

## 소음진동 저감성능이 우수한 철도 매립형 궤도 기술

### Technology for Embedded Rail Track with Excellent Reduction Performance in the Railway Noise and Vibration



김정훈(Jeong-Hun Kim) 정회원 | 고려대학교 건축·사회환경공학부

연구교수 | zamsin97@korea.ac.kr

강윤석(Yun-Suk Kang) | 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

책임연구원 | yskang@krri.re.kr

강영종(Young-Jong Kang) 부회장 | 고려대학교 건축·사회환경공학부

교수 | yjkang@korea.ac.kr

#### 1. 머리말

최근 국민 소득의 증가와 생활수준의 향상에 따라 소음진동과 같은 환경 문제에 대한 관심이 증대되는 추세에 있고, 소음진동에 대한 사회적 요구가 점차 증가함에 따라 민원 및 분쟁이 급증하고 있으며 철도에서도 동일한 현상이 빈번하게 발생하고 있다. 철도는 타 교통수단에 비하여 많은 장점을 가지고 있지만 소음진동 부분에 있어서는 다음과 같이 아직까지 해결해야 할 많은 문제들이 남아 있는 실정이다.

철도차량 주행 시 발생하는 소음은 차량의 종류와 속도, 궤도의 조건 등에 따라 복잡하고 다양하기 때문에 철도차량에서 발생하는 소음에 대한 원인파악이나 형태를 분류하는 것조차 쉽지 않다. 그러나 현재까지 연구를 통해서 철도에서 발생하는 소음은 크게 차륜과 레일사이에서 발생하는 고주파 전동소음과 차체에서 발생하는 구동소음, 높은 운행속도로 인한 차체와 집전장치의 공력소음 그리고 차량주행 시 진동이 구조물에 전달되어 발생하는 저주파 소음 등으로 분류하여 각각에 대해서 원인파악에 의한 저감대책을 세우고 있다. 그 가운데에서도 차륜과 레일사이에서

발생하는 고주파 전동소음에 대한 저감기술은 매우 미흡한 실정이다. 따라서, 근본적인 특성 분석, 해석 기술 그리고 저감기술에 대한 연구가 시급하다.

철도차량 주행 시 발생하는 진동이란 시간에 따른 역학계의 운동 상태변화를 나타내는 것으로, 이는 계에 작용하는 하중의 크기와 위치 등이 변함으로 인하여 발생하고, 진동의 크기는 하중의 크기와 위치의 변화율이 클수록 커진다. 특히 열차의 중량화 및 고속화, 사용재료의 경량화 및 고강도화, 최적설계 개념에 의한 설계 등으로 인하여 열차 및 구조물에는 큰 진동이 발생한다. 일단 구조물에 진동이 발생하면 하중이 정적으로 작용하는 경우에 비해 큰 응답(변위, 속도, 가속도 및 단면력)이 생길뿐 아니라 구조물의 흔들림 및 균열 등을 야기시켜 구조물의 안전성 및 사용성에 악영향을 주고 민원발생의 소지도 있으므로 철도에서의 진동은 시급히 해결해야 될 중요한 과제이다.

현재 전 세계적으로 다양한 철도시스템에 대한 기술개발이 요구되고 있으며 특히 철도의 환경성인 소음진동 성능을 위한 다양한 궤도시스템 개발에 주력하고 있다. 매립형 궤도의 경우, 저소음/저진동 궤도 구조의 대표적인 대안으로 검토되고 있으며, 이는

1990년대 이후 끊임없는 다양한 형태의 매립형 궤도 구조시스템이 개발 및 적용되고 있는 실정이다. 매립형 궤도 시스템은 레일을 슬래브 속에 매립하여 연속적으로 지지하는 구조로써 레일압력 감소, 파상마모 방지 특히 궤도분야 소음진동 저감에 매우 효율적인 궤도 시스템으로 이에 대한 기술 개발이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

