

고속철도 궤도 타입에 따른 진동 특성

Vibration Characteristics of High-speed Railway Lines on the Type of Track

이찬우† 함영삼* 김재철*
Chan-Woo Lee Ham-Young Ham Jae-Chul Kim

ABSTRACT

IN THIS STUDY, BASED ON THE TYPE OF HIGH SPEED RAILWAY TRACK VIBRATION CHARACTERISTICS WERE MEASURED AT KTX VEHICLE. KTX ROUTE BALLASTED TRACK HAS BEEN INSTALLED TOGETHER WITH THE CONCRETE TRACK. CONCRETE MUST BE TRACK IRREGULARITY THAN BALLASTED TRACK, VEHICLES VIBRATION VALUES THAT ARE SMALLER. ALSO, IN TERMS OF MAINTENANCE, CONCRETE TRACK IS KNOWN TO BE MORE FAVORABLE THAN THE BALLASTED TRACK. PHASE 2 IS THE KTX, DAEGU - BUSAN IS A SECTION OF CONCRETE TRACK. IN THIS STUDY, "KUUNG-BU HIGH-SPEED RAILWAY LINES" INSTALLED ON THE CONCRETE TRACK AND BALLASTED TRACK KTX FROM THE VEHICLE WHEN INSTALLED BETWEEN RAILS, SLEEPER AND BALLAST ON THE TRACK WAS MEASURED VIBRATIONS.

1. 개요

본 연구에서는 고속철도 궤도 타입에 따른 주요 특성을 진동 특성을 자갈도상 궤도와 콘크리트 궤도로 분류하여 주요 특성을 우선 소개하였다. 또한 국내 고속철도 주요 노선 중의 하나인 경부 고속철도 노선에 대한 궤도 타입을 구간별로 분석해 보면, 경부고속철도 1단계 구간인 서울 - 동대구 구간은 장대터널인 황학터널 및 화신 5터널을 제외한 전 구간이 자갈도상 궤도로 이루어 졌고, 경부고속철도 2단계 구간인 동대구 - 부산 전 구간의 궤도는 콘크리트 궤도로 구성되어있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 경부고속철도 운행 선상에서의 KTX 차량 주행 시 궤도 진동 특성을 콘크리트 궤도와 자갈궤도로 비교 분석하였다.

2. 궤도 타입에 따른 주요 특성 비교

2.1 자갈도상 궤도

자갈도상 궤도(ballasted track)는 고속철도 초기 개발 모델 시스템으로 국내에서는 경부 1단계 구간인 서울 - 동대구 구간 대부분이 자갈도상 궤도로 이루어 졌다. 자갈도상 궤도는 열차의 하중을 횡 침목(transverse sleeper)과 침목 하부의 자갈도상(ballast)을 통해 지반으로 전달하는 구조로 열차의 주행을 원활히 하는 궤도구조의 기본 목적에 잘 부합하는 궤도구조이지만, 기본적으로 자갈의 소성변형을 수반하며 이 때문에 선로의 선형을 적합하게 유지하기 위해서는 반드시 유지보수를 필요로 하는 구조이다. 자갈도상 궤도는 자갈층 위에 침목이 단순히 놓여져 부유하고 있는 상태이기 때문에 자갈층에 부분적인 침강 등이 있을 경우 열차가 지나갈 때마다 수평,수직의 동역학적 힘이 커지게 되고 이 힘으로 인해 궤도위치는 계속적으로 불안정해지고 승객의 요구에 역행하는 차량 주행의 불안정성을 낳게 된다.

† 이찬우, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실
E-mail : cwlee@krii.re.kr

* 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실

이와 같이 자갈도상을 갖는 궤도구조에서는 속도가 증가할수록 궤도에 작용하는 하중과 변형이 더 널리 확산되며 그 정도는 선로구조물의 상태에 따라 달라진다. 열차 통과 시 발생하는 자갈층의 변형이 반복되면 자갈입자의 재배열, 마모 등으로 궤도 전체의 변형이 유발되고 이 변형은 일정한 간격을 두고 보수작업을 통해 복구해야 한다. 최근 고속열차 속도 및 축중의 증가로 인해 자갈의 마모 등 궤도의 파괴가 더욱 가속화되고 이에 따른 유지보수비 부담이 점차 커져가고, 궤도 관리를 위한 유지보수 인력과 작업시간의 확보도 자갈도상 궤도에서는 상당히 어려운 문제 중의 하나이다. 그림 1은 자갈도상 궤도의 단면도를 보여주고 있다.

