

1. 서언

열차의 안전과 쾌적한 주행을 위해서는 궤도상의 응답 그리고 환경진동에 대해서는 철도 연변에서의 진동의 평가가 중요하다. 열차의 고속화 및 고빈도화로 인해 발생하는 진동문제는 상황에 따라 필요한 현장계측과 정성적/정량적 분석을 통하여 적절한 진동저감 방안을 강구하여야 한다.

그러한 진동저감대책은 일반적으로 진동원, 전파경로, 수신부를 고려한 대책으로 분류되어지는데 열차진동으로 인한 환경진동에 대해서는 가장 적극적인 대책으로서 궤도방진(진동원 대책)을 고려할 수 있다.

따라서 본 강좌에서는 환경진동차원에서 열차운행시 발생하는 지반진동의 특성과 그에 대한 대책으로서 진동저감공법 중 진동원 자체의 진동을 억제하는 방법(궤도방진)을 적용한 현장의 방진방법별 방진효과를 논하고자 한다.

2. 철도진동 특성

철도진동은 열차의 차륜이 지상의 특정점을 통과함에 따라 생기는 주기적인 재하현상에 의한 것으로 그 주기는 차축간격과 열차속도에 관계되며 이에 대응하여 비슷한 형태의 진동파형이 반복되는 특징을

갖는다.

또한 철도연변에서 발생하는 지반진동의 전형적인 주파수는 100Hz 이하에서 나타나고 있으며 특히, 차륜/궤도의 공진주파수와 관련된 40~100Hz 사이에서 주로 발생하고 있다. 그리고 철도에 기인하는 진동문제는 그림 1과 같이 복잡한 경로와 다양한 특성의 매질을 통하여 전파하며 지반은 자유표면이라는 경계조건을 가지고 있기 때문에 압축파(Compression waves), 전단파(Shear waves), 레일리파(Rayleigh waves)라는 체적파와 표면파의 형태로 에너지가 전달된다. 표면파는 일반적으로 진동원의 범위가 비교적 작은 경우에 지배적으로 나타나고 에너지에 비하여 높은 진동을 유발한다. 일반적으로 철도진동을 평가하기 위한 영향요소는 그림 2와 같다.

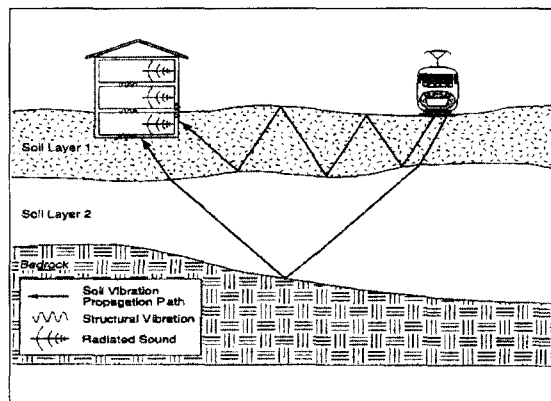


그림 1. 철도진동 전파특성

*1 정희원, 한국철도기술연구원 책임연구원

*2 정희원, 한국철도기술연구원 주임연구원

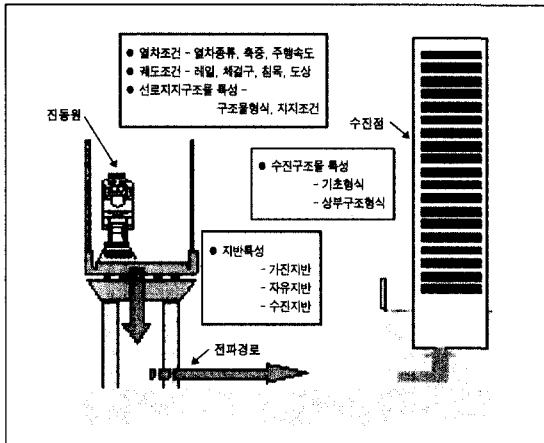


그림 2. 철도진동 평가 영향요소

3. 지반진동

3.1 지반진동의 물리적 표현

- 데시벨 (decibel : dB)

진동의 평가에 있어서 일반적으로 주파수 영역을 이용하게 되는데, 이는 큰 신호에 근접해서 나타나지 않는 작은 신호를 분석하고 이렇게 분류한 크고 작은 신호를 동시에 나타내기 위함이다.

또한, 동시에 각각의 주파수 성분의 신호를 쉽게 알아보기 위하여 각 성분의 스케일을 대수스케일 (logarithmic scale)을 사용함으로써 작은 진폭의 성분은 크게 확장하고 큰 진폭은 작게 축소함으로써 인해서, 동시에 한곳에서 쉽게 각각의 구성 신호를 나타낼 수 있다.

