

# 레일 매립궤도의 특성과 노면철도에 적용 가능성에 관한 연구

## Embedded Rail Track on the LRT(Tram)

이기승\*                  김성철\*\*                  백진기\*\*\*                  고동춘\*\*\*\*  
Lee, Ki-Seung          Kim, Sung-Chil          Beak, Jin-Ki          Go, Dong-Chun

---

### ABSTRACT

Embedded rail track can be described as a track structure that is completely covered within pavement. Rail supported continually on a concrete slab or concrete plinth.

There are many kinds of types such as non-resilient track and resilient track, super resilient embedded track (floating slab).

Embedded rail track is generally the standard for light rail transit routes because this track has many advantages such as reducing noise, maintenance cost and weight of track.

In this paper, decision of track profile is restricted by the optimum levels of the flangeway and the gap between the rail head and the pavement surface of depressing tread zone.

By result of this study, embedded rail track can reduce corrosion of rail, internal stress and rail deflection.

---

### 1. 서론

레일 매립형 궤도는 레일 두정면 즉 차륜과의 접촉면을 제외한 모든 부분이 포장되어 덮혀진 궤도 구조를 의미하며 일반적으로 침목, 체결구가 사용되지 않는다. 후렌지웨이는 홈붙이 레일을 사용 하던가 홈을 파서 형성한다. 레일 매립형 궤도는 경량철도에서 특히 타이어 교통수단과 병행 운전이 되는 노면철도에서 일반적으로 사용되고 있으며, 일부는 도로와의 건널목에서 사용되고 있다.

레일 매립형 궤도는 시스템의 요구조건에 따라 다른 특성을 갖도록 설계, 시공되고 있다. 따라서 차량의 특성, 차륜의 형상 및 치수에 따라 적절한 특성을 갖도록 설계 되어야 한다. 본 연구는 국내에서 사용 경험이 없는 레일 매립형 궤도를 부설하여 그 특성을 도출함으로써 철도분야에서의 사용성을 알아보고자 하며 특히 노면철도에 적용하는 경우 그 고려할 사항과 문제점을 분석하고자 한다.

본 연구는 경량철도가 많은 국내의 여러 도시에서 도입을 검토하고 있으며, 특히 전주, 울산 등 일부 도시에서는 노면 철도를 적극적으로 검토하고 있다. 이러한 시점에서 노면철도에 적절한 궤도 시스템에 대한 연구가 필요하다. 특히 노면철도 궤도는 일반적인 궤도와 달리 포장되어 있으므

---

\* 책임저자 : (주) 동명기술공단 종합건축사사무소 전무, 공학박사, 철도기술사, 정회원

\*\* 경기대학교 토목·환경공학부 교수, 공학박사

\*\*\* (주) 동명기술공단 종합건축사사무소 차장

\*\*\*\* (주) 포스코건설 상무이사

로 궤도의 유지관리가 어려우며 열차운행에 따른 궤도의 거동이 다르게 되므로 시행상의 과오가 발생할 우려가 있다. 본 연구는 노면철도 건설 및 운영상의 문제점을 사전에 도출 검토하여 대책을 제시함으로써 향후 사업 추진시 시행의 원활을 기하고자 한다.

본 연구는 레일 매립 궤도 중 현장 충전식 ESR를 위주로 연구하며, 차량은 현재 세계적인 노면철도 차량인 지멘스, 알스톰, 봄바르디사에서 일반적으로 생산되는 차량으로 그 범위를 정하였다. 본 연구에서의 가정은 노반의 침하하는 없는 것으로 하며, 레일은 보통레일과 groove 레일을 사용하는 것으로 하였고, 탄성은 레일 길이에 대하여 일정한 것으로 한다.

