

쾌적한 철로환경을 위한 철도케도시스템 : ERS(Embedded Rail System)



박 정 군

1. 서 론

교통하중 중 열차는 가장 충격적인 진동을 유발하고 도심지, 주택지, 역사 등 사람들이 주로 거주하는 지역에서 주된 소음/진동원이다. 철로변에서 약 60m떨어진 건물에서 측정된 소음은 65~80dB, 건물바닥진동은 46~68dB인데, 이러한 소음 진동의 정도는 사람들에 쾌적하지 못한 환경을 유발하고, 진동의 경우 구조물에 균열을 초래 내구성을 저하시키는 원인이 되고 있어 어떻게하면 효율적으로 철로변 소음 진동을 줄일 수 있을까 하는 것은 주요 관심사항이다. 필자는 수년간 이러한 철도방진에 관심을 가지고 방진성을 고려한 합성 침목, 레일패드, 폴리우레탄 개발 등 레일진동의 저감방법에 대한 연구 및 프로젝트 수행하였다. 그러던 중 네델란드 Edilon사의 ERS(Embedded Rail System)가 비교적 간단히 레일의 소음 진동을 저감시킬 수 있다고 하는 것을 알게 되었다. 첫 느낌은 충격적인 것으로 침목도 필요없고, 체결구도 필요없고, 단지 레일 구조에 의해 소음 진동을 획기적으로 저감 시킨다는 것에 다시 한번 유럽지역의 기술적우위, 합리적사고에 감탄하게 되었다. 기존 사고의 틀을 조금만 바꾼다면 쾌적한 철도주변의 환경으로 개선시켜 철로 구조물이 좀 더 사람들에 친숙한 구조물로 다가서게 할 수 있지 않을까 하는 기대를 가지고 본지의 기술기사를 통해 소개하고자 한다.

2. 슬래브 케도

슬래브 케도는 직결도상 체결방식에 의한 콘크리트 도상과 노반사이에 시멘트, 아스팔트, 모르터를 완충재로 삽입시키는 케도를 말하며, 기존 콘크리트 도상의 약점인 소음과 진동을 감소시킬 수 있으며, 산업구조의 변화로 중노동 기피에 따른 유지보수인력 부족현상을 해결할 수 있는 케도를 말한다. 아직까지 현재는 대부분의 철도케도가 전통적인 자갈도상의 형태이지만 최근에는 점점 비자갈도상인 슬래브 케도가 많아지는 경향이다. ERS도 슬래브 케도에 속하는 케도시스템이다. 슬래브 케도의 주요 이점은 적은 유지보수비, 높은 적용성, 낮은 구조물 높이, 적은 중량이다. 게다가 최근의 케도 트랙의 사용기간 중 비용연구에서 보면 슬래브 케도는 아주 유리한 시스템으로 알려져 있다. 기존의 자갈도상 트랙은 자갈비산문제, 유지보수문제 등에 문제가 있다.

3. ERS(Embedded Rail System)

기존의 레일 시스템은 침목에 의해 분리되어 지지된 레일이 기초가 되었다. 1976년 이후 네델란드에서 연속적으로 지지된 레일시스템이 적용되어왔다. 이 시스템이 Embedded Rail System이고(그림 1 Embedded Rail Structure) Corkelast(a cork/polyurethane mixture)로

* GWTECH(www.gwtech.biz) 대표/공학박사

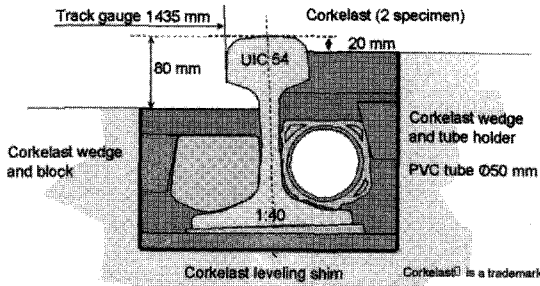


그림 1 Embedded Rail Structure

구성된 복합체에 의해 레일을 연속적으로 지지한다. 이 시스템의 가장 큰 잇점은 트랙이 “top-down”으로 건설되어지는 것인데, 이것은 지지 구조체의 오차가 트랙형상에 영향을 주지 않는다는 것이다. 네델란드의 Edilon사는 이 시스템에 20년의 경험을 통하여 거의 유지보수가 필요 없다는 것을 입증하고 있다. 현재는 Amsterdam에서 Belgian 지역에 이르는 고속철도의 표준트랙으로서 ERS를 사용하고 있다.

