

저진동 궤도슬래브의 설계와 시공

Design and Construction of Floating Slab Track

이은호*
Lee, Eunho

김용재**
Kim, Yong Jae

박명균**
Park, Myoung Gyun

ABSTRACT

Recently, railway has been pointed to the efficiency of transportation, rapid transit, and comfortable train ride. In the case of domestic situation, both rapid transit railway and existing railway have been operated in higher speed and the construction of railway near the city building has been increased as well. Because of the rapid transit system and heavy railway, the noise and vibration of railway has been increased so that the strong standards in terms of environmental matter should be required. Therefore, the solution to avoid environmental matters becomes one of the most important factor in constructing railway. In this study, floating slab system which is one of the solution to avoid noise and vibration in railway has been introduced, and the foreign technology and the trend of this business has been investigated. In addition, the method of conceptual design and construction of floating slab system according to the isolator has been introduced.

1. 서론

최근의 철도는 대량 수송성, 고속성, 쾌적성을 지향하고 있다. 국내의 경우 고속철도와 기존선에서 고속화가 이루어지고 있으며 도심지내의 건물인접구간에 철도부설이 크게 늘고 있다. 열차의 고속화와 중량화로 소음, 진동 크기는 커지고 증가하고 도심지내의 철도에 대한 소음, 진동 환경 기준은 점차 강화되고 있다. 따라서, 엄격한 환경기준을 만족시키기 위한 방음, 방진 대책의 마련은 철도건설에 있어서 중요한 기술요건이 되고 있다. 향후 고속철도에 노선확대에 따라 선하역사의 진동문제의 저감은 큰 이슈로 떠오를 것으로 판단된다. 속도를 향상하되 역세권 개발에 따라 철도수익성이 보장되기 위해서는 역사에 많은 상업시설이 설치가 예상되며 필연적으로 진동 및 소음 문제는 큰 민원을 야기할 수 밖에 없다.

이산 지지형(Discrete Support Type) 플로팅 슬래브궤도시스템은 독일 고속철도 잠머(Zammer) 터널과 일본 신칸센의 역구내에 진동저감을 위해 설치된 바 있다. 국내에서도 고속철도 천안-아산 역사에서 독일의 GERB 스프링의 강스프링 유닛(Unit)를 설치하여 이산지지타입의 플로팅 슬래브시스템이 도입되어 고속열차 주행시 역사 내의 진동을 저감시키고 있다. 이러한 기술들은 이미 국외에서 방진설계에 대한 원천기술이 확보되었으나 국내에서는 아직 시스템 설계기술이 확보되어 있지 못하다. 방진장치가 추가된 궤도시스템의 거동특성 변화에 따른 따른 구조안전성, 열차 주행안전성, 방진효율성이 고려된 궤도시스템의 기술 확보가 필요하며 철도의 고속화, 중량화에 따른 철도진동의 증가에 대하여 진동저감을 위한 핵심기술 확보할 필요가 있다. 또한 효율적, 경제적 진동저감기술개발을 통해 강화된

* (주)삼보기술단, 기술연구소, 비회원

E-mail : leeeunho@hotmail.com

Tel : (02)3433-3351, Fax : (02)3433-3192

** (주)삼보기술단, 기술연구소

환경진동기준에 적극 대처를 할 필요가 있다고 사료된다. 따라서 본 논문에서는 철도에 대한 방진대책의 하나인 저진동 궤도시스템(floating slab track)을 소개하고 국외 기술 및 산업동향 등을 조사, 분석하였으며 방진장치에 따른 저진동 궤도슬래브의 설계 및 시공에 대한 개략적인 개념을 정립하였다.

저진동 궤도시스템의 국산화가 실현되어 적용구간이 확대되면 다음과 같은 파급효과 있을 것으로 기대된다. 첫째, 국외기술 및 제품을 국산으로 대체함으로써 기술료 절감을 기대할 수 있고, 경제적인 저진동 궤도시스템의 실용화로 현장수요를 확대함과 동시에 선진화된 저진동 궤도기술의 확보를 통해 해외진출을 꾀할 수 있을 것으로 판단된다. 둘째로, 선하역사 및 연변진동 우려지역의 진동저감으로 철도의 쾌적한 환경구축 및 민원이 감소할 것으로 판단되며, 철도이용승객의 증가로 철도경영도 호전될 것으로 기대된다.

