

수치해석에 의한 암반특성의 변화가 터널에 미치는 영향  
Effect of the Rock Characteristics Condition on the Behavior of Tunnel  
by Numerical Analysis

권순섭.\*                      이종선\*\*                      김경효\*\*\*                      이준우\*\*\*\*  
Kwon, Soon-Sub              Lee, Jong-Sun              Kim, Kyoung-Ho              Lee, Jun-Woo

ABSTRACT

The selection of the support system is an important design parameter in design and construction of the tunnel using the new Australian tunnel method. It is a common practice to select the support based on the rock mass grade, in which the rock mass is classified into five rock groups. The method is applicable if the characteristics of the rock mass are uniform in the direction of tunnel excavation. However, such case is seldom encountered in practice and not applicable when the properties vary along the longitudinal direction. This study performs comprehensive three dimensional finite difference analyses to investigate the ground deformation pattern for cases in which the rock mass properties change in the direction of the tunnel axis. The numerically calculated displacements at the tunnel crown show that the displacement is highly dependent on the stiffness contrast of the rock masses. The results strongly indicate the need to select the support type 0.5~1.0D before the rock mass boundary. The paper proposes a new guideline for selecting the support type based the results of the analyses.

1. 서 론

국내에서 터널 설계시 암반의 물리적, 역학적 특성에 따라서 5~6개의 암반등급으로 분류한 후 터널의 용도 및 특성을 고려하여 지보시스템을 결정하게 된다. 그러나 이와 같은 방법은 암반의 특성이 균일하다는 가정을 하고 있으며 암반특성이 종방향으로 변화될 경우 이에 대한 지보시스템의 결정이 달라져야 한다. 본 연구는 3차원 수치해석 프로그램(FLAC3D)을 이용하여 NATM 터널시공시 암반특성의 종방향 변화가 암반분류 및 지보시스템 결정에 미치는 영향을 파악하고자 총 14Case를 현장의 시공순서를 고려한 해석을 수행하였다.

2. 해석 조건

2.1 지반 물성치

지반 물성치는 수치해석 결과에 가장 큰영향을 미치는 영향인자로서 물성치 결정에 신중을 기하고자 국내에서 최근 Turn-Key방식으로 발주된 공사 6건(부산상수도사업본부, 2002 ; 부산지방국토관리청, 2002, 2003 ; 부산지방해양수산청, 2003 ; 한국고속철도공단, 2002, 2003)의 주암종인 안산암을 선정하였

\* 남광토건(주), 토목사업본부 상무이사, 정회원

E-mail : [20064885@namkwang.co.kr](mailto:20064885@namkwang.co.kr)

TEL : (02)3011-0372 FAX : (02)3011-0469

\*\* 남광토건(주), 토목사업본부 토목기술팀 팀장, 비회원

\*\*\* 남광토건(주), 토목사업본부 토목기술팀 차장, 비회원

\*\*\*\* 남광토건(주), 토목사업본부 토목기술팀 대리, 비회원

으며, 암반등급별 물성치의 최대치 및 최소치를 제외한 평균값을 보수적으로 적용하였다(표 1).

표 1. 해석에 적용된 지반 물성치

암반등급	단위중량( $t/m^3$ )	변형계수(MPa)	프와송비	점착력(kPa)	내부마찰각( $^\circ$ )
1	2.70	1.95E4	0.20	6.7E3	47
2	2.60	9.70E4	0.22	3.8E3	44
3	2.50	5.40E3	0.25	1.7E3	40
4	2.30	1.40E3	0.28	5.0E2	34
5	2.00	3.30E2	0.30	1.4E2	30

## 2.2 단면 및 지보패턴

터널단면은 경부고속철도 2단계 구간중 제13-3공구의 원호터널에 적용된 것으로 굴착단면적은  $89.815m^2$  에 폭 11.126m, 높이 8.420m로써 유효직경(D)이 약 10m인 단면을 적용하였으며(그림 1), 지보패턴은 국내터널에서 가장 많이 적용되는 표준지보패턴을 선정하였다(표 2).

## 2.3 해석영역 및 축압계수

본 연구에서는 터널설계기준(대한터널협회, 1999)을 참고하여 측면의 해석범위를 터널유효 직경(D)의 4.5D, 상부로는 지표면까지, 하부로는 3D까지를 모델링 하였다. 그러나, 종방향에 대한 해석범위의 제한이 없어서 천단침하 측정지점을 기준으로 전·후방 2D~4D까지 확장하여 예비해석을 실시한 결과, 3D 이상에서는 천단부 침하형상이 안정화 되는 것으로 판단되어, 전·후방 3D를 종방향 해석범위로 설정하였다(그림 2). 또한, 축압계수는 수압파쇄시험, AE, DRA 시험 등을 통하여 산출한 것을 보정한 것으로 심도가 100m인 점을 감안하여 2.0으로 설정하였다.

