 도시 외곽에서는 돌출형 레일을 적용한 일반철도에서 운행 될 수도 있으나, 도심에서 운영되는 경우는 일반철도의 건널목과 같이 포장 내에 레일이 매립되어 있는 형태로 시공되어 자동차 교통과 동일한 선로를 공유하게 된다. 매립형궤도는 일반적으로 콘크리트 슬래브에 고정되어 설치되므로 원칙적으로는 유지보수가 거의 필요 없는 궤도 시스템이다. 반면에 침하가 발생하여 사용성이 저하된 경우에는 복원이 매우 어려우며, 이로 인한 도시 교통의 차단 등 매우 큰 사회적 손실을 가져올 수 있으며 이에 대한 대책 마련이 필요하다. 본 논문에서는 현장시험을 통해 기존에 구조물의 침하 복원에 적용되어 왔던 팽창성수지 주입공법을 매립형궤도의 급속 침하복원에 적용하고 그 유효성을 평가하였다.

2. 팽창성 수지 주입 공법의 특성

2.1 팽창성 수지 주입을 통한 구조물 침하 복원 공법

팽창성 수지 활용한 구조물 침하복원공법은 침하된 구조물을 급속하게 인상할 수 있는 지반보강공법 기술이다. 이 방법을 적용하면 굴착공사 없이 시공상 접근이 곤란한 조건의 환경에서 지반보강을 신속히 수행할 수 있다. 고밀도 팽창성 폴리머 재질의 주입재를 지반의 간극 속으로 침투시키면 지반의 지지력을 강화되고, 주입된 물질이 시간이 경과하면서 서서히 팽창(약 30 배)되면서, 주변 지반에 팽창력이 작용하여 구조물을 밀어 올리게 된다. 주입작업은 단계적인 주입을 통해 원하는 침하량이 복원될 때까지 반복된다. 주입 재료가 경량이므로 지반보강으로 인해 지반 자체의 상재하중이 증가되지 않으므로 보강 공사 후에 압밀과 같은 지연된 침하를 추가로 유발하지 않는 장점도 갖고 있다.

2.2 팽창성 수지를 이용한 기존 철도선로의 복원 사례

신은철 등(2007)은 급속 팽창성 수지를 이용하여 지반 지내력 부족으로 침하가 지속적으로 발생하는 자갈도상궤도에 대하여 1.5m 깊이에 사선 방향으로 동파이프를 삽입하고 팽창성수지를 주입하여 선로의 침하를 1cm~1.5cm 복원한 현장 적용 사례를 제시하였다. 해당 작업은 2시간 만에 완료되어 열차의 차단 없이 원활한 공법 적용이 가능하였다.

3. 매립형궤도 침하 복원 현장 시험시공

3.1 복원대상 매립형궤도 시험체

침하 복원대상 매립형궤도는 KRRI(2011)에서 시공성 검증을 위하여 시험 설치한 시작품으로 곡선반경 25m이고 길이는 32m 이다(Fig 1). 매립형궤도의 구조는 Fig. 2와 같으며 100mm 두께의 기초 슬래브 위에 363mm 두께의 궤도콘크리트 슬래브가 위치한다. 궤도 슬래브에 조성된 홈에 위치한 레일은 Polycork라는 우레탄 계열 합성수지로 고정되어 연속지지되므로, 소음진동과 궤도열화 저감 등에 장점이 있으며, 자동차와의 공유가 가능한 궤도 형식이다.



Fig. 1 Embedded rail track for settlement restoration test

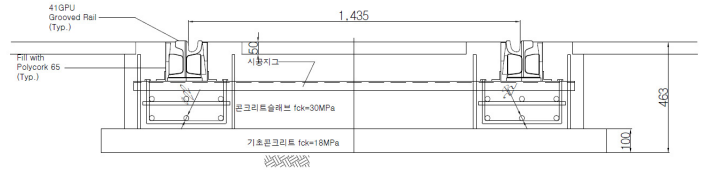


Fig. 2 Embedded rail track for settlement restoration test

시험대상 궤도는 상부 궤도구조물의 시공성 검증만을 위하여 구축되었으며 실제 차량이 운행되지 않으므로 원지반인 매우 연약한 매립층위에 바로 시공되었다. 시공 후 2년이 경과한 현재 위치에 따라 1cm~5.7cm의 침하가 발생한 상태이다.

3.2 침하복원 시험시공

침하복원공법은 궤도표면을 석재로 마감한 20m 구간에 적용하였다. 사전측량을 통하여 위하여 목표 침하 복원량을 결정한 후 길이 직경 16mm의 주입공을 궤도 슬래브 상면 20개소에 천공하고 1.0m 길이의 주입용 파이프를 타입 설치하였다 (Fig 3).



