

광폭침목형 아스팔트콘크리트 궤도의 열차 주행 시 거동 분석

Behavior of Wide Sleeper Type Asphalt Concrete Track in Train Operation

이성혁[†], 배영훈*, 최영태*, 한두섭**, 정인균**

Seong-Hyeok Lee[†], Young-Hoon Bae*, Yeong-Tae Choi*, Doo-Seop Han**, In-Gyun Jeong**

Abstract Asphalt concrete track has been studied for a few years, which is a new concept railway track that combines the advantage between ballasted track and concrete 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 wide sleeper were measured in wide sleeper type asphalt concrete track during train operation. The behavior of wide sleeper type asphalt concrete track was analyzed by the measured results. As a result of the analysis, it was confirmed that wide sleeper type asphalt concrete track was fitted to the requirements for track safety and stability.

Keywords : Asphalt concrete track, Wide Sleeper, Field test, Track behavior

초 록 자갈궤도와 콘크리트 궤도의 장점을 결합하고 단점을 상호 보완한 신개념 궤도 시스템인 아스팔트 콘크리트 궤도에 대한 연구를 수년간 수행하여 왔다. 그 동안의 연구 결과를 바탕으로 국내 최초로 아스팔트콘크리트 궤도를 영업선에 시험 부설하여 현장설치 시험을 진행하고 있다. 본 연구에서는 시험 부설된 광폭침목형 아스팔트콘크리트 궤도에 대해 열차 주행 시 측정된 윤중, 횡압, 레일 저부 응력, 레일 및 침목의 수직변위를 이용하여 광폭 침목형 아스팔트콘크리트 궤도의 거동 특성을 분석하였으며, 분석 결과 광폭 침목형 아스팔트 콘크리트 궤도는 궤도 안전성을 만족하기 위한 요구 사항을 만족하고 있는 것을 확인하였다.

주요어 : 아스팔트콘크리트 궤도, 광폭침목, 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 광폭 침목형은 일반 콘크리트 침목에 비해 자중이 커 궤도 중형방향 저항력이 크며, 저부 면적이 상당히 커서 아스팔트 도상에 전달되는 압력을 저감시킬 수 있다. 또한 궤도 틀림 및 부등침하 발생 시 유지보수가 용이한 장점을 가지고 있다. 여러 가지 장점이 확인된 광폭 침목형 아스팔트콘크리트 궤도는 국내 최초로 영업선(경북선 백원역)에 시험 부설되었다.

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

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

** 한국철도공사 경북본부

2. 본 론

2.1 광폭침목형 아스팔트콘크리트 궤도 시험 부설

아스팔트콘크리트 궤도는 흙노반, 강화노반, 아스팔트콘크리트 및 광폭침목으로 구성된다. 본 시험 부설 구간에서 강화노반은 입도조정쇄석(M-40)이 사용되었으며, 쇄석의 입경가적곡선 및 다짐시험 결과는 Fig. 1과 같다. 강화노반층의 들밀도 시험결과, 평균 21.16 kN/m^3 으로 목표 다짐도 95% 이상을 만족하였으며, 반복평판재하시험 결과, $E_{v2}=127.65 \text{ MN/m}^2$, $E_{v2}/E_{v1}=1.88$ 로서 철도 설계기준[2]을 만족하고 있다. 아스팔트콘크리트는 기층 및 중간층, 표층에 밀입도 가열 아스팔트 혼합물을 사용하였고, 표층 50 mm, 중간층 100 mm, 기층 150 mm로 하여 총 두께 300 mm를 시공하였다. 아스팔트 혼합물의 현장밀도는 23.90 kN/m^3 이며 다짐도 98.1%로 측정되었다. 아스팔트 콘크리트 도상의 폭은 3.2 m이다.

아스팔트콘크리트 궤도의 궤광은 광폭침목, 레일체결장치(System 300-1), 레일(KR 60), 궤도변위 저항장치로 구성된다. 광폭침목은 길이 2.4 m, 광폭부 폭 0.5 m, 높이 0.18 m 크기의 프리스트레스트 콘크리트($f_{ck} = 50 \text{ MPa}$) 구조이다. 궤도변위 저항장치는 광폭침목 3본당 2개를 설치하였다. 광폭침목형 아스팔트콘크리트 궤도 단면도 및 완공 후 전경은 Fig. 2와 같다.