Alexander Graham Bell은 사람의 귀는 신호 파워의 차이를 대수적으로 반응한다는 것을 발견했으며, 이에 따라 사람의 듣는 능력을 나타내는 척도로써, Bel 이라는 단위를 산출해 냈다. Bel의 10분의 1을 데시벨(dB)이라 하며, 오늘날 주파수 영역에서 많이 이용되는 단위이다.

이러한 단위를 이용한 진동의 물리적 표현은 다음과 같다.

- 진동가속도레벨

(Vibration Acceleration Level)

속도의 Peak치로 규제해오던 환경진동은 최근 진동가속도를 dB 단위로 나타낸 진동가속도레벨로 공식적으로 표현되어오고 있으며 우리나라 철도진동 평가에 적용되고 있다. 진동가속도레벨을 식으로 정의하면 다음과 같다.

$$VAL(dB) = 20 \log \left(\frac{A_{rms}}{A_r} \right) \quad (1)$$

VAL : 진동가속도레벨(dB)

A_{rms} : 측정대상진동의 가속도 실효치 (m/s^2)

A_r : 기준진동의 가속도 실효치 ($=10^{-5} m/s^2$)

또한, 진동의 크기를 가속도 대신 속도, 변위에 대해서 다음과 같이 진동속도레벨과 진동변위레벨로써 표현할 수 있다.

- 진동속도레벨 (Vibration Velocity Level)

$$VVL(dB) = 20 \log \left(\frac{V_{rms}}{V_r} \right) \quad (2)$$

VVL : 진동속도레벨(dB)

V_{rms} : 측정대상진동의 속도 실효치 (cm/sec)

V_r : 기준진동의 속도 실효치 ($=10^{-6} cm/sec$)

- 진동변위레벨

(Vibration Displacement Level)

$$VDL(dB) = 20 \log \left(\frac{D_{rms}}{D_r} \right) \quad (3)$$

VDL : 진동변위레벨(dB)

D_{rms} : 측정대상진동의 변위 실효치 (m)

D_r : 기준진동의 변위 실효치 ($=10^{-11} m$)

- 진동레벨 (Vibration Level)

진동가속도레벨, 진동속도레벨, 진동변위레벨 등

의 표현은 인체감각 등에는 관계없는 물리량의 표현이다. 하지만 실제, 인체 또는 건물 등에 미치는 진동의 영향은 진폭과 진동수에 의존하며, 또한 연직진동과 수평진동에서는 감지방법이 다르게 된다. 따라서 ISO의 인체의 진동에 대한 진동폭표기준에 의하여 진동가속도레벨에 주파수에 의한 인체진동감각의 보정을 가한 것을 진동레벨이라 하며, 다음과 같이 표현된다.

$$VL(dBV) \text{ 또는 } VL(dBH) = VAL + W_n \quad (4)$$

VL(dBV) 또는 VL(dBH) : 수직 또는 수평 진동 레벨

VAL : 진동가속도레벨(dB)

W_n : 주파수 대역별 인체감각에 대한 보정치(표 1 참조)

표 1. 1/3 옥타브밴드 중심주파수대역별 인체감각 보정치(ISO R-2631)

1/3옥타브밴드 중심 주파수(Hz)	보정 특성	
	수직 보정	수평 보정
1.0	- 6dB	0dB
1.25	- 5dB	0dB
1.6	- 4dB	0dB
2.0	- 3dB	0dB
2.5	- 2dB	- 2dB
3.15	- 1dB	- 4dB
4.0	0dB	- 6dB
5.0	0dB	- 8dB
6.3	0dB	- 10dB
8.0	0dB	- 12dB
10.0	- 2dB	- 14dB
12.0	- 4dB	- 16dB
16.0	- 6dB	- 18dB
20.0	- 8dB	- 20dB
25.0	- 10dB	- 22dB
31.5	- 12dB	- 24dB
40.0	- 14dB	- 26dB
50.0	- 16dB	- 28dB
63.0	- 18dB	- 30dB
80.0	- 20dB	- 32dB

3.2 철도관련 진동기준

철도 진동의 제어를 위한 진동허용규제치는 대상

의 관점에 따라 아래와 같은 3가지의 기본적인 범주가 있다.