Fig. 3 Installation of injection tube

레이저 고저 측정기를 이용하여 밀리미터 단위로 계측하며 물질을 주입하였다. 2~4단계에 걸쳐 침하를 복원하였으며(Fig.4), 주입된 팽창성 수지의 총량은 790kg이다.



Fig. 4 Level measurement using laser sensor during injection

3.3 시험시공 결과

Fig 5는 궤도 상부의 측량 지점을 나타낸 것으로 좌우측 레일 상부에서 3m 간격으로 고저를 측정하였다. Table 1은 공법 적용 전후의 고저 측량 결과이다. 복원을 위한 기준높이는 1,390mm로 설정하였으며, 복원 후 목표 값에 대한 편차와 지점별 복원량을 함께 표시하였다.

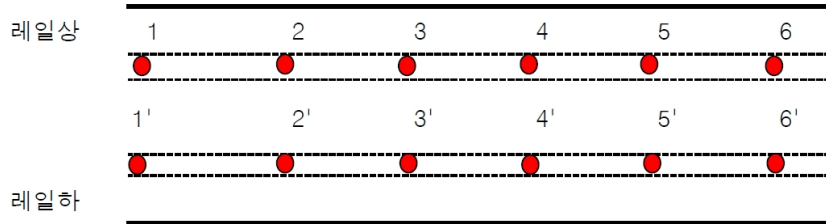


Fig. 4 Locations of level measurement (center to center spacing 3.0m)

Table 1 Results of settlement restoration

Location		1	1'	2	2'	3	3'	4	4'	5	5'	6	6'
Measured level (mm)	Before restoration	1,429	1,388	1,446	1,398	1,447	1,405	1,439	1,423	1,422	1,429	1,398	1,415
	After restoration	1,390	1,364	1,392	1,363	1,390	1,370	1,389	1,391	1,392	1,403	1,390	1,403
Deviation from reference (mm)	Before restoration	39	-2	56	8	57	15	49	33	32	39	8	25
	After restoration	0	26	-2	27	0	20	1	-1	-2	-13	0	-13
Restored level (mm)		39	24	54	35	57	35	50	32	30	26	8	12

침하 복원 전 궤도의 시점부에서는 레일상 부분이 최대 57mm 까지 높고, 중점부에서는 레일하 부분이 38mm 까지 높은 뒤틀린 형태로 부등침하가 발생한 상태였다. 복원 공법의 적용을 통해 최대 57mm까지 침하를 복원하였으며, 복원 후 기준점에 대한 편차는 최대 27mm로 공법 적용전의 57mm에서 30mm 이상 저감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 복원 대상 궤도는 짧은 길이의 단선 시험체로 구조물 상대적인 크기가 작아서, 복원력 작용 시 변형이 없는 강체로 거동하는 것으로 판단되며 이로 인해 전체 침하의 복원은 용이하지만 부등침하의 복원에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 향후 실제 선로에서는 차량 등의 자중을 이용하면 부등침하도 효과적으로 제어할 수 있는 것으로 기대된다. 침하 복원에 소요된 시간은 약 3시간으로 야간작업으로 충분히 교통차단을 최소화 할 수 있는 것으로 평가되었다.

4. 결론

본 논문에서는 향후 트램의 운영을 위하여 활발한 적용이 예상되는 매립형궤도의 침하가 발생한 경우 이를 급속하게 복원하기 위한 방법으로 팽창성 수지를 이용한 주입공법의 적용성을 검토 하였다. 현장 시험시공을 수행한 결과 복원공법 적용을 통해 약 20m 구간의 매립형궤도 선로에 발생한 침하에 대하여 3시간 정도의 짧은 시간에 최대 57mm 침하를 복원하고 부등침하를 30mm 저감시키는 것이 가능하였다. 팽창성 수지 주입을 통한 침하복원 공법은 향후 도심

지에서 매립형궤도의 침하로 트램 선로의 사용성이 저하된 경우 이를 급속하게 복원할 수 있는 효과적인 방법으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업 “트램 인프라 실용화 기술 개발(13RTRP-B067379-01)” 과제의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] E. Shin, W. Son, S. Kim and H. Kang (2007) Evaluation of Railroad Restoration Technology using Quick-reaction Expansible Resins, *Proc. Of Spring Conference Korean Society for Railway*
- [2] Korea Railroad Research Institute (2011), *Development of Energy-Infrastructure For Wireless Low-floor Tram*, 3rd year Interim Report, Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs