

소음·진동 저감을 위한 고속철도용

방진침목 개발(II)

Development of Resilient Sleeper for Reduction of Sound and Vibration in High Speed Railways(II)

임주환* 고동춘** 조선익*** 양신추**** 임기영****

Um, Ju-Hwan Go, Dong-Choon Cho, Sun-Kyu Yang, Sin-Chu Eum, Ki-Young

ABSTRACT

In this paper, the process of development of resilient sleepers, which improves the train safety, passenger comfort and reduces the noise and vibration, is presented. To optimize the bonding method between elastic pad and PC sleeper, special pad shape like arrow is adopted and is applied in manufacturing. Bonding strength and reduction effects of vibration of the resilient sleepers are experimentally investigated. From the experiment results, it is investigated that the bonding strength is enough to satisfaction the criteria and the vibration characteristic is also more effective for sleeper with elastic pad than that in ordinary PC form. These results indicate that the elastic pad can reduce possibility of rail-corrugations and thus resulting in the reduction of maintenance costs.

1. 서론

유도상 궤도의 유지보수 경감과 소음·진동 감소목 목적으로 그림 1과 같이 PC침목의 바닥면에 탄성체를 부착하여 궤도소프트워 계수의 감소를 도모하는 유도상 탄성침목이 국내외적으로 많은 관심이 고조되고 있다.

일본의 경우, 현장부설 사례에서 소음·진동 및 궤도 유지보수 경감의 효과가 뚜렷이 나타났으며, 방진침목의 생략과 성능은 50%정도에 이르러 부설실적이 점점 증가하는 추세에 있으며, 국내 서울지하철 공사에서도 1999년 처음으로 터널부 유도상궤도상에 방진침목을 부설하여 8-14dB 정도의 소음·진동 경감 효과를 나타내는 결과를 얻었다.

이러한 방진침목의 선형화 형식의 개발에 있어서는 탄성재료의 저면화과 사용량의 저감, 피복재 성형방법의 변경에 의한 생산성과 접착성의 향상, 침목 형상의 최적화에 의한 피복재 바리의 방지와 측면 상부에 대한 견자질의 열화 방지 등을 고려하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 고속철도용 방진침목의 개발을 위하여 경제적 시공방안을 제시하였으며, 이를 바탕으로 제작한 방진침목의 성능평가를 위해 현장부설시험을 통한 성능검증을 수행하였다. 본 실험에 사용된 방진침목패드의 불성지는 양신추(2000) 등에 의해 제시된 값을 이용하여 제작하였다. 시험결과로부터 개발된 방진침목은 부착시공속도에 따른 부착력이 아주 우수하게 나타났으며, 현장 궤도성능평가에서도 일반침목에 비해 진동 저감성능이 아주 우수한 결과로 나타났다.

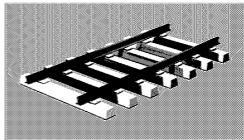


그림 1. 방진패드부 부착한 궤도

* 서울산업대학교, 철도전문대학원 박사과정

** 서울산업대학교, 철도전문대학원 박사과정

*** 서울산업대학교, 교수

**** 한라원도기술훈련원, 책임연구원

2. 방진침목제작 및 기초공시시험

2.1 방진침목제작 설계

방진침목제작 설계 시 기본개념은 내구성 및 부속력 확보를 목표로 하였으며, 내구성은 고속철도 차량기운을 최소화한 만큼 확보하도록 설계하였다. 궤도의 열상 및 치수는 <그림 2>에서 보듯이 길이 및 폭은 침목제작시 공차를 고려하여 고속철도용 PC침목보다 약간 작게 설계하였으며, 일체형 궤도로 제작하였다.