◆ 인간의 관점

- 객차 진동에 노출된 철도 이용여객
- 객차 진동에 노출된 철도 운용승무원
- 철도 주변의 공동체 사회(인간, 가축, 농수산물 등)

◆ 구조물의 관점

- 철도 진동에 노출된 건축구조물과 철도구조물
- 철도 진동에 노출된 정밀장비

◆ 철도 운영시스템의 관점

- 객차 구조체의 손상 및 피로파괴 문제
- 철도 운영장비의 진동노출 문제
- 철도 운영주변기기의 문제

진동허용규제치도 상기의 관점에 의하여 다양하게 구별된다. 여기서는 철도의 자체 진동보다는 철도 주변의 인간 공동체 사회와 건축 구조물의 진동 문제가 주된 관심사이다. 그러므로 철도 진동에서 대부분의 중요한 진동허용규제치는 공동체 사회의 안락과 안전성을 기초로 하여 결정하고 있다. 일반적으로 이러한 문제는 '존재하지 않으면 않을수록 좋다'는 관점에서 진동허용규제치를 결정하기 때문에 매우 엄격하다. 이를 철도로 기인하는 진동 예측을 위한 해석 및 실험 기술이 정밀해야 하기 때문에 상상 이상의 많은 비용과 고도의 진동 제어 기술이 요구된다.

외국의 진동기준과 국내의 진동기준을 비교해 보면 뚜렷한 차이점은 없으나 측정치의 산정방법에 있어서는 많은 차이가 있다. 국내에서 진동측정방법은 peak-level치를 측정하여 측정횟수 만큼 산술평균하여 그 측정치로 사용하고 있으나 일본에서는 열차통과시간의 지속시간동안의 평균치를 사용하여 그 측정치로 사용하고 있다. 이는 열차의 특성상 많은 진동발생요소와 변동요인을 가지고 있으므로 국내 기준에 의한 측정치는 상대적으로 높게 나타날 것으로 생각된다.

표 2. 우리나라 철도주변 진동 허용한도

대상 지역	구 분	한 도			
		2000년 1월 1일~ 2009년 12월 31일		2010년 1월 1일부터	
		주간 (08:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)	주간 (08:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교(병원, 공원도서관의 부지경계선으로부터 50m이내)지역	진동레벨dB(V)	65	60	65	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역중 취락지구 및 운동·휴양지구외의 지역, 미고시지역	진동레벨dB(V)	70	65	70	65

※정거장은 적용하지 아니하며 철교는 2010.1.1일 부터 적용함.

※이 규칙 공포일(1994.12.24) 이후 준공되는 철도에 대해서는 2010.1.1일 이후의 한도를 적용함.

- 국내의 진동기준

국내의 철도주변 진동 허용한도는 표 2와 같다.

- 국외의 진동기준

Nelson과 Saurenman이 제시한 열차주행시 지반진동에 따른 사람과 건물에 대한 여러 진동기준을 그림 3에 나타냈다. 이 그림에 의하면 저주파수 영역의 진동이 건물에 큰 피해를 줄을 알 수 있고, 전체적인 피해에 대해서는 50mm/sec, 국부적인 피해에 대해서는 5mm/sec로 기준치를 제시함을 알 수 있다.

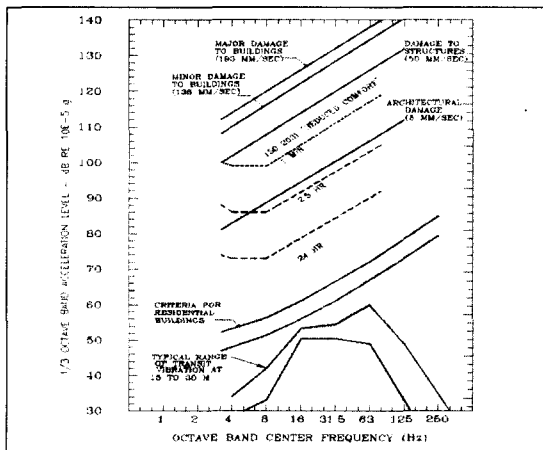


그림 3. 열차주행에 의한 지반진동에 따른 사람과 건물에 대한 진동기준의 비교

3.3 진동전파특성

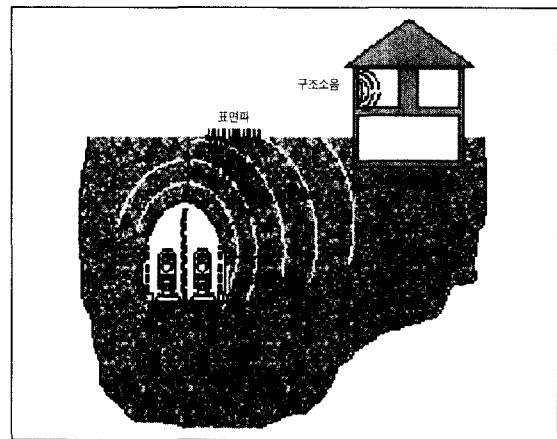


그림 4. 지반진동전파 예

구조물, 지반, 또는 그 외의 매개물을 통한 진동의 전파는 매우 복잡한 현상이다.

