

비개착 공사에 있어 철도 노반 자동화 계측관리 사례 분석

Case Study of the Automatic Measurement System around Railway roadbed on the Non-open Cut Method

이재호*†, 이근수**, 천승우***, 엄진현***

Jaeho Lee*†, Geunsoo Lee**, Seungwoo Cheon***, Jinhyeon Eom***

Abstract Recently, the construction using non-open cut method under the railway roadbed has been increased as related to the buried underground structure such as water pipes, drainage pipes and gas pipes etc.

Therefore, more the systematical measurement system and the settlement control guidelines is necessary to evaluate the stability of the rail roadbed when the buried underground structure under railway is constructed.

This study presented the result of field measurement case study that a field survey, numerical analyses and automation monitoring system with the settlement control guidelines were performed to find out the stability of the rail roadbed during the construction.

Keywords : Automatic Measurement System, Case Study, Non-open Cut Method, Measurement Control Guidelines, Railway roadbed

초록 최근 상하수도관, 하수도관, 도시가스관 등 지하매설 구조물과 관련하여 비개착공법을 이용한 철도노반 하부를 횡단하는 시공 사례가 증가하고 있다. 철도노반 하부에 지하매설 구조물을 시공하는 경우 철도노반의 안정성을 확인하기 위해 보다 체계적인 계측시스템과 침하관리기준이 필요하다. 본 연구는 공사 중 철도노반 안정성을 평가하기 위해 현장조사, 수치해석, 침하 관리기준치에 의한 자동화 계측시스템을 수행한 계측관리 사례 연구이다.

주요어 : 자동화 계측 시스템, 사례분석, 비개착공사, 계측 관리기준치, 철도 노반

1. 서 론

국토 개발 사업 중 도로, 고속철도, 상하수도관, 가스관 등과 같은 선형 토목구조물에는 기존 철도나 철탑 등의 국가 중요 시설물에 인접하여 시공하는 사례가 증가되고 있다. 최근 상하수도관, 하수도관, 도시가스관 등 지하매설물 구조물과 관련하여 비개착공법을 이용한 철도노반 하부를 횡단하는 시공사례가 증가하고 있다. 철도노반 하부에 지하매설 구조물을 시공하는 경우 철도노반의 안정성을 확인하기 위해 보다 체계적인 계측시스템과 침하관리 기준이 필요하다.

† 교신저자: (주)지원텍토목사업부(g1tec@naver.com)

* (주)지원텍토목사업부

** 덕산E.N.G

*** 한국철도공사부산경남본부시설처

본 연구는 00신항 철도 00교 횡단 공사 중 철도노반 안정성과 침하관리를 평가하기 위해 현장조사, 지반조사, 수치해석, 침하관리기준치 검토, 자동화 계측시스템을 수행한 사례분석을 나타낸 것이다.

2. 현장 개요 및 영향범위 해석

2.1 현장 개요 및 계측기 설치 위치도

당 현장은 철도 레일과 3m 이격된 거리에서 00항 철도00교(JCT) 횡단관련 입체교차시설 시공을 위한 지반 굴착공사를 진행하고 있으며, 이로 인한 철도 레일의 영향 정도 및 안정성 확인이 중요하다.

Fig. 1은 과업 대상위치이며, 계측기 설치 위치는 Fig. 2에서 나타난 바와 같다.



Fig. 1 과업 대상 위치

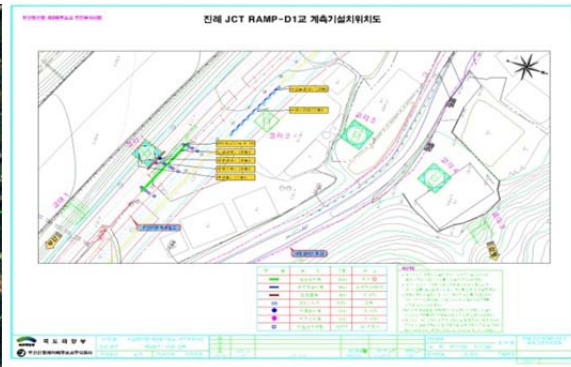
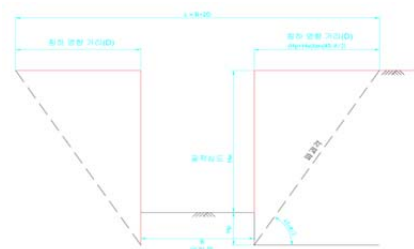


