

고속철도 콘크리트궤도-자갈도상궤도 완충구간의 뜯침목 발생 현상과 대책

Unsupported Sleepers in Transition Zone between Concrete Slab Track and Ballasted Track : Phenomena and Its Countermeasures

장승엽*
Jang, Seung Yup

임오진**
Im, Oh Jin

양신추***
Yang, Sin Chu

ABSTRACT

In 1st Phase Kyeong-Bu High-Speed Line, to lessen the impact in the transition zone between concrete slab track(in tunnel) and ballasted track(on embankment), the ballast bonding method has been adopted. However, in this area, in the beginning of the operation, unsupported sleepers are found, and the track deterioration and damage of concrete sleepers have occurred. In this paper, the status and causes of unsupported sleepers are discussed and several repair measures are proposed.

1. 서론

콘크리트궤도와 자갈도상궤도가 접속되는 구간에서는 하부 지지강성의 차이로 인해 충격하중의 증가와 자갈층의 침하에 따라 부등침하 등의 문제가 발생할 수 있다. 특히 경부고속철도 1단계 구간(광명~대구간)에서는 터널구간과 토공구간의 접속구간(하부구조 접속부)에서 콘크리트궤도와 자갈도상궤도가 연결(상부구조 접속부)되기 때문에 하부 지지구조의 침하의 차이가 더 크게 발생하고 이러한 부등침하가 다시 충격하중을 더욱 크게 증가시킬 우려가 있다[1-2]. 따라서 경부고속철도 1단계 구간(광명~대구간)에서는 콘크리트궤도구간(터널구간)과 자갈도상궤도구간(교량 또는 토공구간)의 접속부에서 콘크리트궤도구간과 접속하는 일부 자갈도상궤도구간의 자갈층을 고결시키고, 보강레일을 설치하는 등의 완충대책을 적용한 바 있다. 그러나 운행 초기 이 접속구간에서 고속열차의 운행에 따라 뜯침목이 발생하고, 일부 콘크리트침목 손상 및 궤도틀림 증가 등의 문제점이 나타났다. 본 연구에서는 이러한 콘크리트궤도-자갈도상궤도 접속구간(완충구간)에서의 문제점과 그 원인을 분석하고 열차추행안정성을 확보하고 열차충격하중에 의한 궤도파괴 방지를 위한 대책방안을 제시하였다

2. 콘크리트궤도-자갈도상궤도 완충구간 현황과 문제점

2.1 현황

경부고속철도 1단계 구간(광명~대구간)에서는 표 1과 같이 총 6개소에 각 시종점부에 60m씩 총 연장 360m의 완충구간이 존재한다. 이 중에서 본 연구에서는 문제가 상대적으로 많이 발생한 화신5터널과 황학터널 2개소에 대하여 조사를 실시하였다. 그림 1은 완충구간의 적용공법의 개요도를 보여주고 있

* 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부, 정희원

E-mail : syjang@krii.re.kr

Tel : (031)460-5302, Fax : (031)460-5814

** 한국철도공사

*** 한국철도기술연구원

다. 그림에서 콘크리트케도와 자갈도상케도 간 접속부에서의 충격완화를 위해 상부구조에 적용된 보강 공법을 요약하면 다음과 같다.

- 보강레일 20m (콘크리트케도구간 5m + 자갈케도구간 15m)
- 자갈 3단계 고결
 - 부분고결 (좌우) + 부분고결 (하부/좌우) 25.8m
 - 완전고결 7.2m
- 패드 강성 변화
 - 65~95kN/mm (자갈케도 구간 일반용, 일반침목)
 - 60kN/mm (B35침목 적용) 46.8m
 - 27.5kN/mm (B35침목 적용) 13.2m
 - 22.5kN/mm (콘크리트케도 구간 일반용)

하부구조는 완충구간이 터널 콘크리트기초 위에 있는 경우(Case1)와 완충구간이 토공부에 위치하는 경우(Case2)가 있다. 화신5터널 시점부가 Case2에 해당되고 나머지는 Case1에 해당한다.