## 2. 레일 매립형 궤도의 특성

여러 종류의 열차 하중이 차륜을 통해 레일로 전달된다. 따라서 레일은 차륜하중을 지지하며 충격과 진동을 흡수한다. 일차적인 차량의 충격은 차륜내의 흡수장치에 의해 흡수되지만 그 남은 2차 충격은 레일이 흡수한다. 이 충격에 견디며 충격을 완화하기 위하여 궤도구조에 대한 연구가 이루어지고 있다. 레일 매립형 궤도는 탄성재로 둘러싸인 레일을 넣는 홈이 필요하다. 이 홈은 콘크리트 또는 강재로 만들어 진다. 강교량 또는 과거의 포장궤도에서는 강재로 홈을 만들었으나 최근의 노면철도에서는 슬립폼 페이퍼로 연속적인 콘크리트 슬래브를 시공하게 되므로 콘크리트 슬래브에 일정한 규격의 홈을 만든다. 그러므로 슬래브의 시공은 높은 정밀도를 필요로 한다.

레일은 홈 안에 위치하며, 레일과 홈 사이 즉 레일 하부 및 측면에는 탄성재로 채운다. 레일 매립형 궤도의 단면은 그림 1과 같다.

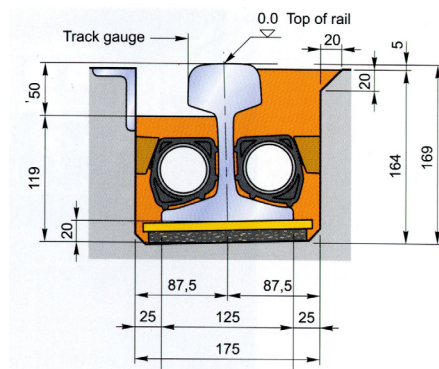


그림 1. 레일 매립형 궤도

레일 매립형 궤도는 과거에는 탄성재 없이 콘크리트에 직접 매립한 비탄성 궤도를 사용하였으나 현재는 벨기에 CDM사의 CDM-Cocon Track, Phoenix가 개발한 ERL, Edilon 이 개발한 ERS등 탄성궤도가 많이 개발되었다. 또한 특별한 진동 관리가 필요한 구간에서는 탄성 궤도의 슬래브 하부에 별도의 탄성재를 사용한 탄성궤도(부유궤도)가 있다.

레일 매립형 궤도의 특징은

- ① 궤간을 확보하는 추가적인 어떤 재료도 없다
- ② 연속탄성 지지되어있어 국내에서 많이 적용되는 Talbot 해석의 가정과 일치한다.
- ③ 레일의 들림 현상이 없다.
- ④ 레일표면이 둘러싸여 있어 녹 발생이 없고 수명이 길다.
- ⑤ 레일저부와 복부에서 지지하므로 레일지지물의 응력이 적고 수명이 길다.
- ⑥ 수직방향과 횡방향의 탄성이 유지된다.

등 많은 장점이 있는 것이다.

이 궤도는 경량철도는 물론 크레인 철도에서 고속철도까지 광범위 하게 사용되고 있다.

### 3. 노면철도 적용 가능성

과거의 노면철도인 TRAM은 도로 교통과 경합하여 운행되었으나 이제는 기본적으로 도로와는 분리되어 전용의 공간을 확보하여 운행되며 이에 따라 속도도 향상되어 표정속도 25km/h 이상을 요구한다. 차량도 저상차, 굴절차량으로 발전하여 운행되고 있다. 그 명칭도 과거 TRAM이 아닌 SLRT(Street Light Rail Transit)으로 부르게 되었다. 노면철도는 역 설비, 구조물, 신호보안 시스템을 간단하게 설치할 수 있어 건설비가 줄어들게 되므로 도시 인구가 그리 많지 아니하며, 대량 수송 수요를 처리하지 않아도 되는 중형도시에서 건설되고 있다. 유럽 및 미주에서 많이 사용되며 일본에서도 많이 운행되고 있으며 국내에서도 여러 도시에서 신중하게 도입을 검토하고 있다.

