

보강레일 및 도상안정제에 의한 교량-토공 접속부 개선효과 연구

A Study on Improvement the Transition Zone of Bridge and Embankment Using Reinforced Rail and Ballast Stabilizer

이규용*, 박종윤*, 오지택**, 조국환†

Kyu-Yong Lee*, Jong-Yun Park*, Ji-Tack Oh**, Kook-Hwan Cho†

Abstract A support stiffness abruptly change in transition zone, differential settlement and abnormal vibration impact to train has been occurred on earth work section and these phenomenon affect to acceleration of settlement, fatigue damage for track concrete layer, high cost of maintenance and low riding quality, and bad effect to running stability. In this study, settlement and acceleration were measured and analyzed the effects of reinforced rail and track stabilizer installed on transition area. The result of analyzing from measured value, improvement effectiveness of the ballast stabilizer and reinforced rail were verified.

Keywords : Transition area, reinforced rail, ballast stabilizer

초 록 구조물 접속부에서 하부 지지강성이 갑자기 변화하면 토공부에 과도한 부등침하가 발생되고 열차의 이상진동 및 충격으로 이어져 노반침하 촉진과 레일의 피로손상 가속화로 유지보수 비용의 증가를 초래하게 되며 승차감 저하와 함께 열차 주행안전성에도 악영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 열차운행선 내 접속부에 도상안정제 및 보강레일의 보강효과 분석을 위하여 보강 전후의 변위 및 가속도를 측정하였다. 측정된 측정결과를 분석하여 본 결과, 도상안정제와 보강레일의 개선효과를 검증하였다.

주요어 : 구조물접속부, 보강레일, 도상안정제, 강성천이부

1. 서 론

철도노반의 구성은 구조형식에 따라서 토공구간, 터널구간, 교량구간, 접속구간으로 구분되며, 이 중에서 접속구간은 교량과 토공, 터널과 토공 그리고 자갈궤도와 콘크리트궤도 등 궤도를 지지하는 하부구조의 강성이 변화하는 구간으로서 강성천이부(Transition zone)라고도 한다. 이러한 구조물 접속부 하부의 갑작스런 지지강성 변화는 토공부에서 과다 부등침하가 발생되고 열차의 이상 진동 및 충격으로 이어져 노반침하 촉진과 콘크리트 도상의 피로손상

† 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수(khcho@seoultech.ac.kr)

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정

** 한국철도기술연구원 융복합연구단 책임연구원

가속화로 유지보수비용의 증가를 초래한다. 또한 승차감 저하와 함께 열차의 주행안전성에도 악영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 열차운행선 접속부에 도상안정제와 보강레일의 시공 전·후 효과를 침묵변위와 레일가속도를 계측하여 개선효과를 분석·검증 하였다.

2. 본 론

2.1 접속부 개선(보강) 기본 개념

접속부와 같이 궤도 하부지지강성이 급격히 변하는 구간에서는 윤중변동율도 상당히 크기 때문에 완충구간을 두어 윤중변동율을 줄이는 것이 타당한 방법이라 할 수 있다. UIC 719[1]에서는 교량 설계시 성토부와 궤도 사이의 특성을 고려하여 이들 구조 사이에 상호 유사성을 가지도록 규정하고 있다. 그러나 실 운행선상에서는 이러한 개념의 궤도 보강을 시행할 경우, 노반 보강공사까지 수반하기 때문에 예산과 열차차단시간 확보 측면에서 실제 적용하기에는 어려운 실정이다. 따라서, 이러한 문제점을 극복하기 위한 다른 방법으로서 궤도지지계수 차이를 그대로 두고 레일의 휨강성을 개선(보강)하는 방법으로 보강레일과 도상안정제를 시공하는 방안이 개발되어 사용되고 있다.[6]

2.2 접속부 개선(보강) 방법 선정

2.2.1 개선(보강) 공법 조사

접속부를 보강하는 공법은 건설시와 운행시로 구분되며 Table 1과 같은 공법을 사용하여 실시한다.