부속력 및 시공성을 위해 등기의 위치는 PC장계의 피복두께에 대한 설계기준(고속철도 PC침목 설계 표준 시방서(안))에 준하여 최소피복두께 25cm를 만족하도록 하였다. 즉, 콘크리트와의 부속력 강화를 위해 등기의 모양은 최소피복두께를 고려하여 양단부에 있는 등기는 콘크리트 피복두께를 3cm로 하였으며, 침목폭이 상대적으로 좁은 중앙부는 25cm를 확보하였다. 등기의 길이(높이)도 피복두께가 상대적으로 작은 중앙부에 비해 1cm가게 설계하였다. 그리고 침목 길이방향(축방향) 중앙부에 있는 등기는 궤도상형을 위한 승형제작사 탈형이 가능하도록 좌상표 방향을 대향쪽 등기에 직각방향으로 설계를 하였으나, 승형제작사의 어려움으로 인해 시험제작시에는 고려하지 않았다. 즉 향후 상용화를 위한 궤도 제작시에는 중앙부 등기모양도 부속력강화를 위해 좌상표 모양으로 할 계획이며, 본 시험에서는 중앙부를 좌상표 모양이 아닌 일지형으로 제작하였다.

<그림 2>에서 방진침목제작 설계도면을 보여주고 있으며, <그림 3>에서는 궤도의 제작현장장면을 보여주고 있다.

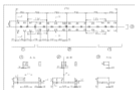


그림 2. 방진침목제작 설계도면



그림 3. 방진궤도 완성장면

2.2 궤도 및 방진침목 제작

궤도의 기본 물성인 표면경도와 스프링계수는 양진수(2000) 등에 의해 제시된 값을 이용하여 제작시험을 토대로 각각 HD90-65, 9425kN/m 정도로 설정을 하였으며, 일반형과 기포형으로 나누어 제작하였다.



그림 4. 방진궤도 매립공면



그림 5. 방진침목 완성공면

설계도면에 의해 제작된 방진침목 제작은 침목과의 일체화를 위해 침목제작 공장에서 콘크리트가 굳기전 Fresh한 상태에서 고속철도용 PC 침목에 예립하였다. <그림 4>~<그림 5>는 방진침목 제작과정을 보여주고 있다. 여기서 침목제작 예립작업 등기의 예립상태는 아주 우수한 것으로 나타났으며, 매립시간도 침

복 한개당 3~5분 정도로 시험시공인 점을 가만하면 아주 짧은 시간에 이뤄진 것을 알 수 있다.

2.3 방진침묵패드 물성시험

침묵패드의 물성시험항목 및 기준은 고속철도 궤도공사 시방서(안)을 기본적으로 준용하였으며, 시험방법은 한국산업규격(KS)중 가황고무 물리시험방법(M6518)에 준하여 시험을 수행하였다.

다음 <표 1>에서 방진패드의 물성시험 결과를 보여주고 있다. 패드의 물성시험결과, 상태물성 시험인 정도는 고속철도 시방서(안)의 규격치 65±5를 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 인장강도 또한 발포 및 미발포 패드 각각 7.7MPa, 7.1MPa로 나타나 시방기준을 상회하는 것으로 나타났다. 그리고 70℃에서 96시간의 노화성 시험에서도 인장강도가 1.68~1.82배 정도로 나타나 규격치를 상회하고 있는 것을 알 수 있으며, 인장특성의 하나인 패드의 신율 또한 발포 및 미발포 패드 모두 규격치 120%의 2배 이상으로 나타났다.

표 2. 방진침묵패드의 물성시험결과

시험항목	단위	결과		시방기준 (고속철도기준)	
		2210R(발포)	2130R(미발포)		
상태물성시험	비중	-	0.985	0.987	1.5 이하
	경도	Hs	61	65	65±5
	인장강도	MPa	7.7	7.1	6.0 이상
	신장율	%	230	230	200 이상
노화성 시험	시험조건	70℃		96시간	
	인장강도	MPa	8.4	9.1	5.0 이상
	신장율	%	240	270	120 이상
내수성 시험	시험조건	실온℃		96시간	
	흡수율	%	1.43	0.92	1.5 이하
	인장강도	MPa	7.2	6.6	5.0 이상
	신장율	%	230	230	160 이상
스트링 계수	변화율	%	-14.5	-5.7	±15
인열균열경도	노화전	KN/m	24.4	25.8	20 이상
	노화후	KN/m	24.4	28.8	16 이상

3. 방진침묵의 성능시험

3.1 부착시험

본 연구에서 수행한 부착시험방법은 국내에 별도의 시험기준이 없는 관계로 일본 RTRU에서 수행한 방법을 준용하였다.

