

콘크리트궤도 균열부 현장계측시험을 통한 균열전이 특성 분석

Crack Progression Characteristic Analysis to Field Measurement of Concrete Slab Track

권세곤*[†], 박미연*, 소병춘*, 최형수**, 박성백**Segon Kwon*[†], Miyun Park*, Byungchoon Sho*, Hyungsoo Choi**, Sungback Park**

Abstract Because the ballast track have the characteristics doing the ongoing maintenance and difficult to handle increasing maintenance costs, eventually the concrete slab track is selected as an alternative. However, owing to the hydration heat reactions and drying affected shrinkage cracks related to concrete itself, criteria than cracking track occurs crack progression sleepers and track joint by the train load repetitive, eventually sleeper moving of the concrete slab track arise track irregularity. Therefore, in this study, variation ratio of vibration acceleration in order to estimate behavior specification related to the level of crack, is measured and analyzed. Through this methology, the transition and special feature of crack of sleeper moving in concrete bed are interpreted, and are estimated the effect of surface torsion based on the result by the train load. Also based on in-situ crack investigation data analyzed crack progression appearance. This study will provide a great benefit to decision making methodology for maintenance of concrete slab track for future.

Keywords : Concrete slab track, Sleeper moving crack, Track irregularity, Train load

초 록 자갈도상의 특성상 지속적인 유지보수가 필요하여 늘어나는 유지관리비용을 감당하기 어려워지게 되어 결국 대안으로 선택한 것이 콘크리트도상 궤도이다. 그러나 콘크리트궤도에서 건조수축 및 수화열반응에 의해 필연적으로 발생한 균열이 반복적인 열차하중에 의해 침목과 도상의 접속부에서 허용치 이상의 균열로 진전되고 결국 침목유동에 따른 궤도틀림을 유발하고 있다. 따라서 본 연구에서는 침목균열 수준에 따른 거동특성 파악을 위해 진동가속도를 현장 계측하였으며 이를 통해 콘크리트궤도 균열발생에 따른 균열전이 특성을 분석하였다. 본 연구는 추후 콘크리트도상 궤도의 유지관리 의사결정을 위한 기준 마련에 큰 역할을 할 것으로 사려된다.

주요어 : 콘크리트궤도, 침목유동균열, 궤도틀림, 열차하중

1. 서 론

최근 철도운송의 교통부담 비율이 높아지면서 국민들로부터 안전하고 경제적인 철도의 필요성이 높아지면서 철도 기술이 빠르게 발전하고 있다. 철도 건설현장에서 시공되고 있는 콘크리트궤도는 초기 시공비가 높다는 단점이 있으나, 기존 자갈도상 궤도에 비해 구조적으로 더 안정적이며 유지보수비를 혁신적으로 절감함으로써 궤도구조의 총 생애주기의

† 교신저자: 한국철도공사 연구원 기술연구처(tibobkr@korail.com)

* (주)승화기술정책연구소 기술연구소

** 한국철도공사 연구원 기술연구처

측면에서 생력화 궤도로 평가되고 있고, 고속화 및 고중량의 철도 하부구조에 가장 적합한 궤도구조로 평가를 받고 있다. 실제로 콘크리트궤도 구조는 완벽하게 시공되면 자갈도상 궤도구조 보다 궤도틀림 및 도상의 손상, 마모 등이 적게 발생하고 있다.

그러나 일부구간 콘크리트궤도 유지보수 중 발생하는 가장 큰 문제로 침목과 콘크리트도상 간에 발생하는 균열과 이로 인한 침목의 유동, 그리고 궤도틀림의 심화를 들 수 있다. 특히 침목매립형 콘크리트궤도에서 발생하는 침목테두리 균열은 차량의 충격하중과 통행량, 그리고 기후변화 및 차량통행속도 등의 영향에 따라 매우 빠르게 균열 폭의 진전이 이루어진다. 이는 한 침목에서의 반복되는 열차하중에 의해 균열이 인접 침목의 균열 진전에 영향을 주어 차량 승차감 문제뿐만 아니라, 차량주행 안전성 및 콘크리트도상 궤도의 구조적 안전성에 문제가 야기될 수 있다.

