

B.T.R공법의 적용 시 안전에 관한 연구

A Study on the Safety in the Application of B.T.R method

이 원 희* · 정 광 모** · 방 명 석*** · 이 상 현****

Abstract

본 논문에서는 비개착 지하구조물 형성 공법의 하나인 BTR 공법에 대해 안전성을 평가하기 위해 수치해석을 실시하였다. 이를 위해 BTR 공법의 보강요소를 개별적으로 모델링하여 이산화해석을 실시하였고 면적비를 고려한 균질화 기법을 도입한 균질화 해석을 수행하여 지반에 발생하는 변위를 비교함으로써 균질화기법 적용의 타당성을 확인하였다. 해석 결과 이산화 해석과 균질화 해석은 변위발생 양상이 유사한 결과를 갖는 것을 알 수 있었다.

In this study numerical analysis was performed to evaluate the safety of Built-in Timbering Roof Type Tunnelling Method(BTR) which is one of non-opening tunnel construction methods. For the upgrading of analytical precision was applied the discretion method which can separately model reinforcing elements of BTR and the homogeneity analysis considering the area ratio of elements was performed to compare both results. Comparing the displacement in this study with that of the homogeneity method, the efficiency of the discretion method was verified.

Keywords: Homogenization, Existent Finite Element, Safety, Displacement

* 충주대학교 안전공학과, (주)삼보굴착
** 충주대학교 안전공학과, (주)한국종합기술공사
*** 충주대학교 안전공학과
**** (주)의성이엔씨(E&C)

1. 서 론

산업화와 도시화에 의한 인구의 폭발적인 증가로 차량의 폭증과 교통난은 도로혼잡, 생산효율저하, 환경문제 등 그 문제가 매우 심각하다. 그러므로 이와 같은 문제점들을 효과적으로 개선하기 위해서는 지하구조물의 개발이 필수적이며, 지하도로 시설의 확충이 요구되므로 터널의 시공법이 다양하게 개발되어지고 있다.

또한 터널굴착 시 인접구조물의 손상과 붕괴사고는 경제적 손실과 막대한 시간 낭비를 가져올 수 있고 인사사고까지 발생되어 심각한 사회문제로 대두될 수 있다. 따라서 지반조건이 취약한 곳에서는 굴착의 안전성 확보를 위한 터널보조공법의 선택이 중요한 의미를 갖게 된다. 본 논문에서 연구된 B.T.R(Built-in Timbering Roof Type Tunnelling Method) 공법은 비개착 지하구조물 형성 시 굴착면 내부의 안정성 및 최소의 굴착단면을 확보하기 위하여 파이프루프로 형성된 강관 일부를 절개한 후 강관 절개부에 강지보재를 매립하여 상부 토압을 지지하며 토사를 굴착하여 구조물을 완성시키는 친환경적인 비굴착 터널 공법이다. 이에 본 연구에서는 3차원 탄소성 유한요소코드를 이용하여 B.T.R 공법에 대한 적용성 연구를 수행하고자 한다.

2. 본 론

2.1 연구 내용 및 방법

탄소성 유한요소코드를 이용하여 다음과 같은 연구를 수행하였다. 첫째, 지반을 실제 상황에 맞게 가정하여 B.T.R 공법의 보강요소를 개별적으로 모델링하여 이산화해석을 실시하였고, 둘째로 면적비를 고려한 균질화 기법을 도입한 균질화 해석을 수행하여 지반에 발생하는 변위를 비교함으로써 균질화 기법 적용의 타당성을 확인하였다. 여기서, 균질화 해석을 실시하는 이유는 이산화 해석이 너무 복잡한 모델링 과정을 필요로 하기 때문이다. 해석 대상 단면은 시공이 예상되는 지반으로써 계측기가 설치될 영역으로 안전을 위해 지반의 토피고가 가장 높은 단면을 선정하였다.

2.2 수치 해석

수치해석에서는 탄소성 해석개념을 도입하고 있으며, 사용 요소로서 지반요소는 20절점치 8절점육면체 요소 15 절점 및 6절점 프리즘 요소, 4절점 삼각뿔 요소가 있으며, 그 외 구조요소로 4절점 및 3절점 쉘 요소, 2절점 트러스 요소, 2절점 스프링 요소를 사용할 수 있다.