현재 일본에서 수행하고 있는 검사방법은 방진침묵 제작완료시 1개/1일의 비율로 탄성피복재의 침묵 중앙부 1개소에 대하여 접촉박리시험을 수행한다. 시험은 폭 50mm×길이 130mm의 칼집을 넣고 끝 부분으로부터 50mm가 바리될 때까지 스트링 저울을 장착하여 직각방향으로 당겨서 박리강도를 측정한다. 여기서 측정기준은 10kgf/5cm 이다.

이상의 기준에 따라 본 실험에서는 침묵 한개당 5개소, 즉 돌기가 형성되어 있는 침묵 당당부에 4개소, 돌기가 없는 중앙부 1개소를 선정하여 부착실험을 수행하였다.

<그림 6>에서 부착시험장면을 보여주고 있으며, <그림 7>에서는 좀 더 정확한 박리시험을 위해 50mm×130mm의 부분을 완전히 분리한 장면을 보여주고 있다.

실험결과, 인반형 패드와 기포형 패드 모두 20kgf/5cm이상 아주 양호한 결과를 나타내었으며, 특히 침묵 중앙부의 돌기가 없는 부분에서도 20kgf/5cm를 상회하는 아주 양호한 결과를 나타낼 수 있었다.



그림 6. 부차시험 준비완료 장면



그림 7. 부차 시험 장면

3.2. 현장부설시험

개발한 방진벽목의 현장성능검증을 위하여 시험선을 활용하여 현장부설 성능시험을 수행하였다.

<그림 8>~<그림 9>에서 현장부설시험 개요도 및 시험제도 부설현황을 보여주고 있으며, 방진벽목 구간을 약 12.5m정도 부설하였다. 부설방법은 비탈도 채드(2130R:방진구간1) 및 발포폴레드(2210R:방진구간2)를 각각 절반씩 부설하였다. 측정항목은 <표3.2>와 같으며 일반벽목과 방진벽목채드 종류별로 각각 측정하였다.

표 2. 측정 항목

구분	측정항목	중량
가속도	레일진동가속도	100g
	침목진동가속도	50g
	도상진동가속도	5g

<그림 10>~<그림 12>에서 각 측정항목별 주파수 분석결과를 보여주고 있다.

측정결과, 모든 측정항목에 대해서 일차속도변경률때론 속도가 증가할수록 모두 증가하는 경향으로 나타났다. 그리고 일차하중이 배달을 통하여 침목과 도상으로 전달되기 때문에 방진채드 상부에서 열차하중을 직접 전달받는 레일 및 침목에서는 가속도가 방진벽목 구간이 일반침목에 비해 크게 나타났다. 따라서 침목 아래 설치된 방진채드의 진동저감효과는 도상이나 도상내부의 진동가속도를 측정함으로써 더욱 정확히 분석할 수 있다.

<그림 12>는 도상의 진동가속도를 주파수 분석한 결과이다. 그림에서 보듯이 각 주파수 영역별로 진동저감의 효과를 분석할 수 있다. 약 16Hz 미만의 저주파 영역에서는 대체적으로 일정한 양상을 보이고 있으나, 일차속도 43km/h에서는 방진구간이 일반구간에 비해 약 5~10dB 정도의 진동이 감소되었음을 알 수 있다. 그리고 60Hz이상의 주파수 영역에서는 대부분의 방진구간 진동

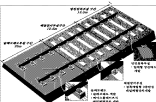


그림 8. 현장부설시험 개요도



그림 9. 시험제도 부설 현황

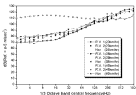


그림 10. 레일가속도 주파수 분석결과

가속도가 10~20dB정도 저감되었음을 알 수 있다.

