

패널형 아스팔트콘크리트 궤도의 열차 주행 시 거동 분석

Analysis of Behavior of Panel-Type Asphalt Concrete Track in Train Operation

배영훈*, 최영태*, 이성혁†, 정인균**, 원상수**

Young-Hoon Bae*, Yeong-Tae Choi*, Seong-Hyeok Lee†, In-Gyun Jeong**, Sang-Soo Won**

Abstract Asphalt concrete track had been studied for the purpose of reducing construction cost and efficient maintenance of railway track. Based on the results of the study, asphalt concrete track was inceptively constructed on the commercial line in Korea and field test is in progress. In this study, wheel load, lateral load, stress of rail bottom surface, vertical displacement of rail and concrete panel were measured in panel-type asphalt concrete track during train operation. The behavior of panel-type asphalt concrete track was analyzed by the measured results. As a result of the analysis, it was confirmed that panel-type asphalt concrete track was fitted to the requirements for track safety and stability.

Keywords : Asphalt concrete track, Concrete panel, Field test, Track behavior

초 록 건설비 저감 및 효율적인 선로 유지보수를 목적으로 무도상 궤도의 일종인 아스팔트 콘크리트 궤도에 대한 연구를 수행하여 왔다. 그 동안의 연구 결과를 바탕으로 국내 최초로 아스팔트콘크리트 궤도를 영업선에 시험 부설하여 현장 설치시험을 진행하고 있다. 본 연구에서는 시험 부설된 패널형 아스팔트콘크리트 궤도에 대해 열차 주행 시의 윤중, 횡압, 레일 저부 응력, 레일 및 패널의 수직변위를 측정하였다. 측정된 결과를 통해 패널형 아스팔트콘크리트 궤도의 거동 특성을 분석하였으며, 분석 결과 궤도 안전성을 만족하기 위한 요구 사항을 만족하고 있는 것을 확인하였다.

주요어 : 아스팔트콘크리트 궤도, 콘크리트 패널, 시험 부설, 궤도 거동

1. 서 론

자갈 궤도 및 콘크리트 궤도 장점을 결합하고, 단점을 극복할 수 있는 궤도 구조에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, 국내에서는 콘크리트 궤도에 비해 건설비가 상대적으로 저렴하며 신속한 유지보수 가능하고 소음·진동 저감이 탁월한 아스팔트 콘크리트 궤도에 대한 연구가 수행되어 왔다[1]. 아스팔트콘크리트 궤도 Type 중 패널형은 자중이 커 궤도 중횡방향 저항력이 크며, 일반 침목에 비해 저부 면적이 상당히 커서 아스팔트 도상에 전달되는 압력을 저감시킬 수 있다. 또한 일반적인 프리캐스트 슬래브에 비해 아스팔트콘크리트 궤도에 적용되는 패널의 길이를 줄임으로써 평탄성 확보 및 시공성 향상을 기대할 수 있다. 여러 가지 장점이 확인된 패널형 아스팔트콘크리트 궤도는 국내 최초로 영업선(경북선 백원역)에 시험 부설되었다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부(shlee@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

** 한국철도공사 경북본부

2. 본 론

2.1 패널형 아스팔트콘크리트 궤도 시험 부설

아스팔트콘크리트 궤도는 흙노반, 강화노반, 아스팔트콘크리트 및 콘크리트 패널로 구성된다. 본 시험 부설 구간에서 강화노반은 입도조정쇄석(M-40)이 사용되었으며, 쇄석의 입경가적곡선 및 다짐시험 결과는 Fig. 1과 같다. 강화노반층의 들밀도 시험결과, 평균 21.2676 kN/m³으로 목표 다짐도 95%를 만족하였으며, 반복평판재하시험 결과, $E_{v2}=125.36$ MN/m², $E_{v2}/E_{v1}=2.03$ 으로 철도 설계기준[2]을 만족하고 있다. 아스팔트콘크리트는 밀입도 가열 아스팔트 혼합물을 사용하였고, 표층 50 mm, 중간층 100 mm, 기층 150 mm로 하여 총 두께 300 mm를 시공하였다. 아스팔트 혼합물의 현장밀도는 23.76 kN/m³으로 다짐도 97.4%로 측정되었다. 아스팔트콘크리트 도상의 폭은 3.2 m이다.