표 2. 해석에 적용된 표준지보패턴

구분	지보패턴 1	지보패턴 2	지보패턴 3	지보패턴 4	지보패턴 5
굴착 방식	전단면	전단면	전단면	상·하분할	상·하분할
굴진장	상반	3.5m	3.5m	1.5m	1.2m
	하반			3.0m	1.2m
벤치장	-	-	-	20m	20m
숫크리트 두께	5cm	5cm	8cm	12cm	16cm
록볼트	길이	3.0m	3.0m	4.0m	4.0m
	종방향 간격	Random	3.5m	2.0m	1.5m
	횡방향 간격	Random	2.0m	1.5m	1.5m

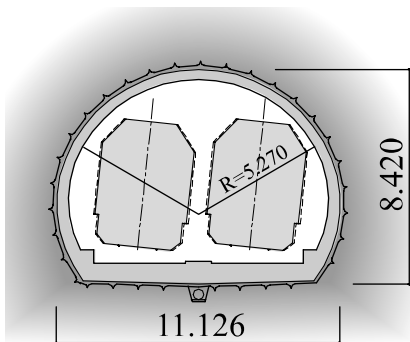


그림 1. 터널 단면

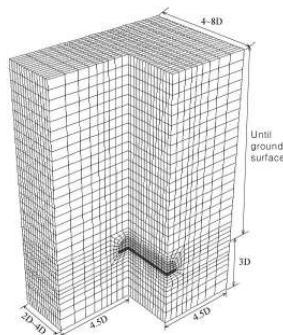
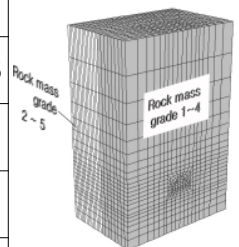


그림 2. 예비해석

표 3. 해석 Case

전방의 암반등급	후방의 암반등급	Rock mass grade
1	1, 2, 3, 4, 5	2~5
2	2, 3, 4, 5	1~4
3	3, 4, 5	
4	4, 5	



## 2.4 해석모델 및 해석순서

해석모델은 Mohr-Coulomb 파괴기준을 적용하였으며, 해석순서는 암반등급에 해당되는 지보패턴을 선정하여 실제 시공과정과 유사하게 굴착 다음단계에서 연성숫크리트 및 록볼트를 설치하고, 7일(단계) 간의 양생과정후에 강성숫크리트로 변화하도록 하였으며, 지보패턴 4, 5의 경우는 상·하반의 벤치장을 고려하였다.

## 2.5 암반특성의 종방향 변화

터널 시공중 유리한 암반에서 상대적으로 불리한 암반으로 굴착이 진행될 경우 경계부 주변의 응력집중으로 인한 거동을 파악하고자 각각의 암반등급에서 전방에 유리한 암반, 후방에 불리한 암반을 모델링하여 총 14Case를 수치해석으로 수행하였으며, 편의상 1&2(1 : 전방의 암반등급, 2: 후방의 암반등급)와 같이 표기하고자 한다(표 3).

## 3. 해석 결과

본 연구는 NATM 터널시공시 암반특성의 종방향 변화가 암반분류 및 지보시스템 결정에 미치는 영향을 파악하고자 3차원 수치해석 프로그램(FLAC3D)을 이용하여 해석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 터널막장 전방에 불리한 암반이 존재할 경우에 이를 예측하기 위하여 수많은 방법들이 제안되었으나, 본 연구에서는 암반특성의 종방향적 변화에 대한 결과 분석을 위하여 터널막장 전방에 파쇄대 혹은 연약대를 추정하는 방법으로써, Schubert and Budil(1995)가 제안한 영향선과 경향선의 개념을 도입하여 판단할 수 있었다.
2. 여기서, 터널의 천단 침하량을 같은 시간에 각기 다른 측정지점에서 측정한 변위를 하나의 선으로 연결한 것으로써, 굴착단계마다 생성되는 선을 영향선(Influence Line)이라 하고, 영향선의 시작점에서 같은 거리(본 연구에서는 굴진장으로 설정함)만큼 떨어진 값들을 연결한 선을 경향선(Trend Line)이라고 정의하였다.
3. 암반특성의 종방향 변화시 전후방 암반의 강성차이가 작은 경우에는 암반경계층을 기준으로 0.3D 내외, 강성차이가 큰 경우에는 0.7D내외의 범위에서 아칭효과(응력전이)로 인하여 유리한 암반등급의 거동과는 다르므로 암반특성에 따라서 암반경계층을 기준으로 0.5D~1.0D구간을 안전측(보수적)으로 평가하여 설계에 반영하거나, 지보패턴을 하향 조정하는 것이 지보보강공법 보다 시공성, 작업효율성, 공사기간 등의 측면에서 효과적일 것으로 판단된다(그림 3~12).

