

# 철도지하횡단공사시 현장계측을 통한 지반거동 분석

## The Analysis of Ground Behavior on the Crossing Construction Under Railroad Using Field Measurement

엄기영\*

신민호\*\*

김지훈\*\*\*

### ABSTRACT

We analysed the affection to subgrade that railway underground crossing construction make with studying displacement of subgrade of each construction methods and processing of Front jacking method and Pipe roof method with already-measured data(during the construction) and additionally-measured field test data in railway underground crossing construction. We measured vertical and horizontal displacement at two construction places of front jacking method and pipe roof method each, and we analysed the results of the measurement at each stage of construction to applied to the excution of construction.

**Key words** : Subgrade(노반), Front Jacking Method(프론트잭킹 공법), Pipe Roof Method(파이프루프 공법), Crossing construction Under Railroad(철도지하횡단공사)

### 1. 서론

철도지하횡단공사 시행시에는 일반적으로 노반에 경사계와 지중침하계, 가시설에는 하중계를 설치하여 시공중 발생 가능한 사고에 대비하며 정밀시공을 도모한다. 계측관리는 각 공정별 계측을 조직적으로 행하면서 계측결과를 바로 설계, 시공에 반영하고 계획시의 설계를 현장에 적절하게 변경하면서 공사를 안전하고 경제적으로 시공 관리하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서의 계측 자료 분석은 기 시행된(시공중 현장계측)계측자료와 추가시행(현장실험계측)된 계측자료를 이용하였고 계측현황을 검토하여 공법별, 공정별 노반의 변위상태를 파악하였다.

### 2. 측정방법

기 시행된 계측자료의 공법별 현장은 프론트잭킹 현장 1개소, 파이프루프 현장 1개소, 모두 2개소의 현장에 대해서 계측한 지반변위 자료를 수집하여 3.1절과 3.2절에 비교, 분석하였다. 수집된 계측자료를 이용하여 프론트잭킹과 파이프루프 공법의 공정 단계별 운행 안정성을 평가하고 나아가 공법별 문제점과 개선방안을 제안하였다. 추가시행된 계측자료의 공법별 현장은 프론트잭킹 현장 1개소와 파이프루프 현장 1개소이며 3.3절과 3.4절에 나타내었다. 추가시행 현장의 계측은 측량장비를 이용하여 총 4개소의 지표침하량을 측정하였으며, 철도하부 통과시 지반의 침하 및 융기 발생 감시와 관리의 목적으로 계측을 수행하였다.

---

\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 수석연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 연구원

### 3. 계측 상황 및 결과

#### 3.1 ○○ 지하차도 설치공사

##### 3.1.1 공사현황

시가지와 국도에 연결되는 간선도로상의 지하차도로 프론트잭킹 공법(분할전인방식)을 이용하여 기존의 건물목 2개소를 폐쇄하고 왕복 4차선으로 건설되었다. 1일 왕복 46회의 열차가 통과하며, 지하차도는 33.0m의 폭과 7.3m의 높이, 43m의 연장이다. 토피고는 1.3~2.3m이며, 지반조건은 0~1.5m까지 매립층, 1.5~6.8m까지 퇴적층, 6.8~12.5m, 풍화암층이다.

##### 3.1.2 계측 및 결과분석

계측은 경사계 2개소, 지중침하계 2개소, 하중계 8개소에 대해 그림 1과 같이 수행하였다.

