

아스팔트콘크리트 궤도 시험부설구간에서의 열차 주행 시 콘크리트 패널에 작용하는 응력 특성 분석

Analysis of Stress Behavior applied to the Concrete Panel when Driving the trains at Asphalt Concrete Track Test Section

백인혁*, 박진철*, 황만호**, 배영민***, 한두섭****, 이성혁*****†

In Hyuk Baek*, Jin Chul Park*, Man Ho Hwang**, Young Min Bae***,

Du Sub Han****, Seong Hyeok Lee*****†

Abstract A Type of Ballast-less Track, which is The Asphalt-concrete Track(ACT) is complementary that sustained maintenance necessary Ballasted Track, Noise & vibration and hard maintenance as track strain Concrete Track with advanced concept Track System. It has been relevant research and development in Korea is ongoing from a few years ago. Asphalt-concrete Track(ACT) is using field test for performance monitoring measurement as part of functional qualification. In this study, a concrete panel as component of Asphalt-concrete Track installed strain gauge of outside and inside that is measurement on train passage. It considered a wheel and lateral force in comparison with train speed.

Keywords : Manuscript preparation, Template, Paper title, Railway technology

초 록 무도상 궤도의 한 종류인 아스팔트 콘크리트 궤도는 지속적인 유지보수를 필요로 하는 자갈 궤도와 소음·진동 및 궤도 변형 시 보수가 어려운 콘크리트 궤도의 특징을 상호 보완 할 수 있는 신개념 궤도 시스템으로서 국내에서도 수년 전부터 연구개발이 추진되고 있다. 이러한 아스팔트 콘크리트 궤도 성능 검증의 일환으로 현재 현장설치시험을 통한 장기 거동 계측을 진행 중에 있다. 본 연구에서는 아스팔트 콘크리트 궤도의 구성품으로써 개발된 콘크리트 패널의 외부와 내부에 매립된 스트레인 게이지를 통해 열차 주행 시 측정된 응력을 분석하였으며, 또한 열차의 속도와 윤중 및 횡압 등을 분석하였다.

주요어 : 아스팔트 콘크리트 궤도, 현장설치시험, 콘크리트 패널, 응력

1. 서 론

본 연구에서는 자갈 궤도(低건설비)와 콘크리트 궤도(高안전성)의 장점을 결합하고 단점을 상호 보완한 신개념 궤도 시스템으로서 신속한 유지보수가 가능하고 탁월한 소음진동

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

* 삼표레일웨이(주) PST팀

** (주) 엔알씨

*** 서울과학기술대학교 철도전문대학원

**** 한국철도공사 경북본부 시설처

저감성이 있으며, 승차감 향상에 유리한 궤도 구조인 아스팔트 콘크리트 궤도를 개발 하였다.

그 중 본 연구에서는 패널형 아스팔트 콘크리트 궤도로서 열차 하중에 의한 아스팔트 도상의 발생응력 최소화 및 환경하중에 대한 변형이 작게 발생되도록 저면이 넓은 패널 형식을 적용함으로써 하부로 전달되는 윤하중을 최소화하여 경제적인 노반 두께 설정이 가능하도록 하였다. 본 현장 부설구간은 현재 약 80km/h의 속도로 열차가 운행되고 있는 구간이지만, 적용된 궤도 시스템은 KR60레일, System 300-1체결장치와 패널로써 궤광을 구성하였으며, 강화노반은 40cm, 아스팔트 콘크리트 28cm로 시공하였다. 아스팔트 콘크리트 궤도의 성능 확인을 위해 패널 내부에는 매립형 게이지, 외부에는 윤중/횡압, 레일 응력, 패널 가속도, 레일/패널 수직변위등을 확인하기 위하여 센스를 부착하여 열차 운행 속도별 패널에 작용하는 응답신호를 측정하여 분석하였다.

