

대구경강관 추진공법에 따른 지반거동 시뮬레이션 Simulation of Ground Behavior induced by Applying Large Diameter Steel Pipe Jacking Method

엄기영*[†], 전상수** , 윤장호*** , 박선규****

Ki-Young Eum*[†], Sang-Soo Jeon** , Jang-Ho Yun*** , Sun-Kyu Park****

Abstract Recent underground structures are constructed under railway track and roadway to develop transportation system of railway and to resolve the problems of traffic congestion. Trenchless method is used to excavate internally filled soils, to take it out of by pressing both steel and angled pipe, and to sequentially connect and bury the pipes. As the pipes are pressed into the ground, the ground surface of roadbed uplifts and settles down which result in ground stability problems. However, the research on ground behavior in this construction condition is insufficiently carried out. Therefore, in this study, a two-dimensional finite element model using the commercial program MIDAS is adopted to perform simulation of ground behavior as large diameter steel pipe jacking methods of both NTR(New Tubular Roof) method and TRcM(Tubular Roof construction Method) are applied. Analysis result of the simulation shows that vertical displacement of roadbed increases as soil depth and train speed increases.

Keywords : Crossing construction under railroad, Stability, NTR method, TRcM method, Settlement

초 록 최근 철도수송 시스템의 발전과 더불어 교통정체 해소를 위해 철도 선로와 도로 하부를 횡단하는 지하구조물이 다수 건설되고 있다. 철도지하횡단공사에서 사용되는 비개착공법은 대부분 강관 또는 각관을 지중에 압입시켜 관 내부의 토사를 굴착, 반출을 하면서 순차적으로 관을 이어 매설하는 방식으로 시공된다. 관이 지중에 관입되면 노반상부에는 융기 또는 침하현상으로 인한 지반 안정성 문제를 일으킨다. 그럼에도 불구하고 강관 압입에 따른 지반 거동특성 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 유한요소해석 프로그램 MIDAS-GTS를 이용하여 대구경강관 추진공법인 NTR(New Tubular Roof)공법과 TRcM(Tubular Roof construction Method)공법에서의 지반거동 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 분석 결과 열차하중이 재하된 경우 노반 연직변위량은 동일한 열차 속도인 경우 토피고가가 높고 열차 속도가 빠를수록 증가하는 것으로 나타났다.

주요어 : 철도지하횡단공사, 안정성, NTR공법, TRcM공법, 침하

1. 서 론

최근 들어 철도수송 시스템의 발전과 더불어 교통정체 해소를 위해 철도 선로와 도로

† 교신저자: 한국철도기술연구원 첨단인프라연구팀(kyeum@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 첨단인프라연구팀

** 인제대학교 공과대학 토목도시공학부

*** 한국철도기술연구원 대륙철도연계연구팀

**** 성균관대학교 공과대학 건설환경공학부

하부를 횡단하는 지하구조물이 다수 시공되고 있다. 철도지하횡단공사에서 많이 사용되는 비개착공법 중에서 관이 지중에 관입되면 노반상부에는 관내 토사의 제거가 부족하거나 지장물과의 접촉, 주변 원지반의 마찰에 의해 과도한 추진압이 발생할 때 융기현상이 나타나며, 이와 반대로 토사 제거량이 과다하거나 지장물과의 접촉에 의한 융기 후의 후속침하가 발생하는 경우 침하현상이 빈번히 발생한다. 융기 또는 침하현상은 지반의 안정성 저하를 초래하지만, 고도의 안정성 확보가 필수적으로 요구되는 철도 선로의 지하횡단공사에서 강관압입시 지반 거동특성에 대한 연구가 부족한 실정이다[1,2].

본 연구에서는 유한요소해석 프로그램 MIDAS-GTS를 이용하여 비개착공법 중 대구경강관 추진공법인 NTR(New Tubular Roof)공법[3]과 TRcM(Tubular Roof construction Method)공법[4]에서의 지반거동 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

2. 이차원 시뮬레이션 해석

2.1 시뮬레이션 해석조건

2.1.1 Box 구조물 모식도

본 연구에서 유한요소해석 프로그램인 MIDAS-GTS를 이용하여 기존 경부선 입체화공사를 대상으로 대구경강관 추진공법인 NTR공법과 TRcM공법에서의 지반거동 시뮬레이션 분석을 실시하였다. Fig. 1은 기존 경부선 입체화공사의 지하차도 Box 구조물을 나타낸 것이다. 상부노반 조건은 경부선 본선이며, 구조물 연장 L=15.0m이다.