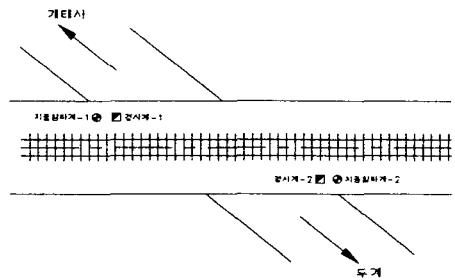


그림 1 계측기 매설 위치

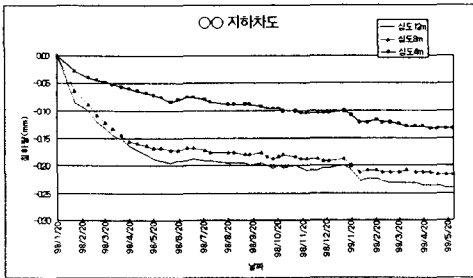


그림 2 지중침하계 #1 수직변위량

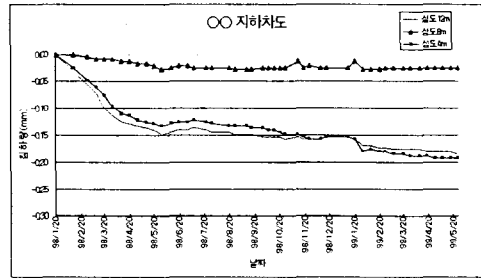


그림 3 지중침하계 #2 수직변위량

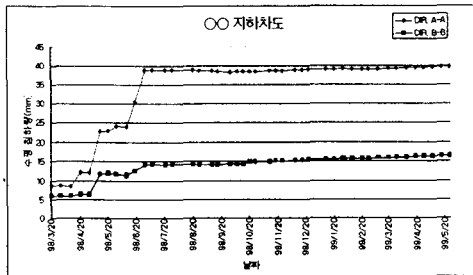


그림 4 경사계 #1 수평변위량

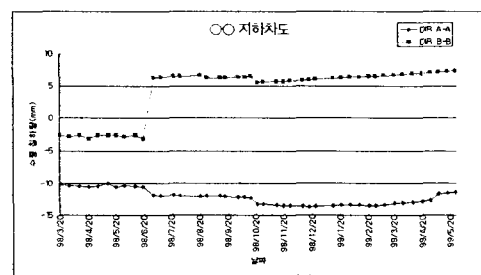


그림 5 경사계 #2 수평변위량

계측 결과를 분석하면 다음과 같다.

- ① 최대 노반변위량은 지중침하계 #1과 #2에서 나타난 수직변위량 0.2mm 정도, 경사계 #1, #2에서 수평변위량 40mm 정도라는 것을 알수 있다.
- ② 노반의 수직 및 수평변위량은 공히 프론트잭킹 발진기 설치를 위한 가시설 공사중에(파이프 루프 압입 및 굴착공정), 수직변위량을 보면 전체 0.2mm중 약 0.2mm, 수평 변위량은 전체 40mm중 39mm가 발생하였다. 이는 전체 변위량중 거의 대부분이 합체추진중 보다는 발진기

및 도달기지의 가시설 토류공시에 발생하였음을 보여준다.

- ③ 발진, 도달기지 가시설공사 완료후 합체 추진시에는 수직변위 증가량이 불과 약 0.04mm, 수평변위 증가량 1mm로서, 매우 미소한 노반변위가 발생한다.
- ④ 즉, 공사중의 노반 안정성 확보를 위한 주요한 요소는 가시설 공사시 노반변위를 최소화하는 방안이 수립되어야 하며 열차 주행의 안정성을 확보하도록 서행등의 조치가 필요하다.

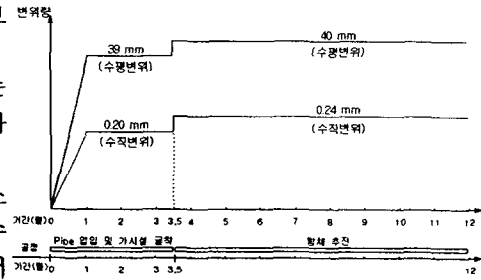


그림 6 공정별 변위추이

### 3.2 ○○ 가도교 신설공사

#### 3.2.1 공사현황

국도 2호선 확포장공사 중 경전선 사곡 위치에서 도로가 철도 하부를 통과토록 계획되어 있는바 열차의 운행에 지장을 주지않는 상태에서 파이프로프 공법을 이용하여 공사를 시행하였다. 단선으로, 1일 왕복 12회의 열차가 통과하며, 지하차도는 33.4m의 폭과 8.4m의 높이, 12.5m의 연장이며, 토피고는 1.5m~2.5m이다. 지반조건은, 0~3m까지 토사, 3~4m까지 풍화암, 4m~11m는 연암이다.