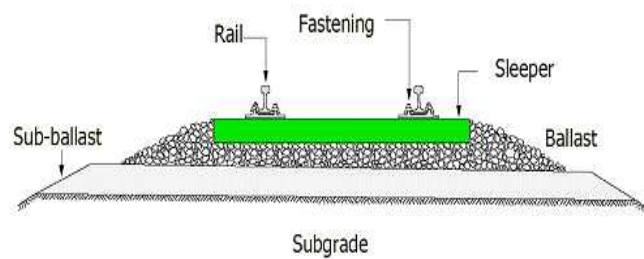


그림 1 자갈 도상 궤도시스템

2.2 콘크리트궤도(concrete track)

콘크리트 궤도는 각 궤도구조마다 많은 차이가 있지만, 기본적으로 기존의 자갈도상을 콘크리트 또는 아스팔트 슬래브층으로 대체한 보다 견고한 지지구조를 가지기 때문에 미국 등에서는 slab track, 프랑스에서는 voie sur dalle (VSD)라 한다. 독일에서는 보다 견고하게 고정된 궤도란 의미에서 feste fahrbahn (FF)으로 불리기도 한다. 우리나라에서는 통상 무도상궤도 또는 슬래브 궤도와 동일한 의미로 “콘크리트 궤도 또는 콘크리트 도상궤도” 라는 용어를 사용하고 있지만, 본 논문에서는 콘크리트 궤도로 명명하였다. 일본의 경우에는 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용하는 궤도만을 슬래브 궤도라 하고 그 외에는 탄성침목직결궤도(일명 탄직궤도), 포장궤도, 콘크리트 도상 직결궤도 등 궤도구조에 따라 각기 다르게 분류하고 있다. 그러나 “슬래브 궤도 = 콘크리트 궤도”로 인식되고 있다는 사실은 그만큼 지금까지 개발된 무도상궤도의 대부분이 콘크리트 슬래브를 적용하고 있다는 것을 의미한다. 콘크리트 궤도는 침목과 자갈의 역할을 콘크리트 슬래브 또는 침목과 콘크리트 슬래브의 결합체로 대체하여 보다 더 견고하고 균일하게 레일을 지지한다. 콘크리트 궤도의 장점으로 가장 중요한 점은 바로 선로 유지보수를 혁신적으로 절감할 수 있다는 점이다. 한 예로 독일에서 개발되어진 콘크리트 궤도인 RHEDA 궤도는 최고속도 200km/h의 열차가 주행되는 구간에 1972년 최초로 설치된 후 지금까지 30여년간 유지보수비용이 거의 발생하지 않았다고 보고되고 있다. 이런 점은 매년 비용절감을 위해 각고의 노력을 기울이고 있는 철도운영기관의 입장에서는 무엇보다 매력적인 요소가 아닐 수 없다. 유지보수의 경감 뿐 아니라 선로구조의 수명도 최소 60년으로 자갈도상 궤도에 비해 2 ~ 3배까지 증가되므로, 초기 투자비가 자갈도상 궤도에 비해 높음에도 불구하고 총 생애주기비용(LCC)을 현저히 줄일 수 있다. 예를 들어 일본 신간선의 경우 콘크리트 궤도의 부설비용은 자갈도상 궤도에 비해 2배 이내인데 반해 유지보수비용은 1/5에 불과한 것으로 보고되고 있다. 그림 2는 콘크리트 궤도를 보여 주고 있다.



