

기존선용 시멘트 모르타 충전형 포장궤도의 개발

Development of the Cement Mortar Grouting type Paved Track for Existing Line

이일화* 이희업* 이준석** 이진욱***
Lee, Il-Wha Lee, Hee-Up Lee, Jun-Seok Lee, Jin-Wook

ABSTRACT

When the high-speed train running on the track, there is a speed limit which track distortion is unusually increased according to condition of track and roadbed. This speed limit is called critical velocity, and physical parameter value increased very greatly. These phenomenon happened as high-speed train were developed, studied regularly through TGV 100 running test in France. As research result until now, the main reason is soft roadbed's capacity. Wave propagation and track support capacity is varied by the site characteristics. This paper achieved theoretical examination about resonance band(speed and frequency) that occurred in roadbed on the base rock in point of geotechnical engineering. The examination of resonance divides with ground response analysis, critical band analysis by the shear wave velocity of roadbed, train critical speed through the ground stratum.

1. 서론

자갈도상궤도는 열차의 반복하중에 의해 점진적으로 파괴가 진행되는 구조를 가지고 있기 때문에 침하 및 궤도틀림을 줄이기 위하여 지속적인 유지보수작업을 필요로 한다. 그러나 자갈도상궤도는 이러한 단점에도 불구하고 가장 많이 적용되고 있는데, 이는 부설이나 보수가 용이하고 건설비가 저렴하기 때문에 현재까지 궤도구조의 기본으로 되어 있으며 국내 고속철도에도 적용되었다. 그러나, 최근 선로의 수송력 증강 요구, 유지보수 노력의 감소 요구 등에 대응하기 위한 새로운 궤도구조가 필요하다. 이러한 요구에 대처방안으로서 신선의 경우는 유지보수가 거의 필요 없는 콘크리트궤도가 확산되고 있는 추세이고 기존선 개량의 경우에는 포장궤도 등의 적용이 검토되고 있다. 포장궤도는 일정 도상자갈층을 시멘트모르타 주입 등의 방법으로 콘크리트 슬래브화(化)시키는 공법이라 할 수 있다. 주 목적은 열차 운행에 지장을 주지 않으면서 궤도구조를 개선하여 기존선의 유지보수업무를 획기적으로 감소시키는데 있다. 현재까지 포장궤도용으로 개발된 궤도구성품을 이용하여 1차 성능시험과 공정확보 및 현장성능시험을 위한 시험시공을 수행하였다.

2. 포장궤도의 특징

도상자갈궤도는 현재까지의 궤도기본구조로서 궤도틀림 발생량만 작다면 이상적인 궤도시스템이라고 할 수 있다. 적절한 궤도탄성을 가지고 있고, 기계장비를 이용한 유지보수도 용이하기 때문이다. 그러나 자갈도상궤도는 다양한 원인에 의해 유지보수 비율이 늘고 있는 추세이기 때문에 유지보수의 절감이 중요한 쟁점으로 부각되고 있다. 유지보수를 줄일 수 있는 궤도구조를 생력화(Maintenance free, Low maintenance 또는 Labor-saving)궤도라 하며 포장궤도도 생력화궤도의 한 종류이다. 포장궤도는

* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 책임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, 정회원

운영 중인 기존선의 생력화를 목표로 하며 최소 열차차단시간(3~4시간)내에 일정작업이 진행될 수 있어야 한다. 포장레도는 도상생력화와 더불어 전용 침목, 체결구, 충전 재료가 사용된다.

포장레도는 근본적으로 무보수화를 지향하며 콘크리트레도 수준의 유지 관리성을 목표로 하고 있다. 포장레도의 개발검토에 있어서의 주요 핵심은 레도구성품을 비롯한 충전 재료(시멘트계)와 충전재의 두께, 침목의 폭과 간격(체결장치의 간격) 및 비용과 시공성의 조건에서 본 최적구조를 개발하는 것이다.