2. 국내의 관련기술 및 산업동향

2.1 국내의 관련기술

(가) 국내 관련기술

저진동 궤도시스템의 국내 기술개발 수준은 일부 시스템 해석기술과 방진효율성 평가기술을 확보된 상태이나 저진동 궤도시스템에 사용되는 패드 또는 스프링형의 방진재는 국내에서 생산되고 있으나 핵심설계 기술의 부재로 해외제품의 모방생산 단계이다. 또한, 설계, 시제품 제작, 시험평가, 현장성능평가 등 독자적 기술로 시공되지 않은 실정이다. 표1은 저진동 궤도시스템에 대해 선진기술을 가지고 있는 국외 수준과 국내수준을 정량적으로 평가, 분석한 결과이다.

표 1. 해외기술 대비 국내수준 평가

세부기술 내용	국외 현황 (주요선진국명)	국내 개발 현황	수준 (국외대비)
저진동 궤도시스템 개발	일본(RTRI), 오스트리아 (GERB)	한국철도기술연구원	60%

(나) 국외 관련기술

- Precast Slab System (프랑스)

슬래브 자체의 중량을 늘리고 슬래브 저면에 isolator로서 탄성패드를 삽입하여 고유진동수를 낮추고 진동의 세기를 줄이는 효과를 얻을 수 있게 하였다. 또한 궤도의 선형을 조정하고 슬래브의 종방향 및 횡방향 거동을 제어하기 위한 stopper와 시공성, 유지보수의 편의성을 도모할 수 있는 independent blocks를 사용한다. 그림 1은 프랑스의 Precast Slab의 기본 구조를 도식적으로 보여주고 있다.

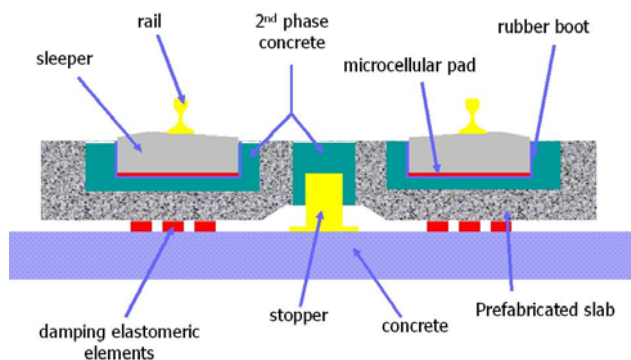


그림 1. Precast Slab의 기본 구조

- Mass Spring System (독일)

독일에서 저진동 궤도시스템에 대한 대표적인 회사와 주요특징을 표2에 나타내었다. GERB사에는 주로 스프링형 방진패드를 Zublin사에서는 주로 고무계열을 사용한 탄성패드를 생산하고 있다.

표 2. 저진동 궤도시스템

구 분	GERB사	Zublin사
개요도		
특 징	콘크리트 슬래브 또는 선로하부의 외측 홈, 골 형상(trough type)내에 방진스프링을 위치시킨다. GERB시스템은 시공후의 선형조정 및 유지보수가 용이하며 저주파 대역에서의 진동 및 소음저감효과가 탁월한 것으로 알려져 있다.	스프링 역할의 탄성패드를 사용한 연속형 플로팅 궤도시스템으로 진동저감성능은 탄성패드에 좌우된다.

- Floating Ladder System (일본)

방진스프링이 라다 침목을 1.5m간격으로 지지하는 방진장치식과 고무매트에 의해 연직지지 되고 다른 방향은 특별히 부설된 스토퍼에 의해 구속되는 방진고무식으로 나뉘어 진다. 상기시스템은 50Hz 이상의 영역에 대해서 약 20dB 정도의 진동효과가 알려져 있다.

2.2 국내외 산업동향

(가) 국내 산업동향

저진동 궤도시스템의 기술부재로 해외기술과 제품을 수입하여 선하역사 및 연변진동이 우려되는 지역에 부설하는 실정이며 국내에 시공된 저진동 궤도시스템은 크게 스프링형과 패드형으로 분류할 수 있다. 방진효율성이 뛰어난 스프링형의 경우 해외 기술, 제품으로만 부천역사와 천안-아산역사에 시공되었으나 고가의 비용으로 인하여 실적건수는 아직 미미하다. 표3은 국내 년도별 저진동 궤도시스템의 시장규모를 보여주고 있다.

표 3. 연도별 국내 시장규모 (단위 : 억원)

구 분	연도별 시장 규모														
	2001년			2002년			2003년			2004년			2005년		
	수입	설계	소계	수입	설계	소계	수입	설계	소계	수입	설계	소계	수입	설계	소계
저진동 궤도시스템	60	10	72	70	12	82	75	15	80	80	15	95	90	10	100

- ※ 스프링형 floating 시스템의 방진장치, 슬래브, 엔지니어링 비 포함 500만원/m 기준
- ※ 패드형 floating 시스템의 방진장치, 슬래브, 엔지니어링 비 포함 100만원/m 기준

그림 2는 천안-아산 역사에 설치된 저진동 궤도시스템의 국내 설치예를 보여주고 있다. 방진장치로는 GERB사의 스프링형을 사용하였다.