또한 Mohr-Coulomb 항복기준에 의거하여 탄성/완전소성 재료 모델을 사용하였으며 하중 증분법과 접선강도법을 이용하였고 소성상태에서의 증분변형에 대한 유도식은 직교조건 및 상관흐름법칙을 적용하였다. 소성변형과 응력과의 관계는 변형증분이론을 근거로 하였으며, 각 응력 경로에 따른 응력-변형관계식을 적용하였다.

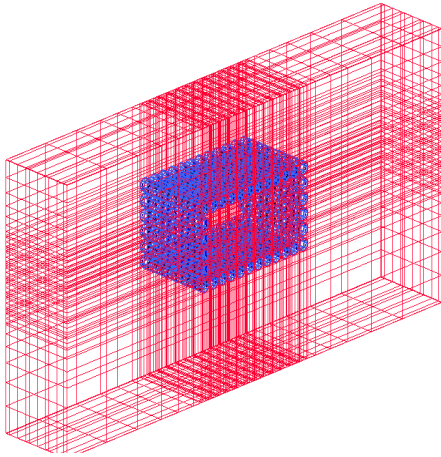


그림 1. 3D 모델링(이산화)

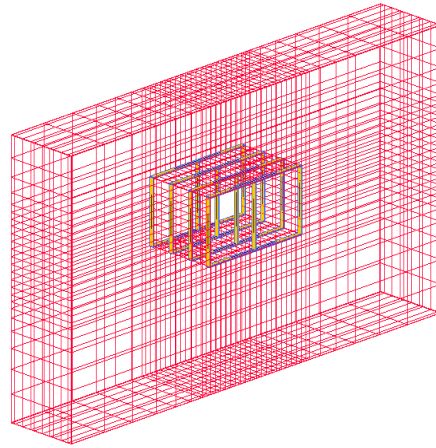


그림 2. 3D 모델링(균질화)

모델링은 현장상황을 그대로 재현한 이산화 해석(폴모델링)과 이를 균질화하여 다시 모델링한 경우로 구분하였다. 이때 각 굴착단계는 지보공을 설치하기위해 시공상 문제가 없도록 지보공 설치위치보다 1m 정도 더 굴착하였을 경우를 단계로 구분하였다.

그 후 지보공을 각 굴착이 완료된 후 설치하는 것으로 하여 시공단계를 구분하였다. 단계별 안정성을 평가하기 위해 표 1에 보여 지는 것과 같이 수치해석에 적용된 시공 단계를 나타내었다.

표 1. 시공단계

Stage	Construction
Stage 1	초기상태
Stage 2	굴착 1단계
Stage 3	강관 절취
Stage 4	1단계 지보공 설치
Stage 5	굴착 2단계
Stage 6	강관 절취
Stage 7	2단계 지보공 설치
Stage 8	굴착 3단계
Stage 9	강관 절취
Stage 10	3단계 지보공 설치
Stage 11	굴착 4단계
Stage 12	강관 절취
Stage 13	4단계 지보공 설치

다음 표 2와 3는 해석에 적용된 요소를 정리하였다.

표 2. 해석에 적용된 지반요소

Parameters	Unit weight (tf/m ³)	Cohesion (tf/m ²)	Friction angle (°)	Elastic modulus (tf/m ²)
Soil	1.9	1.5	35	7000
Grouting Area	2.0	15	35	70000

표 3. 해석에 적용된 강재 요소

Parameters	Elastic modulus	Poisson's ratio	Unit weight
Angle	2.1×10 ⁷ tf/m ²	0.3	7.85tf/m ³
Steel Pipe	1.5×10 ⁶ tf/m ²	0.3	2.35tf/m ³

2.3 해석 결과

본 절에서는 앞에서 설명한 입력자료와 모델링 방법을 이용하여 수치해석을 실시하였다. 해석 결과는 상부도로 및 철도 등의 안정성 평가의 기준으로 적용하기 위해 연직 변위를 중심으로 수치해석이 수행되었다. 특히 연직 변위 중 강관 구조물의 천단부 변위(이하 구조물천단변위)와 최상부 지반변위(이하 지반변위) 값 중 최대값을 기준으로 값을 산출하였다.