연간 비용비교를 위해 고속의 사양을 가진 자갈도상트랙, Rheda 시스템, Embedded Rail System(콘크리트 하부구조에 일체가 되지 않음), Embedded Rail System(콘크리트 하부구조에 일체가 됨), 기존의 자갈도상의 비용을 분석한 결과를 보면(그림 2 연간비용분석) 모든 비자갈도상의 비용은 자갈도상의 경우보다 싸다. 물론 이것은 트랙의 높은 적용성, 낮은 사하중, 감소된 구조물 높이, 소음감소 등에 따르는 비용을 계산하지 않는 것으로 이것을 계산한다면 더욱 경제적인 구조인 것이다. 자갈도상을 사용한 기존의 트랙은 오랜기간 동안 표준적인 시스템으로 사용되어왔다. 그러나 고속화와 화물의 증가가 새로운 주요 관점으로 됨에 따라 궤도의 사용기간 증대, 낮은 유지보수, 유용성은 증가된 열

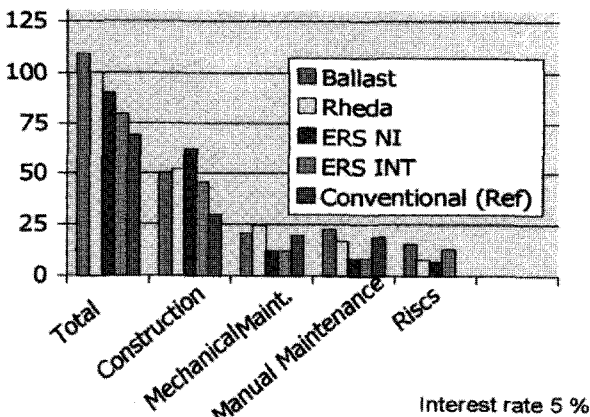


그림 2 연간비용분석

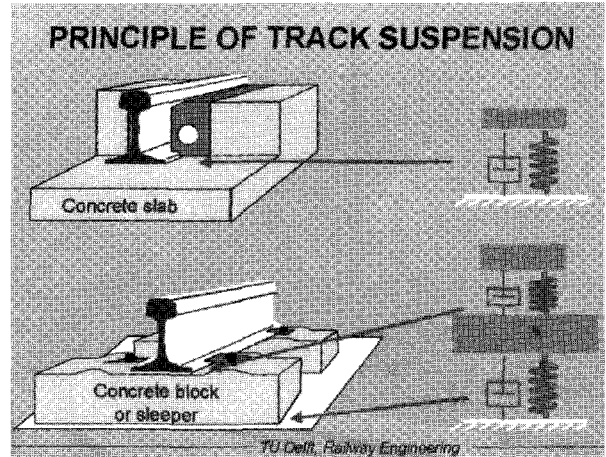


그림 3 ERS 및 기존트랙의 스프링-질량-감쇠구조

차의 속도와 축하중의 증가에 대해 중요한 요소가 될 것이다.

그림 3은 ERS 및 기존트랙의 스프링-질량-감쇠구조를 보여주고 있다. ERS의 경우는 콘크리트 슬래브 트랙과 직결되어 거동이 단순화되고 궤도의 동적안전성도 우수한 구조임을 알 수 있다. 반면 하부 그림에서와 같이 기존 트랙은 2자유도에 의해 모델링 되어 질 수 있고, 운동의 복잡성과 상층 궤도의 동적안전성에 유의하여 체결구를 설계하여야 할 것이다.

4. 궤도방진대책의 비교

방진궤도의 종류는 크게 1) 자갈도상궤도(ballast track) 2) 콘크리트 도상궤도(concrete track)로 구분된다. 진동저감을 위해 사용되는 방진궤도의 기본원리는 1) 침목의 스프링상수를 낮추는 방법 2) 레일과 지반사이의 중량을 크게 하는 방법 3) 레일단면적을 크게 하여 레일의 단면 2차모멘트를 크게하는 방법 등이 있으나 이러한 것을 이상적으로 만족시켜 주는 구조가 바로 매립형궤도시스템 ERS(Embedded Rail System)이다. ERS는 1970년대 네델란드 Edilon사에서 개발하여 전세계적으로 시공되고 있는 시스템이다.