노면철도는 도로상에 건설되므로 가장 큰 특징은 도로와 같은 종단과 평면을 구성한다. 도로를 겸용하는 것이 일반적이며 전용공간을 확보한다 하더라도 교차로, 건널목이 많으며 이구간은 공용할 수밖에 없다. 따라서 궤도는 포장되며 캔트설치가 곤란하고 열차의 속도가 도로교통 흐름의 지배를 받는다는 특징이 있다.

장점은 다음과 같다.

- 공사비가 저렴하며 접근성이 용이하다.
- 탄성차륜으로 소음·진동이 유리하고 저상차량으로 승차하기가 용이하다.
- 설비가 간단하고 시설유지비가 적다.
- 배기가스가 없고 친환경적이다.

노면에 궤도를 부설하므로 다음 사항이 제약을 받는다.

- 곡선에서 적정한 캔트를 부설하기 어렵고, 교차로에서 회전하는 경우 역 캔트로 되는 경우가 많다.
- 궤도는 포장이 되어 포장면이 도로면과 같아야 한다.
- 궤도의 유지관리 작업이 어려우므로 처짐 발생이 없어야 한다.
- 재료의 갱신이 곤란하므로 궤도재료가 간편하고 수명이 동일하게 길어야 한다.
- 이음매, 분기기 등 취약개소에서 본선과 동일한 수명이 요구된다.
- 시가지에 부설되므로 방진성능이 요구된다.



그림2. 노면철도 차량 및 궤도

### 4. 단면 결정시의 유의 사항

#### 4.1 타이어 접촉부의 레일면

차륜의 형상에 따라 레일의 단면을 결정하는 데는 신중히 해야 한다. 특히 레일을 설치하는 방법은 매우 주의해서 결정해야 하는데 그 이유는 레일의 기능이 중요하며 장기간 관리가 필요하기 때문이다. 과거의 노면철도는 좁은 후렌지웨이와 좁은 타이어의 차륜을 사용하였는데 그 중요한 이유는 차륜에 의해서 레일 외측의 포장면에 대한 손상을 적게 하기 위한 것이었다. 당시의 차륜

폭은 75mm 이내로 제한하였는데 문제점은 궤간틀림에 대한 대처 능력이 부족하고 곡선 통과가 원활하지 못하여 궤도에 미치는 영향이 컸다. 현재 사용되는 대부분의 차륜폭은 133mm로 증가하였는데 이 증가된 차륜이 궤도에 주는 영향은 좋으나 레일 뒷부분(궤간 외측) 포장면과 차륜이 접촉하게 되어 파손 되었다. 이 파손을 방지하기 위하여는 레일면을 포장면보다 높게 하여야 한다. 그러나 너무 높으면 도로 운행차량에게 악영향을 미치게 된다.

레일의 탄성에 의한 수직변위 범위는 일반적으로 1.5~4.0mm를 고려한다. 레일 매립형 궤도에서 레일의 수직 마모한도는 10mm이고 차륜 마모는 3mm를 고려한다. 레일을 부설한 후 레일마모 한도까지 사용할 계획이라면 전체적인 변위량인 15mm이상 레일 높이가 높아야 할 것이다. 부설 초기에 포장면 보다 레일 높이를 15mm 높게 한다면 도로운행 차량이 건너가기에 불편하게 되고 특히 눈이 올 경우에는 더욱 곤란하게 된다. 따라서 초기 건설시 레일면 높이는 6mm를 고려하되 레일의 탄성적 수직변위는 별도로 고려하여 설치한다. 노면 철도 운영자는 차륜의 상태를 수시로 점검하여 전삭 하여야 하고 레일의 마모가 5mm이상 되면 레일 외부 포장면(충진재)를 깎아 내어 공간을 확보 하여야 한다.

그러나 레일매립형 궤도를 사용하는 경우 충진 탄성재를 타이어폭만큼 확보하는 경우에 포장의 손상을 방지할 수 있다.