3. 개발 포장레도의 구조

포장레도를 구성하는 레도용품은 크게 대형 침목, 가변체결구, 충전재, 토목섬유가 있다. 이중 대형침목은 성능시험을 완료하고 설계보완 중에 있으며, 충전재도 1, 2차 성능시험을 완료하고 내구성이 고려된 최적배합비를 위한 연구를 수행중에 있다. 토목섬유는 기존 제품 중에 적합한 모델을 선정하여 사용하고 있다.

또한 포장레도의 구조개발을 위하여 국내 기존선의 하중 및 레도조건을 고려하여 구조 해석을 수행하였다. 구조해석에서는 국내 적용시 기본적인 검토사항인 하중, 레간, 설계속도, 노반조건을 이용하여 포장레도구조에 대한 안전성을 검토하였다. 현재까지의 연구결과를 바탕으로 제안된 구조안은 그림 1과 같으며, 향후 레도구성품의 보완을 통하여 포장레도의 구조를 최적화할 예정이다.

표 1. 포장레도의 주요 구성

레도구성	설계조건	비 고
JLT침목	폭360mm LPC침목	MTT작업이 가능한 범위
체결구	(상하30mm, 좌우 \varnothing 5mm)조정 가능형 체결방식	베이스플레이트 패드 제거형
충전재	고유동 초속경 무수축 시멘트모르터	1시간강도 0.2MPa이상 J로드 6초 이내
토목섬유	장섬유 니들펀칭 경량부직포	누수방지, 탄성부가
노반	11 \geq K30(kgf/cm ³)	
도상조건	세척자갈 사용	구자갈 재활용

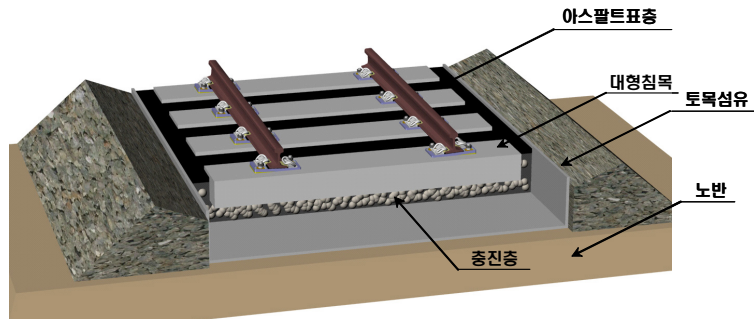


그림 1. 포장레도의 구조

4. 고유동 응결조정 충전재

포장레도의 시멘트 모르타르 충전재료는 국내에서는 처음 개발되는 재료로, 우선적으로 고유동성, 초속경성, 무수축성이 확보되어야 한다. 기본적인 물성 검토를 수행한 후, 시멘트계 재료 부분의 물성과 골재의 물성 부분으로 나누어 각각 최적 배합을 확립한 후 모르타르화하여 최종 물성을 검토하였다. 속경성 시멘트계 재료와 골재, 고성능 감수제 등을 이용하여 모르타르의 최적 배합 비율 정했고, 재료의 압축강도 특성은 그림 2와 같다. 한편 철도 도상 개량용 주입