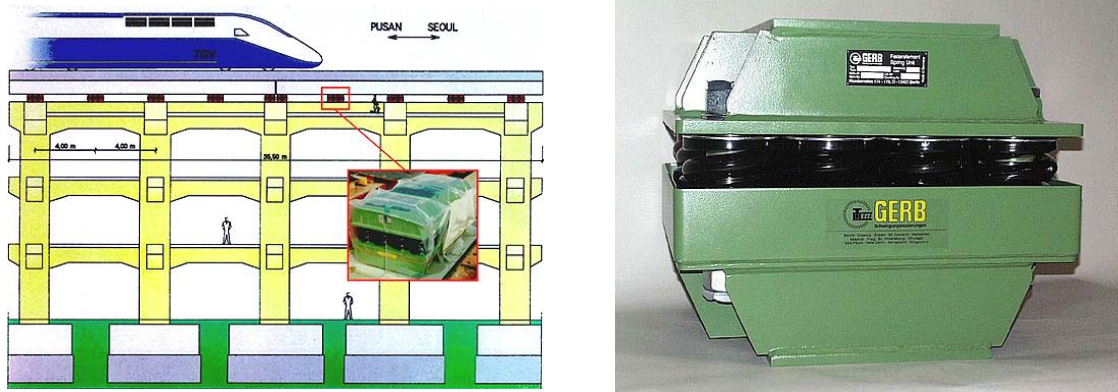


그림 2. 천안-아산역의 플로팅 track bed

또한, 국내 시장규모를 예측하여 표4에 나타내었다. 저진동 궤도시스템의 방진장치, 슬래브, 엔지니어링 비 포함 500만원/m 로 산정하였고, 5년후에는 부설길이 10km, 10년후는 15km, 그리고 15년후에는 20km로 추산하였다.

표 4. 국내 예측시장 규모 (단위 : 억원)

분야	예측시장 규모		
	5년	10년	15년
저진동 궤도시스템 개발	500	750	1,000

(나) 국외 산업동향

표5는 저진동 궤도시스템에 대해 선진 기술을 가지고 있는 일본, 영국에 대한 연도별 시장규모를 보여주고 있다. 해외 선진국의 경우 국내시장 규모대비 약 7배 정도의 규모로 점점 수요가 증가함을 볼 수 있다.

표 5. 주요선진국의 연도별 시장 규모 (단위 : 억원)

구 분	연도별 시장 규모										
	2001년		2002년		2003년		2004년		2005년		
	수요	소계	수요	소계	수요	소계	수요	소계	수요	소계	
저진동 궤도시스템	일본	100	100	200	200	250	250	300	300	400	400
	영국	150	150	200	200	300	300	350	350	400	400

또한, 선진국의 친환경적 환경에 대한 수준이 높아지고 있고, 아시아를 포함한 개발도상국에서의 철도 건설시장 규모의 지속적인 확대로 전 세계적으로 저진동 궤도시스템의 시장 규모는 점점 확대될 것으로 판단된다. 표6은 저진동 궤도시스템에 대한 전 세계적인 예측시장 규모를 나타내고 있다. 국내 저진동 궤도시스템에 대한 세계시장 규모는 최소 30배 이상이 될 것으로 판단된다.

표 6. 전 세계적인 예측시장 규모 (단위: 억원)

분야	예측시장 규모		
	5년	10년	15년
저진동 궤도시스템 개발	3,000	5,000	8,000

3. 저진동 궤도슬래브의 설계와 시공

3.1 저진동 궤도슬래브의 설계

저진동 궤도슬래브의 설계는 방진장치의 종류에 따라 설계가 결정되며, 본 연구에서는 시스템 고유진동수가 낮고, 내하력이 크며 선형 하중-처짐곡선이 구현 가능한 스프링 타입을 대상으로 하였다. 또한, 방진설계를 하기 위해서는 시스템 설계요건이 먼저 정립되어야 한다.