그림 4는 열차주행에 의한 터널구간에서의 지반진동 전파의 예를 보여주는데, 여기에서 철도차량의 바퀴와 궤도의 접촉부분에서 정/동적 힘으로 인하여 지하 터널 구조물에 진동을 야기시켜 결국 터널 구조물 주변 지반내에 압축파 및 전단파를 발생시킨다. 이러한 압축파와 전단파의 합성으로 인해서 지표면에는

레일리파가 발생되며 진동원으로부터 거리가 멀어짐에 따라 지반의 특성과 진동수에 의존하며 감소되는 전파특성을 보이게 된다.

이렇게 전파된 지반진동은 지반에 인접한 구조물 내부의 거주자로 하여금 기계적인 운동을 느끼게 하는 2차적인 구조물 진동과 이로 인한 구조소음을 유발시킨다.

3.4 진동레벨 영향요인

이러한 철도진동이 전파되는 지반에 있어서의 진동은 많은 요인들에 의해 복잡한 특성을 갖게 되는데 특히 지반진동레벨에 영향을 미치는 요인들을 다음의 네 가지 범주로 분류할 수 있다.

- 차량

차량의 속도, 현가장치의 1차강성, 휠의 마모정도와 같은 요인들은 지반진동문제를 발생시킬 수 있다.

- 궤도

레일의 형태, 조건, 궤도지지형태, 레일지지시스템, 궤도지지구조의 중량과 강성은 모두 지반진동레벨에 영향을 끼칠 수 있으며 마모정도가 심한 레일과 휠의 충격으로 인해 지반진동이 실질적으로 커질 수 있다.

- 지반조건

지반진동레벨에 큰 영향을 끼치며 가장 중요한 요인으로는 강성, 내부감쇠, 기반암까지의 심도를 들 수 있다. 경험적으로 진동전파는 천층의 기반암뿐 만 아니라 점토지반에서 좀더 명확하며, 후자의 경우가 지표면에 진동에너지를 집중시켜 결국 궤도에서 멀리 떨어진 수신점까지 지반진동문제를 야기시키는 것으로 판단된다. 또한 지층구조와 지하수위와 같은 요인들도 지반진동전파에 영향을 끼칠 수 있다.

- 수신구조물

지반진동은 건물내부에 문제를 야기시키므로 수신구조물(건물)의 특성이 지반진동의 평가에 있어서 중요시된다. 열차진동은 건물외부에 있는 사람들에서 감지되지만 외부의 진동이 민원을 야기시키는 것은 매우 드물다.

수신구조물(건물)내부의 진동레벨은 수신구조물(건물)의 기초, 기초와 지반의 coupling, 구조물을 통한 진동전파에 도달하는 진동에너지에 좌우되는데 이러한 진동에너지는 또한 구조물의 고유진동수와도 관련지어 고려되어야 한다. 일반적으로 구조물의 중량이 클수록 지반에 발생하는 진동에너지의 응답은 작다.

3.5 거리감쇠 특성

진동원에서 발생하는 진동은 차량-궤도, 궤도-지반의 상호작용에 의해 지반으로 전파되면서 거리 및 지반재료의 감쇠정수의 함수로 감소된다. 특히 거리감쇠의 일반적인 특성을 수신거리에 대한 진동가속도레벨의 관계로 나타내면 그림 5와 같다.

또한, 환경진동차원에서 열차주행으로 인한 지반진동을 평가하기 위해 현장진동측정과 분석을 수행한 결과(수신거리에 따른 진동레벨(dBV))를 그림 6에 도시하였다.

