

능동제어 콘크리트 도상 복원공법(ACBR) 개발과정 및 적용사례

Development and Application of ACBR (Active Control Concrete Bed Restoration) Methods

민지홍*[†], 이방우** , 배석복*** , 박용걸****

Ji Hong Min*[†], Bang Woo Lee* , Seok Bok Bae** , Young Gul Park***

Abstract In this study, the ACBR (Active Control Concrete Bed Restoration) methods were developed to restore concrete rail bed that was settled due to the rail bed ground settlements. To verify the usefulness of the methods, full-scale model test, pilot construction for existing rail lines, pre-construction for high-speed rail bed were performed and finally actual construction was performed to the in-use high-speed rail. Based on these technical achievements, the most critically settled locations at the existing 60m double track settled location can be successfully restored. This method can be applied 100m-long railway under the 300 km/h speed service line without any speed down. This method can be applied rail removal and restore construction, rail jack-up construction and injection construction.

Keywords : Concrete Track, Settlement, Restoration, Active Control, ACBR

초 록 본 연구는 철도노반 침하로 인한 콘크리트 도상의 복원을 위한 능동제어 콘크리트 도상 복원공법(ACBR)을 개발하고, 실험실시험, 기존선 시험부설, 고속철도 노반복원 선 시공을 거쳐 고속철도 운행선상 복원공사를 실시하였다. 이러한 일련의 기술개발과정을 통하여 경부고속철도 선로에서 현재 최대 침하된 비교적 긴 60m 복선선로 침하구간에서 능동제어시스템으로 동시인상에 의한 복원작업을 수행할 수 있었다. 본 기술은 고속철도 300km/h 운행선로에서 열차서행 없이 100m 선로를 동시 인상하여 복원하는 기술을 개발에 관한 내용이며, 이는 궤도해체복원공정, 인상공정 및 충전공정 등을 동시에 진행하는 중복공정 기술 개발이 포함된다.

주요어 : 콘크리트 궤도, 노반침하, 노반복원, 능동제어, ACBR

1. 서 론

콘크리트 도상은 자갈도상에 비하여 안전성은 물론 유지관리 측면에서 크게 유리하며 열차의 속도향상에서도 주행안전성이나 승차감이 좋아 고속선로를 비롯하여 기존선에도 확대되는 추세이다. 그러나 콘크리트 도상에서 노반침하는 콘크리트 도상에 궤도틀림이 발생되므로 열차의 진동을 증가시키고 승차감을 저하시키게 된다. 노반침하는 구조물 접속부, 원

*[†] 교신저자: (주)서현기술단 기술연구소(tmlmsp@naver.com)

** 한국철도공사 대구본부

*** 한국철도공사 신경주 고속철도 사무소

**** 서울과학기술대학교 철도전문대학원

지반침하, 성토노반침하 및 열차하중에 의한 침하 등이 서로 복합되어 발생된다.

대부분의 침하는 침하기간에 따라 점차 수렴하여 종료되지만 침하가 수렴되지 않고 계속 될 경우에는 침하원인과 침하량 등을 면밀히 알아야 보다 적절한 보강공법을 적용시킬 수 있을 것이나, 이는 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 현재 유지관리에 많이 쓰이는 노반침하 보수방법은 콘크리트 도상과 체결구 사이에 플레이트 등을 삽입시켜 침하량을 보전하는 경제적이고 간편한 방법이 있으나, 이는 임시적인 보수방법이며 침하량이 많을 경우 제한이 있다.

본 연구는 노반(강화노반)에서 콘크리트 도상을 유압잭을 사용하여 인상시키고 그 공간에 충전체를 충전시켜 복원하는 방법에 관한 것으로, ‘능동제어콘크리트 도상 복원(ACBR : Active Control Concrete Bed Restoration)공법’의 적용성에 관한 내용이다. 본 공법은 비교적 단시간 내에 긴 구간을 일시에 인상시켜 복원하는 공법이며, 차단시간 내에 전체 인상이 곤란할 경우, 이들을 순차적으로 연속성을 최대한 유지시키면서 적용시킬 수 있는 공법을 개발 중이며 이들을 실제 고속선로에 적용시키고 있다.