Table 1 Investigation of improvement method

보강방법	내용	적용시점	적용여부
어프로치 슬래브	강성변화를 줄임	건설시	X
RCC 뒹개움 (Rolled Cement Concrete)	강성변화를 줄임	건설시	X
강화노반	강성변화를 줄임	건설시	X
보강레일	레일휨강성 보강	운행시, 건설시	O
완충침묵	중격완화 및 강성변화 줄임	운행시, 건설시	X
바라스트매트	중간강성구간 설치	건설시	△
도상안정제	궤도변형 방지	운행시, 건설시	O

2.2.2 공법 선정 시 고려 항목

접속부 개선 보강을 위해서는 다음과 같은 항목을 고려하여 적절한 공법을 선정하여야 한다.

- (1) 영업열차 운행 종료 시 주어지는 제한적 차단 시간 내 보강작업 완료
- (2) 기 부설된 궤도시스템과의 연속성 유지
- (3) 기 설치 및 부설된 제반 Utility와의 간섭
- (4) 유지보수 작업의 용이성 확보

2.2.3 공법선정

운행선 내 공사의 시공성 및 시공 후 유지보수 용이성을 고려하고 현재 부설된 궤도시스템과의 연속성을 감안하여, 논골교에는 보강레일을 적용하고 향동천교에는 신호설비 이전시의 병발장에 유발 등 파생 문제점을 예방하고자 도상안정제를 적용하였다.

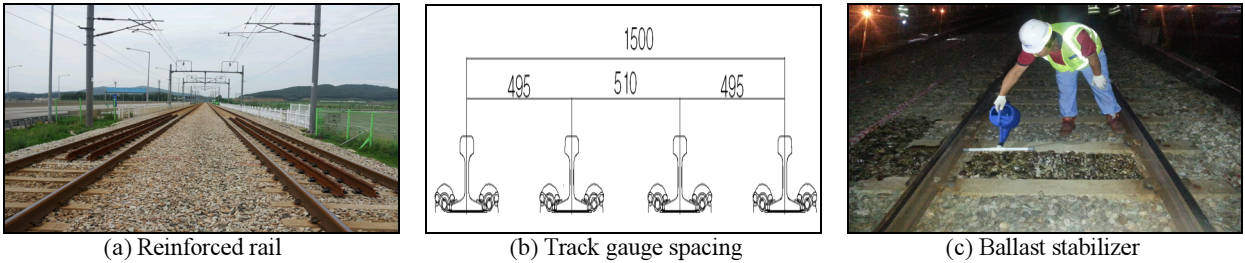


Fig. 1 Improvement plan of transition area

2.2.4 적용 공법별 재료

접속부 개선(보강) 효과 검증은 서울 기점 46km769지점의 논골교 접속부에 보강레일(20m)을 설치하였으며, 12km213지점 향동천교에는 도상안정제(10m)를 살포하였고, 세부 사용 자재와 재료 물성치는 아래 Table 2 및 3과 같다.

(1) 보강레일(논골교, 노반측 15M, 교량측 5M)

Table 2 Reinforced rail of Nongolgyo

품 명	규 격	단 위	수 량	
			논골교	계
레 일	60kg, L=20m	개	4	4
보강레일 체결구 60kg	자갈도상용	set	128	128
코일스프링 크립	e2007	개	256	256

(2) 도상안정제(향동천교, 노반측 5M, 교량측 5M)

Table 3 Ballast stabilizer of Hyangdongcheongyo

품 명	사용량	비 고
일액형 습기경화형 우레탄수지	222kg(15캔) 74m ² (L=22m)	점도 : 50~500(mPa · 20℃) 밀도 : 1.10±0.1 굴곡(휨)강도 : 4(N/mm ²) 이상 압축강도 : 8(N/mm ²) 이상 부착강도 : 1.5(N/mm ²) 이상

2.3 계측기 설치 개요

보강레일 및 도상안정제의 효과 확인을 위해 변위계 및 가속도계와 LFWD를 사용하여 첫 열차(05시 30분) 이후 10개 열차(6분 시격) 통과시의 데이터를 계측하였다. 설치된 계측기 현황은 Table 4와 같으며 계측전경은 Fig. 2와 같다.