2.3.1 이산화 해석

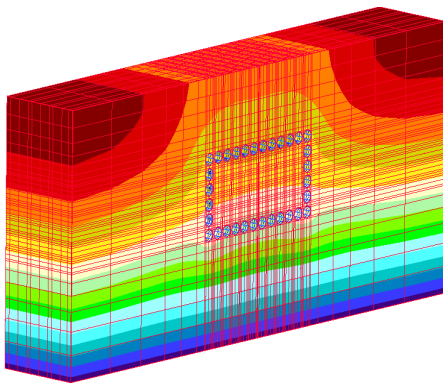


그림 3. 초기조건에 의한 해석 결과

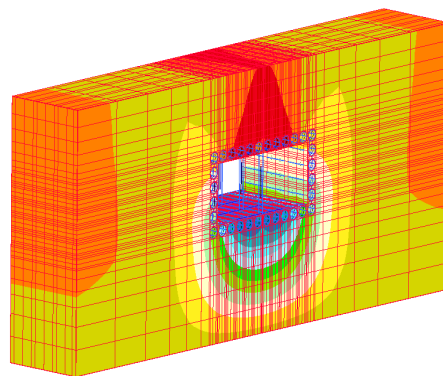


그림 4. 최종 단계에서의 해석결과

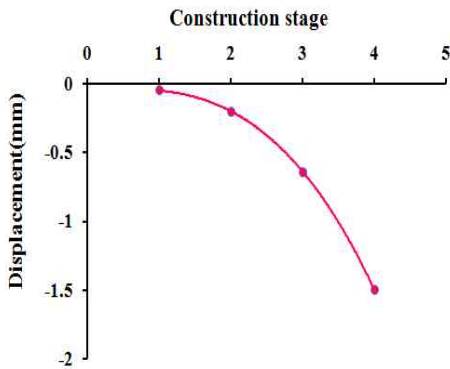


그림 5. 지반변위(이산화해석)

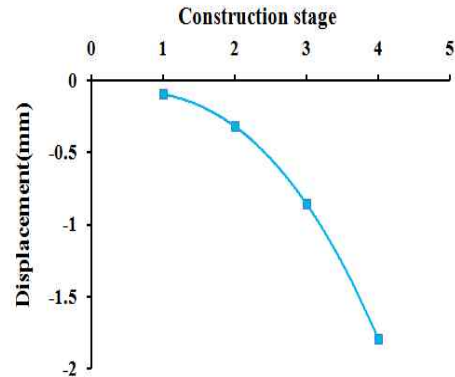


그림 6. 구조물천단변위(이산화해석)

그림 5에서 보는 바와 같이 최상부 지반부의 연직 변위는 시공단계가 진행될수록 0.05~1.5mm 증가되었다. 또한 전체적인 변위량은 단계별로 일정하게 증가하는 것을 알 수 있었으며, 최종 굴착단계에서 가장 큰 변위가 발생하는 것으로 나타났다. 그림 6에서 구조물천단변위는 0.1~1.8mm 발생했으며 그 변위경향은 지반변위와 유사한 형태를 나타냈다. 또한 그림 7에서 지반변위가 구조물 천단변위보다 20%정도 적은 값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 굴착면에 인접해 있는 구조물 천단부가 상부 지반부보다 굴착의 영향을 직접적으로 더 많이 받기 때문인 것으로 판단되었다. 그러나 전체적인 변위 양상은 매우 유사하게 나타났다.

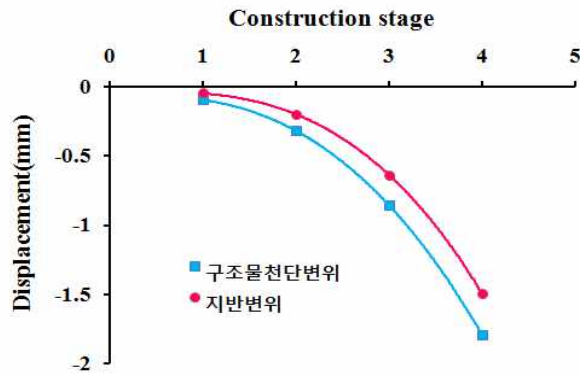


그림. 7 변위비교

2.3.2 균질화 해석

본 절에서는 B.T.R 공법에 의한 지반 물성의 증가를 등가변형계수의 개념을 적용하였으며, 이렇게 적용하여 해석에서 구한 지반의 변형 정보와 이산화 해석 값을 비교·분석함으로써 등가변형계수의 개념의 적정성 여부를 판단해 보고자 한다.