2. 본 론

2.1 현장설치시험

2.1.1 시험 노반의 조성

아스팔트 콘크리트 궤도는 흙노반, 강화노반, 아스팔트콘크리트로써 구성된다. 강화노반은 입도조정쇄석, 도상은 아스팔트 콘크리트를 사용하였다. 당 현장은 일반 철도 구간이지만 기존 흙노반의 최대 건조밀도 19.93kN/m^3 이고 통일 분류법에 의해 SM(실트 섞인 모래) 지반으로서 연약하였으므로 철도설계기준[1]에 제시된 고속철도 강화노반 기준에 준하여 노반두께를 40cm로 하였다. 강화노반층과 아스팔트 콘크리트층의 다짐 정도는 기준이 되는 밀도에 대해 각각 95%, 97%이상의 밀도를 확보하도록 하였다. 본 시험 궤도에 이용한 입도조정쇄석(M-40)의 입경가적곡선 및 다짐시험(KS F 2311) 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 다짐시험 결과, 최대 건조밀도는 22.27kN/m^3 이었으므로 다짐도 95%를 확보하기 위해서는 21.16kN/m^3 이상의 건조밀도가 되도록 다짐 작업을 할 필요가 있었다. 다짐 시공 시에 시행된 들밀도 시험 결과, 평균 21.26kN/m^3 으로 다짐도 95%이상을 만족하고 있다.

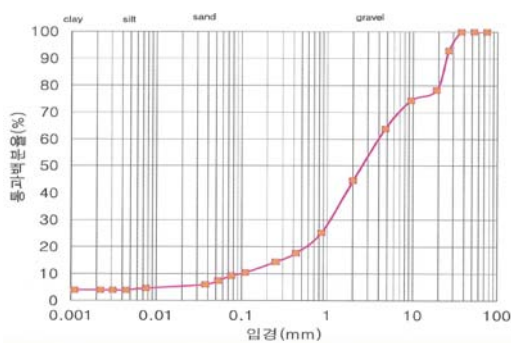


Fig. 1 Grain size accumulation curve

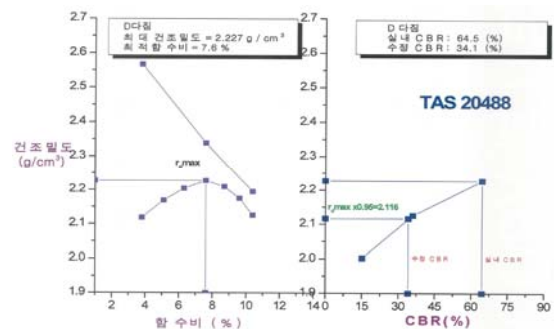


Fig. 2 Compaction test and CBR test results

또한 반복평판재하시험에 앞서 동평판 재하시험을 통해 다짐도를 확인한 후 다짐도가 부족한 개소에 대해서는 추가적인 다짐 작업을 수행하였다. 최종 다짐 작업이 종료된 후 Fig.

3과 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 DIN 18134방법에 의한 반복평판재하시험을 실시하였다. 시험결과, $E_{v2}=125.36\text{MN/m}^2$, $E_{v2}/E_{v1}=2.03$ 으로서 철도설계기준을 만족하고 있음을 알 수 있다.



Fig. 3 Plate loading test

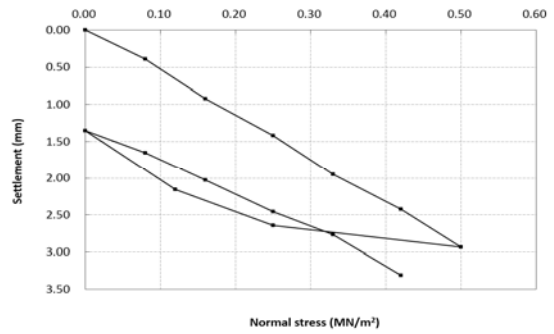


Fig. 4 Load-settlement curve

아스팔트 콘크리트는 기층 및 중간층, 표층에 밀입도 가열아스팔트 혼합물을 이용하였고, 표층 50mm, 중간층 80mm, 기층 150mm로 하여 총두께 280mm를 시공하였다. 이때 아스팔트 콘크리트 도상의 폭은 표층부에서 3.2m가 되도록 시공하였다. 아스팔트 콘크리트층의 다짐 정도는 기준 밀도에 대해 97%이상을 만족하도록 설계되었으며, 시공 완료된 현장의 아스팔트 콘크리트 다짐도 확인을 위해 아스팔트 혼합물의 밀도는 실내 및 플랜트에서 제조된 마샬 시험공시체를 기준 밀도로 하였다. 본 실험에 이용된 아스팔트 혼합물의 이론 최대밀도는 24.37kN/m^3 이며 현장으로부터 측정된 현장밀도는 슬래브 패널 구간이 23.76kN/m^3 으로 다짐도가 97.4%의 결과를 보였으므로 목표 다짐도를 만족하고 있는 것을 알 수 있다[2].