프랑스, 일본 등 철도선진국에서는 오래전부터 콘크리트궤도 부설 및 운영을 하여 지속적인 연구를 통해 발전시키고 있으며 최근 우리나라에서도 콘크리트궤도에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 궤도틀림과 같이 차량주행 안전성 및 궤도 안전성에 영향을 미치는 주요인자에 대한 연구로 레일 표면에서 발생하는 접촉피로 현상에 대한 파손 매커니즘 분석(서정원 등, 2009)을 수행한 연구가 수행되었으며, 백재욱 등(2006)은 자갈도상과 콘크리트궤도 구조에 대한 생애주기비용을 분석하여 이를 기초한 궤도도상 구조별 유지관리수준을 제시하였고, 장승엽 등(2013)은 균열이 발생한 콘크리트궤도에 열차하중이 작용할 때 응력분포 해석을 수행하여 균열폭, 간격, 깊이 등에 따른 영향을 검토하였으며, 권세곤(2013)은 콘크리트궤도의 균열-틀림관계를 고려한 유지관리 의사결정에 관한 연구를 시행하였다.

이들 문헌에서는 기 부설된 콘크리트궤도에 대한 적용성이나 실제 열차하중에 따른 균열특성에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전라선 일부구간의 콘크리트궤도 유지보수 자료 및 전문가 설문을 통한 균열진전 양상을 조사하고 침목균열 수준에 따른 거동특성을 분석하기 위하여 실제 운행선 현장 계측을 실시하였다.

2. 본 론

2.1 정밀점검 결과 균열진전 분석

코레일에서는 콘크리트궤도의 효율적인 유지보수 시행으로 열차안전운행 확보를 위하여 년 1 회 이상 정밀점검을 시행하고, 점검결과 조사일, 일련번호, 발생위치, 원인, 균열 폭 및 길이, 진행성여부를 균열전개도에 상세히 기록하여 효율적인 균열관리를 시행하고 있다. 본 연구에서는 대상 콘크리트궤도의 2006~2011 년도 매년 정기적으로 시행한 정밀점검 결과를 토대로 균열진전 특성을 분석하였다. 정밀점검 시행 후 기록 관리된 점검 결과를 토대로 콘크리트궤도에 발생한 균열발생 현황을 분석한 결과 종·횡방향 균열과 도상과 침목테두리에 발생된 균열이 다수 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 점검결과 매년 균열이 발생되고 있었으며, 년차별 균열발생 길이에 대한 비교 분석을 시행하여 균열발생 추이를 확인할 수 있었다. Fig.1 의 A 구간에서 보는 바와 같이 매년 균열길이가 2008 년과 2009 년 사이에 0.3mm 의 균열이 0.5mm 로 확대된 양이 약 20m 이상 증가된 것을 확인할 수 있으며 0.5mm 에서 0.7mm 로 증가한 양 또한 약 20m 이상 증가되었다. 0.7mm 에서 1.0mm 로 증가한 경우도 약 20m 이상 증가되어 거의 유사하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 앞의 데이터 변화량과 달리 B 구간에 대한 자료를 보면 균열 진전 속도와 확산속도가 상당히 더 빠름을 알 수 있다. 0.3mm 에서 0.5mm 로의 확대량이 약 40m 이상으로 1 년 만에 늘어났으며 0.5mm 에서 0.7mm 로 확대된 양이 약 30m 정도, 그리고 0.7mm 에서 1.0mm 이상 균열의 진전 속도 또한 약 20m 정도로 증가하였다.