표 1. 콘크리트케도-자갈도상케도 완충구간 현황

연번	터널명	위치	완충구간 연장(m)
1	일직터널 시점	광명-천안아산간 23km240 부근	60
2	장상터널 종점	광명-천안아산간 32km412부근	60
3	화신5터널 시점	대전-대구간 200km746 부근	60
4	화신5터널 종점	대전-대구간 206km940 부근	60
5	황학터널 시점	대전-대구간 208km847 부근	60
6	황학터널 종점	대전-대구간 218km781 부근	60
-	계	-	360

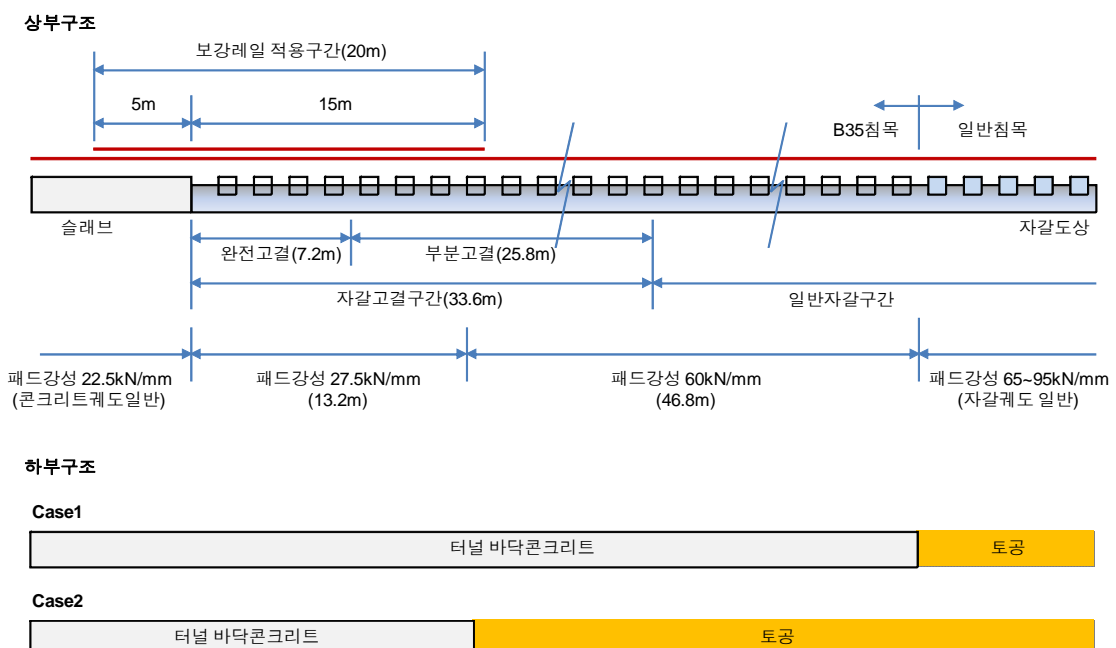


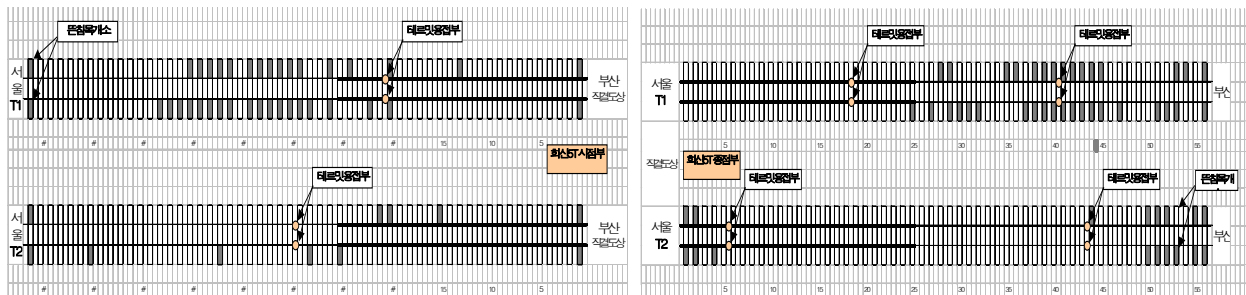
그림 1. 콘크리트케도-자갈도상케도 완충구간의 대표단면

2.2 주요 문제점 및 원인 분석

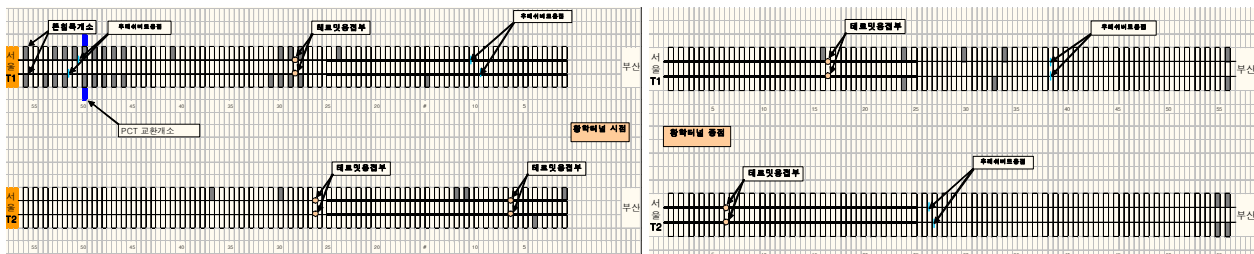
이와 같이 콘크리트궤도와 자갈궤도의 완충구간에 여러 가지 대책을 적용하였으나 운행 초기에 뜬침목이 발생하고 침목손상과 궤도틀림 진전 등의 문제가 나타났다. 아래에서 발생현황에 대해 간략히 요약하였다.

(1) 뜬침목 발생현황

2004년 4월 1일 개통 후부터 2004년 9월 6일까지 약 5개월간의 화신5터널과 황학터널 시중점부 완충구간에서의 뜬침목 발생현황을 그림 2에 나타냈다. 화신5터널에서 뜬침목 발생구간이 더 넓게 분포하고 있다. 보수현황을 살펴보면 화신5터널의 경우 같은 기간 열차지적 10회, 패드삽입 95장의 보수를 실시하였고, 황학터널에서는 역시 같은 기간 열차지적 총 4회, 패드삽입 44장, 쉘플레이트 삽입 83장, 침목교체 1정의 보수이력을 기록하였다.



(a) 화신5터널



(b) 황학터널

그림 2. 완충구간 뜬침목 발생 현황(2004.04.01~2004.09.06)

(2) 뜬침목 발생원인

