

철도레일 방진 체결장치의 진동 및 소음 저감 효과에 관한 실험적 연구

Experimental Study of Vibration and Noise Reduction Effect of Railroad Vibration Isolator

이장현* · 김태언* · 이성춘* · 전익범**

Jang-Hyun Lee, Tae-Eon Kim, Seong-Choon Lee, Ik-Pom Chon

ABSTRACT

Vibration caused by railroad vehicle including subway train running raises a lot of problems to the neighboring buildings. Therefore lots of methods to isolate the railway vibration have been studied and practically applied to sites. As one of them, specially designed vibration isolation device was installed in the some section of Seoul subway. This device is installed between the rail and track slab. Because the process of installation is relatively simple, this method can be applied to the existing railways in servicing.

We measured the vibration and noise to check the effectiveness of this device before and after the installation. The result showed that the vibration level of the slab and platform was reduced to 7 - 10 dB. Expecially high frequency component was reduced to a large amount.

From this result, we can conclude that these kind of devices are useful to the reduction of the railroad vibration, expecially the high frequency vibration which can cause structure born noise.

1. 서론

최근 대도시 도심의 대중 교통 수단으로 지하철이 아주 중요한 비중을 차지하고 있다. 지하철은 버스 등의 여타 대중교통 수단에 비하여 획기적으로 많은 수송 능력을 보유하고 있으며 도로 교

통 체증에 의한 영향을 받지 않아 정시성이 보장된다. 그리고 지하에 건설되므로 도심의 토지 활용이 유리하다. 이런 장점으로 우리나라에서도 대부분의 광역시에서 지하철이 건설되어 운행되고 있다. 특히 지하철은 건물이 밀집한 도심의 지하터널을 따라 운행되는데 차량 주행 중 발생한 진동이 지반으로 전파되어 인접 지역으로 확산되므로 피해 범위가 넓다. 따라서 지하철을 포함한 레도차량의 진동을 차단하기 위한 방안이

* (주)엔.에스.브이 기술연구소

** (주)엔트캠

다각도로 연구되어 왔고 실제 적용되고 있다. 그 중의 하나로 서울 지하철 일부 구간에 레일과 궤도 슬라브 사이에 특수하게 제작된 방진 체결장치를 시공하였다. 본 장치는 그 내부에 진동을 흡수할 수 있는 탄성체를 내장하고 있으며 진동의 차단 기능과 함께 레일을 간편하게 궤도 슬라브에 고정할 수 있는 구조로 되어 있다. 본 장치는 기존의 선로에 비교적 간단한 작업으로 진동을 크게 개선할 수 있는 장점이 있다. 본 장치는 현재 독일과 오스트레일리아 등에서 생산되어 사용되고 있으며 우리나라의 (주)엔트켄사에서 생산, 국내 철도의 철교 및 지하철 일부구간에 설치되어 있다. 이 장치의 진동 차단 성능을 확인하기 위하여 서울 지하철 2호선 동대문운동장역의 역사 구내 구간에서 본 장치 시공 전후의 차량 주행 시 궤도 슬라브 및 부근 플랫폼의 진동 및 소음을 측정, 비교하였다. 본 논문에서는 측정 결과 확인된 방진체결장치의 진동 및 소음저감효과에 관한 사항을 포함하고 있다.

2. 지하철 진동의 특성

2.1 일반사항

최근 열차 통과시 발생하는 지반 진동이 주변 건물에 미치는 영향에 대한 관심이 높게 일고 있다. 지하철을 포함한 궤도차량은 통상 수십톤에 달하는 중량을 가지며 이런 무거운 차량이 통과할 때 지반에 큰 가진력을 발생시키고 이 진동은 Fig.1와 같이 선로 구조물과 지반을 통해 주변 지역으로 전파된다. 이 진동은 건물 및 그 내부 사람에게 직접 피해를 주거나, 빌딩구조체를 진동시켜 소음을 방사하여 소음 공해를 유발한다. 그리고 진동에 민감한 장비의 작동을 방해하거나, 심한 경우에는 빌딩에 구조적인 손상을 초래할 수도 있다. 궤도차량에 의한 진동의 발생은 다음의 원인을 들 수 있다.