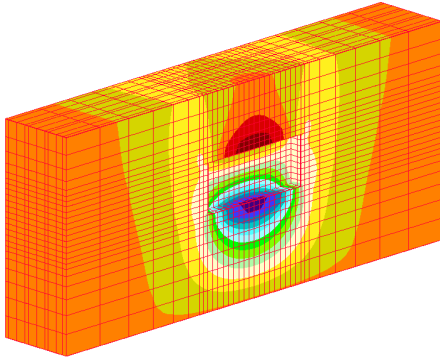


그림 8. 초기단계의 해석결과(균질화)

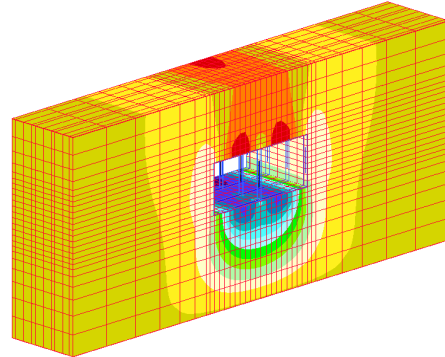


그림 9. 최종단계 해석결과(균질화)

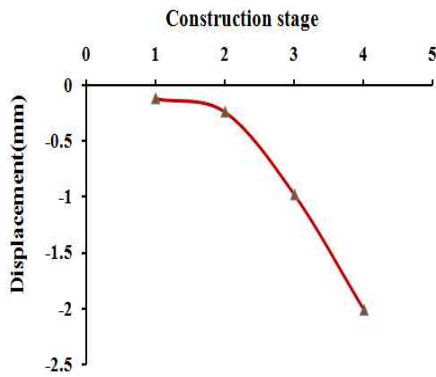


그림 10. 지반변위

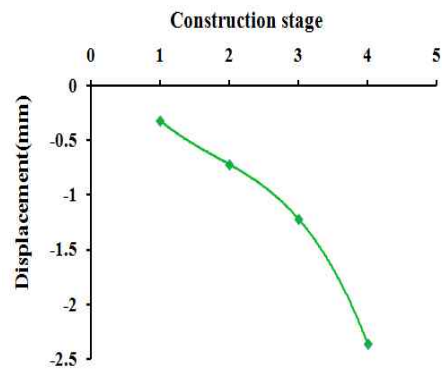


그림 11. 구조물천단변위

그림 10과 11은 균질화 시킨 지반의 변위를 시공단계를 변화하여 나타낸 것으로, 지반변위의 경우 0.12~2.01mm 변위가 발생하였고 구조물천단변위의 경우 0.32~2.36mm의 변위가 발생하였다. 두 경우 모두 변위양상이 유사한 것으로 나타났다.

굴착 1단계에서 굴착 후 지보공 설치까지의 연직변화는 거의 변화가 발생하지 않았고 변위량도 매우 적게 발생하였다. 굴착 2단계에서는 굴착 1단계에서와 같이 거의 변화가 발생하지 않았다. 그러나 1단계 굴착단계에 비해 연직변위량이 증가하였다. 또한 이산화에서의 변위 경향과 다른 양상을 나타내는데 이는 강관의 강성을 균질화에서는 동일한 탄성계수로 적용하였기 때문에 이와 같은 양상이 발생된 것으로 판단되었다.

굴착 3단계와 굴착 4단계의 경우도 앞의 경우와 마찬가지로 굴착에 따른 변위량 증가는 지속적으로 발생하는 것으로 나타났다.

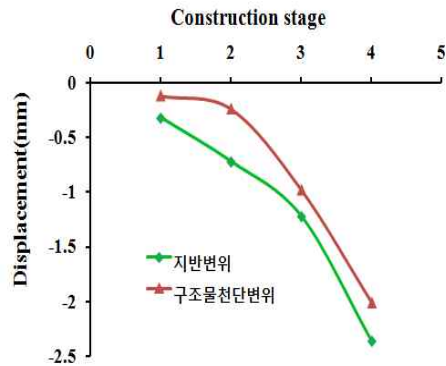


그림 12. 변위 비교

그림 12는 지반 변위와 구조물천단변위를 동시에 나타낸 것으로 구조물천단변위가 최대값을 기준으로 17% 정도 큰 변위 값을 갖는 것을 알 수 있었다. 이 경우 역시 앞의 이산화 해석과 마찬가지로 구조물에 인접하여 굴착의 영향을 더 많이 받기 때문인 것으로 판단되었다.

