

터널-토공 접속부 구간에서의 침하거동

Behavior of Settlement for Stiffness Transition Zone between Tunnel and Earthwork

이진욱* 최찬용** 이일화** 김영구***
Jin-Wook Lee, Chan-Yong Choi, Il-Wha Lee Yeong-Goo Kim

ABSTRACT

It is very important to pay careful attention to construction of earthwork/tunnel transition zone for railway. The transition zone of the railway is the section which roadbed stiffness is suddenly varied. Differences in stiffness have dynamic effects and these increase the forces in the track and the extent of deformation. In this study, performance of transition zone was investigated through the field tests. The wheel loads and sleeper settlement were measured after installing field testing sections.

주요어(Key words) : Earth/Tunnel Transition Zone, Wheel Load, Sleeper Settlement, Field Test

1. 서론

철도노반은 구조에 따라 토공구간, 터널구간, 교량구간, 접속구간으로 구분 할 수 있으며, 이 중에서 접속구간은 교량과 토공, 터널과 토공 그리고 유도상 궤도에서 무도상궤도로 옮겨가는 궤도의 하부구조 강성이 변화하는 구간으로서 열차운행에 안정성과 신뢰성에 큰 영향을 미치는 구간이다. 강성변화구간의 일반적인 현상은 충격효과에 의한 토공부분의 과대 침하발생으로 차량의 운행 및 안전성에 영향을 주며, 승차감이 저하되어 지속적인 유지보수를 필요로 한다(Coenraad Esveld, 2001).

실제로 국내 기존선의 구간별 보선작업 투입 인원량을 조사한 결과(양신추 등, 2000)에 의하면 접속구간은 다른 구간보다 단위길이당 약 2배이상의 보선인원이 필요한 것으로 조사되었다. 미국에서는 철도교량 중 25%가 접속구간의 노반침하문제와 관련되어져 있으며 매년 1억달러 이상의 유지보수비가 소요되는 실정이다(Alexander Smerkal, 2000; 양신추 외, 2002). 유럽에서도 접속구간의 안정성과 유지관리를 고려하여 UIC 719의 기준내에 유지관리에 대한 상세기준을 정하여 세심한 주의를 요구하고 있다. 일본 JR(Makoto Ishida, 1998)은 슬래브와 유도상 궤도와 기타 접속구간에서도 완충구조 및 구간거리에 대한 표준화하고 있는 실정이다.

국내에서도 접속구간을 보강하기 위한 공법으로 어프로치블럭(Approach Block), 그라우팅, 완충궤도, 보강레일 등 많은 방법들이 제안(양신추, 2000; Coenraad Esveld, 2001; Makoto Ishida, Shigeru Miura, 1998)되어 왔다.

이 논문에서는 콘크리트와 자갈도상간의 강성차이로 인하여 궤도처짐이 증가 등 궤도변형이 가속화되고 있는 접속구간에 대한 문제를 해결하기 위하여 보강공법의 일환으로 대형침목을 토공부 쪽으로 약 15m(침목 20개)를 대형침목으로 설치하여 보강 전·후를 계측하였다. 또한, 철도전용노반해석프로그램(Geotrack)을 활용하여 일반침목과 대형침목과의 침하 및 윤중 특성을 검토하였다.

*: 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀 팀장, Team Manager, Civil Engineering Research Dept., KRRI.

** : 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Engineering Research Dept., KRRI.

***: 한국철도공사 선로관리팀 부장, General Manager, Railway Management Team, KORAIL.

2. 접속부에서의 궤도손상 및 원인

분야별 접속부의 성능에 영향을 미치는 인자는 크게 토공분야, 궤도분야로 구분될 수 있다. 토공분야에서는 노반침하, 도상손상, 배수불량, 성토사면의 전단변형 등이 발생할 수 있으며, 궤도분야는 수직적 결함, 수평적 결함, 침목의 상승 등이 있다. <표 1>은 각 분야별 접속부 성능에 미치는 인자에 대하여 기술하였다.