도상고결제로 자갈도상을 고결시키면 침목하면의 자갈도상(자갈도상의 지지강성은 대략 100~300MN/m²)이 경화함에 따라 탄성이 제거되어 콘크리트궤도와 비슷한 강성을 갖는 궤도로 변화한다 그러나 콘크리트궤도는 콘크리트재료가 열차충격하중을 견딜 만큼 충분한 강도를 갖고 있으나 고결된 자갈도상은 자갈 각 입자간의 접촉면이 작기 때문에 열차 충격하중에 대해 구조적으로 취약할 수밖에 없다. 특히 열차 통과년수가 많지 않은 신선구간에서는 충분한 노반다짐이 이루어지지 않아 노반의 부분침하가 발생하게 되고 따라서 고결된 자갈도 노반과 함께 부분침하 하게 되는데 이 경우 레일의 강성이 크기 때문에 침목은 침하하지 못하고 레일에 매달리게 되는 이른바 뜬침목이 발생하게 된다

뜬침목이 발생한 터널 완충구간을 조사한 결과 고결된 자갈도상에서 대규모 크랙이 발생한 흔적을 찾을 수 없었고 다만 침목하면과 침목사이의 틈새가 발생하면서 침목이 부상한다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 상대적으로 정밀시공이 이루어지지 않은 개소에서 열차충격하중 작용 시 침목 하면에 있는 자갈의 접착성능이 저하하면서 자갈입자가 서로 분리되고 분리된 자갈은 다짐작용에 의해 국부적으로 침하하면서 침목 하면과 자갈 사이에 틈새가 발생하게 된다. 이 틈새는 초기에는 국부적으로 발생하지만 점차 침목 전 길이로 확대되고 점차 큰 충격하중이 작용하면서 부상량이 증가하게 된다 또한 가장

뜬침목이 많이 발생한 화신5터널 시점부의 경우 완충구간이 토공구간에 설치되어 노반침하가 발생하여 더욱 부등침하가 커지고 충격하중도 커지게 된다. 보강레일이 없는 고결된 자갈도상구간에서도 뜬침목이 다량 발생한 것이 발견되었는데 이 또한 고결된 구간과 그렇지 않은 구간과의 궤도지지강성 차이에 의한 충격윤증과 토공부의 침하가 주원인으로 판단된다.