그림3. 타이어 접촉부의 포장파손상태

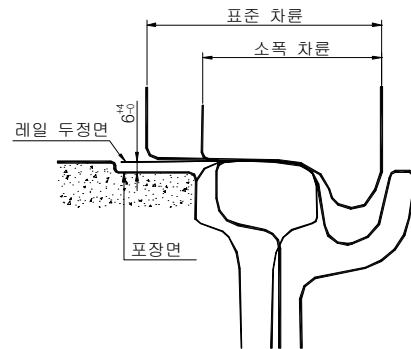


그림4. 타이어접촉부의 공간확보

#### 4.2 후렌지 웨이

차륜형상은 차량의 제조사 및 철도시스템에 따라 다르다. 레일은 몇 가지 형상으로 표준화 되어 있고 차륜과 레일은 조화를 이루어야 한다. 이는 차륜형상은 레일 두부 형상을 고려하여 선정되는 것이 바람직함을 의미한다.

레일의 접촉 응력은 곡선의 레일 게이지 코너에서 발생하며 크기는 레일 상부 발생응력의 배가 된다. 이 응력을 줄이기 위해서는 차륜과 레일 접촉면의 형상이 중요하다. 차륜과 레일단면의 공간이 레일상부(1점 접촉) 또는 게이지 코너(2점 접촉)에서 0.5mm이내 이면 차륜형상이 레일 형상에 적합하다.

후렌지웨이 폭은 차륜의 폭과 관계가 있다. 후렌지웨이가 넓으면 차륜폭도 넓어져야 한다. 차륜폭이 넓어지면 차륜의 중량이 커지고 이는 차륜지지 스프링계에 질량이 증가한다. 그러므로 후렌지웨이의 폭은 가급적 적게 하는 것이 바람직하다.

노면철도의 차륜 후렌지는 사용되는 홈 붙이 레일(groove rail)의 형상에 따라 결정되며 그 표준에 따라 일정하게 고정된다. 다만 보통레일을 사용하는 경우는 후렌지웨이 폭 결정이 자유롭다.

후렌지의 형상은 등근형보다는 뾰족하게 만든 형을 많이 쓴다. 후렌지의 외측 기울기는 약 70°이며 이는 가드레일 위로 올라가지 않도록 하기 위한 것이다. 후렌지 폭은 25mm를 한계로 하므로 일반적으로 22mm이내가 되도록 제작한다. 급 곡선부의 후렌지웨이 폭은 직접축에 비하여 회전이 원활하게 하기 위하여 넓혀주어야 하며 확대할 폭은 차축의 수직과 레일 접선과의 사이 각

에 따라 결정되는데 그 각도는 R25의 경우  $2.8287^\circ$ 가 된다. 확대할 폭은 이 사이 각에 고정축거, 차륜직경을 고려하여 결정하며 R25의 경우 약 2.5mm 정도이다. groove rail의 후렌지웨이 폭은 일반적으로 36mm 정도의 것(RI53-13 레일)이 쓰이며 급 곡선부에서는 후렌지웨이 폭을 넓혀 42mm의 것(RI52-13 레일)이 쓰인다. 따라서 일반구간에서 보통레일을 사용하는 경우에는 후렌지웨이 폭은 36mm 정도를 표준으로 하여 사용하는 것이 바람직하며 급 곡선부에서는 차량특성에 맞게 넓혀줄 필요가 있다.