<표 1> 각 분야별 접속부의 성능에 영향을 미치는 인자

구분	인자	현상
토공분야	노반침하	노반침하는 접속부의 일차적인 원인이며, 궤도 기하구조 손상의 주요인이 된다. 대부분의 경우 재료의 다짐불량이나 노반 연약화에 의해 발생하며 대체로 신선 건설시 주로 발생된다. 침하는 건설초기에 단기간 동안 발생하며 시간이 경과할수록 침하량은 감소한다. 그러나 재료가 불량하거나 배수가 불량할 경우 장기적인 압밀침하 발생가능성이 크며 지속적인 유지보수가 필요하게 된다.
	도상손상	도상 손상의 발생은 접속부의 상호작용에 의한 충격하중이 주요 원인이다. 도상을 충분히 다져지지 않기 때문에 발생하며 빈번한 도상다짐작업의 원인이 될 수 있다.
	배수불량	흙쌓기재료 자체의 배수불량과 뒷채움재가 배수가 잘 되지 않는 재료나 구조로 시공될 때 발생한다. 배수불량은 노반의 지지력을 급격히 감소시키기 때문에 노반유지관리에 있어 중요한 요인중에 하나이다.
	성토사면의 전단변형	성토사면의 과도한 전단변형이 발생하여 궤도 침하를 유발시키며 도상 사라짐의 한 원인이 된다.
궤도분야	수직적 결함	궤도의 수직결함은 노반침하의 의해 발생하는 초과하중 또는 과대변위로 인하여 발생한다. 궤도의 수직결함에 의해 발생할 수 있는 문제점은 운영 안정성 저해, 차량 및 레일의 마모와 손상, 속도제한, 승차감 저하, 소음 진동의 증가 등이다.
	수평적 결함	위치별 수직변위의 차에 의한 마찰면 부족으로 인하여 도상 횡저항력이 감소하여 궤도좌굴이 발생한다.
	침목의 상승	국부적으로 노반 및 도상 침하가 발생하게 되면 일부 침목은 도상과 떨어져 있는 상태가 되게 된다. 궤도에 하중이 작용하지 않는 경우에는 도상과 침목 사이에 틈이 있음을 의미한다. 열차가 통과하게 되면 침목과 도상의 반복적 접촉으로 도상과 하부노반에 높은 충격하중이 발생시키며 도상파쇄 등에 의해 침하가 발생한다.

2.1 설계 및 관리기준

구조물과 토공구간의 접속구간에서 열차의 주행안정성과 궤도의 파손을 방지하기 위해서는 접속구간에 관리기준을 정하는 것이 필요하다. 현재 국내에서는 이러한 기준이 제정되지 않고 있기 때문에 이 논문에서는 일본에서 정하는 기준을 준용하였다.

<표 2> 접속구간의 설계 및 관리기준(石田誠, 등, 1997)

항목	차체상하진동가속도	윤증변동율	레일응력	부레일압력
기준값	1.3m/sec ²	0.13	90Mpa	체결력의 70%

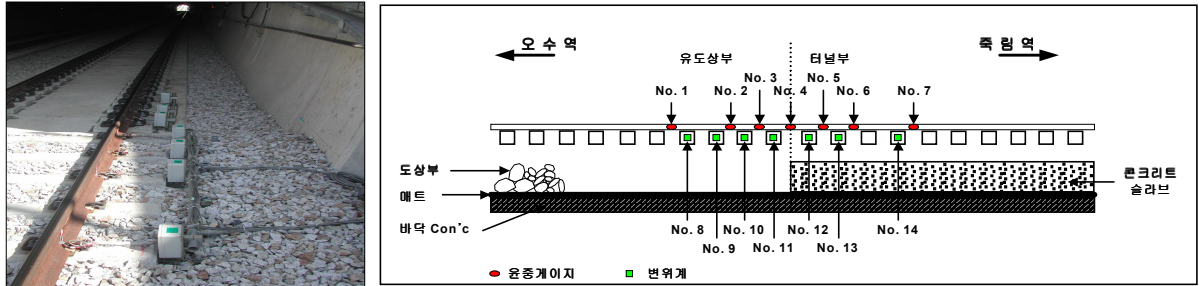
3. 현장개요

현장계측시험 위치는 죽림온천역~서도역 사이의 OO터널로 터널과 토공으로 이루어진 접속구간이다. 터널내의 적용된 궤도구조는 ALT+RC블럭 형태로 이루어져 있다. OO터널 현장계측은 2005년 3월 18일부터 2005년 10월4일까지 계측하였으며, 열차의 운행방향은 고강성에서 저장성(터널→토공부)으로 이동하는 궤도조건을 계측구간으로 선정하였다.