아스팔트콘크리트 궤도의 궤광은 슬래브 패널, 레일체결장치(System 300-1), 레일(KR 60), 궤도 변위 저항장치로 구성된다. 패널은 가로 2.4 m, 세로 1.2 m, 높이 0.2 m의 크기의 철근콘크리트 ($f_{ck} = 45$ MPa) 구조이다. 궤도변위 저항장치는 패널 2분당 2개를 설치하였다. 패널형 아스팔트콘크리트 궤도 단면도 및 완공 후 전경은 Fig. 2와 같다.

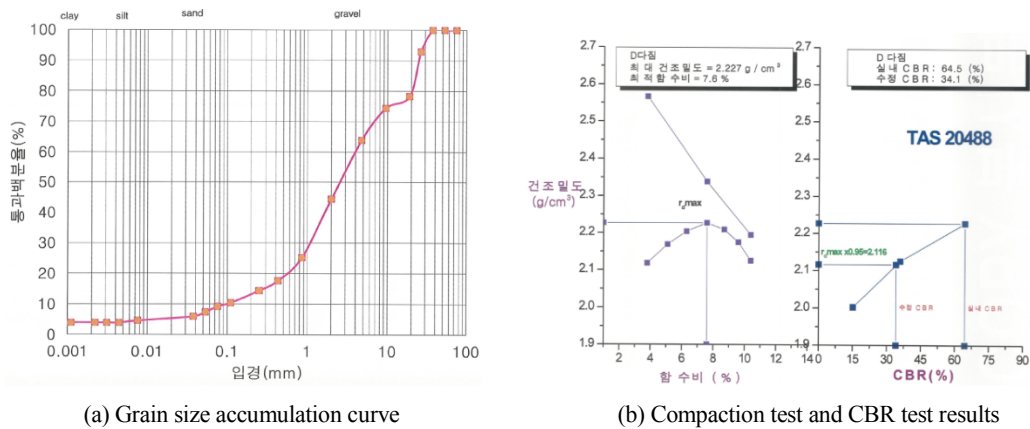


Fig. 1 Material properties of reinforced roadbed

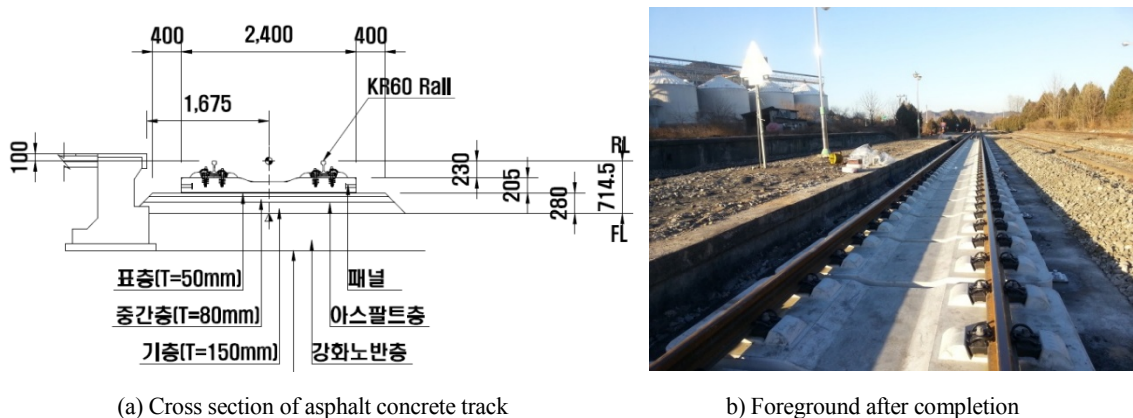


Fig. 2 Construction of panel-type asphalt concrete track

2.2 계측 센서 설치

패널형 아스팔트콘크리트 궤도의 거동을 확인하기 위한 측정 항목은 윤중, 횡압, 레일 수직 및 수평 변위, 레일 저부 응력 및 패널 수직변위이다. 윤중 및 횡압 측정을 위해서 2축 스트레인 게이지(FCA-5-11-1L, 2축)를 내측 및 외측 레일 각각 2개소에 설치하였으며, 레일 저부 응력 측정을 위해서 1축 스트레인 게이지(FCA-5-11-1L, 1축)를 내측 및 외측 레일 저부 각각 1개소에 설치하였다. 레일 수직 및 수평변위, 패널 수직 변위 측정을 위해서 L.V.D.T.(CDP-5, 10 mm)를 내측 및 외측 레일에 각각 1개소에 설치하였다. 스트레인 게이지 및 변위계의 실제 적용은 Fig. 3과 같다.