2.1.2 궤광 시공

아스팔트 콘크리트 궤도의 궤광은 슬래브 패널, 체결장치(System 300-1), 레일(KR60)로 구성된다. 아스팔트 콘크리트 궤도용 슬래브 패널은 아스팔트 상면에 미리 표시해 둔 슬래브 패널 설치 위치(떡줄 표시)에 맞추어 아스팔트 콘크리트 상면에 굴삭기를 이용하여 슬래브 패널을 설치하였다. 슬래브 패널을 설치한 후 레일을 체결장치를 이용하여 궤도선형 조정 작업을 하였으며, 레일의 용접작업 및 이음매 설치를 하여 궤광 시공을 완료하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 각각 아스팔트 콘크리트 궤도 횡단면과 평면도를 나타낸 것이다.

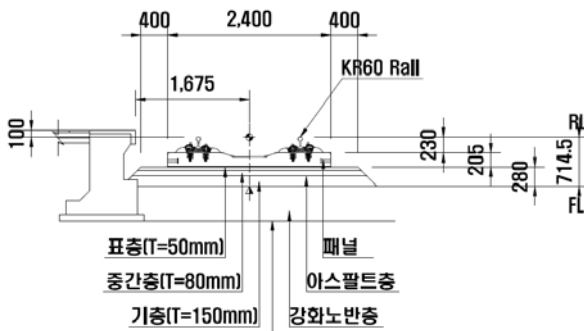


Fig. 5 Cross section of asphalt concrete track

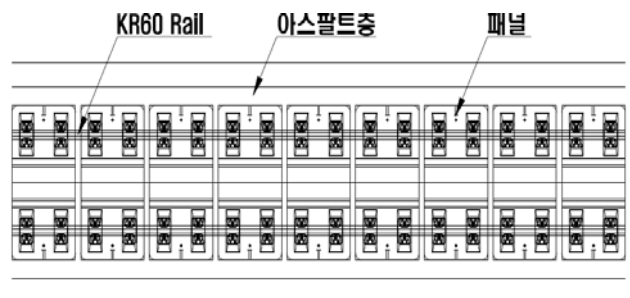


Fig. 6 Sectional plan of asphalt concrete track

2.1.3 계측기 설치

아스팔트 콘크리트 궤도의 계측 모니터링 위치는 광폭침목형구간, 패널형 구간 및 접속부 구간으로 구분하여 시행하였다. 패널형 구간 계측 위치와 계측 항목은 Table 1에 나타낸 바와 같으며, 현장 계측 상세도는 Fig. 8과 같다.

Table 1 Location and items of Measurement

Location of Measurement	Item of Measurement
Main line(welded joint)	Wheel load, Lateral force, Rail stress, Rail & panel displacement
Transition zone(rail joint)	

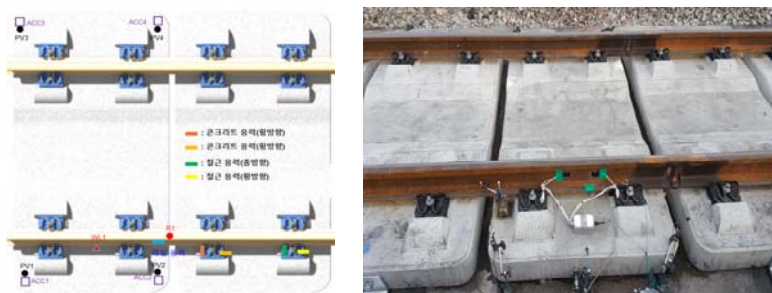


Fig. 8 Photograph of gauge and positions

2.2 계측 결과

2.2.1 궤도 안정성 검토

궤도 안정성 확인을 위하여 열차 속도별, 동력차와 여객열차로 구분하여 각각 속도 변화에 따른 동적 윤중 변화를 분석하였으며, 분석 결과는 Fig. 9~10과 같다.