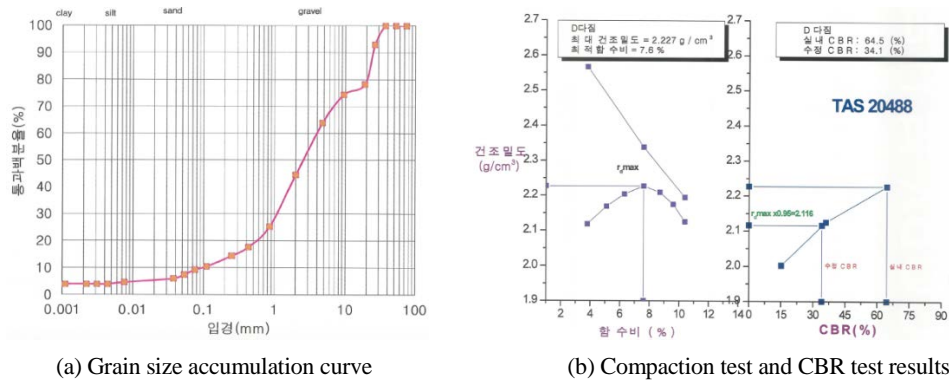


Fig. 1 Material properties of reinforced roadbed

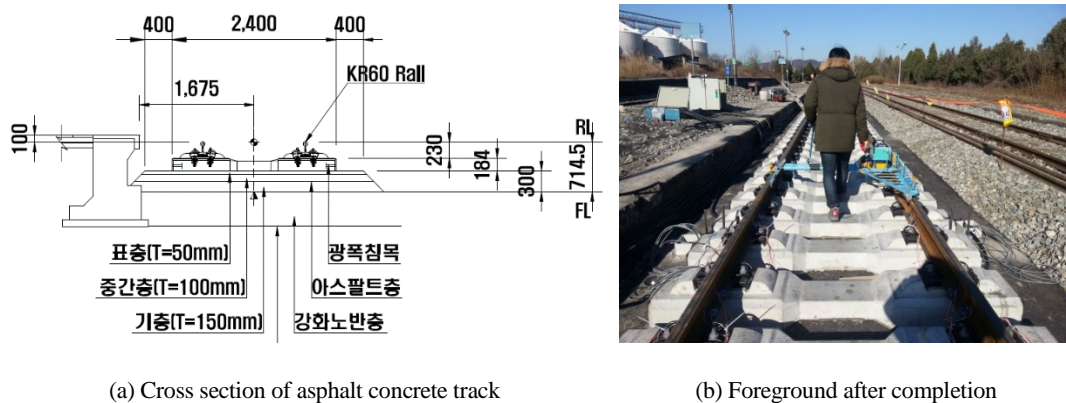


Fig. 2 Construction of wide sleeper type asphalt concrete track

2.2 계측 센서 설치

광폭 침목형 아스팔트콘크리트 궤도의 거동을 확인하기 위한 측정 항목은 윤중, 횡압, 레일 수직 및 수평 변위, 레일 저부 응력 및 침목 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, 침목 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.



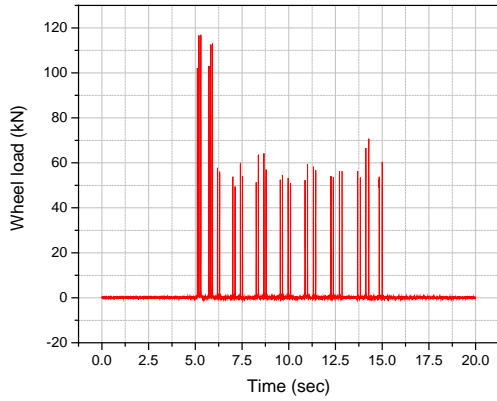
Fig. 3 Arrangement of L.V.D.T.s and strain gauges in wide sleeper type asphalt concrete track

2.3 측정 결과 및 광폭 침목형 아스팔트콘크리트 궤도 거동 분석

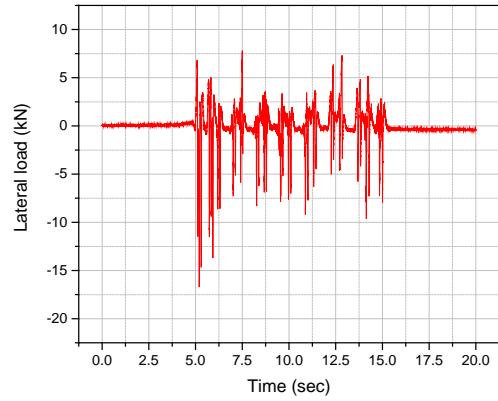
광폭 침목형 아스팔트콘크리트 궤도 완공 후, 2016년 12월 1일부터 열차 운행이 시작되었다. 열차 운행속도는 일별로 20 km/h → 40 km/h → 60 km/h → 80 km/h까지 서서히 증속하였다. 윤중 및 횡압 총 4개소, 레일 저부 응력, 레일 및 침목 변위는 총 2개소에서 측정되었으며, 이중 12월 6일 19시에 측정된 항목별 데이터는 Fig. 4와 같다. 또한 열차가 15회 운행하는 동안 측정 항목별 최대 값은 기관차 통과 시 나타났으며 해당 측정 값은 Table 1과 같다. 윤중은 열차 운행 속도에 관계없이 약 101 kN ~ 117 kN 범위에서 측정되었으며, 횡압은 약 12 kN ~ 19 kN 범위에서 측정되었다. 레일 수직 변위는 2 mm 미만으로 측정되었으며, 침목 수직 변위는 0.59 mm 미만이었다. 수직변위 관련 일본에서 적용되는 주행판정기준이 레일 4 mm 이하, 침목 3 mm 이하이므로, 레일 및 침목 수직변위는 이 기준을 만족하고 있다. 레일 수평 변위는 최대 0.694 mm가 측정되었다. 레일 최대 응력은 57.05 MPa이 측정되었는데 이는 허용응력 기준값인 128 MPa 대비 44% 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 광폭 침목형 아스팔트콘크리트 궤도의 궤도