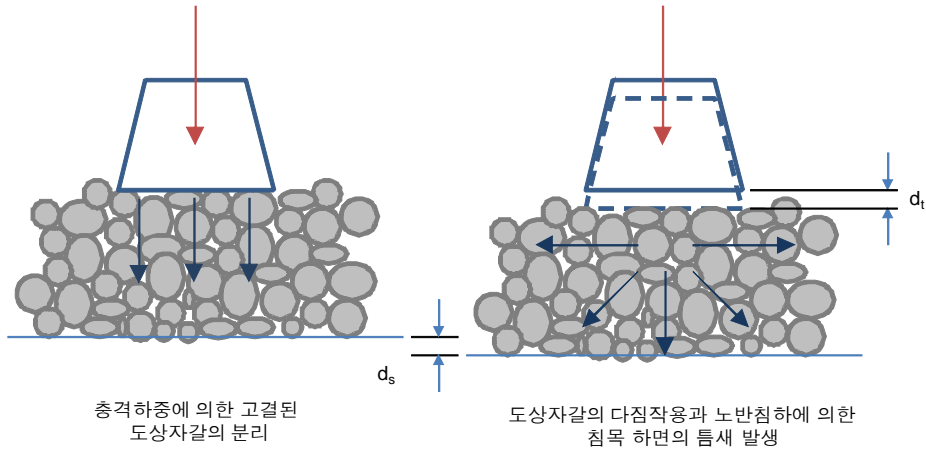


그림 3. 뜬침목 발생과정

(3) 침목손상 및 원인

뜬침목의 발생과 함께 완충구간에 적용된 B35 침목(그림 4)에서 체결구의 측면을 지지하는 어깨부(hump)와 침목 단부에서 일부 균열과 콘크리트 탈락 등의 손상이 발생했다(그림 5 참조). 특히 어깨부에는 철근보강이 이루어지지 않아서 균열을 제어할 수 있는 방안이 없기 때문에 콘크리트 품질관리가 충분히 이루어지지 않으면 균열 발생 가능성이 높다. 그림 5에서 알 수 있듯이 완충구간의 침목에서는 주로 망상의 미세균열이 발생하였는데 형태로 미루어볼 때 대부분 소성수축과 같은 재료적 원인에 기인하는 것으로 판단된다. 완충구간 침목의 경우 국내에서 처음으로 생산된 데다 소량 생산이었기 때문에 충분한 품질관리가 이루어지지 못한 것으로 추정된다.

대부분 미세균열이지만 큰 균열이 발생한 경우는 대부분 보강레일이 끝나는 지점에서 부분고결구간에 이르는 구간에 집중되어 있었으며 이 사실은 보강레일의 종점부에서 강성이 차이에 의한 충격하중이 작용하였음을 시사해주며, 재료적 원인에 의해 발생한 망상의 미세균열이 이러한 열차충격하중이 작용하면서 균열폭이 더 크게 확대된 것으로 추정해 볼 수 있다.

그림 6은 침목의 손상정도를 4개 등급으로 분류한 것이며 그림 7은 화신5터널과 황학터널에서의 침목손상 현황을 나타내고 있다. 뜬침목과 마찬가지로 화신5터널 시점부에서 가장 많은 침목손상이 발생했음을 알 수 있다. 이것은 앞서 서술한 바와 같이 화신5터널 시점부의 경우 완충구간이 토공구간에 설치되어 노반침하에 따라 충격하중이 그만큼 크게 작용한다는 사실을 뒷받침한다.