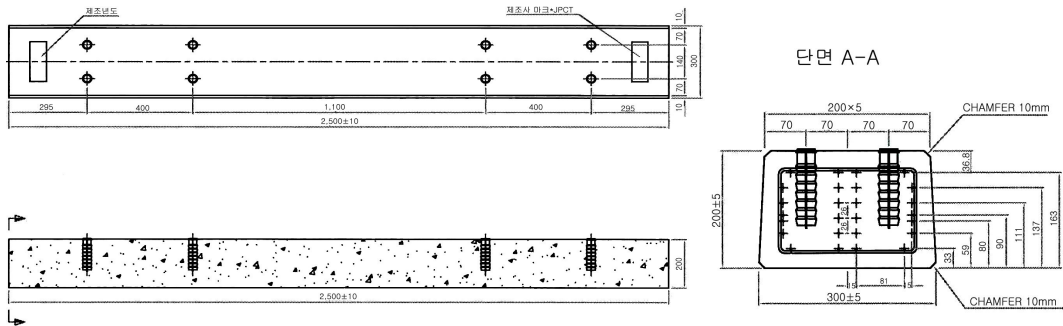
본 현장에 적용된 보강공법은 일반적으로 이음매 침목으로 사용되고 있는 대형침목을 터널과

토공접속부에 토공부 쪽으로 약 15m(침목 20개)를 대형침목으로 교환하는 방법으로 2005년 8월 4일 열차를 차단시켜 설치하였다. 이러한 대형침목으로 설치함에 따라 침목간의 중심 간격이 좁혀지는 효과와 대형침목에 의해 열차 하중이 넓게 분산되는 2가지의 효과 동시에 볼 수 있는 공법으로 보강 전·후 약 1달간 3회 계측을 실시하였으며, 보강 전·후를 비교분석하였다.

<그림 1>은 현장부설시험 지역의 위치와 터널에 설치된 계측기 단면을 나타내었다. 현장에서 측정할 항목은 윤중과 침목변위를 측정하였으며, 터널부와 도상부에 설치된 측점은 윤중 8개소, 침하 11개소로 총 19개 측정점을 설치하였다.



<그림 1> 토공접속부 현장계측 개요도



<그림 2> 일반침목과 대형침목(이음매)의 크기 및 형상

4. 실험결과 및 분석

4.1 윤중 및 변위측정 결과

윤중은 터널부 4측점, 토공부 4측점으로 총 8개 측정점을 측정하였다. <그림 3>~<그림 4>는 날짜별 열차종류별 윤중 변화값을 보이고 있으며, 열차통과시 시간이력곡선으로부터 윤중 최대값으로 표시하였다. 그림에서와 같이 윤중 측면에서는 보강 전·후의 명확한 효과는 볼 수 없으며, 보강 후 윤중이 감소된 이유는 대형침목으로 교환 작업시 도상자갈의 안정화가 이루어지지 않아 뜬 침목이 발생되어 윤중이 감소된 것으로 사료된다. 향후 지속적인 계측을 통해 명확하게 규명할 예정이다.



<그림 3> 화물열차 하행(터널→토공) 운행시 각 측정점별 최대윤중

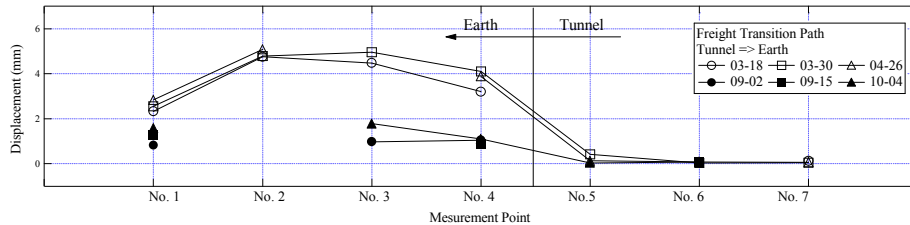


<그림 4> 무궁화 열차 하행(터널→토공) 운행시 각 측정점별 최대운중

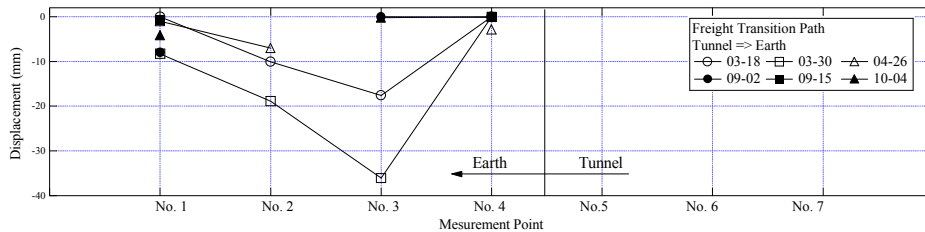
탄성변위는 운중과 마찬가지로 계측기는 총 7개 측정점에서 측정하였으며, 토공부에 4측점과 터널부에 3측점을 측정하였다. 터널부보다 토공부에서 도상부에 점진적인 침하가 더 발생되기 때문에 정밀도가 높은 L.V.D.T. (Linear Variable Differential Transformer)을 사용하여 계측하였다.