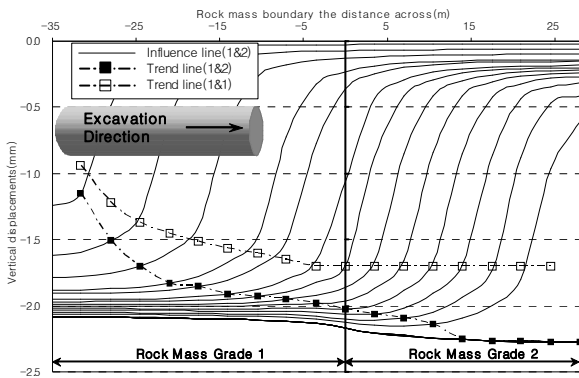


그림 3. 1&2 조건의 영향선과 경향선

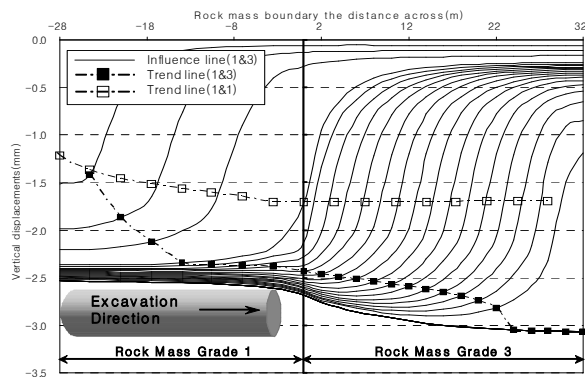


그림 4. 1&3 조건의 영향선과 경향선

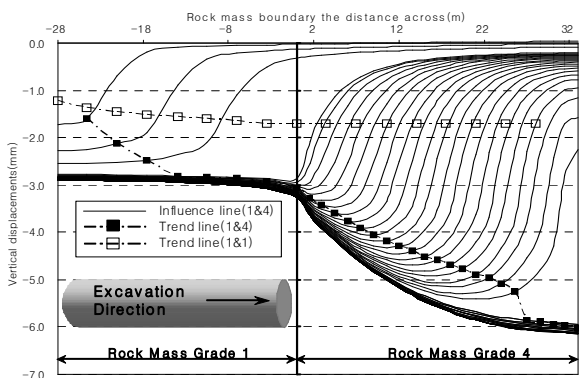


그림 5. 1&4 조건의 영향선과 경향선

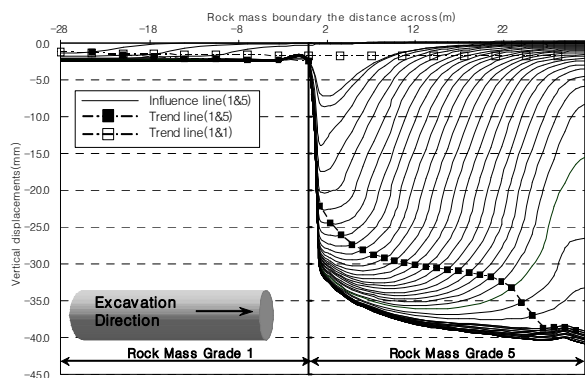


그림 6. 1&5 조건의 영향선과 경향선

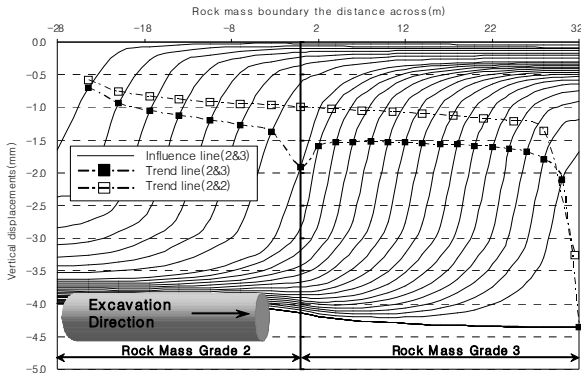


그림 7. 2&3 조건의 영향선과 경향선

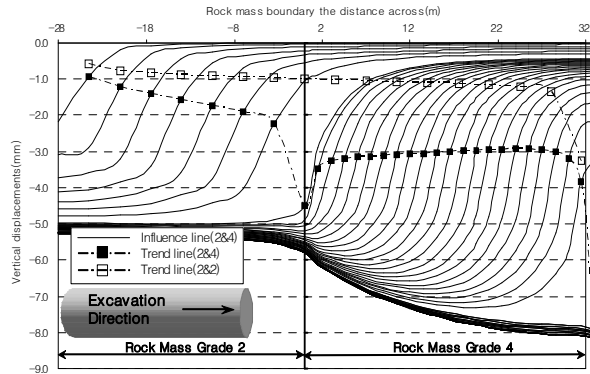


그림 8. 2&4 조건의 영향선과 경향선

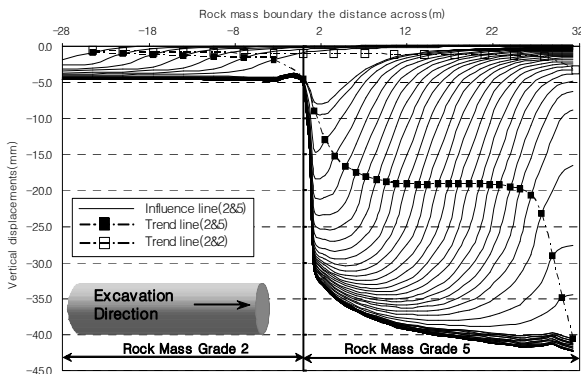


그림 9. 2&5 조건의 영향선과 경향선

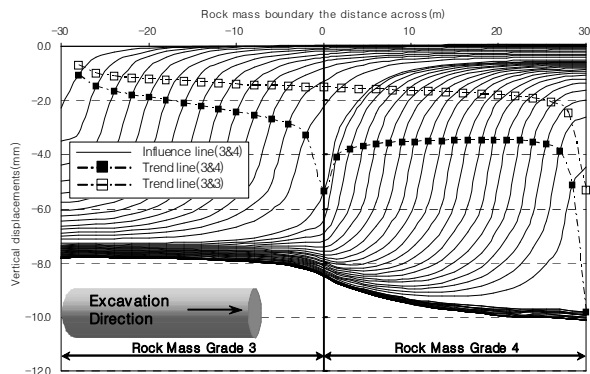


그림 10. 3&4 조건의 영향선과 경향선