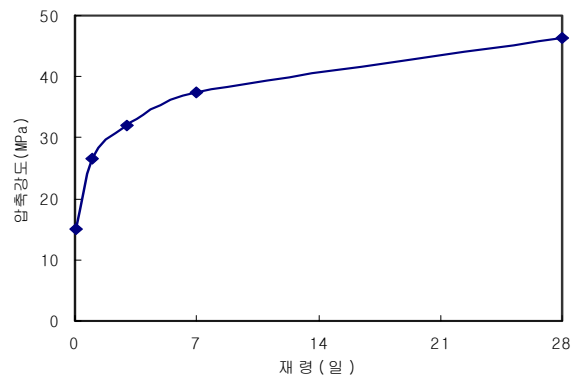


그림 2. 재령별 압축강도 특성

몰타르의 1차 목표 성능은 표 2와 같다. 주입 성능 및 주입 후 강도 특성 시험을 위하여 몰드시험 및 현장주입시험을 4회에 걸쳐 시행하였다. 재료의 주입성능은 충분히 확보되는 것을 확인하였으며, 주입 후의 압축강도도 모르타르 자체의 강도와 비교 했을 때 그이상의 결과가 나와 주입하여도 압축강도에는 이상이 없는 것으로 판단된다.

표 2. 철도 도상용 개량용 주입 몰타르 목표 성능

평가항목		목표 성능	비고
유동성	믹싱 직후	82초	J14로드 유하시간
	압축강도	82초	
압축강도	2시간	10MPa 이상	
	28일	40MPa 이상	
길이변화		저수축성	
내구 특성		양호	

5. 토목섬유

포장계도에서 토목섬유의 역할은 모르타르의 충전성능을 확보하기 위하여 사용된다. 충전재는 유동성이 매우 높기 때문에 국부적인 공간이 존재하더라도 충전재가 누출하게 되어 포장계도의 품질에 심각한 영향을 미치게 된다. 다양한 토목섬유를 검토하였으며, 종류에 따른 압축강도, 쪼갬 인장강도, 투수에 대하여 시험한 결과 콘크리트 물리적 성질에 부직포 종류의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 토목섬유는 인장강도, 투수특성, 시공성 등을 고려하여 장섬유부직포를 선정하였으며, 2중으로 포설하여 만약에 발생할 수 있는 섬유의 파손을 최소화하였다.

6. JLT대형침목

포장계도에서는 폭이 넓은 침목을 사용한다. 침목폭의 범위는 360~760mm 까지로 충전재의 종류에 따라 각 기 다른 크기의 침목이 사용된다. 사용 목적은 하중분산 효과의 극대화와 충전재 주입후의 응력분산을 목적으로 사용한다. 이와 같이 폭이 넓은 침목을 적용할 경우에는 기존에 사용되고 있는 장비로는 선형조정 및 탬핑작업이 불가능하고, 침목의 중량이 커지기 때문에 인력시공도 쉽지 않아서 시공성이 크게 저하되는 단점이 있다. 따라서, 침목의 설계 시에는 하중의 적절한 분산과 함께 시공성 등에 대해서도 충분한 검토가 요구된다. 본 연구에서는 침목의 성능과 시공성을 고려하여 폭을 360mm로 결정하고 설계, 제작 및 시험시공을 수행하였다. 대형침목은 포장계도 뿐만 아니라 하중분산이 요구되는 특수개소에서 효과적으로 적용될 수 있다.