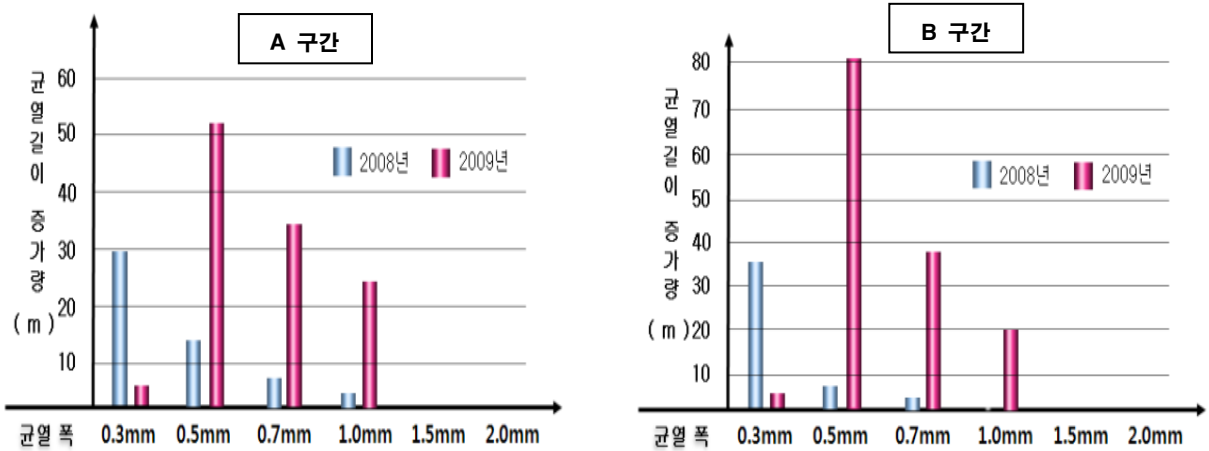


Fig. 1 시간 변화에 따른 균열폭의 진전 속도 및 물량 비교

2.2 유지보수 전문가 설문 조사

균열발생 및 진전확산에 대한 주요 요인을 분석하기 위해 궤도 유지보수 전문가들을 대상으로 하여 설문을 조사하였다. 설문의 목적은 균열진전, 균열과 면틀림의 관계성, 그리고 균열발생시의 유지보수 적정 시기 등을 구체적으로 조사하기 위하여 경험자들의 경험을 토대로 분석시 고려하기 위한 것이다. 설문에 대한 응답자는 현재 코레일에 근무하고 있는 콘크리트궤도 유지관리 경험자 43 명으로 이들의 의견과 답변을 조사 분석하여 Table 1.에 나타내었다.

설문 내용을 종합해 보면 궤도 틀림과 균열과의 상관성이 매우 높은 것으로 인식하고 있으며 균열 발생 이후 진전 및 확산 속도에 대해서는 매우 빠르게 확산됨을 알 수 있다. 유지보수 경험상 균열보수가 시행되어야 할 균열 폭의 수준이 어느 정도인가를 질문하였으며 응답자의 86%가 0.5mm 이하에서 유지보수를 수행하여야 한다고 지적하였다. 이 결과는 미세한 균열이 시간이 갈수록 급격하게 진전되어 상당히 많은 비용을 들여 유지보수를 해야 하는 결과를 가져온다는 것을 의미하는 것이다. 실제로 앞에서 균열 데이터를 분석한 자료에서도 0.3mm 이하의 균열이 1년 만에 0.5mm 나 0.7mm 이상의 균열로 상당히 많이 진전된 결과를 보여주고 있다.