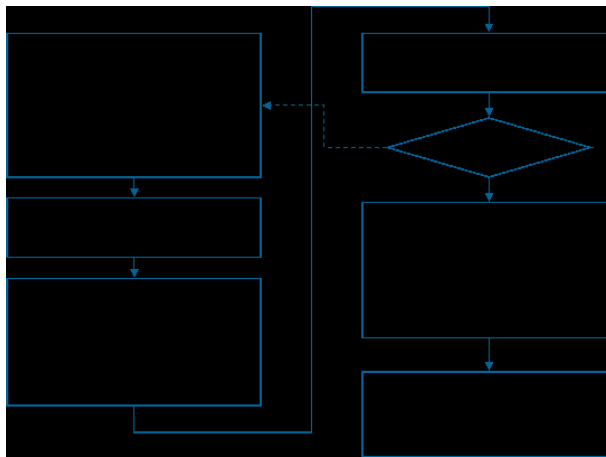


그림 3. 저진동 궤도시스템의 설계 흐름도

그림3은 저진동 궤도시스템의 설계를 위한 흐름도를 보여주고 있고, 표7은 저진동 궤도슬래브의 설계를 위한 고려사항 및 개념도를 보여주고 있다.

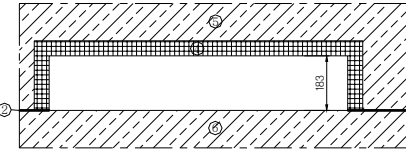
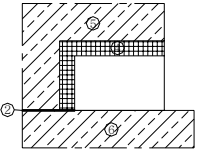
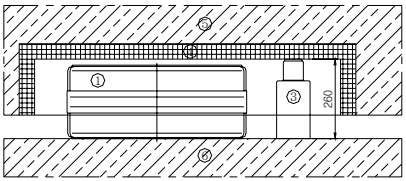
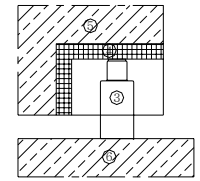
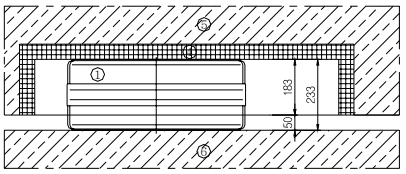
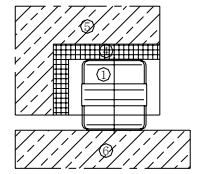
표 7. 저진동 궤도슬래브의 설계

설계단계 및 고려사항	개념도
1. 궤도 슬래브 제원 및 형식결정 - 차량주행안전/승차감 확보위한 형식 - 궤도파괴방지를 위한 요건 만족	
2. 방진스프링의 제원결정 - 시, 제동하중 등 수평방향 안정요건 만족 - 동적 안정성 요건 만족 (고유진동수 등)	
3. 방진스프링의 제원에 따른 배근도 작성 - 시스템인터페이스 요건 만족 (건축한계) - 시공성 및 유지관리 요건 만족	

3.2 저진동 궤도슬래브의 시공

저진동 궤도슬래브의 시공단계 및 고려사항에 대한 내용을 표8에 나타내었다.

표 8. 저진동 궤도슬래브의 시공

시공단계 및 고려사항	개 념 도	
1. 방진장치설치를 위한 시공높이 결정 - 방진 및 유압장치 높이를 고려 - 방진 및 유압장치 동시 설치공간 확보		
2. 방진 스프링설치를 위한 작업 - 진체하중을 고려하여 작업위치 선정 - 방진장치 와 슬래브 접합면 처리검토		
3. 방진 스프링설치 완료 - 수평방향 하중에 대한 고려 - 교체 등 유지관리를 고려		
범 례	①방진스프링 ②Band breaker ③유압잭 ④PS콘크리트 박스 ⑤Floating 슬래브 ⑥하부구조	

4. 결 론

저진동 궤도슬래브의 설계와 시공을 조사, 검토하면서 다음과 같은 결론을 얻었다. 저진동 궤도시스템을 적용하기 위해서는 먼저 차량 주행안전, 승차감 확보 및 궤도 파괴방지를 위한 요건 등이 정립되어야 한다. 또한, 시,제동하중 등 수평방향 안정성 및 동적안정성 요건이 정립되어야 하고, 건축한계 등의 시스템 인터페이스 요건도 정립되어 설계에 반영되어야 한다. 시공에 있어서는 현장조건에 맞는 최적공법을 선정하여야 하고 유지보수를 고려하여, 모든 구성요소가 강도 및 내구성 요건을 만족하여야 한다. 또한, 각 구성요소(슬래브, 방진장치, 궤도 구성요소 등)의 유지보수 접근성을 확보하여 교체 및 보수 등을 용이하도록 해야 한다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었으며, 저자들은 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Esveld, C. (1989), "Modern Railway Track", Head of quality Control and Rail Technology NS Permanent Way Department.
2. Coenraad Esveld "Modern Railway Track" Second Edition.
3. Grag, Vijay K. and Dukkipati, Rao V. (1984), "Dynamic of railway vehicle systems", Academic Press.
4. Esveld, C. (1989), Modern Railway Track, Head of quality Control and Rail Technology NS Permanent Way Department.