궤도에서 방진을 위해 적용되는 방법은

- 1) 탄성침목(under-sleeper pad)
- 2) Ballast Mat
- 3) Spring-mass-damper system
- 4) 방진 체결구
- 5) ERS (Embedded Rail System)

등을 들 수 있다.

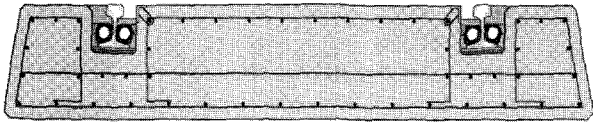


그림 4 ERS를 이용한 방진 시스템

ERS는 구조적으로 그림 4에서와 같이 슬래브에 홈을 형성시킨 후 고무패드를 깔고 레일을 안착시킨 다음 폴리우레탄과 코르크 등으로 구성된 액체를 홈에 부어서 만든 구조로 되어있다. 우선 기존의 레일시스템과 비교해서 침목과 체결구가 없어지고, 레일이 돌출되지 않고 노면과 수평하다는데 흥미로운 구조라 볼 수 있다. 소음 진동관점에서 보면 우선 레일이 탄성체로 연속지지 되어있어, 레일구간의 강성이 일정하여 차륜의 충격을 줄일 수 있고, 탄성체로 레일을 감싸고 있어 진동이나 소음의 흡수에 유리하고 온도변화에 둔감한 구조라고 볼 수 있다. 단지, 슬래브 트랙에 ERS를 적용하는 간단한 방법으로 소음진동 저감, 궤도수명연장에 의한 유지보수불필요, 철로미관조성, 조용한 철도교, 방재에 유리한 터널 등을 달성 할 수 있다.

그림 5는 Ballast mat를 이용한 방진시스템으로 기존에 우리나라 대부분 적용되고 있는 시스템이다. 자갈도상아래에 방진매트를 깔고 침목과 방진패드 그리고 체결구로 궤도를 고정하는 구조로 되어 있다. 복잡한 시공과 비용의 과다 그리고 고속주행시 자갈이 비산 등으로 인한 차륜의 파손 등이 우려된다. 시공이 복잡하고 소음 진동의 저감 효과는 ERS보다 낮다.

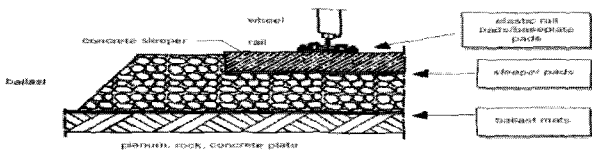


그림 5 Ballast mat를 이용한 방진시스템

그림 6은 스프링-질량-댐퍼를 이용한 시스템으로 독일의 GERBS가 제안한 시스템이다. 주로 역사에 적용되었다. 진동저감 효과는 우수하나 시공성과 비용이 과다한 단점이 있다.

ERS는 슬래브와 궤도가 일체화 되어있고 기존의 궤

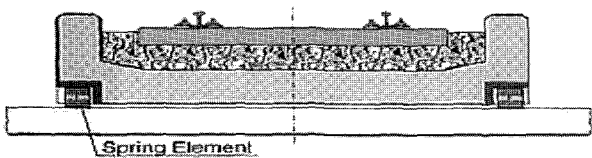


그림 6 스프링-질량-댐퍼를 이용한 방진시스템

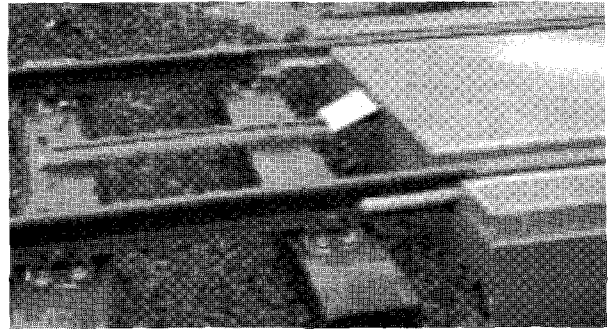


그림 7 기존레일시스템과 ERS가 시공된 사진

도시시스템은 슬래브와 궤도사이 2자유도형태로 되어 있어 진동하중을 받는 시스템에 있어 불리한 구조로 되어있다. 또한 기존의 침목과 침목사이에 공진현상과 강성차는 부식진전의 주요원인이 되어왔으나, ERS는 균등한 탄성지지를 하고 있어 이러한 문제점이 해소되어 유지관리에 유리한 시스템이다. 궤도의 수명을 보면 기존시스템 대비 직선부에서 3배, 곡선부에서 6배 이상의 수명을 가지고 있다. 그림 7은 기존레일과 ERS가 동시 시공된 사진을 보여주고 있다.