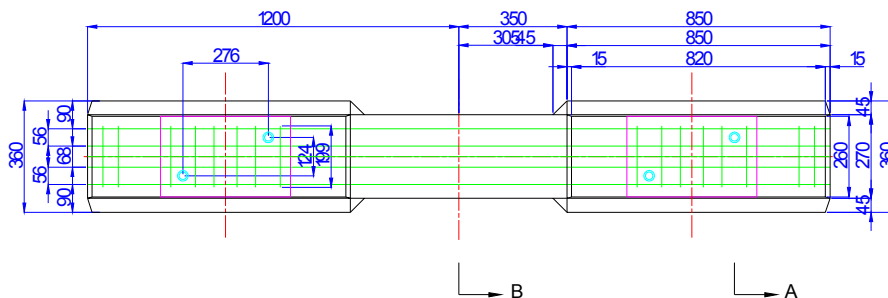


그림 3. 대형침목 설계도

7. 체결장치

포장궤도에 사용되는 체결구는 도시철도용으로 개발되고 있는 모델을 기본적으로 채용하였다. 기본 모델은 베이스플레이트 패드도 채용이 되어 있는데, 하중으로 인한 궤도의 진동을 저감시키고, 2차탄성범위에서 레일의 회전을 막아주는 역할을 할 수 있도록 레일패드의 재질과 물리적 성질을 설계한다면 그림 4와 같이 베이스플레이트 패드 없이도 충분한 체결장치의 기능을 할 것으로 판단된다. 방진 성능에 대한 문제를 배제하고 베이스플레이트 패드를 제거하면 1차적으로 체결장치의 부품수가 적어져 체결작업시간과 체결공정을 줄일 수 있으며, 경제적으로도 큰 효과가 기대된다. 또한, 베이스플레이트 패드의 제거로 체결장치의 전체 높이를 줄일 수 있어 포장궤도의 부설시 작업에 용이하다. 이러한 이유로, 향후 포장궤도의 레일체결장치는 그림 4 (b)와 같이 경제적인 측면을 고려하고, 부품수를 줄이기 위해 베이스플레이트 패드를 제거하고 그 만큼의 탄성을 레일패드에서 보완해주는 방식의 체결장치로 보완 수정될 예정이다.

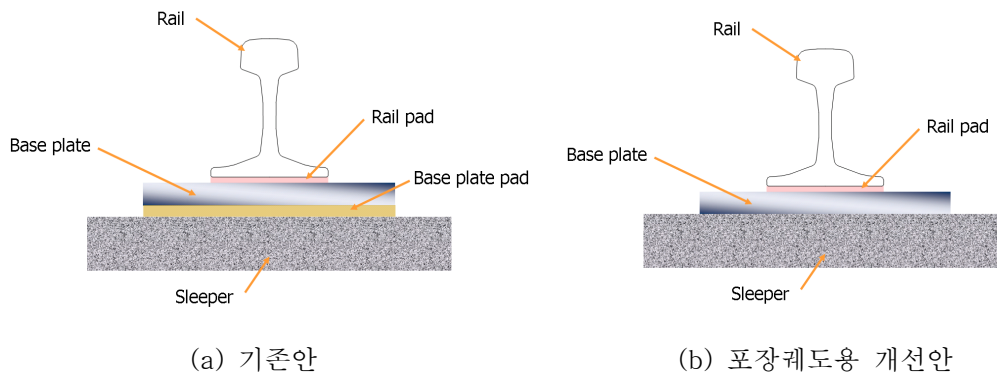


그림 4. 포장궤도용 레일체결장치(안)

8. 포장궤도용 도상자갈

포장궤도에 사용되는 자갈은 기본적으로 시멘트 모르타르와의 부착력이 확보되어야 한다. 그러나 일반적으로 사용되는 도상자갈의 표면은 석분이나 흙으로 싸여져 있기 때문에 깨끗이 처리된 자갈이 사용되어야 한다. 표면 처리는 석산에서부터 세척된 자갈을 사용하는 방법과 기존 자갈을 재처리하는 방법이 있으며 본 연구에서는 경제성, 시공성 및 환경문제를 고려하여 기존자갈을 재처리하여 사용하였다. 재처리방법은 기존자갈을 굴착하여 에어 블라스팅 처리하여 사용함으로써 기존 자갈의 폐기물 처리비용을 줄이고 신자갈보다 월등히 높은 자갈부착력을 확보할 수 있었다. 입도는 기존자갈의 이용율을 높이기 위하여 기존 도상의 입도를 최대한 반영하였으며, 골재의 물리적 특성, 지지력 특성, 충전재 충전성능, 프리팩트콘크리트의 강도발현특성 등을 실험하였다. 또한, 기존 자갈도상의 재활용성을 평가하기 위하여 골재의 함유유해물시험과 기본 물성시험을 수행하고, 신구 자갈도상 비율에 따른 지지력 특성, 충전재 충전성능, 재생 자갈도상 비율에 따른 콘크리트 강도발현 등을 검토하였다. 그림 5는 상기의 시험결과로부터 도출한 포장궤도용 도상자갈의 입도분포이다.