Fig. 2 계측기 설치 위치도

2.2 공사에 따른 철도노반영향범위 해석

흙막이 가시설 굴착은 철도 레일과 약 3m 이격해서 수행되며, 터파기 가로 및 세로 폭은 7.4m이고, 굴착심도는 3.28m이다. 흙막이 공사에 따른 영향범위는 약 18.96m이며, 활동영역과 비활동영역을 고려하여 약 28.0m를 고려하여 계측기를 설치하였다. 철도 노반 영향범위 산출 과정은 Table 1과 같다.

Table 1 영향범위 계산식



▶영향범위; $L = B + 2D = 7.4 + 2 \times 5.78 = 18.96\text{m}$

▶침하영향거리; $D = H_t \tan(45 - \phi/2)$

$$D = 9.08 \times \tan(45 - 25/2) = 5.78$$

▶굴착영향거리; $H_t = H_p + H_w = 3.28 + 5.80 = 9.08$

▶굴착심도; $H_w = 3.28$

$$H_p = 0.5B \tan(45 + \phi/2), (\phi > 0 \text{인 경우})$$

$$= 0.5 \times 7.4 \times \tan(45 + 25/2) = 5.80$$

영향범위 (L)은 18.96m이다.

3. 자동화 계측관리 시스템

3.1 계측 항목 및 수량

본 과업의 계측수량과 항목은 **Table 2** 및 **Fig. 3, 4, 5, 6**에서 나타난 바와 같다.

Table 2 계측 항목 및 계획 수량

구 분	계 측 항 목						
구 역	지중경사계 (자동)	지하수위계 (자동)	변형률계 (수동)	레벨침하측량 (수동)	균열게이지 (수동)	구조물경사계 (자동)	선로 도상침하계 (EL-BEAM)(자동)
00JCT 00교	1	1	4	12	10	14	28



Fig. 3 지중경사계 설치



Fig. 4 구조물경사계 설치



Fig. 5 지하수위계 설치



Fig. 6 선로 도상침하계 설치

3.2 자동화 계측시스템

대상 현장에 적용된 계측은 실시간 문자 서비스 및 데이터 가시화가 가능한 자동화 시스템을 적용하였으며, 이는 철도 노반의 변위나 침하 발생 시 즉각적인 대응 체계를 확립하고, 상시 데이터 분석을 통해 문제점을 사전에 제거하고자 한다. **Fig. 7**은 자동화 계측시스템을 나타낸 것이다.



Fig. 7 자동화계측 시스템 흐름도

3.3 계측 관리기준치

선로 도상침하계 관련 계측 관리기준치는 Table 3에 나타난 바와 같이 ‘철도시설관리공단(궤도틀림의 관리기준 및 검측장비) 개정후’에 제시된 내용을 참고하여 설정하였다. 해당 현장에서 적용한 관리기준은 Table 4에 나타난 바와 같다.

Table 3에서 주의기준 8mm와 보수기준 13mm에 보다 안정적인 측면에서 7mm와 12mm를 관리기준으로 고려하였다.