<표 3.5>는 옥타브 해석 결과를 모던 해석 주파수 영역에 걸쳐 진동 레벨의 범위를 평가할 수 있는 Overall 값을 정리한 표이다. 구간에 따라 열차속도별로 3회 측정하고 분석한 결과를 산술평균하여 진동 저감 효과를 비교하였다. 분석결과, 레일과 침목에서는 방진구간이 다소 높게 발생하고 있으며 도상하단에서는 방진침목 부설 구간에서 7~13.6dB 작게 발생하였다. 특히 스프링 계수가 낮은 발포용 페드를 이용한 방진구간 2에서 진동저감효과가 더욱 큰 것으로 나타났다.

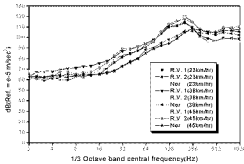


그림 11. 침목가속도 주파수 분석결과

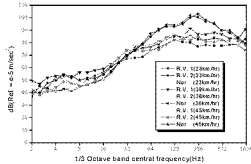


그림 12. 도상가속도 주파수 분석결과

표 3. 가속도 1/3 옥타브 해석 결과 Overall

속도 (km/hr)	방진구간1			방진구간2			일반구간		
	레일	침목	도상 하단	레일	침목	도상 하단	레일	침목	도상 하단
23	121	118.1	94.6	120.8	118.7	90.3	119.9	108.8	102.3
38	129.5	123.3	98.7	130.8	123	92.4	128.5	114.3	106.8
45	132.3	123.1	102	133	122.9	92.8	131.5	115.9	107
평균	127.6	121.5	98.4	128.2	121.5	91.8	126.6	113	105.4

4. 결론

본 연구에서는 침목에서 도상으로 전달되는 하중의 고주파 성분을 차단하여 자갈분해를 방지하고 소음, 진동의 저감 등을 목적으로 하는 방진침목의 개발 및 그 성능시험을 수행하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 방진침목페드의 물성시험결과 대부분 고속열도시방기준을 만족하는 것으로 나타났다.
- (2) 방진침목의 성능시험결과, 부착시험은 일반형 페드와 기포형 페드 모두 20kgf/5cm이상이거나 나타나 기준치인 10kgf/5cm를 2배정도 상회하는 결과를 나타내었으며, 특히 침목 중앙부의 돌기가 없는 부분에서도 20kgf/5cm를 상회하는 아주 양호한 결과를 나타냄을 알 수 있었다.
- (3) 현장부설시험에 의한 진동측정결과, 도상하단에서 방진침목 부설 구간이 일반침목 구간에 비해 7~13.6dB 정도 작게 발생하였으며, 특히 스프링 계수가 낮은 발포용 페드를 이용한 방진구간 2에서는 진동저감효과가 더욱 큰 것으로 나타남을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터, 본 연구에서 개발한 방진침목은 일반침목에 비해 진동저감효과가 상당히 우수한 것으로 나타났으며, 특히 발포형이 더욱 큰 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 향후에는 이를 바탕으로 다양한 외국제품과의 성능 대비 경제성에 대한 비교 분석을 통한 실용화 연구가 수반되어야 할 것이다.

참고문헌

1. “軌道關係走行判定基準の提案”, 鐵道線路 32-10.
2. 한국철도기술연구원(2000), “선로구축물시스템 엔지니어링 기술개발 (2단계 1차년도 보고서)”.
3. 임주환, 양신추, 강윤석(2001), “소음·진동저감을 위한 고속철도용 방진침목 개발”, 한국소음·진동공학회
4. T.Horiike, M. Hansaka, H. Yanagawa, K. Ando and K. Date (1998), “Development of Low Cost Resilient Tie for Ballasted Track”, RTRI Report, Vol. 12, No. 3.
5. H. Wakui, N. Matsumoto and H. Inoue (1997), “Technological Innovation in Railway Structures System with Ladder Track System”, Proceedings of WCRR 97, pp.61-67.
6. 이기승(1999), “유도상 캐도의 방진 침목 부설”, 철도선로, NO.30, 이기승(1999)
7. S. Miura, F. Ohish, A. Yokota, T. Horike(1990), “Development of Resilient Tie for Practical Use”, RTRI Report, Vol. 4, No.5
8. 堀池 高廣(2000), “유도상 탄성침목의 지면화와 보수경감 효과”, RRR