Table 4 Status of a measuring instrument

장비명	용도	사용대수	비고
변위계(LVDT)	침목 변위 측정	16EA	RDP-50S (용량 50mm)
가속도계(ACC)	레일 가속도 측정	16EA	ARJ-100A-D (용량 100m/s ²)
지반다짐측정기(LFWD)	궤도지지강성 측정 침목 탄성계수 측정	1EA	
데이터로거(Data Logger)	데이터 변환	1EA	SDL-600R (용량 40채널)
승차감측정기	승차감측정용 열차진동가속도 계측기	1EA	Kisrler 830B(UIC513, ISO2631) (용량 ±2g 3채널)



(a) Sleeper displacement measuring



(b) Track support stiffness measuring(LFWD)

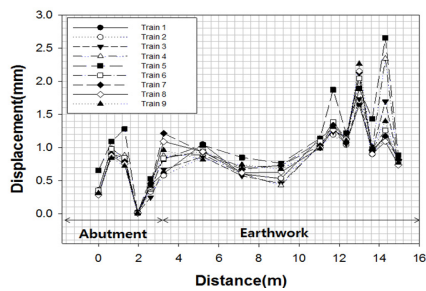
Fig. 2 Views of install the measuring instrument

2.4 개선(보강) 효과 분석

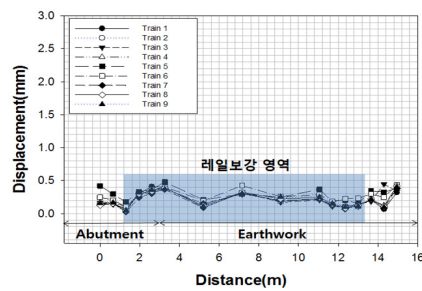
2.4.1 보강레일(논골교)

(1) 침목변위

침목변위는 보강레일 설치 전 측정값 대비 평균 25.1%의 개선효과를 확인 할 수 있었으며 이는 보강레일에 의하여 궤도지지강성이 확보되어 나타나는 것으로 판단된다.



(a) Railway before Reinforced rail installation

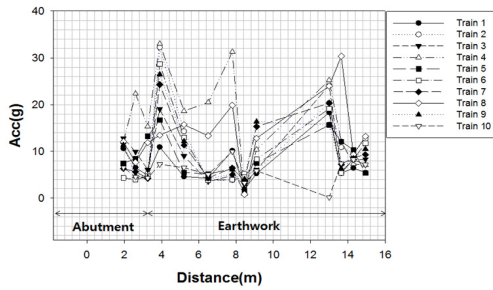


(b) Railway after Reinforced rail installation

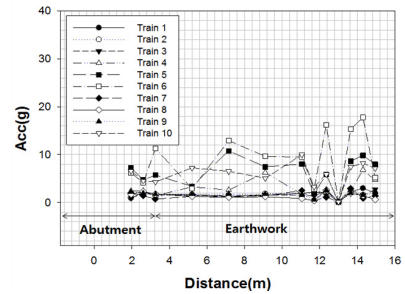
Fig. 3 Displacement of sleeper after Reinforced rail installation

(2) 레일가속도

레일가속도는 Fig. 4에서와 같이 보강레일 설치 후 최대값 기준 2.5~3배의 개선 효과가 있었으며 보강레일 설치에 따른 침목변위 감소가 가속도 계측값에 영향을 끼친 것으로 판단된다.