Table 3 제9조 (궤도틀림의 관리기준 및 검측장비) 개정후

궤도틀림	당 초				변 경		비고
	구분	관리단계	본선	측선	관리단계	120<V≤160	
고저	유지관리지침	궤도공사마감기준	4	4	준공기준(CV)	4(2)	()콘크리트궤도
		궤도정비기준	직선10 곡선3	직선10 곡선4	목표기준(TV)	4	
	검측차보수기준	정상보수	10		주의기준(WV)	8	
		계획보수	12		보수기준(AV)	13	
		우선보수	16		속도제한기준(SV)	20(120km/h)	

Table 4 레벨침하관리/선로 도상침하계(EL-BEAM)

현장	구분	관 정 표		
		제 1 단계	제 2 단계	제 3 단계
현장 적용	-도상침하계 -레벨침하계(상, 하행선)	계측치 ≤ 7mm	7.0mm < 계측치 ≤ 12.0mm	12.0mm < 계측치

3.4 계측결과

3.4.1 철도노반 침하

철도 노반에 설치된 선로 도상침하계는 월간 변위량이 $-0.792 \sim 0.765\text{mm}$ 가 관찰되고 있으며, 누적 변위량이 $-1.090 \sim 1.029\text{mm}$ 로 관측되었다. Fig.8은 철도노반의 변위양상을 시간에 따라 나타낸 그래프이다.

3.4.2 지반 및 지하수위 변위

지중경사계 계측결과, 월간 변위량이 $-0.756 \sim 2.890\text{mm}$ 가 관찰되고 있으며, 누적변위량이 $1.850 \sim 10.928\text{mm}$ 로 평상시 단계의 변위가 관측되고 있다. 또한, 지하수위계는 센서의 오차범위 내 미소한 변위만이 관측되었다. Fig. 9은 지중경사계의 변위를 나타낸 것이며, Fig. 10는 지하수위계를 관측한 결과이다.

3.4.3 보강토옹벽 구조물 경사계

보강토옹벽에 설치된 구조물경사계 계측결과는 월간 변위량이 $-5.365 \sim 1.951\text{mm}$ 가 관찰되고 있으며, 누적변위량이 $-5.347 \sim 1.939\text{mm}$ 로 평상시 단계의 변위가 관측되고 있다. Fig. 11은 구조물 경사계의 변위를 나타낸 것이다.