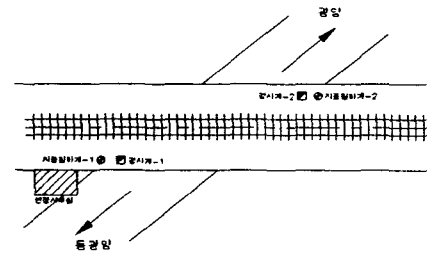


그림 7 계측기 매설위치

#### 3.2.2 계측 및 결과분석

계측은 경사계 2개소, 지중침하계 2개소에 대해 그림 7과 같이 수행하였다.

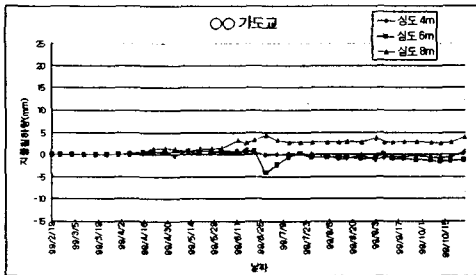


그림 8 지중침하계 #1 수직변위량

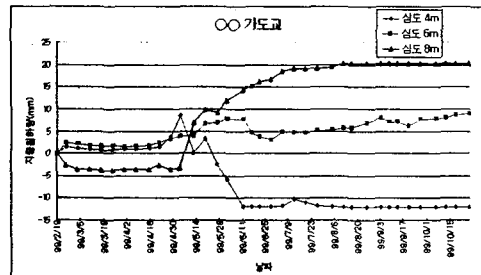


그림 9 지중침하계 #2 수직변위량

계측 결과를 분석하면 다음과 같다.

- ① 노반계측은 파이프로프 공법중 초기 파이프 압입부터 가시설, 굴착 및 구조물 공정에 대하여 실시하였다.
- ② 최대 노반변위량은 수직변위 약 20mm, 수평변위 약 30mm 정도이다.

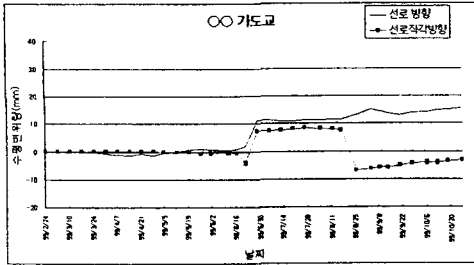


그림 10 경사계 #1 수평변위량

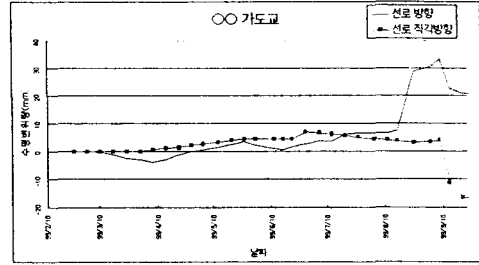


그림 11 경사계 #2 수평변위량

- ③ 공정단계별 노반변위량은 강관추진중 수직변위량이 약 10mm, 수평변위량 약 4mm이다. 가설지보공 받침설치후 굴착 공정중의 변형은 수직변위량 약 10mm, 수평변위량 약 25mm 정도가 추가로 발생했다.
- ④ 상당량의 변형이 파이프루프 강관압입후 가설지보공 받침설치후 굴착공정에서 발생하며 그 양은 전체 변위량의 50~80% 정도이다.

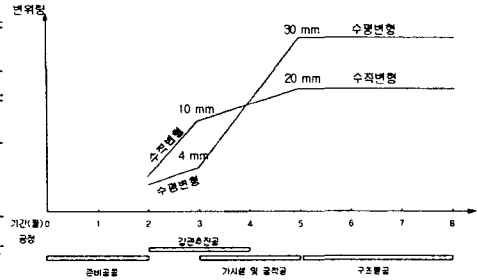


그림 12 공정별 변위추이

### 3.3 경전선 ○○교

경전선 철도교량의 파이프루프 공법 현장에 대한 계측을 수행하였다. 지표침하 계측결과를 표 1에 보였으며, 지표침하판 설치위치와 지표침하량을 각각 그림 13과 그림 14에 나타내었다. 파이프루프공 완료후 구조물공사 공정중 노반 변형 계측치는 단계별 굴착후 구조물 제작 공정중에 발생한 것으로 판단되며 2개월 동안 약 10mm의 점진적인 침하가 발생하였다. 이는 가설지보공 기초의 침하로 인한 것으로 판단된다. 침하량을 살펴보면 지표침하판 J01, J03등의 지하차도 중앙부의 계측값이 지하차도 외측부보다 더 크며 이는 외측부의 가설지보 및 기초는 인접 지반에의 구속조건의 영향으로 중앙부보다 침하가 작은 것을 알 수 있다.