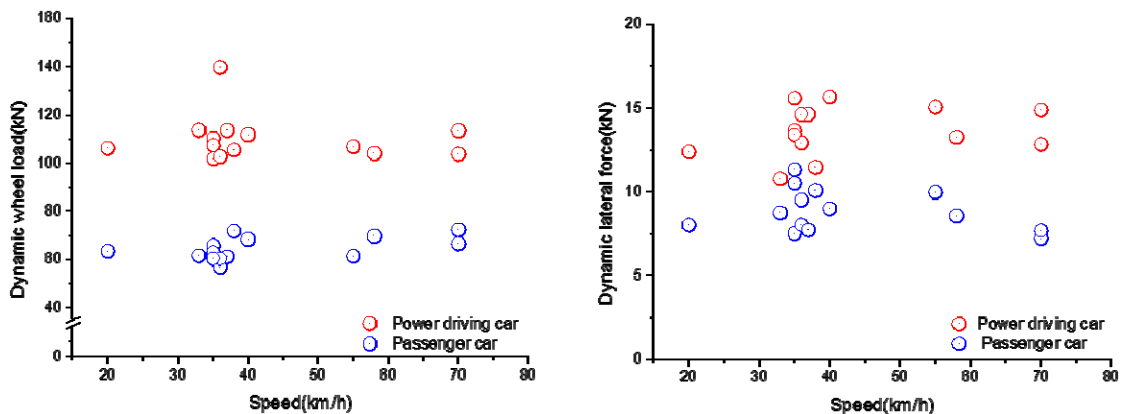


Fig. 9 Measured dynamic loads

자갈도상 궤도의 충격계수는 열차속도가 10~60km/h까지 변할 때 한국과 일본은 변화하는 것으로 되어 있으나[3], Modern railway track, track compendium에는 시속 60km/h까지는 충격계수가 변화하지 않는 것으로 되어 있다. 따라서 당 부설 현장도 열차 속도에 따른 동적 윤중의 변동

이 거의 변동이 없는 것으로 분석 되었다.

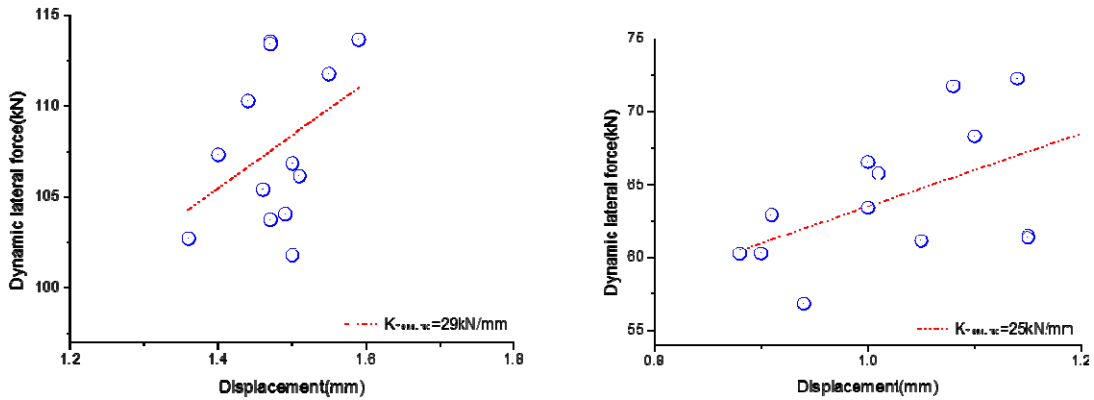


Fig. 10 Measured track support stiffness

일반적으로 궤도 지지점 강성의 최소값은 7 kN/mm 이상으로 되어 있으며, 궤도부설실적이 많은 독일, 일본 등의 경험 및 연구에 의하면 적정 궤도 지지점 강성을 $20 \sim 50 \text{ kN/mm}$ 로 [4] 평가하고 있는데, 연구결과에 의하면 궤도 지지 강성이 동력차 29 kN/mm 이며, 객차는 25 kN/mm 로 궤도 지지점 강성이 적절한 것으로 분석 되었다.

2.2.2 콘크리트 패널 구조 안전성 검토

아스팔트 콘크리트 궤도용 슬래브 패널의 구조적 안전성을 평가하기 위하여 열차 속도별, 슬래브 패널에 매립된 센스를 통해 콘크리트 및 철근에 작용하는 응력을 분석 하였으며, 열차 속도별 작용응력 분석 결과는 Fig. 11~12와 같다.