수신거리에 따른 진동레벨 분포를 살펴보면 토공(평지)구간의 경우, 그림 5의 ③과 같이 지반의 토질

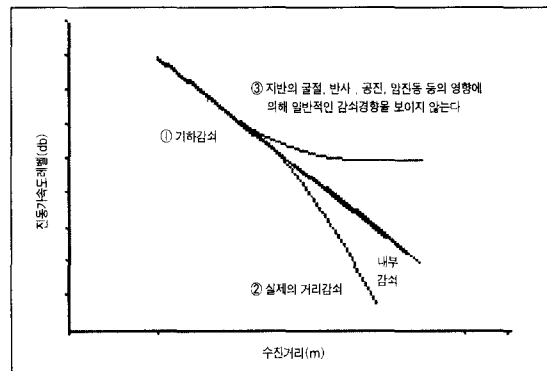


그림 5. 거리감쇠의 일반적인 경향

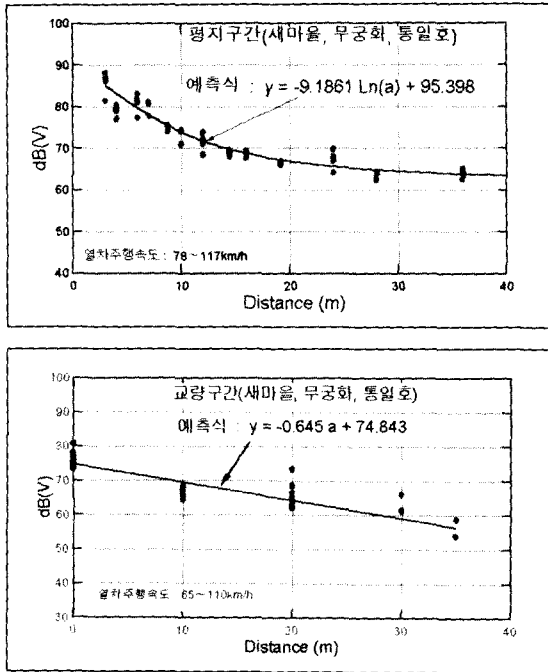


그림 6. 열차주행으로 인한 지반진동의 거리감쇠의 특성

구성에 의한 중복반사, 공진 혹은 기타 진동원의 압진동에 의해 지수함수적으로 감쇠하지 않는 거리감쇠의 경향을 보이며, 교량구간의 경우에는 기하감쇠가 지배적인 그림 5의 ①과 같은 감쇠경향을 보여준다. 따라서 진동레벨의 감쇠특성은 전형적인 기하감쇠와 토질의 내부감쇠에 의한 지수함수적으로 감쇠하는 일반적인 거리감쇠현상을 나타내지는 않았다.

4. 궤도방진

진동저감대책은 크게 진동원, 전파경로, 수신부를 고려한 대책으로 분류되어지는데 철도분야에 있어서 열차진동으로 인한 환경진동에 대해서는 가장 적극적인 대책으로서 진동원에서의 대책을 고려할 수 있다. 따라서 본 절에서는 진동원에서의 진동저감대책인 다양한 궤도방진방법에 대해서 논하고자 한다.

4.1 궤도방진특성

본 절에서는 열차운행에 의한 환경진동의 적극적인 대책으로서 진동원 자체의 진동을 억제하는 방법(궤도방진)을 적용한 현장의 방진방법별 방진효과를 소개하고자 한다.

진동원 대책으로 열차운행시 발생하는 진동 및 동적하중을 저감시켜주는 궤도방진은 여러 가지 형태가 개발되어 사용되어 오고있으며 그 기본이 되는 사항 중 일반적인 방법으로 방진재를 설치하는 궤도를 들 수 있다.

궤도방진은 진동계의 구성상 한 개 이상의 고유진동수를 갖게 함으로써 이 진동수에 의해 방진효율이 결정된다. 현재 다양한 궤도방진도 이러한 부류의 하나로 차량에서 발생하는 가진진동수를 궤도방진의 고유진동수보다 높게 하여 진동저감을 하게되고 방진재의 종류에 따라 일반적으로 이러한 고유진동수를 결정한다. 단, 이러한 고유진동수를 무한히 낮게 하면 방진효율은 높일 수가 있으나 방진재의 특성한계와 궤도의 불안정성 등을 야기 시킬 수 있다.

방진효과는 방진재 자체만의 특성이외에 열차에서 궤도의 하부구조까지를 포함한 전 시스템의 특성에 좌우됨으로써 차량의 스프링하 질량, 궤도하부구조의 임피던스, 하중, 주파수, 진폭에 의해 결정되는 방진재의 동적강성과 감쇠, 자갈도상의 동적강성과 같은 파라미터를 고려하여 설계 및 시공이 이루어져야 한다. 이러한 진동원에서의 철도진동의 영향요소 및 방진요건을 정리하면 표 3과 같다.

4.2 궤도방진대책

본 절에서는 열차운행시 발생하는 진동 및 동적하중을 저감시키는 진동원에서의 다양한 방진방법(장대레일, 방진체결구, 방진슬래브궤도, 방진매트, 방진침목패드)별 특성을 고찰하였으며 또한 그러한 방진방법을 적용한 방진시공구간과 미방진구간에서의 진동측정 및 분석 결과를 진동가속도레벨(dB)의 차이인 삽입손실(Insertion Loss)로써 진동저감효과를 산정하였다.(표 4 참조)