Fig. 3 Arrangement of L.V.D.T.s and strain gauges in panel-type asphalt concrete track

2.3 측정 결과 및 패널형 아스팔트콘크리트 궤도 거동 분석

패널형 아스팔트콘크리트 궤도 완공 후, 2016년 12월 1일부터 열차 운행이 시작되었다. 열차 운행속도는 일별로 20 km/h → 40 km/h → 60 km/h → 80 km/h까지 서서히 증속하였다. 윤중 및 횡압 총 4개소, 레일 저부 응력, 레일 및 침목 변위는 총 2개소에서 측정되었으며, 이중 12월 6일 19시에 측정된 항목별 데이터는 Fig. 4와 같다. 또한 열차가 16회 운행하는 동안 측정 항목별 최대 값은 기관차 통과 시 나타났으며 해당 측정 값은 Table 1과 같다. 윤중은 139.7 kN을 제외하고는 열차 운행 속도에 관계없이 약 103 kN ~ 114 kN 범위에서 측정되었으며, 횡압은 약 11 kN ~ 16 kN 범위에서 측정되었다. 레일 수직 변위는 2 mm 미만으로 측정되었으며, 패널 수직 변위는 0.55 mm 미만이었다. 수직변위 관련 일본에서 적용되는 주행판정기준이 레일 4 mm 이하, 패널 3 mm 이하이므로, 레일 및 패널 수직변위는 이 기준을 만족하고 있다. 레일 수평 변위는 최대 0.612 mm가 측정되었다. 레일 최대 응력은 69.28 MPa이 측정되었는데 이는 허용응력 기준값인 128 MPa 대비 54% 수준임을 알 수 있다.

윤중 대비 열차 운행속도, 레일 수직 변위, 레일 저부 응력 및 횡압과의 관계는 Fig. 5에 제시되었다. 열차 운행속도가 증가하더라도 윤중의 증가는 크지 않았다. 다만 100 km/h 이후의 속도 대역에서 동적 윤중의 증가 가능성이 있으므로 증속을 통한 윤중 확인이 필요할 것으로 판단된다. Fig. 5 (b)의 윤중과 레일 수직 변위 상관관계에서 패널형 아스팔트콘크리트 궤도의 궤도강성은

60.4 ~ 80.4 kN/mm이다. 횡압과 윤중의 비인 횡압/윤중은 탈선계수를 의미하는데 시험 부설된 패널형 아스팔트콘크리트 궤도의 횡압/윤중은 0.09에서 0.17 사이이며 이는 탈선계수 기준을 만족함을 알 수 있다.