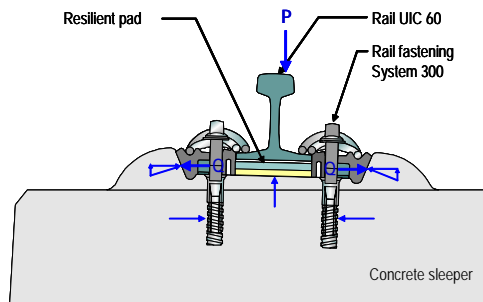


그림 4. 완충구간에 적용된 B35 침목(Vossloh System 300 체결장치용)



그림 5. B35 침목의 균열 및 손상 사례(화신5터널 시점부)

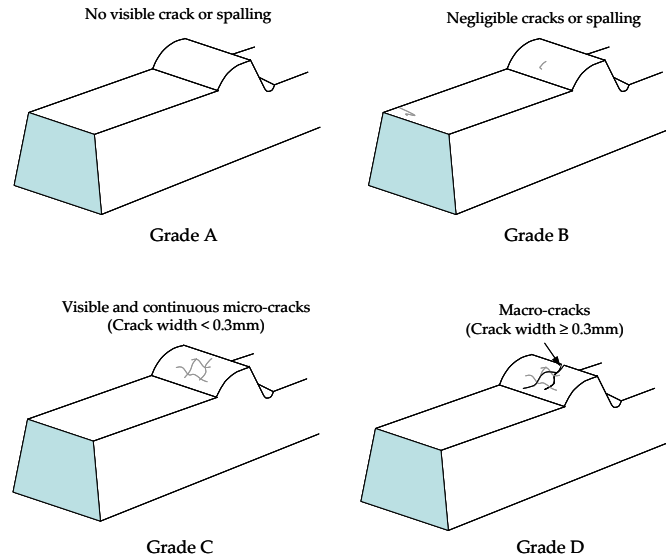


그림 6. B35 침목의 균열상태 분류

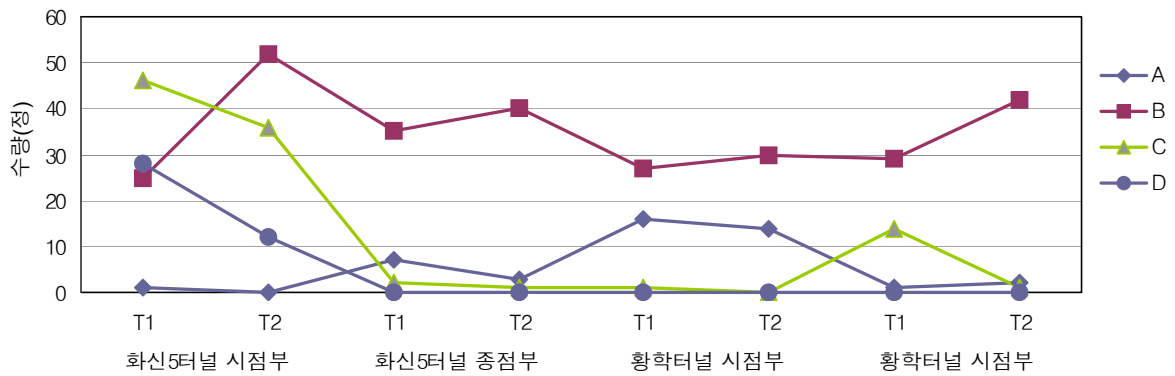


그림 7. 침목 손상현황

(4) 완충구간의 궤도틀림 분석

뜯침목이 발생한 완충구간에서의 궤도틀림 상태를 조사하였다. 그림 8은 대표적으로 화신5터널 시점부에서의 조사결과를 보여주고 있다. 이 그림은 자갈을 고결시킨 33m를 포함한 50m 구간의 궤도틀림 표준편차를 유지보수작업일과 함께 나타낸 것으로 줄틀림의 경우 양호한 수준을 유지하고 있는 반면 면틀림은 보수 실시 전까지 표준편차가 계속 증가하고 있음을 알 수 있다 이것은 자갈고결구간에서 뜯침목 발생을 우려해서 궤도보수작업을 충분히 실시하지 못했기 때문인 것으로 판단된다