표 3. 진동원에서의 철도진동 영향요소 및 방진요건

구분	영향요소	방진요건
차량	<ul style="list-style-type: none"> • 차체 (car body) • 차체 프레임 (frame) • 대차 (bogies, truck) • 차축 (axle) • 차륜 (wheel) • 차체 장착 기계설비 	<ul style="list-style-type: none"> • 바다, 벽, 천장재의 흡진성 • 프레임 강성도/유연도 • 주현가스프링 (primary suspension spring) • 부상 (bushing), 베어링 (bearing) • 차륜 편마모, 베어링 (bearing) • 기계설비 균형 배치, 진동격리재
궤도	<ul style="list-style-type: none"> • 레일 (rail) • 체결구 (rail fastener) • 침목 (sleeper) • 도상자갈 (ballast) • 슬래브 (track bed) 	<ul style="list-style-type: none"> • 레일평활도, 장대레일, 레일패드 • 방진체결구 (Elastic Rail Fastener) • 방진침목패드 (Under Sleeper Pad) • 방진매트 (Ballast Mat) • 방진슬래브궤도 (Floating Slab)
선로구조물	<ul style="list-style-type: none"> • 토공 : 노상, 노반 • 교량 : 상부구조, 교각, 하부구조 (직접/밀착기초) • 터널 : 개착식 박스/굴진식 	<ul style="list-style-type: none"> • 다짐도, 흡진재 • 상부구조의 고체소음 발생 및 지반전달 진동역지/차진 구조물 • 인버트 (invert)/ 라이닝두께, 라이닝 배면 공동충진/흡진

- 장대레일

열차가 레일이음매 통과 시에 충격성 진동이 발생되며 이러한 충격성 진동은 빛의 백색잡음처럼 저주파수에서 고주파수까지 평탄한 주파수 대역을 가지며 지반을 가진하여 주변으로 전파하게 된다. 열차진동이 지반으로 전파시 이러한 충격성 진동성분은 거리에 따라 전파하는 특성이 다르게 되며 일반적으로 원거리 지반까지 전파되는 저주파수성분의 진동이 문제를 야기시키게 되는데 이러한 충격성 진동의 유무에 따라 철도주변의 진동수준은 다르게 나타난다.(그림 7 참조)

- 방진체결구

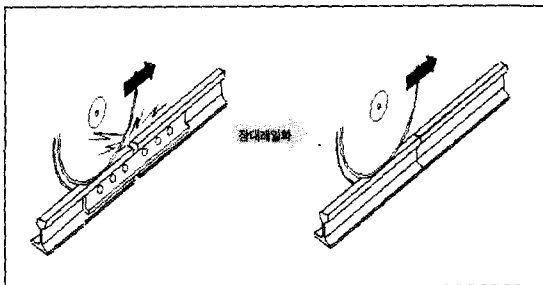


그림 7. 장대레일화에 따른 이음매부 충격하중의 제거

방진체결구는 체결 시스템 내에 방진패드 (Resilient Pad)를 설치하여 도상으로 전달되는 진동을 감소하도록 고안된 체결구로 방진체결궤도의 방진효과는 근본적으로 방진패드의 동특성(동적강성도 및 감쇠특성)과 체결구의 설치간격에 좌우되며 방진패드의 동특성은 근본적으로 진동의 주파수특성 및 강도에 따라 변하므로, 방진패드의 선정 시에는 관련된 동적실험을 통하여 실질적인 진동주파수 및 진동강도를 재현한 시험성과를 참조하는 것이 바람직하다. 또한 방진패드는 화학적 내구성, 진동하중의 반복작용에 대한 피로 내구성 등에 대한 실증적 시험성과를 고려하여 선정하는 것도 중요하게 된다.(그림 8 참조)

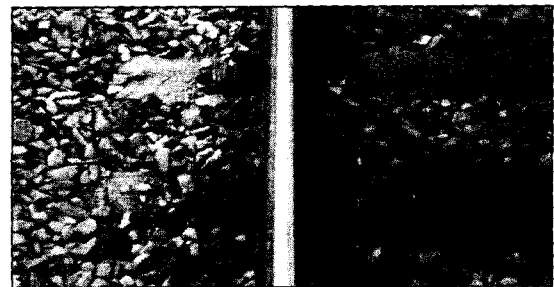


그림 8. 방진체결구 시공

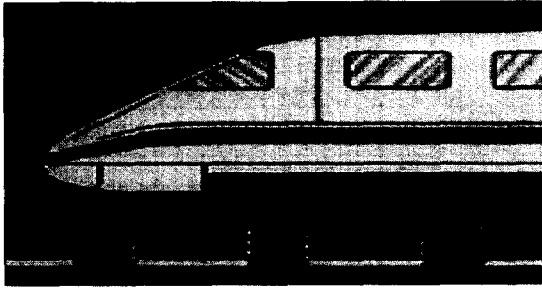


그림 9. Spring Damper System

- 방진슬래브케도

방진슬래브케도에 적용된 방진스프링은 열차에 의해 발생한 동하중의 균형을 위해서 관성력을 공급하게 된다. 주행열차에 의한 동하중과 정하중은 이러한 방진스프링을 통해서 저감되어 구조물에 전달된다.