표 1 지표침하 계측결과

위치 날짜	J01	J02	J03	J04
1999. 8. 19	0.0	0.0	0.0	0.0
1999. 8. 25	4.0	2.0	4.0	1.0
1999. 9. 1	7.0	3.0	6.0	3.0
1999. 9. 8	9.0	6.0	7.0	3.0
1999. 9. 15	8.0	5.0	5.0	1.0
1999. 9. 22	8.0	4.0	3.0	2.0
1999. 9. 29	9.0	6.0	4.0	3.0
1999. 10. 6	9.0	5.0	5.0	3.0
1999. 10. 13	10.0	6.0	4.0	3.0
1999. 10. 20	9.0	8.0	5.0	3.0
1999. 10. 27	10.0	8.0	5.0	4.0

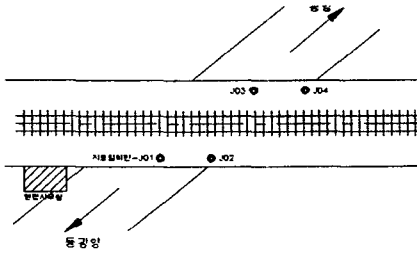


그림 13 지표침하판 설치위치

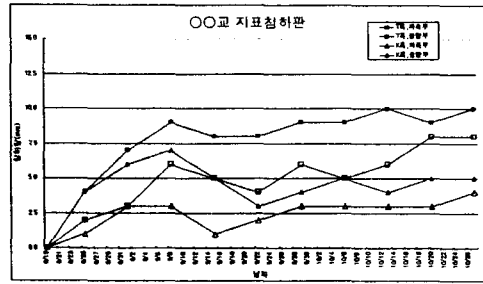


그림 14 지표침하량

이러한 침하는 가설지보의 기초설계시 지반보강에 유의함으로써 줄일수 있다고 판단된다. 국철의 궤도정비기준이 3mm~7mm이므로 수시로 자갈포설에 의하여 철도 운행의 안정성이 유지될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.4 경부선 OO 지하차도

#### 3.4.1 공사현황

택지개발에 의해 조성되는 신시가지의 원활한 교통소통과 주민의 안전한 통행을 확립하기 위해 프론트잭킹 공법(편측, ESA견인방법)을 이용하여 공사를 수행하였다. 복복선이며, 지하차도는 폭 26.9m, 높이 7.5m, 연장 38.0m이다, 토피고는 2.2m~3.2m, 지반은 0~3.5m까지 토사, 3.5~5.5m까지 모래/자갈층, 5.5m~7.0m는 풍화토층이고, 7.5m 이하는 풍화암층이다.

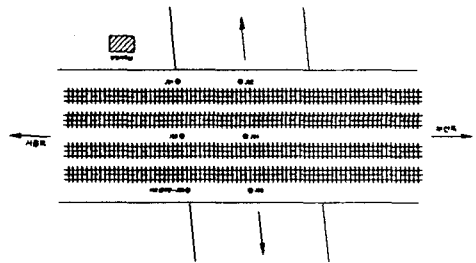


그림 15 지표침하판 설치 위치

#### 3.6.2 계측 및 결과분석

계측은 지표침하판 6개소에 대해 그림 15와 같이 수행하였다. 지하차도 구조물 견인중 지표침하량은 최대 +3~-5mm의 변동폭을 갖는 미소한 변위량이며, 이는 합체 견인시 지반내부의 토사밀립 현상에 의한 지반 용기와 굴착에 의한 침하가 교번으로 발생하는 것으로 추정된다. 지표침하 계측 초기에 침하량의 변동이 크며 이는 철도하부를 통과할 때 노반의 변형이 다소 큰 것으로 판단된다.