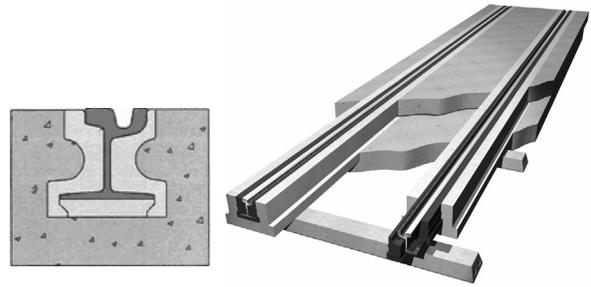


그림 1. 매립형 궤도

## 2. 매립형 궤도란?

매립형 궤도는 기존 궤도보다 소음진동 성능이 우수하면서도 효율적인 도심구간 저심도 철도건설을 위한 신공법 궤도로서 그림 1과 같이 레일을 콘크리트 도상에 매립하여 합성수지로 다방향 고정 연결한 복합 구조체이다. 이는 기존 레일 돌출형 궤도의 레일에서 방사되는 고주파 소음진동이 레일을 매립함으로써 차단됨으로 소음진동 저감성능이 매우 우수하다. 따라서, 매립형 궤도 기술은 저소음, 저진동 궤도구조의 핵심기술이라 할 수 있다.

매립형 궤도는 고전적인 이산지지 매립형 궤도가 주를 이루고 있지만, 현재 연속탄성지지 매립형 궤도로의 전환이 이루어지고 있는 실정이다. 고전적인 매립형 궤도는 침목에 체결장치를 이산지지 시키고 지표면 이하로 매립한 후 슬래브 상면을 포장하는 이산지지형 궤도 구조 시스템이다. 반면, 연속탄성지지형 궤도 구조 시스템은 침목과 레일의 클립이 없어 슬래브에 레일을 합성수지로 탄성 고정하면서 연속지지하고 진동원을 하부슬래브의 전달되는 것을 분리시키면서 레일을 궤도 슬래브에 매립시켜 소음진동 저감에 유리한 궤도 구조 시스템이다. 연속탄성지지 매립형 궤도는 연속지지로 인한 균등한 레일마모 및 수명연장 효과, 레일 부식 및 내구성 확보, 소음진동 저감 효과, 시공성 및 유지보수성 등에 있어서 이산지지보다 우수한 특징들을 가지고 있다.

## 3. 매립형 궤도의 기술개발 현황

매립형 궤도구조는 도심 주행을 위한 트램용 궤도에 적용되는데 도시 미관을 고려하여 도로 교통과 트램이 주행공간을 공유할 수 있는 포장형 매립형 궤도가 주로 적용된다. 현재 유럽에서 트램용 궤도는 일반적으로 30년을 수명연한으로 설계되고 있으며 설치되는 도시 특성 및 환경에 따라 다양한 형태로 개발되어 왔다. 보행자의 통행이 많은 도심에는 석재 또는 보도블럭을 적용한 궤도가 많이 적용되었고 도로 교통과 병행하는 구간은 아스팔트 및 콘크리트를 주로 적용하였다. 그리고 트램 전용궤도나 시 외곽에서는 잔디나 자갈도상 궤도가 많이 적용되는 실정이다. 따라서, 본 절에서는 전 세계적으로 다양하게 적용되어지고 있는 매립형 궤도에 대해 각 국가별 기술개발 현황에 대해 소개하고자 한다.

### 1) 프랑스

프랑스는 일반적인 매립형 궤도 형태로써 그림 2와 같이 침목에 체결되는 이산지지 방식인 Bi-Block 침목 매립형 궤도를 많이 사용하고 있다. 궤도 콘크리트 상부의 표면은 콘크리트, 아스팔트, 석재, 잔디 등을 이용하여 레일 상부높이까지 포장하여 레일을 매립한다.

프랑스의 SYSTRA에서는 투수성궤도로서 모두 빗 형태의 기초 콘크리트로 지지되는 매립형 궤도를 개

발 중에 있으며, 효과적인 배수를 위하여 궤간에 일 반 토사로 조성하고 각 레일의 하부를 레일 방향으로 시공된 빔 형태의 기초콘크리트로 이산화지 시키는 궤도구조이다. 이는 강수가 하부지반으로 자연배 수 되기 때문에 별도의 배수시설이 필요 없는 궤도 구조를 가진다.