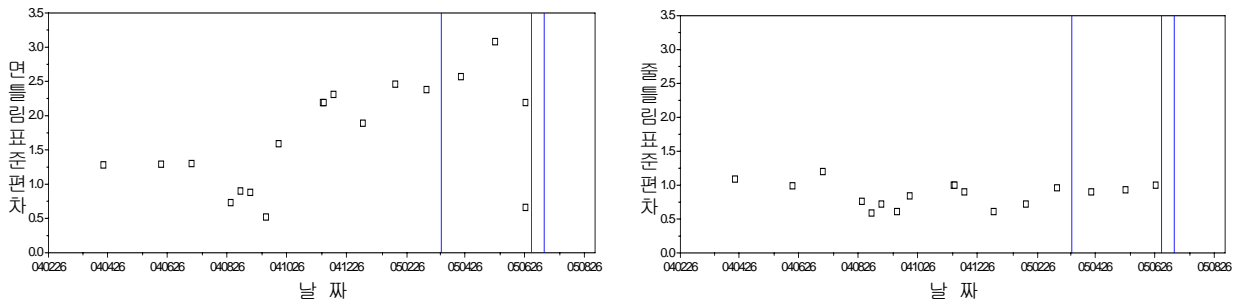


그림 8. 완충구간 궤도틀림 현황(화신5터널 종점부)

4. 대책

고결된 자갈도상재료의 취약성으로 인하여 향후 터널 완충구간에서 뜯침목이 계속 발생할 가능성이 있다. 따라서 뜯침목 발생현황을 계속 모니터링하면서 적절한 대책을 수립하는 것이 열차의 주행안전 및 궤도 파손 방지를 위하여 매우 중요하다. 뜯침목 발생개소에 대한 대책으로는 고저조정패드(adjusting shimplate) 삽입이 가장 기본적인 대책이 되며, 연결된 미세균열이 발생한 정도(C등급) 이상의 손상이 발생한 침목은 보수를 시행해야 한다. 또한 고결구간의 궤도틀림을 줄이기 위해 고결구간과 바로 인접하는 구간에서는 인력보수를 시행하되 광학측량 등으로 전체 궤도선형을 보정한 후 작업을 시행하도록 해야 한다.

아울러 향후 신선 건설 시에는 콘크리트 강성노반 상에 완충구간을 설치하고 보강레일을 고결구간 뿐 아니라 고결하지 않은 구간까지 확대하는 방안이 바람직하다. 앞서 살펴본 바와 같이 토노반 상에 완충구간이 부설될 경우 토노반의 침하에 의해 충격하중이 더 크게 작용하게 된다. 따라서 완충구간은 가급적 강성노반 상에 설치토록 해야 한다. 또한 고결된 구간과 그렇지 않은 구간과의 궤도지지강성 차이로 인해 보강레일이 없는 고결된 자갈도상구간에서 뜯침목이 다량 발생한 점을 감안할 때 보강레일의 길이를 고결하지 않은 구간까지 확대함으로써 궤도손상방지에 크게 기여할 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 콘크리트궤도-자갈도상궤도 접속구간(완충구간)에서의 문제점과 그 원인을 분석하고 열차주행안정성을 확보하고 열차충격하중에 의한 궤도파괴의 방지를 위한 대책방안을 제시하였다. 본 연구에서 도출된 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 콘크리트궤도와 자갈도상궤도의 접속부에서는 궤도지지강성의 차이, 침하의 차이로 인해 큰 충격하중이 작용하게 되며 그 결과 뜯침목이 발생할 수 있다. 충격완화를 위해 자갈을 고결하는 경우에도 자갈 각 입자간의 접촉면이 작기 때문에 충격하중에 의해 결합된 자갈이 분리되어 뜯침목이 발생할 수 있다.

(2) 뜯침목 발생개소에 대해서는 고저조정패드의 삽입과 궤도틀림 방지를 위한 보수방안 등 대책을 실시해야 하고, 신선 건설 시에는 콘크리트 강성노반 상에 완충구간을 설치하는 방안과 보강레일을 고결하지 않은 자갈구간까지 확대하는 방안이 추천된다.

참고문헌

1. Esveld, C., Modern Railway Track, 2nd ed., MRT-Productions, 2002.
2. Bridge Ends Embankment Structure Transition, ERRI report, ERRI D 230.1/RP3, Nov. 1999.
3. 양신추 외, 고속선 궤도 유지보수 효율화, 연구보고서, 한국철도시설공단, 2004.