그림 2 콘크리트 궤도시스템

2.3 KTX 차량 통과 시 궤도 타입에 따른 궤도 진동 특성

2.3.1 궤도 진동 측정 방법

KTX차량 주행 시 궤도조건에 따른 궤도 각부 진동을 비교하기 위해서 다음과 같은 시험을 실시하였다. 경부고속철도 구간은 자갈도상 및 콘크리트 궤도로 부설 되어 있으므로, 시험구간은 자갈궤도가 부설된 터널(영동터널)과 콘크리트궤도가 부설된 터널(화신5터널)을 선정하여 실시하였다. 각 시험구간에 대한 궤도의 진동은 레일, 침목 및 도상에 대한 진동을 측정하였다. 그림 3 및 그림 4는 자갈궤도 터널과 콘크리트궤도에 대한 진동가속도계 설치 현장을 보여주고 있다. 레일에는 침목사이 중앙 위치에 수직과 수평 방향으로 저부와 복부에 가속도계를 설치하였다. 또한 진동전파 특성을 파악하기 위하여 침목과 콘크리트도상에는 궤도 내측 중앙점과 레일 중심선에서 외측으로부터 25cm 떨어진 단부에 가속도계를 설치하였다. 자갈도상은 침목 사이 중앙 위치에서 레일 중심선으로부터 25cm 떨어지고 침목하면으로부터 10cm 위치한 곳에 가속도계를 설치하였다.



그림 3 자갈궤도의 레일과 침목의 진동 측정



그림 4 콘크리트 궤도의 레일 및 침목의 진동 측정

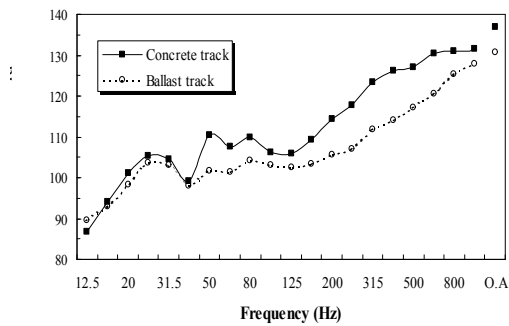
2.3.2 시험 결과 및 검토

도표 1은 자갈궤도와 콘크리트 궤도에 대한 시험결과를 정리한 것이다. 자갈궤도와 콘크리트궤도의 KTX 차량 주행 속도는 각각 286km/h와 281km/h로 약 5km/h의 차이가 있지만, 레일의 수직방향의 진동레벨은 자갈궤도보다 콘크리트궤도에서 약 4 ~ 6dB 정도 높게 나타났으며, 수평방향의 진동레벨은 거의 유사한 값을 보여주고 있다. 또한 레일을 제외한 침목 및 도상의 진동레벨은 자갈도상보다 콘크리트 궤도에서 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 차량 주행 시 차륜과 레일에 의해서 발생하는 진동은 일반적으로 레일→침목→도상(콘크리트도상, 자갈도상)으로 전파되며, 거리가 증가함에 따라 감쇠하는 특성을 이 실험 결과로부터 확인 할 수 있다. 그림 5는 자갈궤도(영동터널)와 화신5터널에 대한 각부 진동레벨의 주파수 분석 결과를 나타내고 있다. 레일의 수직방향 가속도에서는 50Hz이상의 주파수 영역에서 자갈궤도보다 콘크리트궤도에서 높게 나타났으며, 진동 레벨은 주파수 증가에 따라 증가하는 현상을 보였다. 특히 콘크리트궤도인 경우에는 50Hz와 80Hz영역의 주파수가 인접 주파수 영역보다 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 레일의 수평방향 가속도는 궤도형식에 따라 차이가 크지 않았고,