- 1) 차륜/침목 가진력
- 2) 차륜 편마모 부위의 레일 타격 진동
- 3) 레일 이음매 통과 진동
- 4) 레일 요철면 진동
- 5) 기타

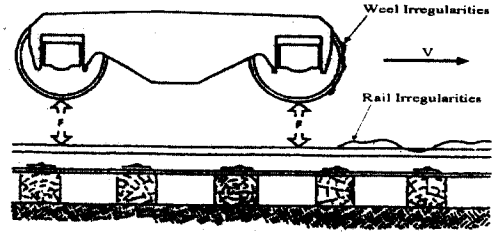


Fig.1 Mechanism of Vibration Excitation Transmission

2.2 지하철 진동 저감 대책

가. 진동원 대책

진동원 대책은 진동의 발생 자체를 억제하는 방법으로 근본적인 대책이다. 궤도 차량에서 생각할 수 있는 진동원 대책으로 다음 사항을 고려할 수 있다.

- 1) 차량의 경량화
- 2) 레일의 장대화
- 3) 차륜 및 레일의 정삭
- 4) 레일 이음매 줄임
- 5) 차량 운행 속도 저감

상기한 바와 같은 진동원 대책은 방진을 위하여 가장 근본적 대책이기는 하지만 이들 대책은 차량 제작 기관과 운영 기관에서나 시행할 수 있는 방안이며 상당한 비용과 함께 운행상 문제점을 수반한다.

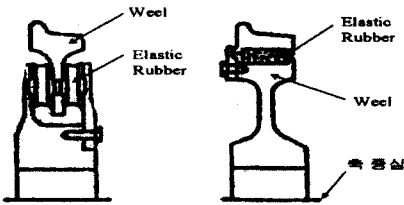
나. 전파 경로 대책

전파 경로 대책은 진동이 전파되는 경로에 금속 스프링이나 Rubber Pad 등의 탄성 물질을 삽입하여 진동이 주변 지반으로 전파되는 것을 줄이는 방법이다. 궤도 차량의 진동이 차륜과 레일의 상호 작용에 의하여 발생하여 레일 → 침목 → 궤도 슬라브 → 터널 구조물 → 주변 지반 → 인접 건물 등으로 순차적으로 전달됨을 감안하면 이들 전달 매체 사이에 적절한 방진 재료를 삽입하면 된다. 실제로 레일과 침목사이, 그리고 침목과 궤도 슬라브 사이에 발포 고무 패드가 사용되고 있고 외국의 경우 궤도 슬라브 하부에 금속 코일 스프링 또는 고무 마운트를 삽입하여 방진하는 경우도 있다.

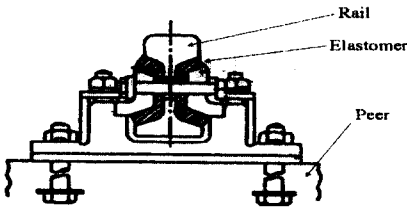
이상의 전파 경로 대책 또한 차량 운행 안전성

등이 면밀히 검토된 후 시행할 수 있는 방안이다.

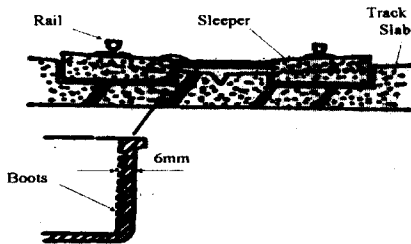
건축이나 토목 차원에서 고려할 수 있는 전파 경로 대책으로는 지반과 터널 구조물 사이에 Rubber Pad를 비교적 두꺼운 두께로 까는 방법을 고려할 수 있다. 궤도 차량의 운행시 피해가 주로 비교적 높은 주파수의 진동에 의한 구조 소음임을 감안하면 Rubber는 자체 진동에 의한 서징 현상이 없고 고주파 진동성분의 방진에 아주 효과적이므로 좋은 효과가 예상된다. 대표적인 전파 경로 대책으로는 탄성차륜, 탄성레일, 탄성침목부츠, 궤도 슬라브방진 등이 있으며 이들은 각각 다음 Fig.2와 같다.