Table 1. 전문가 설문조사 결과

설문조사 내용	설문조사 결과
균열과 면틀림의 관계성	상관성 높음
궤도틀림 발생 원인	침목의 유동
균열발생 주요 요인	설계불량->통과톤수 증가->시공불량 시공불량->통과톤수 증가->설계불량
균열보수 시행 시기	0.5mm 이하 일 때
균열제어를 위한 최적의 보수시기	3개월 이내

2.3 콘크리트레도 현장계측 분석

콘크리트레도 시스템은 지지방식과 구조 시공방식에 등에 따라 크게 레일체결장치 등을 현장 설치하여 도상콘크리트를 타설하는 방식의 직결식 구조와 Precast 침목 또는 단블럭을 도상콘크리트(TCL)에 매립하는 방식의 침목매립식 구조로 구분을 하고 있다. 현장계측시험 대상은 2004 년 전라선에 부설된 침목매립형 콘크리트레도(ALT-2) 구간으로 철도차량 통과속도는 150km/h 수준이며, 통과열차는 화물열차를 비롯하여 1 일 KTX 18 회, 새마을 4 회, 무궁화 26 회가 운행중에 있다. 침목 하나의 테두리 둘레가 보통 1.2m 이며 한 Span 으로 설정한 구간 안에는 좌, 우측 방향으로 각각 60 개 정도의 침목이 TCL 층에 설치되어 있다.

본 연구에서 침목매립형 콘크리트레도 침목균열을 Fig.2 와 같이 5 개 형식으로 구분하였으며 다음은 5 개 형식에 대한 자세한 설명이다. A-Type 은 도상콘크리트층과 RC 침목 매립부위에 균열이 발생하지 않은 개소, B-Type 은 도상콘크리트층과 RC 침목 매립부위에 양방향에 균열이 발생된 개소로 균열크기 0.5mm 침목테두리 균열 개소, C-Type 은 도상콘크리트층과 RC 침목 매립부위에 사방향에 균열이 발생된 개소로 균열크기 0.5mm 침목테두리 균열, D-Type 은 도상콘크리트층과 RC 침목 매립부위에 사방향에 균열이 발생된 개소로 균열크기가 0.7mm 이며 침목유동이 발생된 침목테두리 균열, E-Type 은 도상콘크리트층과 RC 침목 매립부위에 사방향에 균열이 발생된 개소로 균열크기가 1.0mm 이며 침목유동이 발생된 침목테두리 균열이다. 분석방법은 계측구간을 운행하는 무궁화를 대상으로 진동가속도를 10 회 이상 측정하여 균열발생이 없는 양호한 A-Type 진동가속도를 기준으로 각각의 침목균열 수준별 거동특성을 비교·분석하였다.

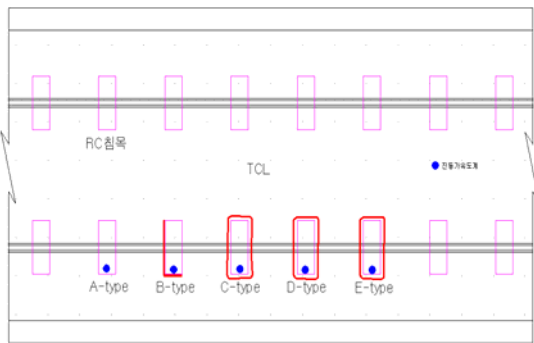


Fig 2. Sleeper Crack Type



Fig 3. Measurement of Acceleration

침목균열 수준별 진동가속도 측정결과 비교 그래프는 Fig.4 와 같으며 이 때의 수준별 진동가속도 변화추이 그래프를 Fig. 5 에 나타내었다. 분석결과에서 양호한 구간인 A-Type 과 비교할 때 균열로 인한 침목유동이 발생된 D-Type, E-Type 에서는 최대 +3.5G, 최소 -2.2G 의 상당히 큰 폭으로 진동가속도가 변화되었고, 각각의 침목균열 수준별로 기준값에 비교할 때 최대값 4.3 배, 최소값 3.9 배의 진동가속도가 발생되어 균열의 크기가 진전됨에 따라 크게 증가하는 것을 알 수가 있었다. 이는 균열로 인한 침목유동 위치에 열차통과시 열차하중을 수용하지 못하여 상하동이 발생된 것으로 알 수 있으며, 이로 인해 해당침목이 수용해야할 열차하중이 인접침목에 전달되어 침목유동 균열 주변 침목의 추가균열 및 균열진전을 유발할 수 있다고 판단된다. 본 계측결과는 앞에서 언급한 균열진전 분석결과 및 전문가 설문조사 결과에서 보여준 균열진전 특성과 밀접한 관계가 있으며 초기 균열보수의 필요성을 단적으로 보여주고 있다.