그림 9는 Spring Damper System 방진슬래브케도의 개략도를 나타낸다.

- 방진매트

방진매트는 공진주파수영역에서 증폭비율이 작고 방진영역에서는 진동감쇠효과가 큰 재료의 특성으로 인해 열차 하중을 저감시켜 케도의 하부구조에 고르게 분산 전달한다. 이러한 매트의 상부층(Top Layer)은 고밀도, 고인장강도 특성을 가지게 되며 도상자갈이 각 위치에서 안정화되어 접촉면이 확대되고 접촉력은 그 하부의 감쇠층(Damping Layer)으로 균등하게 분산 전달된다. 그림 10은 자갈도상포설 전 교량상부 슬래브에 시공된 방진매트를 보인다.



그림 10. 방진매트 시공

- 방진침목패드

방진침목패드는 기존의 고체음차단의 측면에서 널리 사용되어 왔으나 최근 재료 개발에 의해서 방진매트와 거의 동일한 방진성능을 발휘하며 도상자갈케도에 있어서 경제적인 진동 및 고체음 저감대책중의 하나라고 할 수 있다. 근래에 일본 및 유럽에서는 독자적으로 설계된 방진침목패드를 개발 설치하여 사용하고 있는데 이런 방진침목패드는 침목과 접촉되는 탄성층(Spring Layer)과 자갈과 접촉되는 보호층(Protection Layer)으로 구성되어 있다. 탄성층의 유연한 스프링상수로 인해 동적하중 및 진동을 효과적으로 저감시키며 보호층은 단단하고 내마모성이 우수하기 때문에 동적하중을 자갈에 분산시켜 주고 자갈의 날카로운 면으로부터 탄성층을 보호해 주는 역할을 하게 된다. 그림 11은 자갈도상케도에 시공된 방진침목패드 단면의 모습을 보여준다.

5. 종합고찰

환경진동차원에서 열차주행으로 발생된 진동의 지반전파특성을 진동레벨(dBV)을 기준으로 살펴보았다.

- 토공구간의 경우, 지반의 지층구성에 따른 굴절, 반사, 공진 혹은 기타 진동원의 암진동 등의 영향으로 지수함수적으로 감쇠하지 않는 거리감쇠 경향을 보인다.
- 교량구간의 경우, 교량하부 교각으로부터 전파하는 지반진동은 교량형식(강, 강합성, 콘크리트교량)에 의한 영향보다는 교각하부지지조

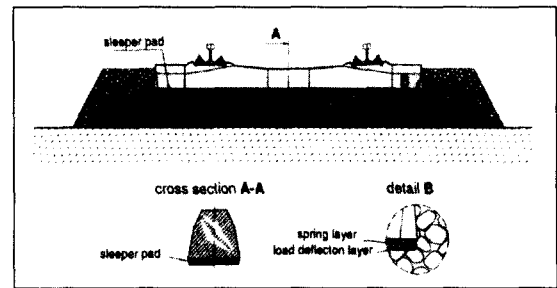


그림 11. 방진침목패드

표 4. 진동원 방진대책과 진동저감효과

진동저감방법		장대레일	방진슬래브/케도	방진매트	방진세굴구	방진단벽/벽도			
선로구조물 형식		토공	역사	교량	교량	터널	교량	교량	터널
시공 구간		경인선*①	경인선*②	전라선*③	장항선*④	서울지하철 2호선*⑤	전라선*⑥	전라선*⑦	
Insertion Loss (dB)	레일	6.5	-	-	-	-	-	-	-
	침목	4.2	-3.1	4.3	5.6	-	-6.6	-5.5	-10.3
	슬래브	-	9.6	12.7	6.4	-	5.0	12.5	-
	교각	-	-	-	6.1	-	-	-	-
	0m*1	-	-	7.0	5.7	-	3.9	-	-
	3.5m*2	-	-	-	-	11.7	-	-	-
	4.0m*3	-	-	-	-	-	-	-	7.5
	11.0m*4	10.1	-	-	-	-	-	-	-
	21.5m*5	-	-	-	2.2	-	-	-	-
25.0m*6	6.7	-	-	-	-	-	-	-	

*1,5 교각하단으로부터 지반진동 측정위치까지의 거리
 *2 케도중심으로부터 측정위치(터널측벽 하단)까지의 거리
 *3,4,6 케도중심으로부터 지반진동 측정위치까지의 거리

*① 전기동차(6회), 화물열차(4회) 대상
 *② 전기동차(진입/출발시)(10회) 대상
 *③ 새마을(1회)·무궁화(4회)·화물열차(5회) 대상
 *④ 시험열차(기관차1량, 화차2량)(각 속도별(40, 60, 80km/hr) 4회) 대상
 *⑤ 전기동차 대상
 *⑥ 새마을(2회)·무궁화(4회)·화물열차(8회) 대상
 *⑦ 새마을(1회)·무궁화(5회)·화물열차(3회), 시험열차(1회) 대상

건 및 지반특성에 더 큰 영향을 받으며 기하감쇠가 지배적인 거리감쇠 경향을 보였다.