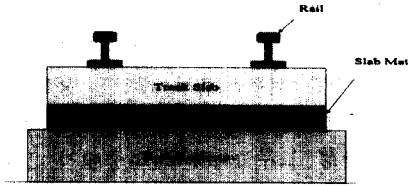
a) Elastic Wheel(Shear) b)Elastic Wheel(Compression)



c) Elastic Rail



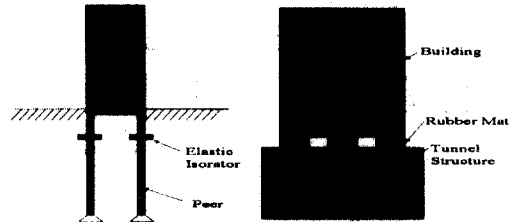
d) Elastic Sleeper Boots



e) Isolation of Track Slab
Fig.2 Active Isolation of Rail Way

다. 수진점 대책

수진점 대책은 진동원 대책과 전파 경로 대책이 여의치 않을 경우 진동 피해 대상 지역을 진동이 있는 주변 환경으로부터 분리하는 방법으로서 철도 진동 등과 같이 진동원 대책과 전파 경로 대책이 마땅치 않을 경우 채택할 수 있는 방안이다. 이 방법은 진동 피해 대상 건물의 하부에 Rubber Pad등의 탄성체를 설치하여 지반의 진동이 건물로 전달되는 것을 차단하는 방법이다. 수진점 대책의 시공 개념은 다음 Fig.3와 같다.



a) above Peer b) on the Tunnel Structure
Fig.3 Passive Isolation of Building.

3. 방진체결장치 구조 및 진동 저감 기구

본 시험에 적용된 방진 체결장치의 형상은 다음 Fig.4와 같다.



Fig.4 Configuration of Isolator

본 장치는 상부 플레이트, 하부 플레이트, 체결 장치 받침, 탄성고무 그리고 틱니와셔 등의 체결 구로 구성되어 있다. 상부 플레이트에는 레일이 고정되는 두꺼운 철판으로서 레일을 통하여 전달된 차량의 하중을 탄성고무에 균등하게 분산, 전달시킨다. 탄성 고무는 정격 하중에서 2.4mm의 정적 처짐 량을 갖는 천연 고무(Natural Rubber)로서 진동을 차단하는 기능을 담당한다. 특히 방진 효과를 높이기 위하여 바닥 부위는 스파이크 돌기 형태로 제작되어 있다. 체결 장치 받침은 상부 플레이트와 탄성 고무 그리고 하부 플레이트를 정 위치에 고정시키는 기능을 담당하며 하부 플레이트는 방진 고무를 통하여 전달된 하중을 침목 또는 궤도 슬라브에 분산시키는 기능을 담당한다.

본 장치의 내부 구조는 다음 Fig.5와 같다.

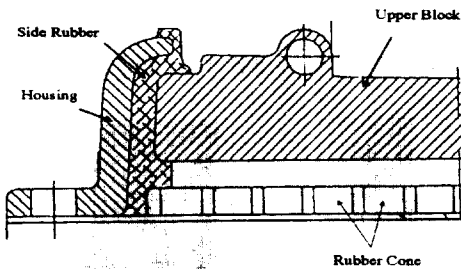


Fig.5 Section of Isolator

본 장치의 부설 상태는 다음 Fig.6와 같다.

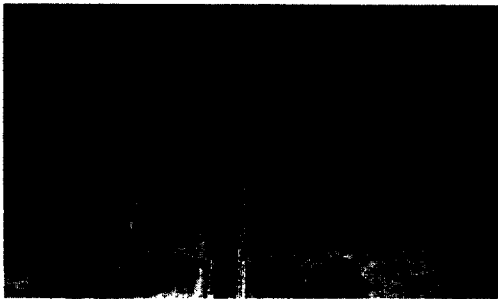


Fig.6 Photo of Isolator Installation.

4. 소음, 진동 측정위치 및 측정방법

본 연구는 지하철 4호선 동대문 운동장역에서

방진체결장치 부설공사전과 방진체결장치 부설공사후 진동,소음을 측정하였다.

진동측정장비는 가속도계(RION PV-85), 증폭기(RION VP-26C) 및 주파수 분석기(RION SA-77)를 사용하였고 측정지점은 역사구간 시점 및 종점, 궤도 슬라브 중앙 및 선로단 1m지점 플랫폼으로 하였다. 그리고, 소음은 마이크로폰(RION UC-53), 증폭기(RION NH-17), Sound Level Meter (RION NA-29E)을 사용하여 역사구간 시점 및 종점 플랫폼, 선로단에서 1m 지점에서 소음측정을 하였다. 측정 방법은 다음과 같다.