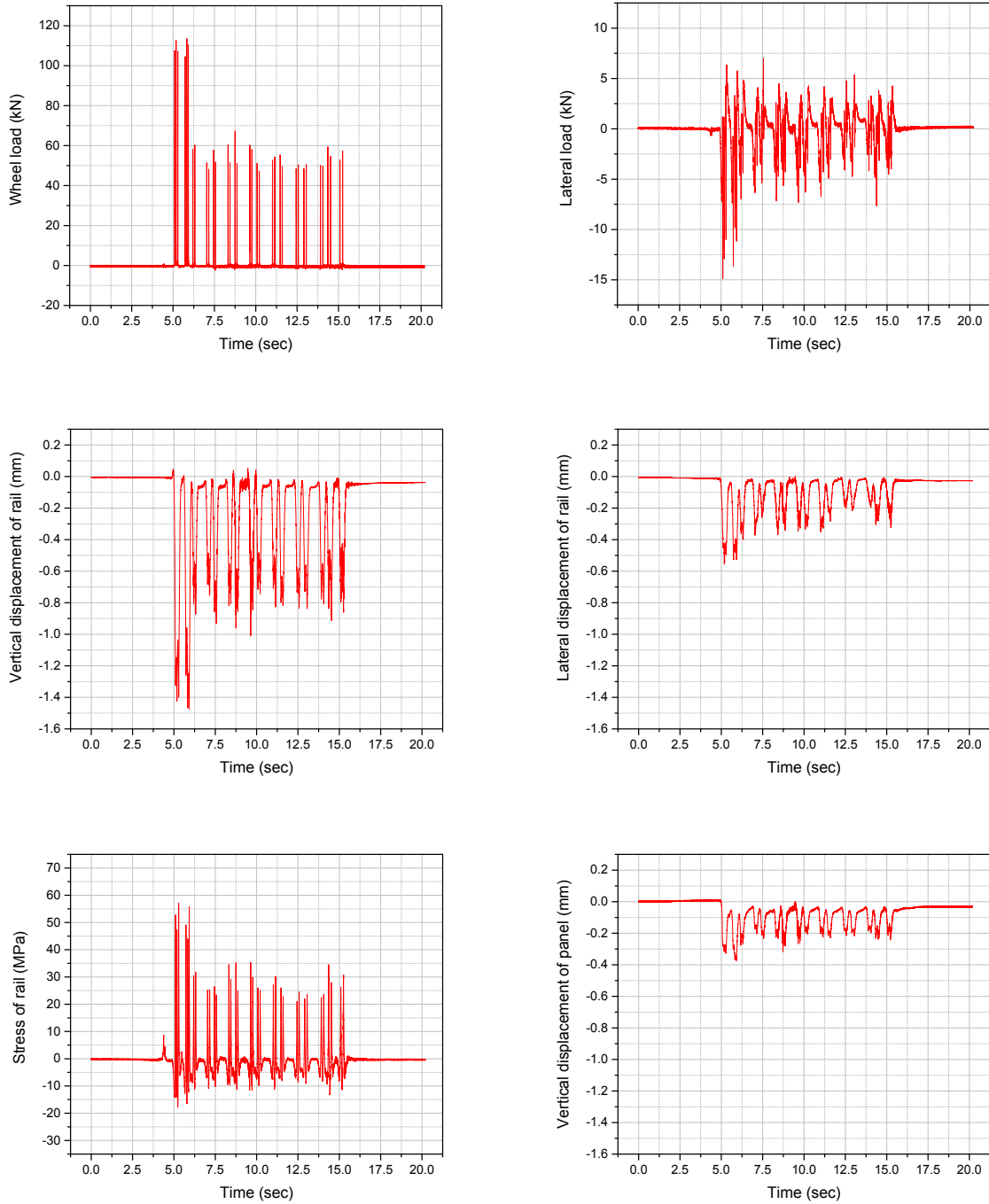


Fig. 4 Track behavior of panel-type asphalt concrete track in train operation (V = 69 km/h)

Table 1 Maximum value of measurement items recorded by strain gauges and L.V.D.T.s

Train speed (km/h)	Wheel load (kN)	Lateral load (kN)	Vertical disp. Of rail (mm)	Lateral disp. of rail (mm)	Stress of Rail (MPa)	Vertical disp. Of Panel (mm)	Remarks (y/m/d/h)
20.2	103.4	-17.4	-1.535	-0.398	54.18	-0.433	16/12/01/10
17.6	107.2	-13.8	-1.752	-0.580	53.20	-0.434	16/12/01/15
19.2	106.4	-12.4	-1.513	-0.591	53.11	-0.413	16/12/01/19
31.8	101.8	-15.3	-1.508	-0.460	50.03	-0.357	16/12/02/07
37.6	102.7	-13.0	-1.360	-0.512	46.28	-0.365	16/12/02/10
36.0	113.6	-14.6	-1.478	-0.570	52.30	-0.392	16/12/02/15
33.1	113.7	-10.8	-1.597	-0.564	49.26	-0.365	16/12/02/19
37.6	105.4	-11.5	-1.469	-0.517	45.74	-0.366	16/12/04/19
59.1	105.3	-13.3	-1.494	-0.574	50.05	-0.369	16/12/05/07
55.2	110.3	-13.8	-1.439	-0.530	54.51	-0.393	16/12/05/10
36.0	139.7	-14.6	-1.736	-0.488	69.28	-0.528	16/12/05/15
51.7	106.9	-15.1	-1.506	-0.527	58.13	-0.405	16/12/05/19
69.0	103.7	-12.9	-1.473	-0.562	46.49	-0.375	16/12/06/07
37.6	107.3	-13.5	-1.402	-0.403	53.17	-0.437	16/12/06/10
41.4	111.8	-15.7	-1.552	-0.612	54.09	-0.419	16/12/06/15
69.0	113.4	-14.9	-1.474	-0.555	57.17	-0.375	16/12/06/19