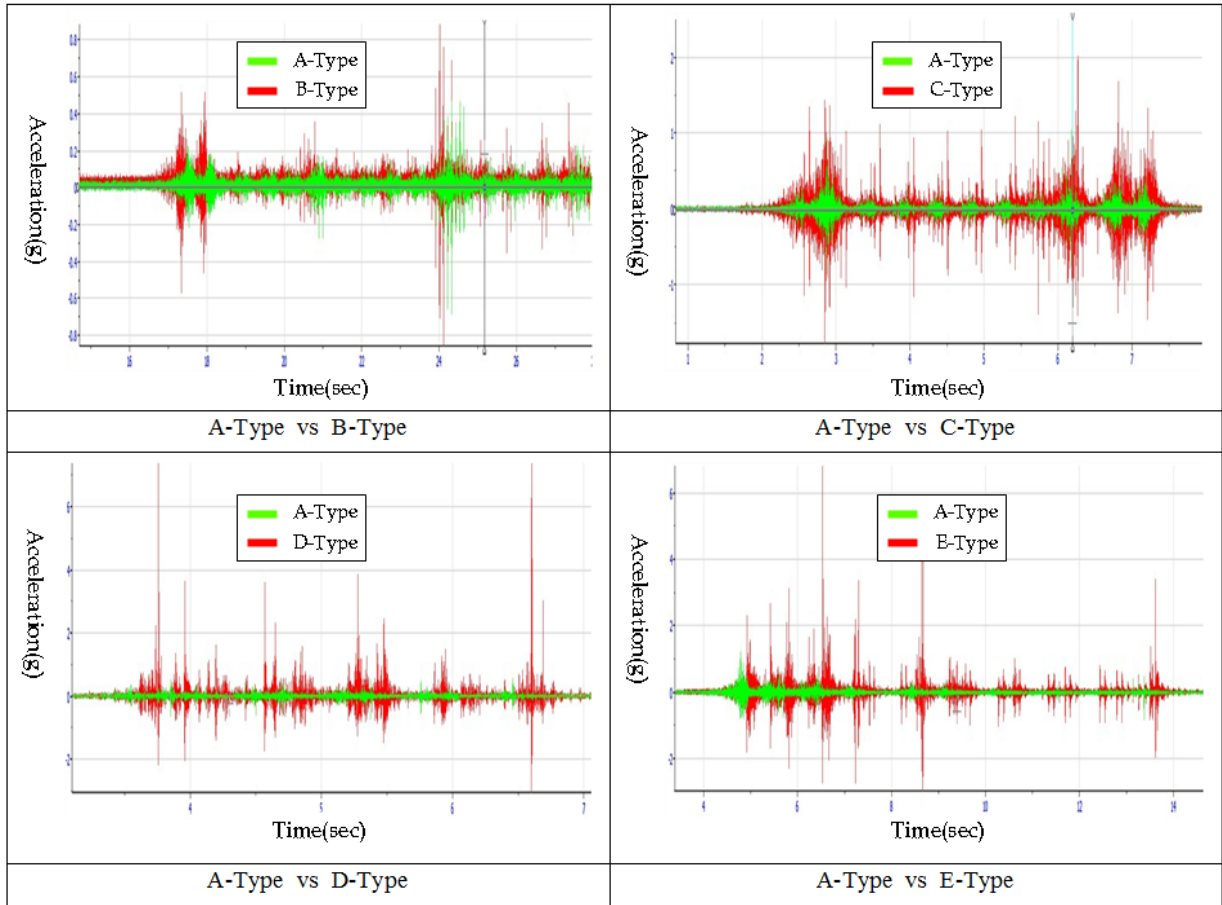


Fig 4. 침목균열 수준별 진동가속도 측정결과 비교 그래프

Table 2. 기준대비 진동가속도 변동율

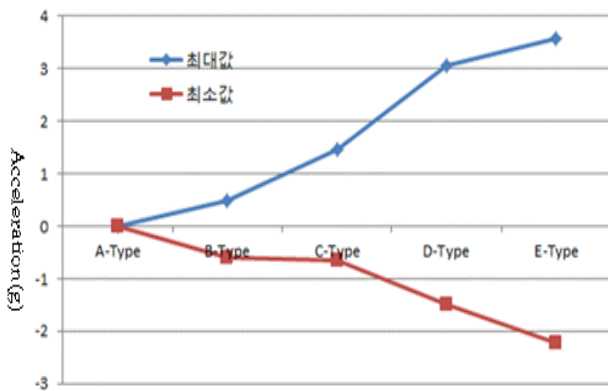


Fig 5. 침목균열 수준별 진동가속도 변화추이 그래프

구 분	최대값	최소값
기준대비 B-Type 진동가속도 변화량	2.3 배	3.2 배
기준대비 C-Type 진동가속도 변화량	2.4 배	1.8 배
기준대비 D-Type 진동가속도 변화량	3.9 배	3.1 배
기준대비 E-Type 진동가속도 변화량	4.3 배	3.9 배

3. 결론

본 연구에서는 침목매립식 콘크리트궤도 유지보수 현장에서 발생하고 있는 균열의 발생현황 및 균열진전 경향을 파악하고 열차하중이 작용할 때 균열발생 구간의 침목가속도를 측정하였다. 이를 토대로 분석한 결과 콘크리트도상 궤도에 발생된 침목테두리 주변의 균열은 침목의 유동을 유발하여 궤도틀림을 발생할 수 있으며 어느 순간 급속하게 진행 및 인접침목에 전이된다는 것을 알 수가 있었다. 현재까지 콘크리트도상에 발생된 균열로 인하여 아직까지는 열차운행에 지장을 주는 사례가 발생되지 않고 있지만 침목유동 균열의 경우 콘크리트궤도 궤도틀림의 주원인이 될 수 있으며 승차감과 밀접한 관계가 있다고 판단된다. 