- 1) 측정 지점에 순간 접촉체로 정육면체 Steel Block 부착, 그 위에 가속도 Pick-up 을 Magnet Adapter로 부착.
- 2) Pick-up 방향을 x, y, z 3방향으로 옮겨가며 3방향 진동 측정.(X-선로 방향, Y-횡방향, Z-상하방향)
- 3) 각 부위별 진동 및 소음 측정, 주파수 분석
- 4) 신호 분석기 작동 모드를 Peak Averaging하여 진동 신호의 주파수 최대값 측정
- 5) 소음계 작동 모드를 L_{max} 으로 하여 차량 운행 소음의 최대값 측정
- 6) 측정결과를 신호분석기, 소음계에 메모리, 실험실에서 프린터로 출력

5. 공사 전후 측정 결과 및 고찰

5.1 측정결과

방진체결장치 부설전후 진동측정결과 Table 1 과 같고 소음측정결과는 Table 2와 같다.

*Case

- ①시점 궤도슬라브 Z방향
- ②시점 궤도슬라브 X방향
- ③시점 궤도슬라브 Y 방향
- ④시점 플랫폼 Z방향
- ⑤시점 플랫폼 X방향
- ⑥시점 플랫폼 Y방향
- ⑦종점 궤도슬라브 Z방향
- ⑧종점 궤도슬라브 X방향
- ⑨종점 궤도슬라브 Y방향
- ⑩종점 플랫폼 Z방향
- ⑪종점 플랫폼 X방향
- ⑫종점 플랫폼 Y방향

Table 1 Test Result of Vibration before and after Installation of Isolator

No. Case	Before			After			▽VAL (dB)
	RMS (cm/s ²)	AVG.	VAL (dB)	RMS (cm/s ²)	AVG.	VAL (dB)	
①	378.8	372.0	111.4	201.9	161.3	104.2	7.2
	416.1			113.1			
	321.1			168.7			
②	366.0	385.7	111.7	110.9	106.4	100.5	11.2
	349.0			130.3			
	442.2			78.1			
③	423.9	390.4	111.8	118.2	113.6	101.1	10.7
	380.5			135.3			
	366.9			87.3			
④	40.5	45.8	99.4	17.8	16.2	84.2	15.2
	47.5			12.2			
	49.5			18.5			
⑤	11.2	13.0	82.3	4.9	6.0	75.6	6.7
	13.9			6.3			
	13.9			6.7			
⑥	26.3	18.6	85.4	6.6	8.0	78.1	7.3
	15.9			10.2			
	13.5			7.1			
⑦	401.4	391.4	111.9	172.2	171.5	104.7	7.2
	372.9			191.5			
	399.8			150.8			
⑧	414.1	419.6	112.5	264.3	206.4	106.3	6.2
	393.9			192.9			
	450.9			162.1			
⑨	361.9	314.1	109.9	103.5	144.9	103.2	6.7
	272.8			138.3			
	307.6			192.9			
⑩	68.4	76.1	97.6	31.3	30.6	89.7	7.9
	69.0			31.9			
	90.8			28.7			
⑪	35.6	31.1	89.9	11.6	13.6	82.7	7.2
	32.2			14.7			
	25.5			14.4			
⑫	34.7	34.0	90.6	8.8	11.8	81.4	9.2
	32.4			15.0			
	35.0			11.5			

Table 2 Test Result of Noise

측정 위치	Before		After		▽SPL (dB)
	SPL dB(A)	AVG.	SPL dB(A)	AVG.	
시점	90.3	91.8	88.5	87.7	4.1
	92.4		86.4		
	92.3		89.4		
	91.2		88.5		
	92.9		85.8		
종점	92.2	93.1	88.3	89.6	3.5
	92.8		87.8		
	92.3		90.4		
	92.5		90.7		
	95.6		90.9		

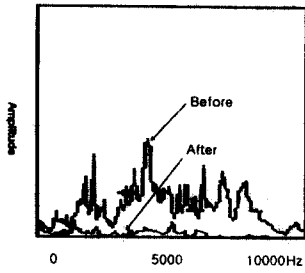
5.2 측정결과 고찰

상기 측정결과로부터 다음사항을 파악할 수 있었다.