2.3.3 변위 값 비교

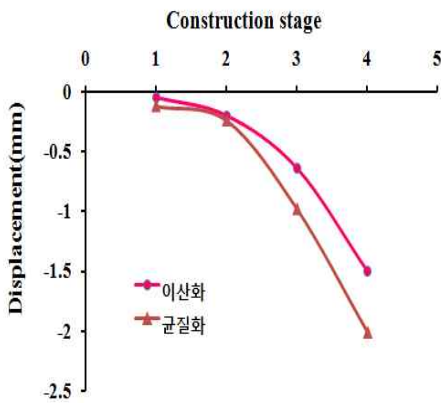


그림 13. 지반변위 비교

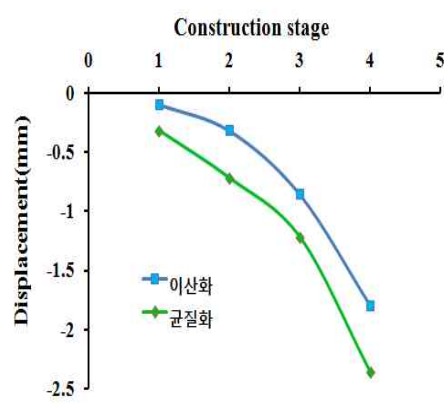


그림 14. 구조물천단변위 비교

그림 13, 14는 이산화에 의한 변위량과 균질화에 의한 변위를 지반변위와 구조물천단변위로 나누어 나타낸 것으로 변위 값은 약간 차이가 나나 전체적인 변화 양상은 유사하게 나타났다. 따라서 면적비를 이용한 균질화 해석을 이산화 해석에 대신하여 적용해도 될 것으로 판단되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 기존 도로 및 철도 지반에 통로용 터널 구축 시 구조물의 안정성 검증을 위하여 현장 상황을 그대로 모사한 이산화 해석과 면적비에 의한 균질화 해석을 실시하였고 이를 상호 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 이산화 해석과 균질화 해석 모두에서 초기 굴착단계에 비해 굴착단계가 진행됨에 따라 구조물 천단변위와 지반변위 변위량이 크게 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 굴착 전면에 위치하는 원지반의 저항력에 의한 것으로 판단되었다.

2) 이산화 해석과 균질화 해석 모두 구조물 천단변위가 지반변위에 비해 큰 변위량을 나타냈으며 이는 굴착면에 인접한 구조물 천단부가 더 많은 굴착 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다.

3) 균질화 해석에서는 구조물 천단부에서 굴착 2단계일 때 연직변위량이 크게 증가하는데, 이는 강관의 강성을 균질화에서는 동일한 탄성계수로 적용하였기 때문에 이와 같은 양상이 발생된 것으로 판단되었다.

4) 지반과 강관 및 그라우팅 요소를 독립적인 요소로 보고 수치해석을 실시한 이산화 해석방법과 구성요소를 면적비와 탄성계수를 이용하여 균질화 해석한 결과, 연직변위를 중심으로 유사한 해석 결과가 나오는 것을 알 수 있었다. 따라서 면적비를 이용한 균질화 해석을 이산화 해석에 대신하여 적용해도 될 것으로 판단되었다.

4. 참 고 문 헌

- [1] 황선균, “터널 보조공법(강관 다단) 수치해석과 현장계측의 비교연구,” 부경대학교 대학원, 2004.
- [2] 김정수, “RPUM 강관의 최적 설계에 관한 연구,” 서울산업대학교 대학원, 2006.
- [3] 김세호, “터널 강관 다단 그라우팅 공법의 합리적인 수치해석을 위한 균질화 기법의 적용성 연구,” 한양대학교 대학원, 2007.
- [4] 이현범, “터널 굴진에 의한 3차원 지반거동의 2차원적 해석방법”, 부경대학교 대학원, 2004.
- [5] 이봉렬, 김광진, 김학문, “비선형 유한요소법을 이용한 터널해석 및 효율성평가”, 한국토목학회논문집, 1994.
- [6] 윤지선, “NATM 공법의 조사·설계·시공,” 도설출판 새론, 1994.
- [7] 배규진, 신휴성, 최용기, “터널 보강용 강관 다단 그라우팅 공법의 이방성 복아 메카니즘 규명에 관한 연구” 한국지반공학회논문집, 2003.
- [8] Duncan, J.M. Behaviour and Design of Metal Culvert Structures, ASCE Journal of Geotechnical Division. 105(GT3), pp. 399-417, 1979.
- [9] Duncan, J.M and Chang, C.Y. Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils, ASCE Journal of Geotechnical Division, 95(GM5), pp. 1629-1653, 1970.