<그림 5(a),(b)>는 화물열차통과시 날짜별 탄성변위를 각 측정점별 나타내었다. 그림에서와 같이 터널부보다 토공부에서 보다 많은 탄성변위가 발생하는 것을 볼 수 있으며, 터널부에서는 거의 탄성침하가 발생하지 않고 있는 것을 알 수 있다. 표에서 (-)의 의미는 침하가 상향으로 올라오는 것을 침하량을 의미하며 보수하기 전에 토공부에서 최대 36.1mm가 발생되어 궤도에 상당한 피로를 주고 있는 것을 알 수 있다. 반면, 보수후에는 최대 7mm로 약 6배 이상의 침하가 억제되었으며, 이러한 침하특성을 고려할 때 접속부에 대형침목으로 시공시 상당부분 궤도의 피로를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

<그림 5(a),(b)>은 열차종류별 탄성변위량을 나타내었다. 보수전에 측정된 최대 탄성변위량은 토공부에서 약 7mm 이내로 측정되었으나, 보수후에는 2mm이하로 감소하여 보강효과가 상당히 있는 것으로 측정되었다. 특히, 토공부에서 최대, 최소 변위량의 폭이 상대적으로 많이 줄어들어 상하 진동에 의한 도상자갈의 파쇄 등을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 최대변위(침목 아래방향의 변위량)



(b) 최소변위량(침목 상향으로 발생하는 변위량)

<그림 6> 화물열차 하행(터널→토공) 운행시 각 측정점별 최대 변위 측정

4. 결론

전라선 OO터널 터널-토공 접속부 보강공법으로 실시한 대형침목에 대한 현장측정결과 아래와 같은 결론을 보였다.

1. 접속부 구간에 대형침목교환의 경우, 궤도부의 침하억제효과가 상당부분 감소시키는 것을 볼 수 있다.

2. 침하량이 상향으로 올라오는 침하량(부 침하량)의 경우 보수 전·후 각각 토공부에서 최대 36.1mm, 최대 7mm로 약 6배 이상의 침하가 억제되었다.
3. 최대 수직 탄성변위량(정상 침하량)은 토공부에서 약 7mm 이내로 측정되었으나, 보수후에는 2mm이하로 감소하여 침하측면에서 상당한 효과가 발휘되고 있는 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. 한국고속철도공단, “고속철도공사 전문시방서(노반편)”, 2003. 4
2. 한국철도기술연구원, “철도연약노반 강화기술개발 및 구조물과 토공접합부 보강기술개발”, 2005
3. 양신추, 차량과 궤도의 상호작용해석을 통한 하부구조물에 작용하는 동하중의 산정, 대한토목학회 논문집, 제17권 No. 1-, pp. 3-10, 1997.
4. 양신추, 강운석, “교량/토공 접속구간 충격 완화를 위한 보강레일의 설계에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제22권 No. 6, pp 1257-1269, 2002
5. 이일화, “상호작용을 고려한 교량-토공 접속부의 설계 및 유지관리”, 철도시설, 2005.
6. Alexander Smerkal, "Transitional Structures of Railway Bridges, WCRR 97, Proceeding Volume B. pp. 149-158, 1997
7. Coenraad Esveld, "Modern Railway Track, MRT-Productions", pp. 157-170, 2001
8. Makoto Ishida et al, “Track Deformation Characteristics and Vehicle Running Characteristics Due to Settlement of Embankment Behind the Abutment of Bridges, RTRI Report Vol. 12. No. 3, 1998.
9. 石田誠외 2명, “車輛走行에 의한 軌道沈下個所の 動的應答 特性”, 일본기계학회, 제6회 교통물류부문대회 강연논문집, No. 97-13, pp. 133-136, 1997.
10. 鐵道總合技術研究所, “鐵道構造物等設計標準束解説 省力化軌道用土構造物”, 1999