향후 콘크리트도상 궤도의 안정적 관리를 위해서는 균열보수 기준 재정립과 균열보수의 품질향상과 유지보수 주기를 연장시킬 수 있는 철도특성에 적합한 보수공법을 개발이 필요하다고 생각된다. 또한 지금까지 쌓아온 유지보수 경험을 바탕으로 콘크리트도상 궤도의 종류 및 특성에 따라 적합한 유지보수 방안을 체계적으로 정립할 필요성을 강조하는 바이다.

참고문헌

- [1] 권세곤(2013) 콘크리트도상 궤도의 균열-틀림관계를 고려한 유지관리 의사결정 연구, 박사학위논문, 군산대학교
- [2] 배성근, 최성철, 장승엽, 차수원(2013), 균열이 발생한 연속철근 콘크리트궤도 슬래브의 열차하중에 따른 응력 분포 해석, 한국철도학회 2013년도 춘계학술대회논문집
- [3] 권세곤, 박미연, 김두기, 박재학(2012), 철도콘크리트 슬라브 궤도상의 균열과 TQI 상관성 분석, 한국재난관리표준학회논문집, 제5권 제2호
- [4] 서정원, 변현규, 김재철, 김대상(2009), 레일에 발생하는 피로균열진전 거동 및 파손분석, 한국철도학회 2009년도 추계학술대회논문집
- [5] 백재욱, 송유섭, 박대효(2006), 자갈도상과 콘크리트도상 궤도구조의 생애주기비용 분석, 한국철도학회 학술발표대회논문집