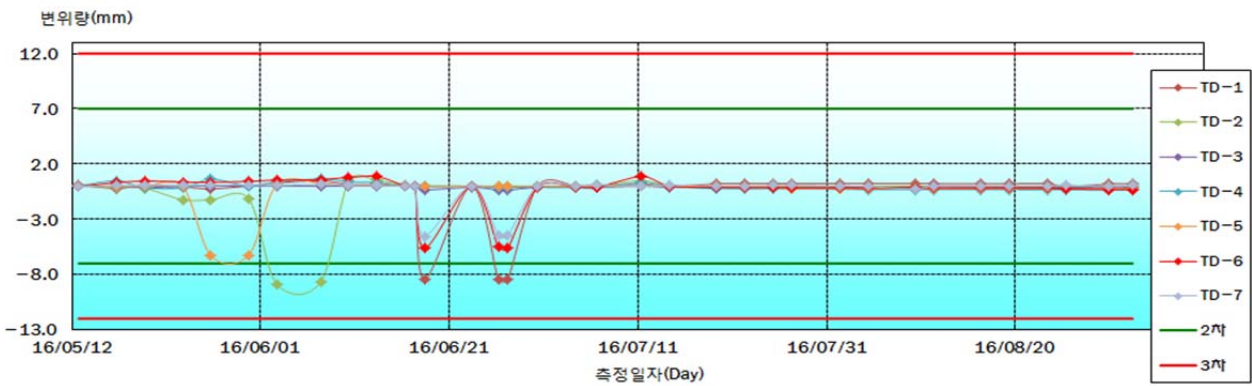


Fig. 8 선로 도상침하계

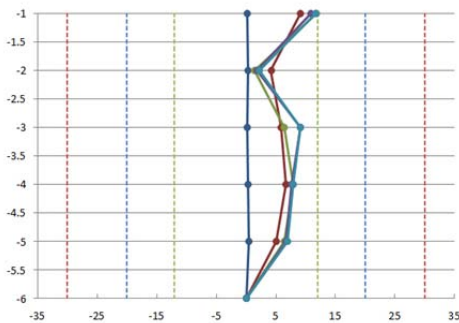


Fig.9 지중경사계

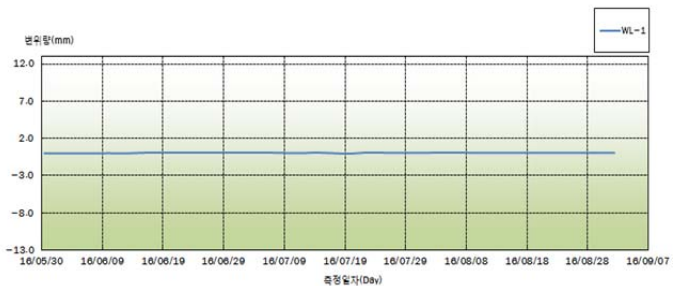


Fig. 10 지하수위계

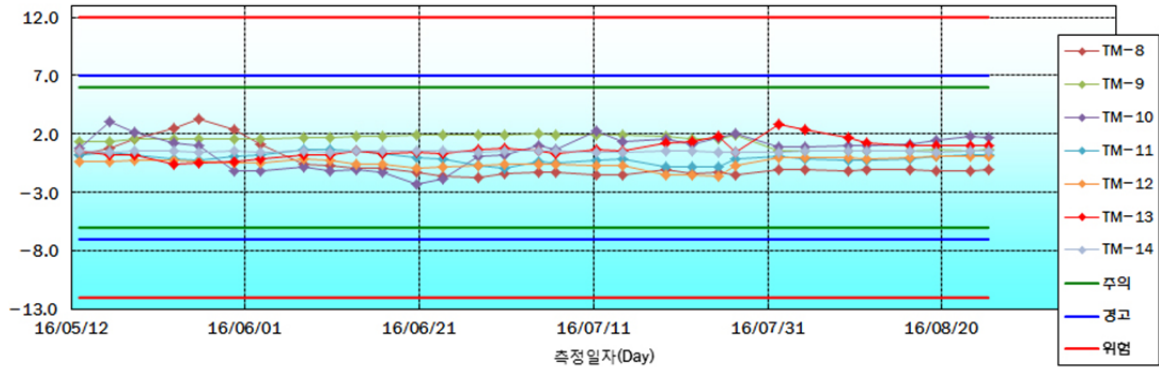


Fig. 11 구조물 경사계

4. 결론

본 사례 연구에서는 00철도 00교(JCT) 횡단관련 입체교차시설 시공 시 인근 철도 노반, 지반, 지하수위 및 구조물 경사계 변위 양상을 분석하기 위해 선로 도상침하계, 지중경사계, 지하수위계, 구조물경사계를 설치하여 자동화 계측시스템을 적용하였다. 이를 토대로 흠막이 가시설 터파기 공사 중 철도 노반과 인근 지반의 변위양상을 실 시간 수집 및 분석한 결과를 나타내었다. 계측결과, 현장의 위험한 요소는 없었으며 철로 인근 굴착을 안정적으로 수행하였다.

본 사례연구를 수행한 내용은 아래와 같다.

- 1) 철도노반 영향분석 및 관리기준치 검토
- 2) 철도노반 침하 자동화 시스템 구축
- 3) 지반 변위, 지하수위 변동 및 구조물경사계 자동화 시스템 구축
- 4) 실시간 문자전송 및 가시화 프로그램 구축

철도 시설물 주변 또는 하부 지반의 개발 이용 시 공사 중 철도 레일의 안정성이 보다 세밀히 검토되어야 한다. 이와 같이 철도 노반의 안정성 평가방법과 계측관리 기준을 확립하기 위해 보다 다양한 현장 사례연구가 이루어져야 한다.

참고문헌

- [1] 우종태, 건설계측공학(2008), 구미서관.
- [2] 김종철(2014) 도시철도교량자동계측시스템의 효율적 유지관리.