침하된 콘크리트 도상을 복원시키는 기술을 개발하고 실험실시험, 기존선 시험부설, 고속철도 노반복원 선시공을 거쳐 고속철도 운행선상 복원공사를 실시하였으며, 이러한 일련의 기술개발과정을 통하여 궤광슬래브 인상에 사용되는 유압잭의 지지력 부족, HSB 콘크리트에 설치된 지지강관과 HSB 콘크리트의 강도와 정착강도 문제 및 인상량의 능동제어에 사용되는 레벨스위치의 감도에 따른 비접촉 등 여러 가지 문제점이 나타났으며 시행착오를 거쳐 개선시켰다.

2. 능동제어 콘크리트 도상 복원공법

2.1 공법개요

본 공법은 기존의 복원공법들과 다르게 고압용 유압잭을 사용하여 노반을 인상시키는 공법으로, 유압잭을 콘크리트 도상의 HSB에 결속시키고 강화노반을 지지반력으로 사용하여 인상시키는 방법이다. 따라서 유압잭을 지지하는 강화노반이나 성토노반의 지지력이 부족한 경우에는 노반보강 등의 노력이 필요하나, 성토재료 및 성토기준이 적절한 경우에는 강화노반을 반력으로 콘크리트 도상을 인상하는데 충분하다.

인상방법은 콘크리트 도상 TCL 인접 외측의 HSB를 강화노반까지 천공하여 이곳에 반력 지지강관을 설치하고, 지지강관을 삽입하여 무수축 모르타르로 HSB와 일체화시킨다. 지지강관 내에 유압잭을 설치하고 상부에 지지뚜껑으로 지지강관과 결속시킨 후 유압잭에 작동유를 유입시킴으로써 강화노반에서 콘크리트 도상을 상부로 인상시키게 된다.

이들의 제어는 일정량이 인상되면 레벨스위치에 의해 자동유의 유입은 중지되고, 주변 유압잭에 작동유가 추가되어 1mm 초과 인상이 되면 또 다른 위치의 레벨스위치에 의해 작동유를 유출시켜 하강시키게 된다. 이들이 각각의 유압잭을 연동시키는 솔레노이드 밸브와 레벨스위치가 직접 연결되어 중앙에서 통제 없이 작동되며, 상호 주변 유압잭과 직접 균형을 이루면서 최적의 위치까지 인상을 시키는 능동제어 시스템이다.