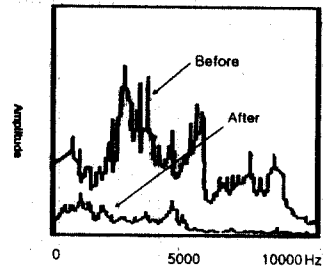
- 1) 본 측정 구간으로 지하철 공사 소속 차량과 철도청 소속 차량이 같이 운행되고 있다. 본 측정 결과 차량 종류별 진동의 크기 및 특성의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았고 이로 미루어 볼 때 지하철 진동의 발생은 차량기종 및 상태보다는 운행 속도 등에 더 큰 영향을 받는 것으로 추정된다.
- 2) 방진 체결장치 부설 전후 진동의 크기를 비교하면 전체적으로 대략 1/2 - 1/3 수준으로 저감되었으며 스펙트럼 상에서는 고주파 성분이 획기적으로 저감되었음을 알 수 있다. 이는 고무 등의 점탄성 재료를 사용할 경우 주파수가 높은 진동일수록 쉽게 차단된다는 일반적인 이론과 부합한다. 방진 체결 장치의 주파수별 진동 저감 상태는 대표적으로 다음 Fig.7과 같다.
- 3) 소음은 측정결과 3~4dB 가량 저감 된 것으로 측정되었으나 진동 저감만큼 뚜렷하지는 않았다. 이는 진동에 의한 구조전달음이 안내방송음, 승객소음, 에어브레이크등 차량보기류 소음등에 비하여 상대적으로 크지 않기 때문으로 판단된다.
- 4) 측정결과, 방진체결장치의 효과를 가장 직접적으로 나타내는 궤도 슬라브와 주변 플랫폼 진동의 경우 대략 7~10dB정도의 진동저감효과가 있는 것으로 측정되었다.

6. 결론

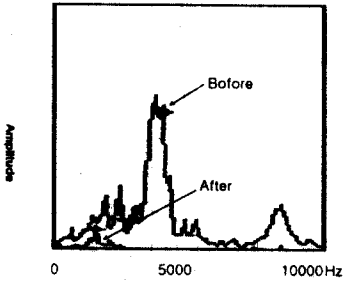
본 연구에서는 지하철 선로에 방진체결장치를 부설하였을 경우와, 부설하기 전의 역사구간의 시점과 종점의 소음,진동을 측정하고 비교, 분석하였다. 방진레일체결장치의 방진효과는 7~10dB, 소음 저감 효과는 플랫폼에서 3~4dB 가량인 것으로 평가할 수 있다. 이는 본 방진 체결장치가 철도 진동과 소음의 저감에 상당한 효과가 있음을 의미한다. 최근 들어 도심의 지하철 확충과 함께 고속전철 등 운송수단에서 궤도차량이 차지하는 비중이 점점 더 증대하는 추세에 있으나 운행 시 발생하는 진동과 소음이 큰 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 상황에서 본 궤도레일 방진체결장치는 철도진동저감에 아주 효과적인 수단의 하나가 될 수 있을 것으로 사료된다.



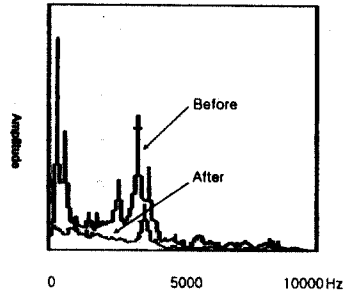
a) Track Slab, Z-



b) Platform, X-

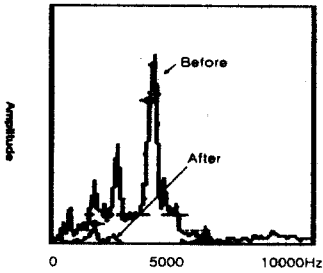


b) Track Slab, X-

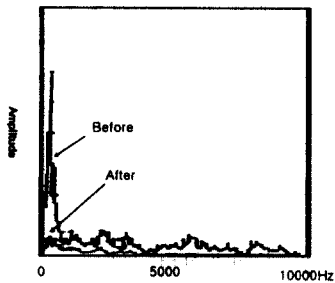


c) Platform, Y-

Fig.7 Comparison of before and after Installation at Track Slab



c) Track slab, Y-



a) Platform, Z-

참고 문헌

1. 전성택역, 1992, 소음진동편람(진동편), 동화기술
2. 일본음향학회, 1983, 소음진동핸드북(번역본), 집문사
3. 한국소음진동학회, 1993, 과천성, 벌말-인덕원 간 열차진동소음으로 인한 지상건물 보강대책을 위한 용역보고서.
4. 엔에스비 기술연구소, 1999, 서울지하철 역구내 방진 체결장치 부설전후 소음 및 진동비교 평가 보고서
5. 김연태, 1998, 철도궤도 방진 체결장치 종합검토보고서, 서울산업대학교
6. (주)엔트캠, 관련제품카타로그