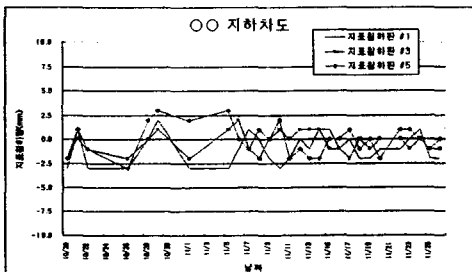


그림 16 구조물 단부의 지표침하량

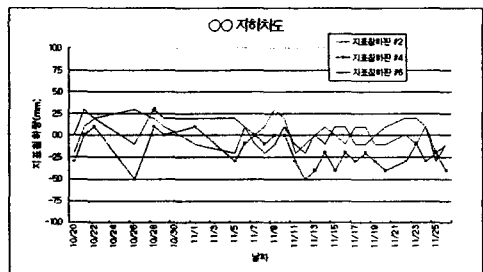


그림 17 구조물 중앙부의 지표침하량

#### 4. 결과 분석

프론트잭킹 공법과 파이프루프 공법의 시공단계별로 측정한 값들을 분석하면 표 2와 같다.

표 2 각 공법의 시공단계별 분석

공 중	프론트잭킹 공법	파이프루프 공법
파이프루프공 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기 강관추진 단계에서 압입강관에 의한 지반이완으로 최종 변위량의 50~60%의 노반변형 발생</li> <li>노반 변위량은 수직변위 1mm 내외로서 매우 미소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>강관 추진 단계에서 압입강관에 의한 지반이완으로 최종 변위량의 50~60%의 노반변형 발생</li> <li>노반 변위량은 10mm 내외로써 미소하나, 궤도정비기준 허용한계치를 초과하므로 자갈 포설 등의 보완조치 필요</li> </ul>
가시설 및 굴착단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>강관압입 후 가시설 및 굴착단계에서 점진적으로 균등한 노반 변형 증가 경향을 보임.</li> <li>추가적인 노반의 수직변위는 0.5mm내외로서 매우 미소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>파이프루프공 하부에 강제받침 설치하고 지반 굴착 시행으로 점진적 노반변형증가</li> <li>추가 노반 변위량은 10mm 내외로서 자갈포설 등의 보완조치 필요</li> </ul>
함체건인 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>함체건인 단계에서의 노반변형은 매우 미소</li> <li>추가 노반 수직 변위는 0.2mm 내외로서 매우 미소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>파이프루프공 하부 강제받침설치 및 지반 굴착완료후 구조물공 시행</li> <li>매우 미소하게 점진적으로 노반변형이 증가하나, 강제받침 바닥상태의 침하에 의해 발생하는 것으로 추정</li> </ul>

#### 5. 결론

본 연구에서는 기 시행된 측량자료와 추가시행된 측량자료를 이용하여 공법별, 공정별 노반의 변위상태를 파악하였다. 그 결과를 검토하여 요약하면 다음과 같다.

- (1) 두 공법 모두 파이프루프공 단계에서 가장 노반변형이 많이 발생되므로, 초기 추진 단계시 지반 이완이 최소화되도록 파이프 막장부의 과굴착에 의한 노반붕괴 유의 및 급속굴진을 금지할 필요가 있다.
- (2) 프론트잭킹 공법의 경우 함체건인 직전 가시설 해체시 급격한 노반 변형 위험으로 주의 깊은 시공조치가 필요하다.
- (3) 파이프루프 공법의 가시설 및 굴착단계에서 강제받침 설치를 위한 지반굴착시, 받침간격과 굴착범위의 적절한 조정으로 노반침하를 최소화 할 수 있으므로 이에 대한 면밀한 시공관리가 필요하다.
- (4) 파이프루프 공법의 구조물공 시행시 급격한 강제받침해체는 과도한 노반변형을 일으킬 가능성이 있다.

#### 참고문헌

1. (株)總合土木研究所, “基礎工”, Vol.14, No.2, 1994.4
2. David N. Cahmpman, “a graphical method for predicting ground movements front pipe jacking”, Proc. Ins. Civ.Engrs. Geotech. Engng, 137, Jan, 87-96, 1999
3. 코오롱건설주식회사 기술연구소, “지하공간구조물의 안정성을 위한 설계 및 시공에 관한 연구”, 1994
4. 배규진, “Umbrella공법에 의한 터널천단부 보강시 주변지반의 거동에 관한 연구”, 한국암반공학회 학술논문집, pp.299-309, Vol.7, 1997
5. 철도청, “주요업무참고자료”, 1997.10