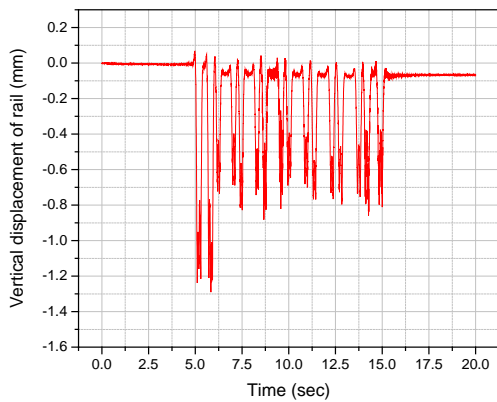
강성은 72.6 ~ 90.6 kN/mm이다. 횡압과 윤중의 비인 횡압/윤중은 탈선계수를 의미하는데 시험 부설된 광폭침목형 아스팔트콘크리트 궤도의 횡압/윤중은 0.1에서 0.18 사이이며 이는 탈선계수 기준을 만족함을 알 수 있다.



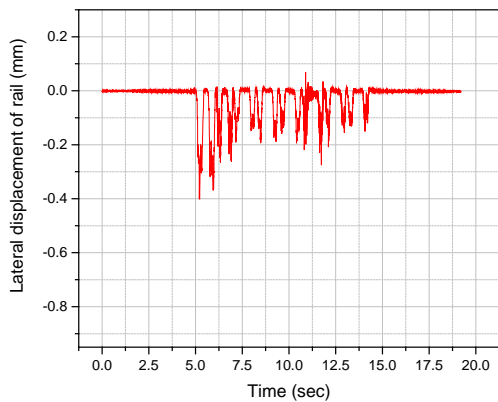
(a) Wheel load



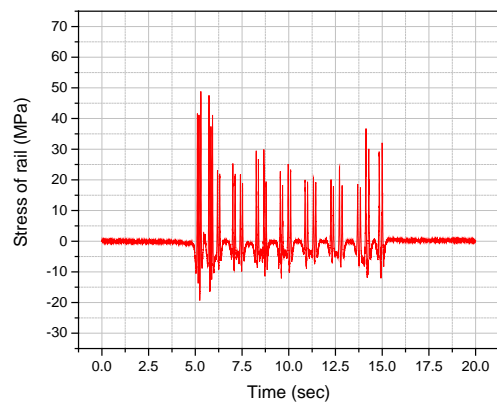
(b) Lateral load



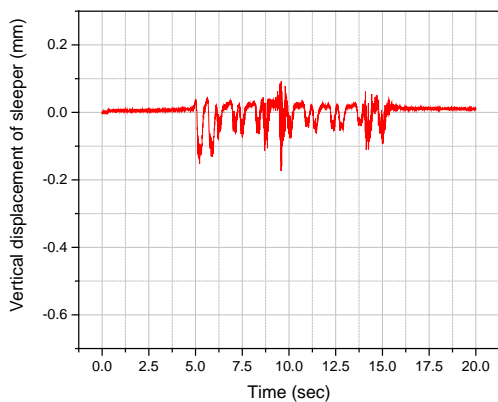
(c) Vertical Displacement of rail



(d) Lateral displacement of rail



(e) Stress of rail bottom surface

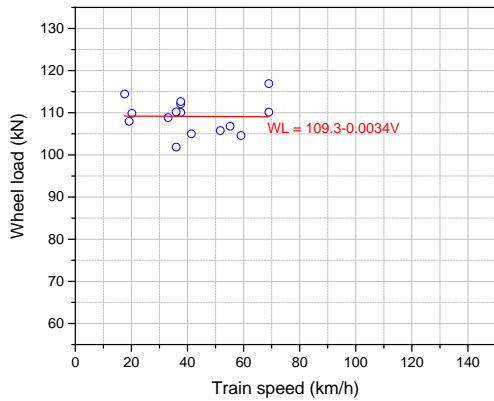


(f) Vertical displacement of Sleeper

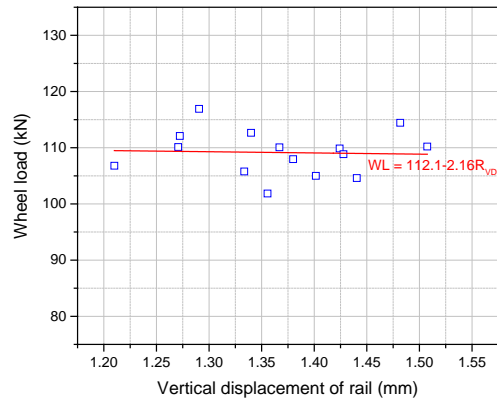
Fig. 4 Track behavior of wide sleeper type asphalt concrete track in train operation ($V = 69$ km/h)

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

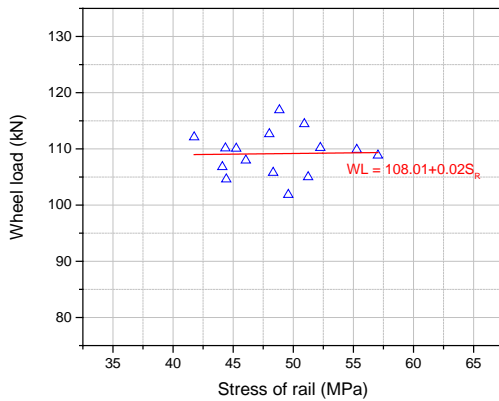
Train speed (km/h)	Wheel load (kN)	Lateral load (kN)	Vertical disp. Of rail (mm)	Lateral disp. of rail (mm)	Stress of Rail (MPa)	Vertical disp. Of Sleeper (mm)	Remarks (y/m/d/h)
20.2	109.9	-17.9	-1.424	-0.477	55.28	-0.584	16/12/01/10
17.6	114.4	-14.2	-1.482	-0.469	50.92	-0.578	16/12/01/15
19.2	108.0	-15.1	-1.380	-0.444	46.06	-0.504	16/12/01/19