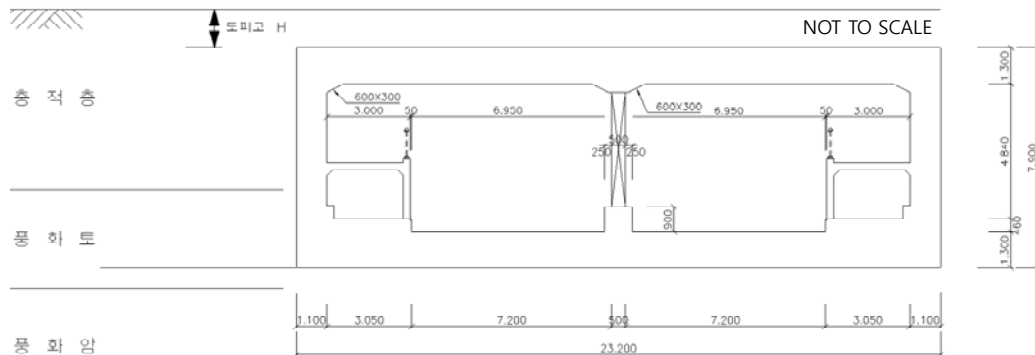


Fig. 1 Configuration of box structure

2.1.2 지반 물성치

MIDAS-GTS를 이용한 시뮬레이션 분석에 사용된 지반 물성치는 Table 1과 같다. 지반은 층적층(H=6.5m), 풍화토(H=3.5m), 풍화암(H=6.8m)을 적용하였다.

2.1.3 매개변수 선정

안정성 검토를 위한 매개변수는 Table 2와 같으며, 토피고(H) 및 열차운행속도를 선정하여 노반에 미치는 영향을 검토하였다.

Table 1 Physical properties of soil

	Height (m)	Unit weight (t/m ³)	Cohesion (t/m ²)	Friction angle (°)	Modulus of deformation (t/m ²)	Poisson's ratio (ν)
Alluvium	6.5	1.83	-	30	1,325.2	0.35
Weathered soil	3.5	1.94	1.02	32	2,140.7	0.33
Weathered rock	6.8	2.04	2.04	33	30,581.0	0.30

Table 2 Parameter of stability analysis

Soil depth (H) (m)	Train load (V)	
	Dead load (km/h)	Live load (km/h)
H=1.5, 2.0	V=0.0	V=40, 60, 80

2.1.4 열차하중

지하횡단 Box 구조물에 작용하는 하중을 레일 및 침목 등의 고정하중과 열차운행속도별 충격계수(i)를 고려한 활하중을 고려하여 산정한 적용하중을 Table 3에 나타내었다. 열차운행속도별 충격계수(i)는 식(1)과 같이 산정하였다[5].

$$\text{Impact factor (i)} = 1 + \frac{0.513V}{100} \quad (1)$$

Table 3 Working load associated with operating train speed

Operating train speed (V) (km/h)	Impact factor (i)	Working load (t/m ²)
0	1.000	4.51
40	1.205	5.23
60	1.308	5.60
80	1.410	5.96

2.2 NTR공법 지표침하

2.2.1 해석 단계별 모델링

대구경강관 추진공법인 NTR공법의 지반거동 해석을 위한 단면도를 Fig. 2에 나타내었으며, 해석단계별 시공내용은 Table 4와 같다.

2.2.2 지표침하 분석

NTR공법을 적용한 지하횡단공사 Box 구조물 중앙부 상단 지표에서의 토피고 1.5m와 2.0m에 따른 지표 침하 형상을 Fig. 3와 Fig. 4에 나타내었다. 토피고 2.0m, 열차속도 80km/h인 경우 수치해석을 통해 얻은 지표면의 최대 연직변위는 14.54mm로 나타났다.