(a) Railway before Reinforced rail installation

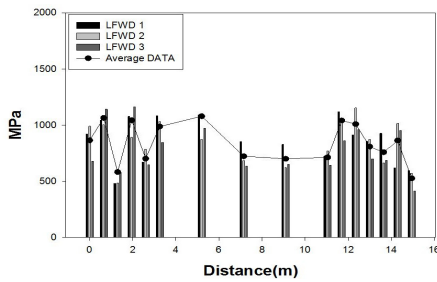


(b) Railway after Reinforced rail installation

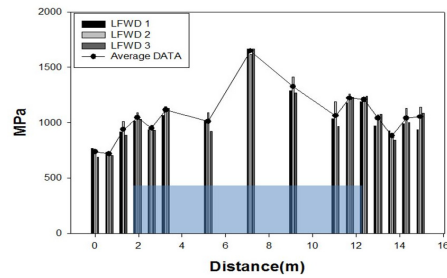
Fig. 4 Acceleration of rail after Reinforced rail installation

(3) LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)

LFWD 측정값을 확인한 결과 보강레일 설치 전·후로하여 26.2%의 강성 증대 효과를 확인할 수 있었다. 이를 통해 보강레일 설치로 인해 침목목으로 인한 강성저하 현상이 개선되었음을 확인할 수 있었다.



(a) Railway before Reinforced rail installation



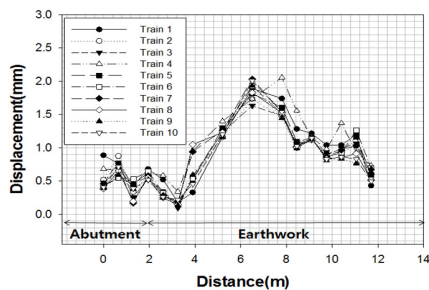
(b) Railway after Reinforced rail installation

Fig. 5 Track support stiffness measured value after Reinforced rail installation

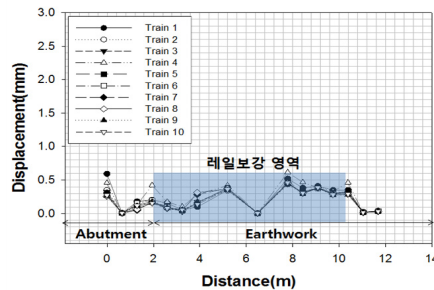
2.4.2 도상안정제(향동천교)

(1) 침목변위

침목변위는 도상안정제 살포 전 측정값 대비 평균 59.5%의 개선효과를 확인할 수 있었으며 이는 도상안정제 살포에 따른 도상 자갈의 형상 유지로 인해 지지강성의 증대 효과로 판단된다.



(a) Railway before Ballast stabilizer installation



(b) Railway after Ballast stabilizer installation

Fig. 6 Displacement of sleeper after Ballast stabilizer installation

(2) 레일가속도

레일가속도는 Fig. 7에서와 같이 도상안정제 살포 후 최대값 기준 1.5~2.2배의 개선 효과가 있었음이 확인되었으며 이는 도상안정제 살포에 따라 자갈의 도상 형태 유지로 인해 침목변위가 감소함에 따라 가속도값이 감소한 것으로 판단된다.

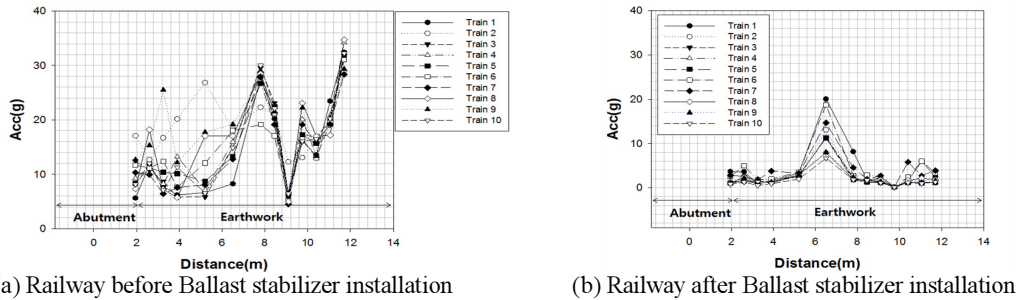


Fig. 7 Acceleration of rail after Ballast stabilizer installation

(3) LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)

LFWD 결과값은 도상안정제 살포 전 측정값 대비 평균 14.7%로 개선 효과 있음을 확인 할 수 있다. 이는 안정제 살포로 인하여 도상자갈 사이에 부착이 되어 도상 형상 유지에 따른 지지강성 증대로 판단된다.