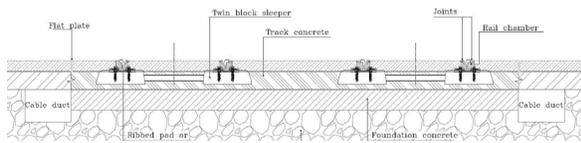


그림 2. Bi-Block 침목 매립형 궤도

## 2) 독일

독일의 Rail one에서는 아스팔트 레일지지형 매립형 궤도를 개발하였으며, 이를 적용하고 있다. 개발한 매립형 궤도는 ATD(Asphalt supporting layer for Track Direct support) Track과 Dortmund Track 두 가지 타입이 있다.

ATD Track은 그림 3과 같이 아스팔트층에 토목 섬유를 포설하고 바이블록(Bi-Block) 침목을 이산화지 시키는 방식으로 잔디 위치에 따라 고위녹화 포장방식(High vegetation cover type), 저위녹화 포장방식(Low vegetation cover type), 중위녹화 포장(Mixed vegetation cover type)등이 있다. 그리고 Dortmund Track은 그림 4와 같이 아스팔트 층에 철근으로 연결된 레일을 올려놓고 콘크리트로 고정하는 연속지지방식으로 포장부에서는 아스팔트를 레일 주변에 충전한다.

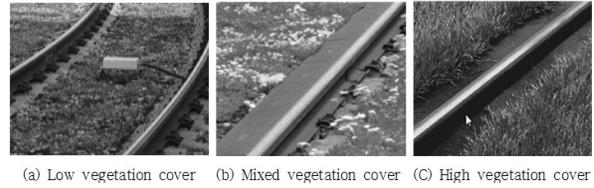


그림 3. ATD Track

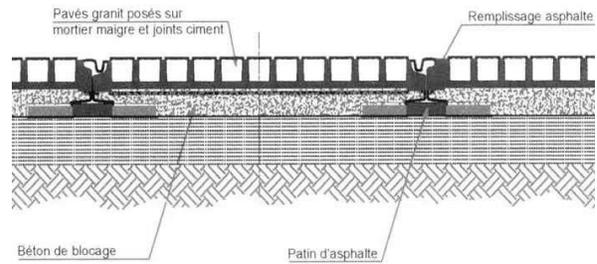


그림 4. Dortmund Track

## 3) 네덜란드

네덜란드의 Edilon에서는 그림 5와 같이 수지고정형 매립형 궤도를 자체개발하였으며, 액상형 수지인 코크라스트(Corklast)를 홈 안에 부어 일정시간이 경과 후 경화시켜 레일을 탄성고정 지지시키는 슬래브 궤도시스템으로 기존의 침목과 체결장치가 없이 구조체 슬래브에 홈을 만들어 레일을 거치한 시스템이다.

수지 매립형 궤도는 선로방향으로 균일한 탄성력을 보장하여 연속형 레일로 이용될 수 있어 레일 수명의 연장이 가능하고, 터널 혹은 교량 시공시 무게와 높이를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 유지보수가 용이하여 경제적인 장점을 가지고 있다.

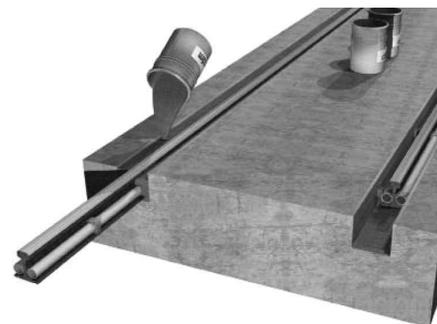


그림 5. 수지고정형 매립형 궤도

#### 4) 벨기에

벨기에는 그림 6과 같이 체결장치가 없는 탄성재 부착형 레일 연속지지 매립형 궤도인 CDM 궤도를 개발하였으며, 레일을 매립시키고 수지부착고무(resinbonded rubber)를 사용하는 형태이다. 방음 및 방진에 매우 효과적인 것으로 평가되고 있다.