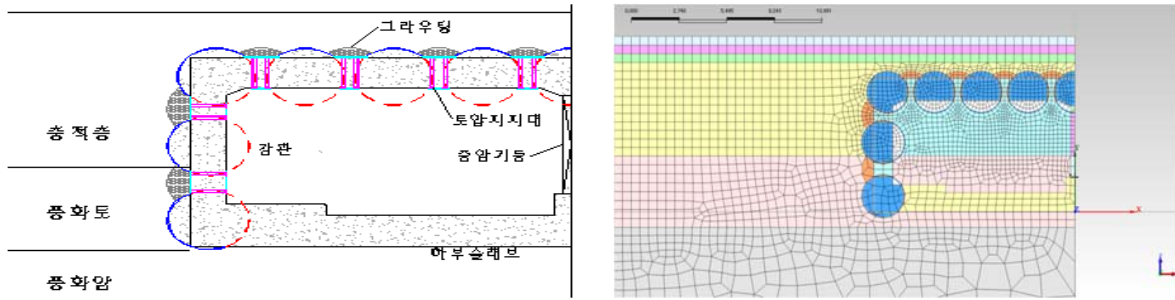


Fig. 2 NTR method used for numerical analysis

Table 4 Construction in each stage for applied NTR method

해석단계	시공내용
Construction Stage #1 (initial stage)	초기화 단계 및 철도하중 재하
Construction Stage #2	NTR 강관 압입 및 내부굴착
Construction Stage #3	강관 외부 그라우팅
Construction Stage #4	강관 내 토압지지대 설치 및 강관 설치
Construction Stage #5	Box 구조물 콘크리트 타설
Construction Stage #6	1차 내부굴착
Construction Stage #7	2차 내부굴착
Construction Stage #8	3차 내부굴착
Construction Stage #9	바닥슬래브 및 중앙기둥 설치

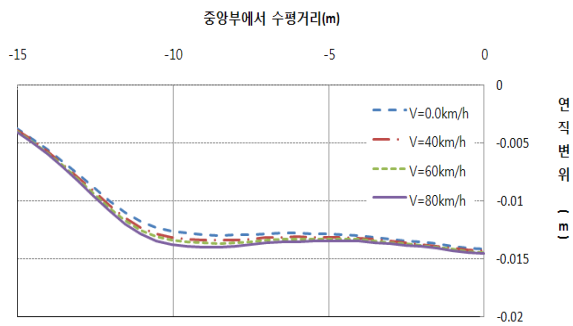


Fig. 3 Analysis of ground settlement for soil depth(H) = 2.0m

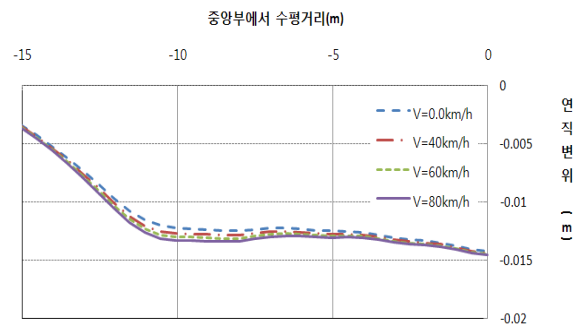


Fig. 4 Analysis of ground settlement for soil depth(H) = 1.5m

2.3 TRcM공법 지표침하

2.3.1 해석 단계별 모델링

대구경강관 추진공법인 TRcM공법의 지반거동 해석을 위한 단면도를 Fig. 5에 나타내었으며, 해석단계별 시공내용은 Table 5와 같다.

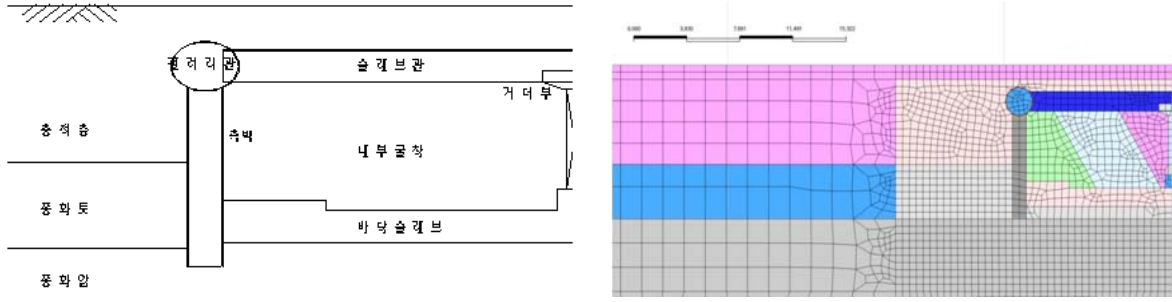


Fig. 5 TRcM method used for numerical analysis

Table 5 Construction in each stage for applied TRcM method

해석단계	시공내용
Construction Stage #1 (initial stage)	초기화 단계 및 철도하중 재하
Construction Stage #2	TRcM 강관 압입 및 내부굴착
Construction Stage #3	강관 외부 그라우팅
Construction Stage #4	강관 내 토압지지대 설치 및 강관 설치
Construction Stage #5	Box 구조물 콘크리트 타설
Construction Stage #6	1차 내부굴착
Construction Stage #7	2차 내부굴착
Construction Stage #8	3차 내부굴착
Construction Stage #9	바닥슬래브 및 중앙기둥 설치