궤도의 종류에 따른 진동저감량 비교에서 보면 표 1에서 보는 바와 같이 자갈도상궤도, 방진침목궤도, 자갈도상매트보다 우수한 성능을 가지고 있음을 알 수 있다.

표 1 궤도종류에 따른 진동저감량 비교

궤도의 종류	진동저감량(dB)
자갈도상궤도	6.5
방진침목궤도	14.0
자갈도상매트	16.3
매립형궤도(ERS)	약 20이상

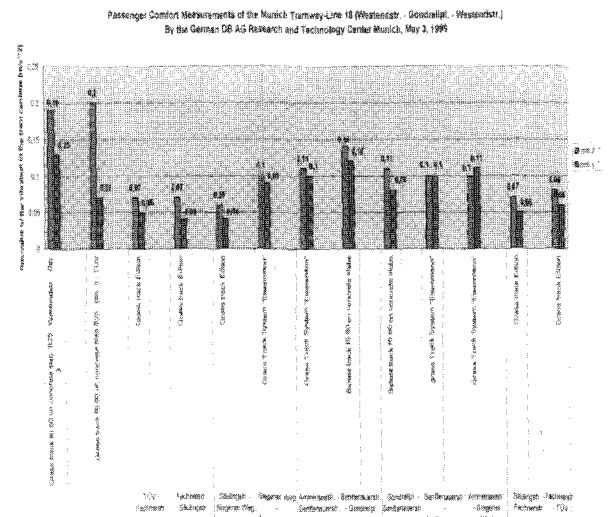


그림 8 ERS와 진동저감궤도시스템들의 진동저감성능 비교 (the German DB AG R/T Center, 1999)

그림 8은 독일의 DB AG R/T Center가 대표적인 진동저감시스템에 대한 진동저감 성능을 측정한 것으로 매립형궤도시스템 ERS가 우수한 저감효과가 있음을 보여주고 있다. ERS는 저렴한 비용으로 소음 진동에 유리한 궤도시스템을 구축할 수 있는 것으로 유럽과 동남아시아 등에 시공되고 있다.

5. 콘크리트 및 강 철도교에 적용되는 ERS

우리나라 도처에는 일제시대 일본인에 의해 건설되어진 판형교 형식의 철도교가 거의 대부분을 차지하고 있다. 이들 철도교는 고도화된 산업사회를 달리고 있는 시대에 발 맞추어 다량의 물량이 증대된 화물을 싣고 고속을 주행하는 열차를 통과 시키고 있으며, 주변인근 지역의 사람과 가축들에 소음 진동으로 인한 심각한 환경문제를 유발시키고 있다. 이들 환경문제를 유발하는 철도교들은 서서히 환경에 유리한 철도교로 교체되어야 하는 상황에 직면하고 있다. 이에 대한 합리적 방안은 없을까? 현재 유럽에서도 예전의 철도교들이 이러한 환경적 문제를 가지고 있어 대안을 찾고 있던 중 ERS를 적용한 철도교 시스템을 이용 합리적으로 문제를 해결하고 있다. 즉, 기존의 상판을 걷어내고 ERS가 장착된 슬래브를 적재하는 것으로 간단히 해결하는 것이다. ERS가 적용된 철도교에서의 소음이 10dB이상이 저감되는 아주 큰 효과를 보여주고 있으며, 경관도 크게 개선되고 있다. 그림 9는 콘크리트 및 강철도교에 적용된 ERS를 보여주고 있다.

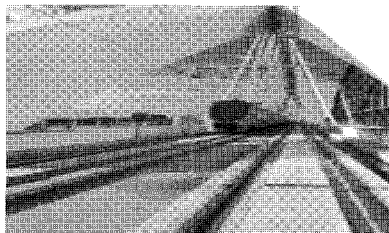


그림 9 콘크리트 및 강 철도교에 적용된 ERS

6. 터널에 적용되는 ERS

그림 10은 터널에 적용되는 ERS를 보여주고 있다. 터널에 ERS를 적용할 경우 기존의 자갈도상을 사용한 경우보다 터널단면을 줄여 비용을 절감할 수 있다. 또한 터널내 화재 및 열차사고시 일반차량의 출입이 가능하므로 방재 등에 유리하며, 터널내 소음과 진동을 저감시켜 열차 통과시 진동으로 인한 터널 자체의 안전성을 높일 수 있다.