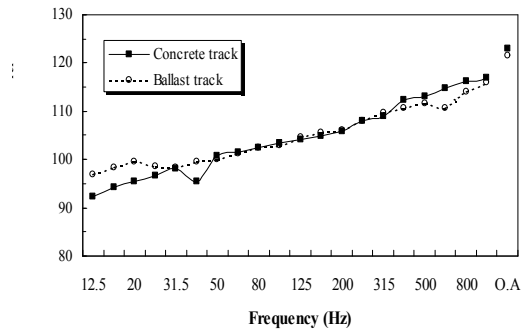
수직방향과 동일하게 진동레벨이 주파수 증가에 따라 증가하는 형상을 보였으며, 레일수직방향 가속도와는 달리 탁월 주파수 대역이 나타나지 않았다. 침목 외측에서의 수직방향 가속도는 전 주파수 대역에서 자갈궤도의 진동이 콘크리트궤도에서 보다 크게 나타났다. 자갈궤도에서는 80Hz영역에서 인접한 주파수 대역에 비해 약간 크게 나타났으나, 콘크리트궤도에서는 50Hz 성분과 125Hz 성분에서 크게 나타났으며, 이러한 현상은 콘크리트궤도에 대한 침목 내측의 실험 결과에서도 동일하게 나타났다. 콘크리트도상의 궤도 내(중심)외측과 자갈도상의 외측 진동가속도는 침목의 진동가속도와 유사한 경향을 나타내고 있다. 라이닝에서는 자갈궤도의 경우 125Hz성분의 주파수가 높게 나타났으나 콘크리트궤도에서는 125Hz성분의 주파수가 두드러지게 나타나지 않았다. 이러한 측정결과로부터 KTX 차량이 콘크리트궤도 터널 통과 시 레일의 진동레벨이 증가하는 것을 알았다. 따라서, 레일의 진동이 증가하면 레일에서부터 방사되는 소음이 클 뿐만 아니라, 차량에 전달되는 진동레벨에도 일부 증가할 것으로 예측되어진다.

도표 1. 궤도진동 시험결과(dB, O.A)

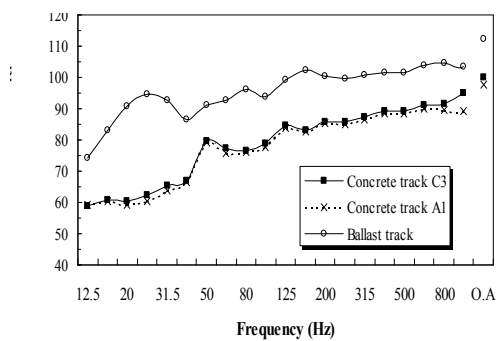
	자갈궤도				콘크리트궤도					
	주행속도 (km/h)	레일		침목	도상	주행속도 (km/h)	레일		도상	
		수직	수평	수직	수직		수직	수평	수직	수직
평균	286.4	130.8	121.5	112.5	107.5	281.2	135.1	121.3	96.8	96.6



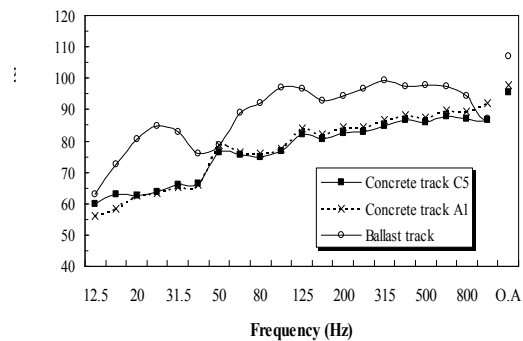
(a) 레일 수직방향 가속도



(b) 레일 수평방향 가속도



(c) 침목 외측 수직방향 가속도



(d) 도상의 수직방향 가속도

그림 5. 궤도 각부의 진동가속도 비교(1/3옥타브 해석)

3. 결론

본 연구에서는 경부고속철도 궤도 타입에 따른 특성과 KTX 차량 주행 시 궤도 진동 특성을 콘크리트 궤도와 자갈궤도로 비교 분석하였다. 경부고속철도 1단계 구간은 대부분이 자갈도상으로 구성되어 있고 2단계 구간은 전 구간이 콘크리트궤도로 구성되어 있다. KTX 차량에 대한 시험 결과 콘크리트궤도 통

과 시 자갈도상 궤도의 레일 진동레벨이 증가하는 것을 알았다. 이에 비해 레일을 제외한 침목 및 도상의 진동레벨은 자갈도상보다 콘크리트궤도에서 낮게 나타나는 특성을 보여 주었다.

참고문헌

1. Jae Chul Kim and Chan Woo Lee., 2004, "Basic Research to Find out Method of Interior Noise for KTX in Tunnel," *Research Report*, Korea Railroad Research Institute, pp. 25~98.