2.3.2 지표침하 분석

TRcM공법을 적용한 지하횡단공사 Box 구조물 중앙부 상단 지표에서의 토피고 1.5m와 2.0m에 따른 지표 침하 형상을 Fig. 6와 Fig. 7에 나타내었다. 토피고 2.0m, 열차속도 80km/h인 경우 수치해석을 통해 얻은 지표면의 최대 연직변위는 30.86mm로 나타났다.

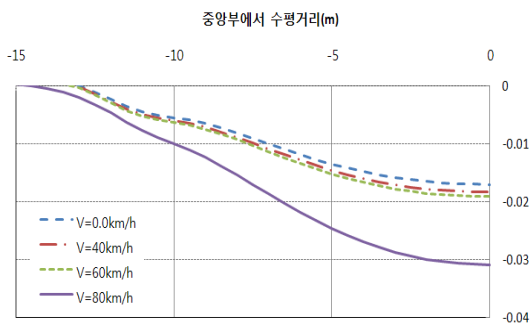


Fig. 6 Analysis of ground settlement for soil depth(H) = 2.0m

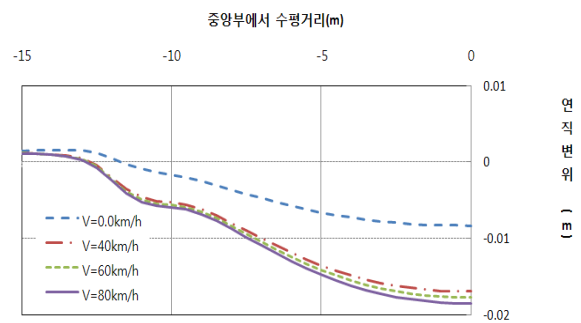


Fig. 7 Analysis of ground settlement for soil depth(H) = 1.5m

3. 결 론

본 연구에서는 유한요소해석 프로그램 MIDAS-GTS를 이용, 기존 경부선 입체화공사를 대상으로 대구경강관 추진공법인 NTR공법과 TRcM공법 적용시 지반거동 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 먼저, NTR공법 적용시 지표면의 최대 연직변위는 토피고 2.0m, 열차속도 80km/h인 경우 14.54mm로 나타났으며, TRcM공법 또한 토피고 2.0m, 열차속도 80km/h인 경우 30.86mm로 최대 연직변위가 발생하였으며, 철도지하횡단공사 대구경강관 추진공법인 NTR공법과 TRcM공법에 대하여 열차하중이 재하된 경우 노반 연직변위량은 동일한 열차 속도인 경우 토피고가 높을수록, 동일한 토피고인 경우 열차 속도가 빠를수록 증가하는 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] S.W. Park, H.K. Kim, H.I. Park (2001) Estimation of Effect for Vibration and Displacement Occurred by Steel Tube Jacked under Railroad, *Autumn conference & Annual meeting of Korea Society for railway*, Suwon, Korea, pp. 568-577.
- [2] Y.S. Park, E.R. Kim, S.J. Park, S.M. Choi (2012) Measuring of vibration due to the procedure of steel pipe injection and effects evaluation on railway roadbed, *Autumn conference & Annual meeting of Korea Society for railway*, Gyeongju, Korea, pp. 280-284.
- [3] K.G. Kim, K.H. Kim, H.J. Kim, S.H. Lee (2009) A Study on the Structural Safety for the Non-Open excavation method by Using Steel Tubular Roof, *Korean Society of Societal Security*, 2(4), pp. 49-57.
- [4] W.G. Lee, S.B. Lee, R.C. Lee, M.I. Kim (2004) A Study on the Damage Reinforcement of Gallery Pipes Under the Ground Subjected to Various Railways loads, *Autumn conference of Korea Society for railway*, Seoul, Korea, pp. 277-282.
- [5] J.H. Um, Y.H. You, K.I. Eum (2003) Evaluation of Track Impact Factor in the Conventional Line, *Journal of the Korean Society for Railway*, 6(4), pp. 88-104.