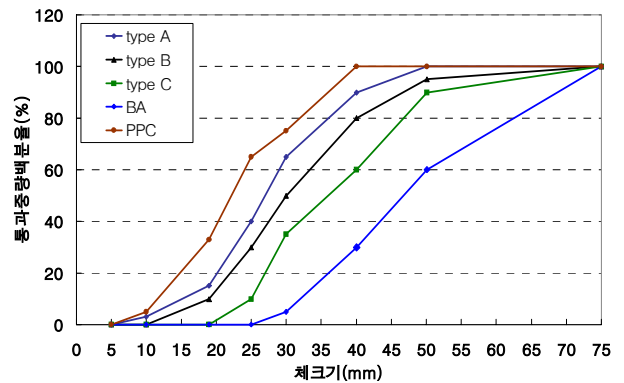


그림 5. 포장궤도용 골재의 입도분포

9. 포장궤도의 지지 특성

상기의 궤도구성품으로 개발된 포장궤도의 반복재하에 따른 변형특성을 파악하기 위하여 실물반복재하시험을 실시하였다. 총 재하횟수는 220만회를 수행하였다. 그림 7은 120만회의 반복재하시간동안 시험단면에서 발생한 전체침하량(소성+탄성)은 나타낸 그림으로서 레일상면(Rail), 침목(Sleeper), 충전층(Charging, Layer), 노반면(soil)에서 각기 측정을 실시하였으며 재하 축중은 34.8tonf이다. 레일상면을 제외한 측정지점(충진층)에서는 약 0.7mm정도의 전체변위량이 발생하였으며, 100,000회 재하 이후부터 안정화의 경향을 나타낸다. 재하시험이 완료된 이후에 축중48tonf의 정재하시험을 실시하여 균열을 조사하였으나 반복재하 및 최대하중 재하시험에 따른 균열발생은 없었다.



그림 6. 1회 반 소성침하량

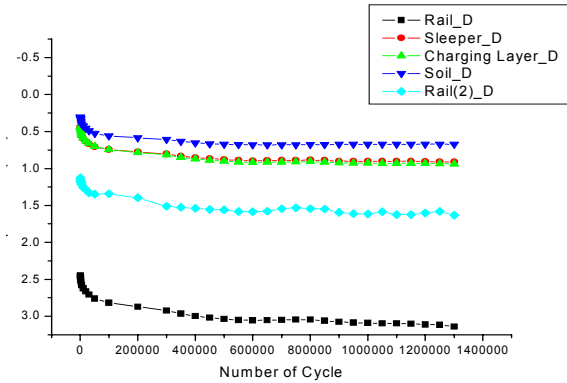


그림 7. 1회 반복재하시험 후 소성침하량

10. 결 론

포장궤도용 고유동 초속경 시멘트 모르터, 대형침목, 체결장치, 토목섬유 등에 대한 시제품 개발 및 선정을 수행하였다. 또한 기존선의 현장조건을 고려한 인력 및 기계화 시공공정을 개발하였다. 각 궤도구성품은 설계조건 및 성능시험을 만족하였으며, 이를 바탕으로 포장궤도 전체에 대한 설계검토를 실시하고 실물반복재하시험을 수행하였다. 시험결과 개발된 시멘트 모르터형 포장궤도는 열차주행조건을 충분히 지지하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. ~“기존선 도상자갈궤도 생력화를 위한 포장궤도 개발[시멘트모르터충진형]”(2004), 한국철도기술연구원.
2. 小関昌信外 3人(1995), “低廉型既設線用舗装軌道の開発”, RTRI REPORT, VOL. 9, P.25~P.30
3. 安藤勝敏(1992), “既設線省力化軌道の開発”, RTRI REPORT, VOL. 6, P.9~P.18