일반적으로 진동저감대책은 크게 진동원, 전파경로, 수신부를 고려한 대책으로 분류되어지는데 철도 분야에 있어서 열차하중으로 인한 지반진동에 대해서는 가장 적극적인 대책으로서 진동원 대책을 고려할 수 있다.

- 레일이음매에서 발생하는 진동이 현저하게 큰 경우, 레일 이음매를 대상으로 한 방진대책, 즉 레일을 용접하여 긴 레일로 만든 장대 레일을 시공함으로써 진동저감효과를 가져올 수 있으나 레일이음매 이외의 원인에 의해서도 진동이 크게 발생하는 경우에는 상기의 경우와는 진동저감효과가 달라질 수 있으므로 사전에 대상지점의 문제시되는 진동원을 명확히 조사 분석하여 적절한 방진대책을 세워

야 한다.

- 케도지지구조물인 교량에 미치는 열차진동은 구조소음을 야기시킬 뿐 만 아니라 열차의 반복적인 피로하중으로 교량의 구조적 안정성에 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서, 본 강좌에서는 철도에서 열차운행에 따른 진동하중을 환경진동차원에 국한 지어 지반진동대책에 대한 문제를 다루었지만 방진설계시에는 환경진동차원만이 아니라 토목구조물자체의 안전성, 시공성, 유지보수, 경제성, 공용연수 측면 등의 제반 사항들을 감안한 종합적인 대책을 세워야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국지반공학회(1997), 지반공학 시리즈-진동 및 내진설계, pp. 161~195
2. 천병식, 오재음(1993), 지반진동 영향과 대책, 건설연구

사 pp. 11~19

3. 한국철도기술연구원(2000), "철도 소음·진동의 효율적 저감방안 연구"

4. 田正純(1986), 公害振動の豫測手法, 井上書院, pp.128~142

5. 横山秀史, 吉岡修(1997), "鐵道振動へのレール繼目部の影響評價手法", RTRI REPORT Vol. 11, No. 10

6. Hugh J. Saurenman, James T. Nelson, George P. Wilson(1982), "Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control, Report No. USTM-MA-06-0099-82-1", Wilson, Ihrig & Associates, pp. 2-19 ~8-108

7. U. S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration(1995), "Transit Noise and Vibration Impact Assessment-Final Report", pp. 7-1~10-12

8. U. S. Department of Transportation Federal Railroad Administration(1998), "High Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment-Final Draft", pp. 6-1~7-5

2001년도 토목섬유기술위원회 학술세미나 개최 안내

토목섬유 기술위원회에서는 오는 6월 29일(금)에 "토목섬유 현장적용사례 및 적용성 검토" 라는 주제로 아래와 같이 학술세미나를 개최하고자 하오니 많은 회원들의 참여를 부탁드립니다.

- 주 제 : 토목섬유 현장적용사례 및 적용성 검토
- 일 시 : 2001년 6월 29일(금) 13:00 ~ 17:00
- 장 소 : 인천대학교 학산도서관 1층 세미나실
- 등록비 : 회원 20,000원 (대학원생 10,000원)
- 학술세미나 프로그램

시 간	주제발표
13:00~13:30	등록
13:30~13:45	개회식
13:45~14:10	보강토옹벽 축조시 사용되는 보강재의 강성이 시공완료후 보강토옹벽 구조체의 거동에 미치는 영향 (박병영/ R.E.코퍼레이션)
14:10~14:35	보강토의 다짐시공중 발생토압 (노한성/ 도로공사)
14:35~15:00	토목섬유를 이용한 매설암거의 토압저감효과 연구 (김진만, 조삼덕, 최봉혁, 오세용/ 건설기술연구원)
15:00~15:20	휴 식 (음료)
15:20~15:45	인천국제공항 수직배수공법 시험시공 사례연구 (권오현/ 한석엔지니어링)
15:45~16:10	Geocomat를 활용한 폐기물매립장의 사면안전성 검토 (신은철, 이성근, 이영재/ 인천대)
16:10~16:35	폐기물매립장 차수재의 꿰뚫림에 의한 응력-변형에 관한 연구 (이광열/ 동서대, 정진교/ 부산정보대)
16:35~17:00	환경친화형 Fabric Form의 시공사례 (송재현/ 건설기술개발공사)
17:00~17:10	폐회