그림 6. CDM(Q-Track Beam) 궤도

#### 5) 국내 기술개발 현황

국내에서는 2012년 미래도시철도기술개발사업의 일환으로 철도궤도를 매립해 자동차와 보행자의 이동 편의를 높인 매립형 철도궤도 시스템을 개발하였다. 이는 다방향 레일연속지지 탄성시스템인 ERS형 수지고정형 체결시스템을 가지고 있으며 상부 마감 형식에 따라 아스팔트형, 석재형, 잔디궤도형 매립궤도로 분류된다. 실내시험을 통해 EN규격을 만족여부를 확인하였고 오송시험선의 시험시공(그림 7)을 완료한 후 국내 교통 신기술로 지정된 상태이다.

개발되어진 매립형 철도궤도 시스템은 기존의 돌출형 철도궤도를 사용하고 있는 항만 및 물류기지에 이 신기술을 적용하면 철도차량과 트레일러 등 자동차와의 공유가 가능하여 좁은 공간을 효율적으로 이용할 수 있으며, 기존 궤도 대비 약 13%의 원가절감이 가능하다. 또한, 터널 및 교량에 적용될 경우 터널굴착단면과 교량단면이 축소되어 공사비와 공사기간을 단축시킬 수 있다.



그림 7. 국내 매립형 철도궤도 시스템

### 4. 매립형 궤도 기술의 활용

외국의 선진화된 기술을 충분히 활용하여 그 미비점을 보완한 합리적이고 우수한 매립형 궤도의 독자적인 기술은 기존의 철도궤도의 성능을 강화하는 기술뿐만 아니라 새로운 개념의 최적화된 고성능 철도궤도 기술이라 할 수 있을 것이다. 이와 같은 기술 개발이 실현된다면 철도 선진국의 철도궤도 기술과 어느 정도 대등한 위치를 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 국내·외적으로 보다 많은 철도노선의 확장을 계획 중인 이때에, 소음진동 성능이 우수한 매립형 궤도 기술 개발을 바탕으로 보다 안전하고 친환경적인 궤도기술의 발전을 통한 친환경적인 철도사업의 획기적인 전환점을 갖는 동시에 보다 경제적인 철도 건설이 가능할 뿐만 아니라 국제시장에서 우리나라 철도기술의 수출 또한 가능할 것으로 전망된다.

### 5. 맺음말

현재 철도교통은 가장 안전하고 경제적인 뿐만 아니라 친환경적인 교통수단이지만, 최근 들어 환경문제에 대한 관심이 증대됨에 따라 철도의 소음진동은 많은 민원 및 분쟁을 야기 시키는 원인이 된다. 현재 매립형 궤도의 경우, 저소음/저진동 궤도구조의

대표적인 대안으로 검토되고 있으며, 이는 1990년대 이후 끊임없는 다양한 형태의 매립형 궤도구조 시스템이 개발 및 적용되고 있는 실정이다. 특히, 궤도구조 분야에서 매립형 궤도는 소음진동 저감에 매우 효율적인 궤도 시스템으로 이와 관련된 핵심기술은 국가차원에서 지원과 연구개발이 지속적이고 체계적으로 이루어져야 할 것이며, 궁극적으로는 한국정부의 녹색성장정책에 가장 부합되는 미래지향적인 교통수단인 철도산업의 발전 및 선진화를 유도해야 할 것이다.

## 6. 감사의 글

본 과제는 한국철도기술연구원에서 수행한 주요사업인 ‘무가선 저상트램 에너지인프라 개발’의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 김정훈 (2012), 매립형 궤도의 소음/진동 해석에 대한 연구, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
2. 강운석 (2011), 매립형 슬래브궤도 적용을 위한 수직고정형 체결장치의 성능평가, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
3. 강영종 (2012), 프리코티드(Pre-coated) 궤도의 레일연속지지를 고려한 진동소음저감성능 및 축력의 해석적 평가 기법 개발, 위탁연구계획서 및 보고서
4. 한국철도기술연구원 (2011), 프리코티드 사일런트(Pre-coated Silent) 궤도 개발, 기획연구 보고서