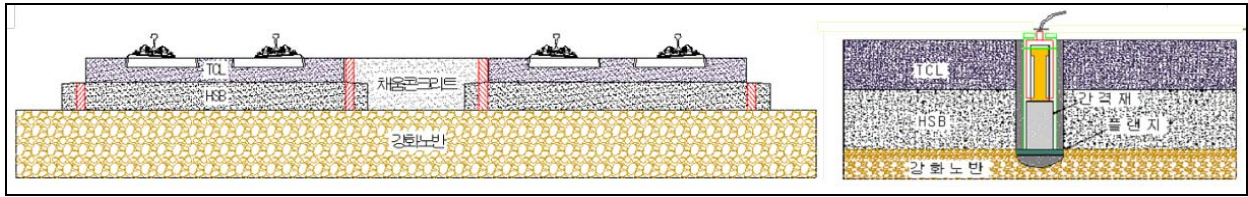


Figure 1. Concept of ACBR Method

2.2 ACBR 공법의 특징

- 단시간 (3~5분)에 정밀제어 인상 가능
- 공정이 단순하고 인상량이 자유로움(1회 100mm이상 가능)
- 인상, 횡뒤틀림 인상 등 모든 침하 복원가능(단, 영구변형의 경우 탄성변위 내)
- 추가침하 발생시 보존된 지지강관을 통한 신속복원 및 비용절감
- 인상 시간단축 및 유압잭 재활용으로 경제적
- 긴급상황 발생시 열차운행에 지장을 주지 않도록 기존선로 원위치 가능
- 복합공정이 가능하므로 장구간 침하 및 침하량이 큰 경우에 적용 유리
- 인상과 하강이 능동제어 되므로 인상 중 추가 인상에 대한 우려가 없고,
- 충전 중 침하 혹은 충전압으로 초과 인상되는 경우에도 정밀도를 유지

3. 기술개발 및 적용과정

3.1 실대형실험공법개요

능동제어 콘크리트 도상 복원(ACBR)공법'의 검증을 위해 울산광역시 kcc일반산업단지 내에 고속철도 R=7000m 곡선선형의 cant 130mm의 콘크리트 도상을 실물 크기와 동일한 단면으로 연장 16m의 실대형 실험장을 설치하여 선로 복원 실험을 수행하였다.

3.1.1 인상실험(Figure 2)

제작된 콘크리트 도상으로 아래와 같이 다양한 인상실험을 실시하였으며, 이를 통해 어떤 형태로 침하된 도상도 복원 가능함을 확인하였다.

- 1단계 시점부 50mm와 종점부 0mm 종경사 인상
- 2단계 시점부 0mm와 종점부 100mm 역종경사 추가 인상
- 3단계 시점부 100mm와 종점부 100mm 평형 인상
- 4단계 T1쪽 10mm추가인상, T2쪽 -10mm하강시켜 T1쪽 110mm와 T2쪽 90mm로 횡경사 인상
- 5단계 T1쪽 종점부 20mm추가 하강과 T2쪽 종점부 +20mm추가 인상 시켜 비틀림 인상
- 6단계 전체를 하강시켜 원위치

3.1.2 충전 및 재하 실험(Figure 3)

충전실험에 사용된 재료는 초속경시멘트와 일반시멘트 1:1 배합으로 최적충전가능시간을 예측하고 적절한 비율로 지연제를 사용하여 주입을 실행하였다. 충전실험에서는 충전성을 확인하기 위해 시점부 인상량 0mm, 종점부 인상량 50mm로 경사 인상하여 충전실험을 하고 콘크리트 도상 상부에 하중 432kN 트럭 2대(총하중 864kN, KXT 최대 하중 680kN)를 재하 시켜 실험을 완료하였다.



Figure 2. Rail Jack-up Test



Figure 3. Road Test

3.2 기존선 현장시험부설

‘능동제어 콘크리트 도상 복원(ACBR)공법’의 목표는 운행선상 고속철도 노반침하구간에 서 선로를 복원하는 것이다. 고속철도의 중요성을 감안하여 기존선에서 시험부설을 수행하였고 시험부설 대상은 비교적 침하구간과 침하량 및 해당관리주체의 요구 등을 고려하여 선정하였으며, 해당 선로는 교량 접속부로 최대침하 30mm, 침하구가 12m의 선로였다.

지지강관 설치를 위해 HSB를 천공한 결과, 교량 접속부 어프로치 슬래브 구간에서 콘크리트 단면 두께가 1850mm로 나타났으며, 이들 하부의 접속부 노반 및 강화노반구간의 지지력 부족으로 유압잭 지지력 보강이 장기간 수행되었으며, 충전재 주입시 이들이 노반으로 대부분 투입되어 노반보강을 위한 그라우팅 양이 크게 증가되는 상황이었다.

인상 대상 콘크리트 두께의 증가와 노반 지지력의 부족에 따른 인상의 어려움과 충전재의 지반침투로 사실상 1회 인상이 곤란한 상황이었으므로 성토지반을 보강하면서 유압잭을 사용하여 인상력과 인상균형을 제어하면서 순차적으로 인상하는데 성공하였다.

3.3 고속철도 선시공

기존선 시험부설시험 후 다음 단계로 고속철도 운행선에서 비교적 짧고 침하구간과 침하량이 크지 않은 경부고속철도 2단계 삼정터널-삼정고가 토공부에서, 침하구간 30m, 최대 침하량 26mm인 콘크리트 도상 인상복원을 수행하였다. 노반에서 유압잭을 지지하기 위한 지지력이 부족했으므로 시험부설에서와 같이 대부분 보강이 필요하였고, 특히 교대접속부의 지지력 보강을 위해 많은 양의 그라우팅이 필요하였다.

인상 중 터널시점부에서 선로가 상부로 3mm 솟음이 확인되어 관리주체와 협의하여 솟은

부분을 원위치로 하강시키고 인상을 종료시켜 총 침하량 27mm 중 인상량은 23mm이고 4mm가 미인상된 상태로 종료시켰다. 이곳은 삼전터널 종점부터 삼정고가 시점까지 30m 전구간이 침하되었고 접속부와 End Span이 포함된 침하구간이다. 또한 중곡선(R=25000m)의 저점부가 이곳에 위치하고 평면선형은 R=7000m, Cant=130mm로 고속철도 선형중 설계 한계가 중첩된 선로며 콘크리트 도상의 선로의 수직 강성이 일반적인 콘크리트 도상의 강성보다 높고 영구 변형에 의한 것으로 판단하고 있다. 이에 대해서는 좀더 인상복원을 통한 통계나 학술적인 검토가 필요할 것이다.

3.4 고속철도 본 시공

ACRB공법의 기술개발 과정은 기술개발→실대형실험→기존선 시험부설시험→고속철도 전시공→고속철도 본 시공 단계를 거쳐 수행되었으며, 본 시공은 실질적인 복원공사로 경부고속철도 2단계 신경주-울산역간 전읍터널 종점~전읍천교 시점 구간 토공부에서 전읍천 시점부에 인접한 침하구간 60m, 침하량 60mm인 침하선로로써, 이곳은 상향경사 8%, 평면곡선 R=7000m, Cant=130mm인 곡선선로이다.

본 공법은 비교적 긴 구간에서 침하된 선로를 침하량의 영향을 거의 받지 않고 인상이 가능하며, 인상 후 강화노반과 HSB 사이 이격(인상)부의 충전재의 지지기능이 일부 부족하더라도 콘크리트 도상을 인상한 유압잭이 궤도 자중과 상부에 운행되는 고속열차의 하중에 안전하므로, 본 복원기술은 기술개발단계부터 운행열차의 서행없이 복원할 수 있는 공법을 목표로 개발하였다. 그러나 곡선과 경사 선로에서 경부고속철도 중 최대 침하량인 60mm침하선로를 처음으로 인상 복원하는데 따른 부담으로 시공 후 오전까지 7시간 동안 170km 서행하는 것으로 계획을 변경시켰다.

일시에 60mm를 인상하는 것은 인상의 불균형 발생 확률이 높을 것이므로 최대인상 위치를 기준으로 5mm씩 순차 인상시켰다. 약 20분간 5mm씩 인상하여 55mm인상을 확인하고 58mm가 인상되었을 때, T1쪽 내측 HSB에서 종방향으로 이격되어 유압잭 지지강관이 위로 일부 인출되면서 상부에 있는 채움 콘크리트를 들고 일어나 이곳에서 단차가 발생되었고, 또한 T1쪽 선로 약 30m의 일부가 하강되었다. 이때 인상량은 40mm 인상된 상태였고, 다시 하강시켜 원위치시킬 경우 단차가 발생한 부분에서 원위치가 어렵다는 판단으로 그 상태에서 충전과 궤도작업을 시행하고 추가인상을 시행하기로 하였다. 추가인상에서는 관리주체와 협의하여 단차가 발생한 T1선로를 T2선로와 균형을 이루도록 인상하고, 현재 침하가 진행되고 있는 상태이므로 향후 소정의 추가 침하가 발생되었을 때 전체를 인상시키기로 하였으며, 추가인상에서는 무서행으로 시공하였다.

3.5 침하구간이 긴 경우 적용 방안

3.5.1 1회 가능 인상복원량 추정

긴구간 침하된 노반을 복원에 필요한 주요 공정은 인상공정, 궤도공정, 충전공정이며, 각

공정마다 연계 및 확인이 필요하다. 1개의 침하구간을 1회에 복원하지 못할 경우 운행선에서는 궤도의 연속성과 선로의 유지보수기준에 충족할 수 있도록 선로를 유지시키기 위한 또 하나의 공정이 필요하며 여기에 소요되는 시간도 시공에 포함시켜야 한다.

이러한 측면에서 능동제어 콘크리트 도상 복원공법(ACBR)은 인상이 5분 이내에 가능하며, 인상과 궤도작업 및 충전이 중복공정으로 가능하므로 복원시간을 획기적으로 단축시킬 수 있어, 긴 구간을 인상 복원할 수 있는 유리한 공법이다. 현재 기술로는 복원구간 100m내외, 최대 침하량 50mm 및 충전량 20~30m³ 복원이 가능할 것으로 판단하고 있다.

3.5.2 장구간 인상공법

장구간(약 50m~100m) 이상 침하가 발생한 구간에서 1회에 복원이 불가능할 경우에는 부득이 인상구간을 분할하여 순차적으로 인상하여야 한다. 이 경우에는 전 인상과 후속 인상 사이에 궤도의 연속성과 이 구간의 안전성 확보가 중요하다.

본 공법에서는 장구간 침하의 경우 복원구간과 미복원구간 사이 천이구간의 선로의 설정을 종곡선 선형으로 만든다면 이상적일 것이나 현실적으로 어려움이 있고 1~2일 정도 선로를 유지하기 위한 선형으로써는 너무 많은 노력이 필요하다. 종곡선 1% 경사의 경우 종곡선을 생략함을 고려하여 복원 종점부 부터 1%경사로 선형을 설정한다면 복원과 미복원 사이 천이구간의 설정길이는 복원량이 50mm인 경우 50m의 경사 길이가 필요하게 된다.

본 공법은 이들 분할 복원 구간을 포함하여 천이 구간까지 모두 일시에 인상시킴으로서 별도의 인상공정을 요구하지 않는다. 궤도공정을 별도공정으로 선로를 인상 후, 인상부 충전공정과 중복공정으로 시행할 수 있으므로 별도의 공사시간을 필요로 하지 않는 장점이 있다. 이들에 대하여 문헌[2]에서 상술하였으므로 여기서는 생략한다.

3. 결론

본 연구는 운행선상 기존선을 포함하는 고속철도의 침하된 콘크리트 궤도 복원을 목표로 개발된 복원기술을 응용하여 긴 구간 침하된 선로를 복원하기 위한 기술을 개발하였으며, 능동제어콘크리트 도상 복원공법(ACBR)은 단 시간 인상이 가능하고 궤도 및 충전공정을 복합공정으로 시행할 수 있는 공법으로, 주어진 시간 내에 보다 더 효율적이고 일시에 긴 침하선로 구간을 복원할 수 있는 세부기술을 개발하고 있다.

참고문헌

- [1] 민지홍, 이충표, 우용근 (2015), “운행선상 장대 침하구간 콘크리트 궤도 인상공법 적용성”, 한국철도학회, 춘계학술발표회 논문집
- [2] 민경주, 임오진, 이방우 (2015), “운행선상 장대 침하구간 콘크리트 궤도 인상공법 적용성”, 한국철도학회, 춘계학술발표회 논문집