37.6	112.1	-11.7	-1.272	-0.415	41.76	-0.405	16/12/02/10
36.0	101.9	-15.2	-1.356	-0.481	49.59	-0.470	16/12/02/15
33.1	108.8	-15.5	-1.428	-0.468	57.05	-0.418	16/12/02/19
37.6	110.1	-13.8	-1.367	-0.329	45.26	-0.190	16/12/04/19
59.1	104.6	-15.6	-1.441	-0.460	44.43	-0.183	16/12/05/07
55.2	106.8	-12.7	-1.210	-0.413	44.11	-0.177	16/12/05/10
36.0	110.2	-16.3	-1.507	-0.503	52.25	-0.236	16/12/05/15
51.7	105.8	-13.4	-1.333	-0.435	48.33	-0.165	16/12/05/19
69.0	110.1	-17.9	-1.271	-0.402	44.36	-0.170	16/12/06/07
37.6	112.7	-14.6	-1.340	-0.694	48.01	-0.356	16/12/06/10
41.4	105.0	-18.6	-1.402	-0.487	51.24	-0.157	16/12/06/15
69.0	116.9	-16.7	-1.291	-0.428	48.85	-0.152	16/12/06/19



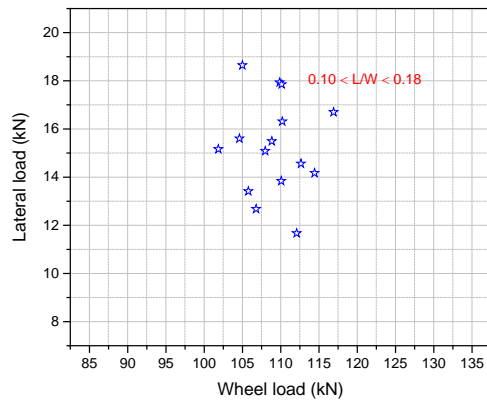
(a) Correlation of WL with Speed



(b) Correlation of WL with R_{VD}



(c) Correlation of WL with S_R



(d) Correlation of LL with WL

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

3. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 영업선에 시험 부설된 광폭침목형 아스팔트콘크리트 궤도에 대해 열차 주행 시 윤중, 횡압, 레일 저부 응력, 레일의 수직 및 수평 변위, 침목의 수직 변위를 측정 한 후 침목형 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.