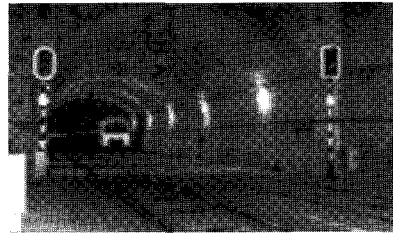


그림 10 터널에 적용되는 ERS

7. 역사에 적용되는 ERS

역사에 시공 시 소음/진동/미관/가격면에서 기존의 Ballast Mat 보다 우수한 성능을 가진 ERS는 역사 내부환경과 조화를 이루어 역사를 방문하는 고객들에게 좀더 친숙한 구조물로 느끼게 할 수 있다. 그림 11은 ERS가 적용된 역사를 보여주고 있다.



그림 11 ERS가 적용된 역사

8. 경량전철 고가도로에 적용되는 ERS

경량전철(LVT)에 적용되어지는 궤도 시스템은 1) 도심을 통과해야 하므로 소음진동에 유리해야 한다. 2) 유지보수에 유리하고 내구성이 있어야 한다. 3) 시공성이 좋아야 한다. 4) 해안가를 달리는 경량전철의 경우는 염분의 부식에 노출되어 있으므로 부식에 대해 강해야 한다. 등이 있는데 ERS는 이러한 문제들을 해결 할 수 있는 시스템이다. 해안가 염분에 의한 부식의 경우 노출면적이 적고 염분이 잔류할 가능성이 있는 공간을 제공하지 않으므로 부식에 유리하다. 그림 13은 강제 고가교에 적용된 경우로 데크플레이트위에 ERS를 직결한 구조이고, 그림 14는 콘크리트 합성구조로 콘크리트

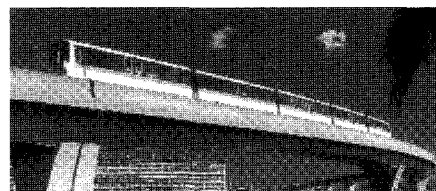


그림 12 경량전철 고가도로에 적용되는 ERS

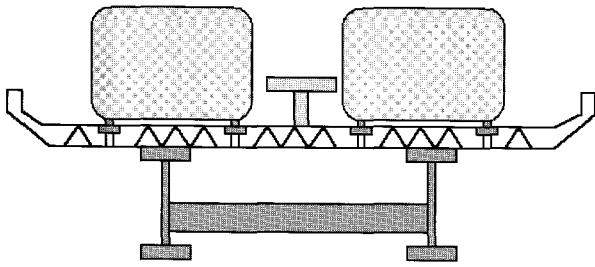


그림 13 LVT Steel Bridge with ERS

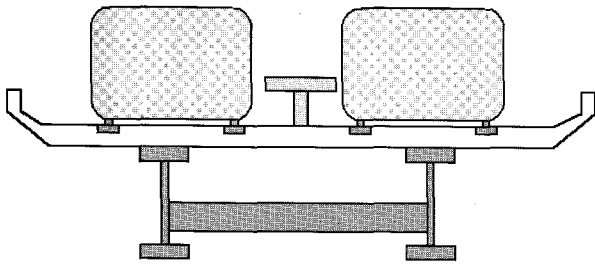


그림 14 LVT Composite Bridge with ERS

면에 ERS를 직결한 구조이다. 이들 제안된 경량전철 구조시스템은 특히 소음진동, 유지보수, 시공성에 유리하다.

9. 결 론

ERS는 쾌적한 철로환경에 유리한 철도궤도시스템으로 기존의 철로환경을 효과적으로 개선할 수 있는 구조로 되어있다. 유럽 기술자들의 합리적 사고에서 출발한 인간과 환경을 생각한 기술을 ERS를 통하여 엿볼 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Coenraad Esveld, "Slab Track : A Competitive Solution", TU Delft, 1999
2. www.edilon.com
3. www.gwtech.com 