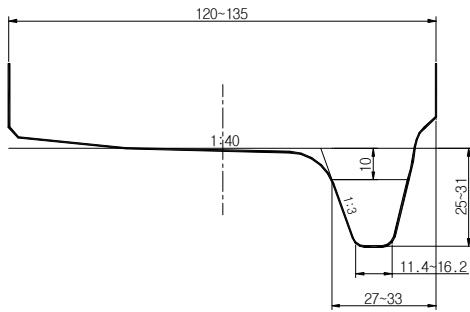


그림5. 노면철도 차량용 차륜후렌지 형상

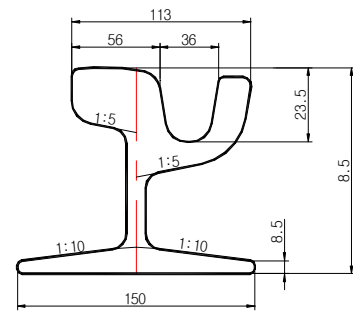
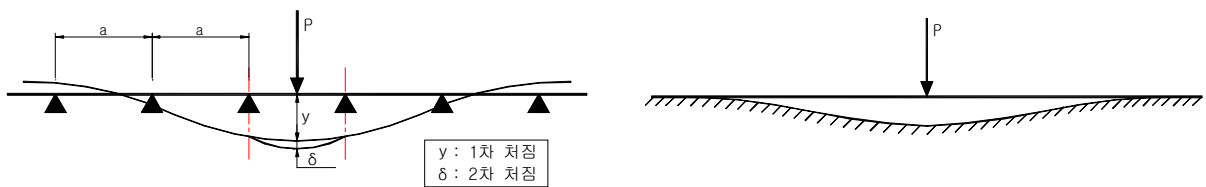


그림6. groove rail

#### 4.3 레일변위

궤도에 열차하중이 작용하면 레일은 압력을 받아 변위하게 된다. 또한 레일에는 단면력과 응력이 발생하게 된다. 궤도에 작용하는 힘과 변위를 해석하고 안정성과 사용성을 검토하기 위하여 과거부터 연속탄성지지모델을 이용하고 있다. 그러나 일반 궤도는 일정간격으로 침목이 설치되어 있으며 이 침목은 하중에 따라 탄성적 변위를 허용하므로 연속탄성지지로 보기는 어렵지만 일정간격 지지모델로의 해석이 복잡하므로 비교적 해석이 용이한 연속 탄성 지지모델을 이용한다. 연속탄성지지모델과 일정간격지지모델의 해석결과를 보면 위치, 간격, 궤도재료의 특성 등에 따라 변화는 있으나 대략 1% 이내로 유지된다.

그러나 유한간격으로 지지되어있는 경우 침목과 침목의 사이에서 레일이 지지없이 처짐이 발생하는 데 이를 2차 처짐이라 한다. 2차처짐량은 1차 처짐량의 1~3% 정도로 작지만 이 2차처짐은 레일진동에 영향을 주고 레일 저부응력이 증가하여 피로수명을 단축하는 것으로 보고되어 있다. 레일 매립형 궤도는 연속지지되어 있어 2차처짐이 없게 되어 레일응력 및 진동을 저감할 수 있다. 또한 하중작용점에서 일정거리 이격된 지점에서 발생하는 레일 상승현상을 억제함으로 레일 처짐량도 적은 것으로 나타났다.



침목지지 궤도

레일 매립형 궤도

그림7. 레일 처짐 곡선

#### 5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 차륜타이어 접촉부에서 도로 포장면과 레일의 높이는 15mm가 필요하며, 건설초기에는 6mm 정도가 적정한 것으로 나타났다.
- ② 레일매립형 궤도는 침목지지형 궤도에 비하여 2차처짐량이 없어 레일진동감소에 효과가 있는 것으로 나타났다.
- ③ 노면철도에서 레일 매립형궤도를 사용하는 경우 다음과 같은 장점이 있는 것으로 나타났다.
  - 포장면 파손 방지
  - 레일 수명연장
  - 진동의 감소

#### 참고문헌

1. Paul J. Larrousse (1999), "Track Design Handbook for Light Rail Transit", Transportation Reserch Board.
2. Josef Eisenmann (1999), "Stutzpunktelastizitat bei einer Festen Fahrbahn", ZEV+DEF Glas. Ann. 123.
3. H. Gerndt (1984), "Light Rail Technology", RHEIN-CONSULT GmbH.