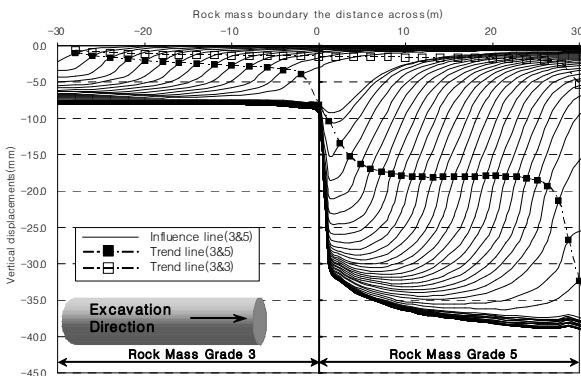


그림 11. 3&5 조건의 영향선과 경향선

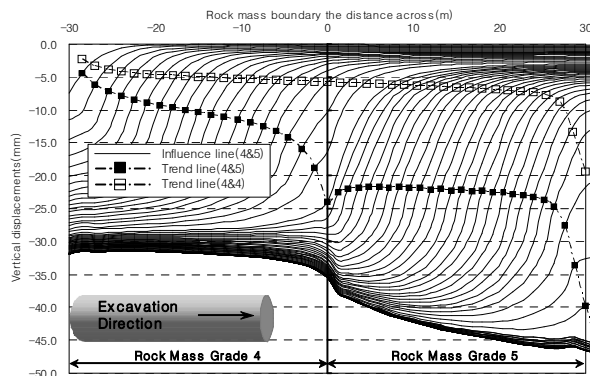


그림 12. 4&5 조건의 영향선과 경향선

## 참고문헌

1. 대한터널협회(1999년), “터널설계기준”, p. 42.
2. 부산상수도사업본부(2002년), “수정산 터널 배수지 건설공사 설계보고서”, pp. 27-34.
3. 부산지방국토관리청(2002년), “양산~동면 4차로 확장 공사 설계보고서”, pp. 103-106.
4. 부산지방국토관리청(2003년), “남천~청도 1국도공사 설계보고서”, pp. 16-27.
5. 부산지방해양수산청(2003년), “부산신항만 배후철도 4공구 건설공사”, pp. 31-35.
6. 한국고속철도공단(2002년), “경부고속철도 제14-2공구 노반신설 공사 설계보고서”, pp. 19-28.
7. 한국고속철도공단(2003년), “경부고속철도 제13-3공구 노반신설 공사 설계보고서”, pp. 24-30.
8. