

# 능동제어 콘크리트궤도 복원공법(ACBR) 적용현장 계측결과분석 Findings from ACBR Field Applications

## (ACBR Method : Active Control Concrete Bed Restoration Method)

민경주\*†, 이정술\*\*, 조성두\*\*, 홍상민\*\*

Kyung-Ju Min\*†, Jung-Sool Lee\*\*, Sung-Doo Cho\*\*, Sang-Min Hong\*\*

**Abstract** After settled rail systems have been up-lifted, the rail crack and concrete filling have been checked and the acceleration and settlement of the rail system have been measured.

The filling condition, during construction, has been checked by filling material leaking through the holes that are located at the bottom of HSB. The similar check has been performed by core test after lift-ups have been completed.

Acceleration has been checked at the locations where the vibration is governs because it was expected that there shall not be major changes before and after the lift-ups.

Significant settlements have not be observed for most locations after reasonable time has been passed after lift-ups. However, settlements have been observed at some limited locations and the reasons will be reviewed in the proceeding studies.

**Keywords :** ACBR, Concrete Track, Settlement, Restoration, Measurement

**초 록** 능동제어 콘크리트궤도 복원공법(ACBR)을 적용하여 침하된 선로를 복원시킨 기존선 및 고속철도 복원구간에서 궤도의 균열, 충전상태를 확인하고, 콘크리트궤도의 가속도 및 침하계측을 수행하였다. 노반의 충전상태는 콘크리트궤도의 인상복원 시공 중에 HSB 측면의 하단 윗부분에 설치한 충전 확인공을 통하여 충전재 유출 여부로 즉시 확인하였으며, 복원 후 콘크리트궤도에서 코어를 채취하여 점검하였다. 가속도 측정은 실제 침하상태와 복원상태에서 의미있는 변화가 없었으므로 콘크리트도상 진동이 큰 곳에서 측정 분석하였다. 복원된 선로의 침하계측은 대부분 복원초기 일정기간 경과 후 일부 복원개소를 제외하고는 유효한 침하가 발생되지 않았다. 일부 침하가 진행 중인 개소도 있으며, 이에 대해서는 원인분석 및 향후 추가 측정을 통하여 고찰할 것이다.

**주요어 :** ACBR, 콘크리트궤도, 노반침하, 침하복원, 계측

## 1. 서 론

철도궤도 구조는 안정성 향상과 열차의 고속화 및 유지관리의 효율을 위해 초기 건설비의 증가에도 불구하고 건설현장에 많이 적용되고 있다. 위의 장점들은 자갈도상인 경부고속철도 1단계(광명~동대구) 선로와 콘크리트 도상인 2단계(동대구~부산) 선로의 유지관리에서 나타나고 승차감이나 속도향상에서도 유리한 구조이며, 자갈도상구간에서는 하절기 기온상승에 따른 궤도좌굴 증상이 발생되어 안전을 위해 열차가 서행되는 경우도 있다. 자갈도상은 궤도틀림의 발생이 잦고 틀림의 진전이 신속하게 진행되어 궤도보수에 많은 노력이 필요

\*† 교신저자: (주)철도안전연구소 선로시설연구소(kjmin1@nate.com)

\*\* 한국철도공사 경주고속철도 시설사무소

하지만 이에 비하여 콘크리트 도상의 궤도틀림은 노반침하와 온도상승에 의한 일부 교량에서 발생하는 궤도틀림 외에 거의 발생되지 않는다.

본 연구는 노반침하에 의한 콘크리트 궤도를 복원시키기 위해 개발된 능동제어 콘크리트 도상 복원공법(ACBR: Active Control Concrete Bed Restoration Method)을 적용하여 침하된 선로를 복원시킨 기존선 및 고속철도 복원구간에서 궤도의 균열, 충전상태를 확인하고, 콘크리트 궤도의 가속도 및 침하계측을 수행하였다. 노반의 충전상태는 콘크리트 궤도의 인상복원 시공 중에 HSB 측면의 하단 윗부분에 설치한 충전 확인공을 통하여 충전재 유출 여부로 즉시 확인할 수 있으며, 복원 후 콘크리트궤도에서 코어를 채취하여 점검하였다. 가속도 측정은 실제 침하상태와 복원상태에서 의미 있는 변화가 없었으므로 콘크리트도상 진동이 큰 곳에서 측정 분석하였으며, 복원된 선로의 침하계측은 대부분 복원초기 일정기간 경과 후 일부 복원개소를 제외하고는 유효한 침하가 발생되지 않았다. 일부 침하가 진행 중인 개소도 있으며, 이에 대해서는 원인분석 및 향후 추가 측정을 통하여 고찰할 것이다.

## 2. 능동제어 콘크리트 도상 복원공법

### 2.1 공법의 개요

침하된 콘크리트 궤도를 인상복원시키는 본 공법은 유압잭을 콘크리트 도상의 HSB에 결속시키고 강화노반을 지지반력으로 사용하여 인상시키는 방법이다. Fig. 1은 본 공법의 인상방법에 대한 개요를 나타낸 것으로, 콘크리트 도상 TCL 인접 외측의 HSB를 강화노반까지 천공하여 이곳에 반력 지지 강관을 설치하고 지지강관을 삽입하여 보통시멘트 및 초속경시멘트 페이스트로 HSB와 일체화시킨다. 지지강관 내에 유압잭을 설치하고 상부에 지지뚜껑으로 지지강관과 결속하여 유압잭에 작동유를 유입시킴으로써 강화노반에서 콘크리트도상을 인상시키고 인상된 간극을 충전재로 충전하여 복원시키는 기술이다.

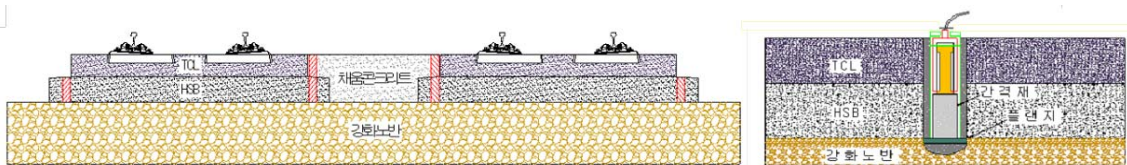


Figure 1. Concept of ACBR Method

능동제어시스템은 아래그림과 같이 인상용 기준와이어, 특수제작된 on-off-on 레벨스위치, 콘크롤박스 및 솔레노이드 밸브를 이용하여 각각의 유압잭에서 인상 위치에 따라 인상-정지-하강스위치로 유압 솔레노이드 밸브를 직접 작동시킴으로써 인상을 제어하는 기술이다.

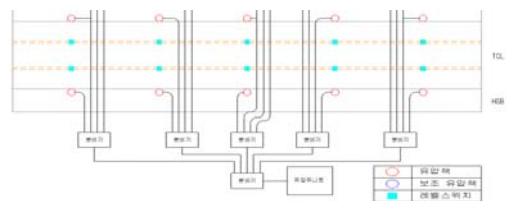


Figure 2. Active Control System

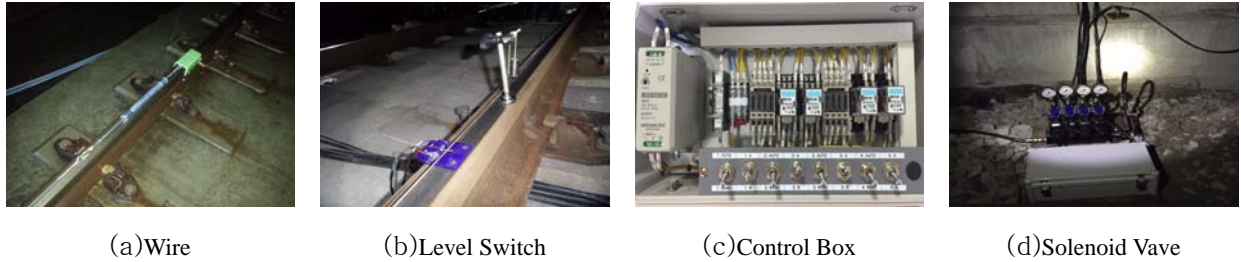


Figure 3. Active Control Device

## 2.2 적용 현장

본 연구에 적용된 기술은 2014년 1월 울산광역시 울주군 두서면 활천리 kcc 일반산업단지 에 신태형실험장을 건설하고 신태형 인상복원실험을 수행하였다. 이후 기존선시험부설, 경부고속철도 운행선 선시공 등을 거쳐 총 6개의 침하현장에 적용되었다.

Table 1. Features of Applied Field

| 부근 구조물            | 위 치 | 시공시기    | 평면선형 (R. m) | 종단선형 |          | 콘크리트도상 |     | 비고             |
|-------------------|-----|---------|-------------|------|----------|--------|-----|----------------|
|                   |     |         |             | 경사   | 종곡선(R,m) | 연장     | 폭   |                |
| 1.운석교 시점부         |     | 2015.02 | 직선          | 2‰   |          | 15     | 8.2 | 전라선            |
| 2.삼정1고가<br>~삼정1터널 |     | 2015.07 | 7000        |      | 25000    | 30     | 8.9 | 경부<br>고속<br>철도 |
| 3.전읍천교<br>~삼정1터널  |     | 2016.03 | 7000        | 2‰   |          | 60     | 8.9 |                |
| 4.가야고가<br>~속초고가   |     | 2016.04 | 직선          | 2‰   |          | 47     | 8.9 |                |
| 5.두동2터널<br>~서하고가  |     | 2016.08 | 직선          |      | 25000    | 47     | 8.9 |                |
| 6.천전1터널<br>~천전1교  |     | 2016.09 | 7000        | 2‰   |          | 105    | 8.9 |                |

## 2.3 복원에 따른 계측 시행계획

침하된 콘크리트 도상 인상복원에 따른 계측은 기존 계측결과조사, 심플레이트 삽입량, 사전측량 및 균열조사, 인상 중 계측, 인상 후 계측으로 필요에 따라 수행하였다. 모니터링 은 인상량 측정, 형면 곡선 궤도의 횡이동측정, 인상후 측정 및 유지관리 측정을 실시하였 으며, 유지관리측정 계획은 인상 후 1주간 3회, 이후 3주간 1회/주, 이후 5개월간 1회/월 등 6개월간 계측계획에 따라 수행하였으며 측정 후 추가침하가 나타나지 않을 경우 횡수를 1/2로 감소시키고자 하였다. 그러나 실제 유지관리 계측에서는 선로 일시중지 허용, 야간 유지보수 열차운행, 날씨 등 현실적인 영향을 받으므로 다소 계획적인 계측에는 어려움이 있었다.

### 3. 현장계측 및 분석

현장계측은 현장 특성, ACBR 공법 적용과정에서 추가 측정이 요구된 경우 및 관리주체의 요구 등에 따라 가감략되었다.

인상에 따른 인상자에 의한 측정, 레벨스위치에 의한 측정, 평면곡선궤도의 횡방향 이동, 인상복원 전후 도상 가속도 및 변위계측, 인상후 침하계측이 수행되었다. 충전재 충전확인 은 충전재 유출막이 구멍을 통한 충전확인 은 3.25m당 2개소, 유압잭설치 철거에 따른 유압 잭 자리 충전여부는 3.25m당 4개소, 코어천공은 복원 현장 당 1~3개소 천공하여 확인하였다.

#### 3.1 인상 측정

인상중 측정은 인상자에 의한 직접측정, 레벨스위치에 의한 간접측정 및 최종 레일 선형 정정 측정, 횡방향 이동량 측정을 수행하였다.

아래 그림은 인상 측정자에 의한 직접측정이며 이는 각 현장에서 수행되었으며, 평면곡선 궤도의 횡방향 이동측정은 R=7000m인 전읍천교~삼정1터널과 천전1터널~천전1교에서 수행하였다. 평면곡선궤도인 삼정1교에서는 운행선 고속철도구간에서 최초 인상이었으며 인상구 간이 30m로 비교적 짧은 구간이었으므로 횡이동 측정을 고려하지 못하였다. 그러나 전읍천 교~삼정1터널은 60m 구간이고 비교적 추운 3월초에 인상복원이 수행되었으므로 측정을 수행 하였으며 천전1터널~천전1교는 실제 인상구간이 90m으로 횡이동 계측을 수행하였다.

곡선부 횡이동 측정은 전읍천교~삼정1터널 구간에서 최대 7mm 내측이 동이 발생되어 비교적 이동량이 큰편이었다. 콘크리트의 건조수축 및 콘크리트도상의 시공당시와 온도차(시공당시 현장온도-3℃) 등에 의해 약 3mm 정도 이동은 가능한 것으로 평가되었으나 이보다 2배 이상의 횡 이동이 발생한 것이다. 이곳은 상하선 궤도 T1과 T2 사이의 채움콘크리 트 중간(최저두께) 부분이 대부분 분리되어 있었으므로 이로인 횡저항 력의 부족으로 발생한 것으로 판단하고 있다. 그러나 천전1터널~천전1 교에서는 이동량이 계측되지 않았다. 복원시공 당시 온도가 24℃로 궤 도시공 당시 온도차가 크지 않았을 것이므로 이로 인한 변위발생이 없 었을 것으로 판단된다.



Fig. 4 Displacement Measurement

#### 3.2 가속도 및 변위측정

능동제어인상복원공법 개발초기 두동2터널 접속부 노반국부침하로 보이는 손상으로 터널 접속부 일부 HSB 슬래브판이 TCL과 이격되어 콘크리트도상 침하에 의한 궤도침하와 진동이 크게 발생되었다. 이를 복원하는4대 사용된 기술이 유압잭에 의한 인상공법 초기기술이었다.

이와 유사한 현상이 가야고가~속초고가 일부 구간에서도 발생되어 가속도와 도상 침하 및 진동 측정을 수행하였다. 아래 그림들은 가야고가~속초고가 침하구간에 대한 도상 가속도 및 침하 측정된 결과이다.

도상가속도는 TCL과 HSB가 이격되고 HSB 슬래브가 탈락되어 진동이 심한 경우로 손상상태에서는 진동가속도가 크게 나타났으며 HSB와 강화노반 사이 들뜸구간에 심플레이트를 삽입하여 임시보수한결과 육안상으로는 진동이 크게 감소된 것으로 판단되었으나 TCB 가속도의 감소는 HSB에 비하여 적은편이었고 인상복원 후에는 콘크리트 도상 진동가속도는 정상적인 진동가속도를 보였다. 도상 변위 측정에서도 유사하게 나타났으며 두동2터널 접속부 노반국부침하에서도 유사하게 계측되었다.

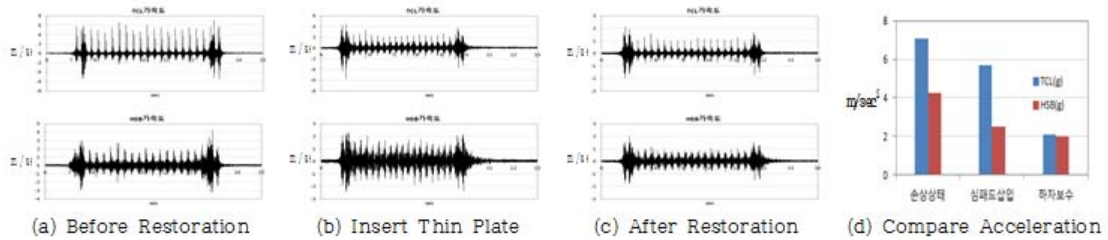


Fig. 5 Acceleration Compared Before and After Restoration

### 3.3 충전재 충전성 확인

인상 후 인상된 HSB 슬래브와 강화노반 사이 간극을 시멘트페이스트로 충전하여 인상된 콘크리트 궤도를 안정시킨다. 이때 충전재의 충전 정도를 모두 확인할 수는 없으나 본 ACBR 공법에서는 아래그림과 같이 유출확인공(2공/3.25m), 계획 충전량과 실충전량의 비교, 유압 잭 철거시 지지강관내부(4공/3.25m)을 통하여 확인하며 필요시 코아천공도 시행하였다.

유출막이와 지지강관내부 확인으로 약 선로종방향 길이로 단위 1m 당 2개소에서 직접 확인이 가능하며 충전재가 지반에서 유동되면서 이들 개소에서 공기가 상부로 빠져나갈 수 있으므로 충전성에 그만큼 유리함을 알 수 있을 것이다.



Fig. 7 Check the Charge of Cement Mortar

### 3.4 콘크리트 궤도 유지관리 측정

콘크리트 도상의 인상복원 후 궤도의 안정성을 확인하기 위해 노반 침하 계측을 수행하고 있다. 인상복원후 6개월 정도 계측을 수행하면 충전재의 충전성 등으로 인한 추가 침하는 없을 것으로 판단하고 이 기간동안 계측을 수행하고 있으나 관리주체의 요구 등 필요시 추가 계측도 시행하였다. 다음은 유지관리 계측 시행한 결과를 나타낸 것이다.

계측기간은 은석교시점부에서 인상복원후 2015.3~2016.9까지 약 18개월 계측하였고 이후 시



공구간에서도 시공 후 계측을 수행하였다. 은석교에서 약 1년후 최대 3mm 침하가 있었고 진행중인 것으로 판삼정1고가~삼정1터널 및 전읍천교~삼정1터널에서도 최대침하량이 각각 4mm 및 3mm로 계측되었으며 이들 토공구간에서는 침하가 진행되는 것으로 판단되고 있다.

| 위 치             | 하 선 | 상 선 | 계측기간            | 최대침하량 |
|-----------------|-----|-----|-----------------|-------|
| 은석교<br>시점부      |     |     | '15.2~<br>'16.9 | 3mm   |
| 삼정1고가~<br>삼정1터널 |     |     | '15.7~<br>'16.9 | 4mm   |
| 전읍천교~<br>삼정1터널  |     |     | '16.3~<br>'16.9 | 5mm   |
| 가야고가<br>~속초고가   |     |     | '16.4~<br>'16.9 | 0mm   |
| 도동2터널<br>~서하고가  |     |     | '16.6~<br>'16.9 | 0mm   |

### 3. 결 론

침하된 콘크리트 도상 토공부를 능동제어 콘크리트케도 복원공법(ACBR)으로 인상복원시키면서 이에 따른 궤도의 변위와 진동의 측정, 충전성 확인 및 인상 후 궤도침하 측정하고 추이를 분석하였다.

인상 후 도상가속도는 일반적인 토공구간과 유사하게 나타났으며, 충전재 충전성 확인은 다수의 도상 관통공을 통하여 확인하였으며, 인상 중 곡선 콘크리트 도상에서 내측으로 횡방향 이동이 일부 발견되어 이에 따른 분석을 하였으며, 동절기에 곡선선로를 인상할 때는 인상길이나 온도에 대한 엄밀한 검토가 필요할 것으로 사료된다. 인상복원후 계측에서는 초기에 유압잭 인상력의 제거와 열차운행 등으로 보이는 선로변위가 1mm이내로 나타나는 경우가 있었으나 이후 단기간 침하는 없었다. 인상 후 1년이상 계측에서는 일부에서 최대 3~4mm 정도 침하가 계측되었다. 이들은 원지반 등 노반침하에 기인되는 것으로 판단된다. 침하가 일정량 이상 되는 경우에는 보존된 지지강관을 사용하여 추가 인상복원시킬 것이다

### 참고문헌

- [1] 민경주, 임오진, 이방우(2015), “운행선상 장대침하구간 콘크리트 궤도인상공법 적용성”, 한국철도학회, 춘계학술발표회 논문집
- [2] 민지홍, 이방우, 배석복, 박용걸 (2016), “능동제어 콘크리트도상 복원공법 개발과정 및 적용사례”, 한국철도학회, 춘계학술발표회 논문집