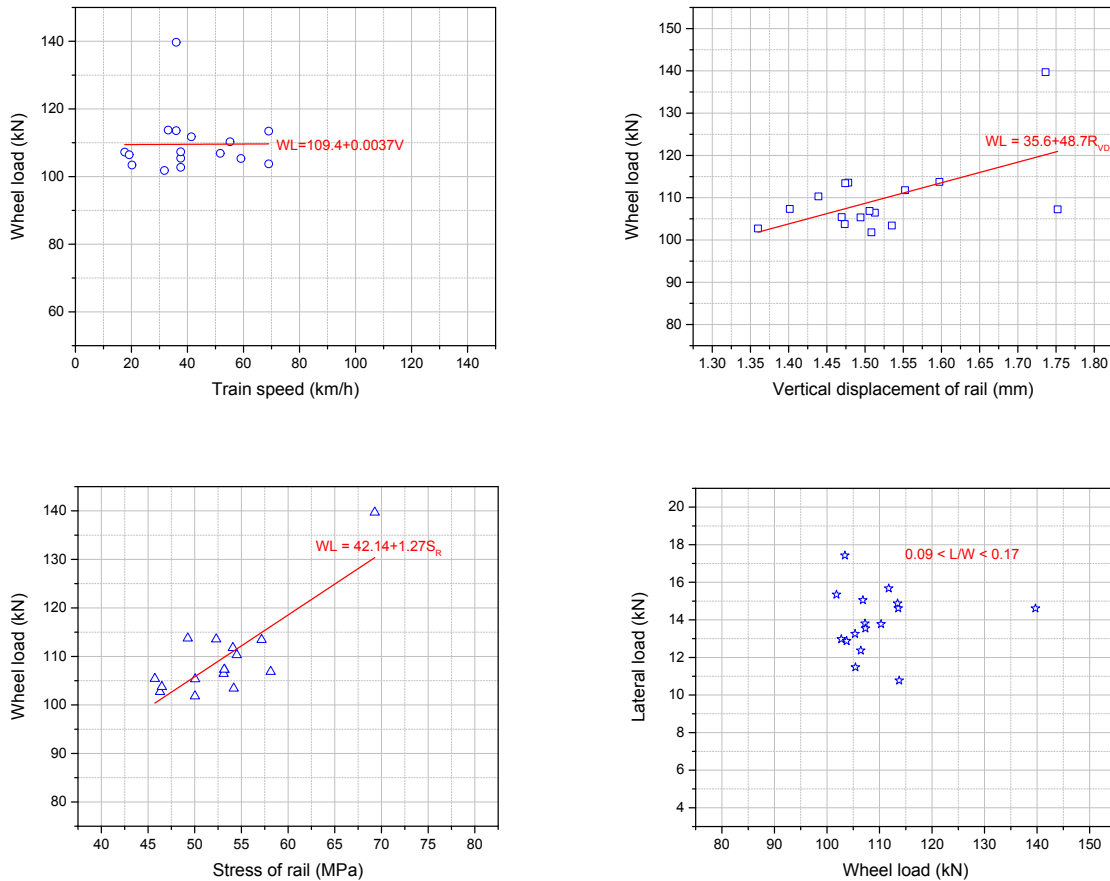


Fig. 5 Correlation of Wheel load with speed, R_{VD} , S_R and LL

3. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 영업선에 시험 부설된 패널형 아스팔트콘크리트 궤도에 대해 열차 주행 시 윤중, 횡압, 레일 저부 응력, 레일의 수직 및 수평 변위, 패널의 수직 변위를 측정하고 후 패널형 아스팔트콘크리트 궤도 거동을 분석하였으며 그 결과 횡압-윤중비(탈선계수), 레일 수직 처짐 및 레일 응력 최대값은 허용 기준을 만족하였다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Korea Railroad Research Institute (2016), Development of Asphalt Roadbed and Track System suited to Speed Up, Korea Railroad Research Institute.
- [2] Korea rail network authority(2015), Design standard in railway(civil structure), Ministry of Land, Infrastructure and Transport.