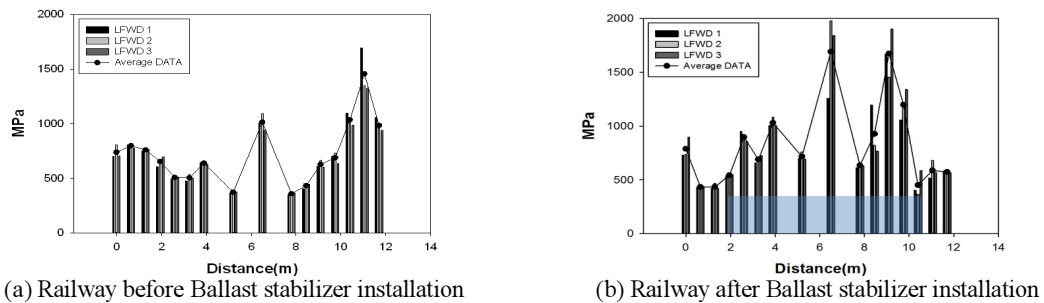


Fig. 8 Track support stiffness measured value after Ballast stabilizer installation

3. 결론

- (1) 운행선 접속부의 강성 개선(보강) 방안을 검토한 결과, 차단시간과 기존 궤도시스템과의 연속성 및 보수작업의 용이성을 감안하여 보강레일 설치와 도상안정제 시공은 효과적인 것으로 검토되었으며, 특히 신호 설비 등 제반 utility 이설 작업의 최소화를 고려하면 도상안정제 시공도 접속부 보강 방법으로 효과가 있음을 확인 하였다.
- (2) 보강레일 설치 및 도상안정제 살포를 통한 보강공법은 변위와 가속도를 완하시키는 효과가 뚜렷하였음을 알 수 있었다.
- (3) 공항철도 운행에 대한 안정성은 확인이 되었으나 향후 운행될 KTX에 대해서는 안정성 검토가 이뤄져야 할것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] UIC CODE 719R(DRAFT 12/2005a)2.3.5 “Transitions between structures and earthworks, pp.28-35.
- [2] 조국환, 강운석, 이승주, 우현준(2011년) “이동하중과 3차원 모델링을 통한 접속부 지지강성연구” 한국철도학회 정기총회 및 추계학술대회, pp. 1542-1549.
- [3] 이일화, 이성진, 이수형, 강태호(2010년) “이동하중을 고려한 교량/토공 접속부 보강방안별 변형특성 평가” 한국철도학회 논문집 제13권 제3호, pp. 298-303.
- [4] 이일화, 강운석, 김은, 손기준, 박찬경(2003년) “고속철도 교량/토공 접속부에서의 궤도 및 차량 거동 특성” 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.129-134.
- [5] 나성훈, 서사범, 손기준, 김정환(2001년) “교량 토공 접속부에서 궤도강성변화에 대한 실험적 연구” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집 pp. 281-288.
- [6] 양신추, 강운석(2002년) “교량/토공 접속구간 충격완화를 위한 보강레일의 설계에 관한 연구” 대한토목학회 논문집 제22권 제6-D호, pp.1257-1269.
- [7] 양신추, 강운석, 김은(2002년) “교량/토공 접속구간 보강레일의 최적설계” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집 pp. 256-263.
- [8] 강태구, 배현웅, 윤경민, 임남형(2012년), “도상안정제에 의한 고속선 교량상 궤도틀림 저감효과 분석” 한국철도학회 추계학술대회 논문집 pp.1603-1606.