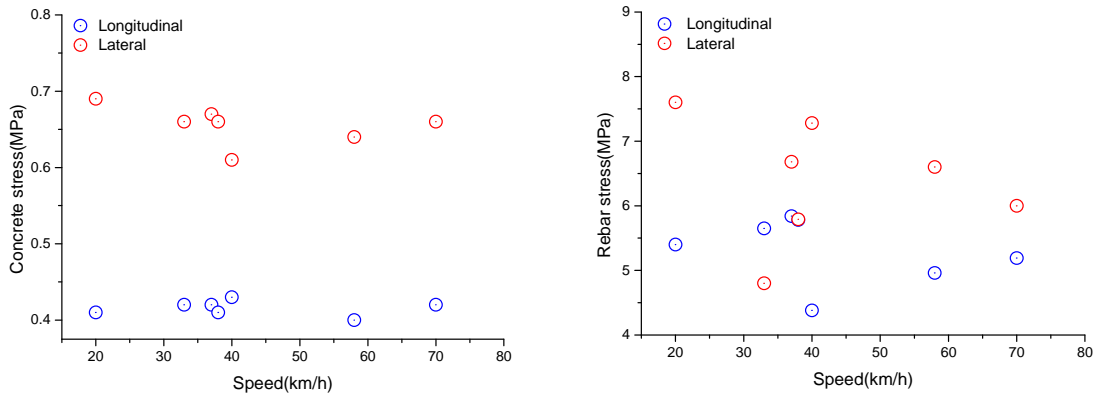


Fig. 11 Relationship between speed and stress

작용 윤중과 콘크리트 응력 및 철근 응력을 분석하면 Fig. 12에 나타난 바와 같이 길이 방향의 응력은 윤중에 영향이 없으나, 횡방향 응력은 윤중의 증가에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 최대 콘크리트 응력 및 철근 응력이 각각 0.65 MPa , 7.5 MPa 이하 이므로 패널 설계 시 목표한 콘크리트 및 철근의 응력이 각각 4.5 MPa , 200 MPa 이므로, 패널의 안정성은 충분히 확보된 것으로 판단된다.

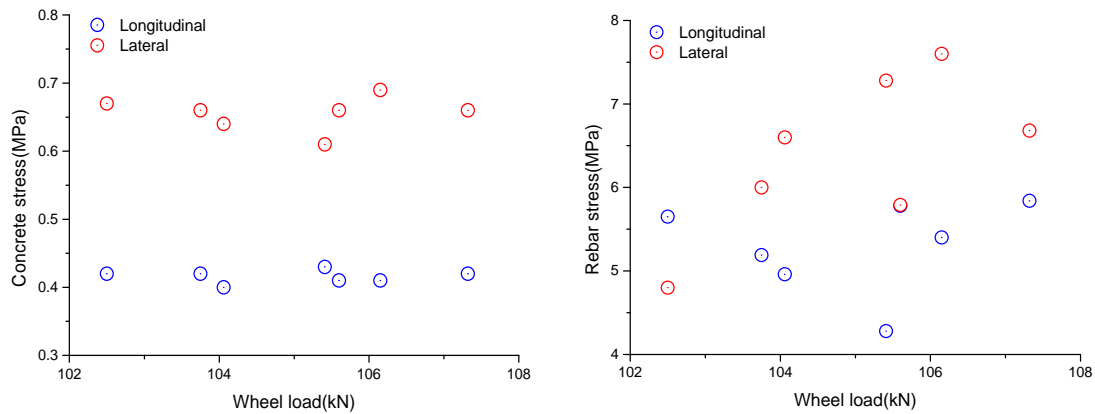


Fig. 12 Relationship between wheel load and stress

3. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 궤도 안정성 검토 결과, 0~70km/h의 속도대역에서의 열차속도에 따른 동적 윤중과 횡압은 증가하는 경향은 보이지 않았다. 이는 유럽의 설계기준[5]에서 60km/h까지는 동적 윤중 변동이 없는 것과 유사한 결과를 보였다.
2. 레일 수직변위와 윤중 관계에서의 궤도 지지점 강성은 동력차 29kN/mm이며, 객차는 25kN/mm로 적정한 궤도 지지점 강성을 보였다.
3. 콘크리트 패널 구조 안정성 검토를 위해 열차 주행 시 측정된 콘크리트와 철근의 응력이 각각 0.65MPa, 7.5MPa로 패널 설계 시 목표한 4.5MPa, 200MPa에 대해 충분한 안정성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2015), Design standard in railway(civil structure).
- [2] Korea Railroad Research Institute(2016), Development of asphalt roadbed and track system suited to speed up, Korea Railroad Research Institute.
- [3] Korea Rail Network Authority(2014), KR Code-14030:Ballast track structure, Korea Rail Network Authority. pp. 24-2.
- [4] Korea Rail Network Authority(2014), KR Code-14030:Concrete track structure, Korea Rail Network Authority. pp. 18.
- [5] Bernhard Lichtberger(2005), Track compendium: Formation, Permanent way, Maintenance, Economics, Eurailpress, Hamburg.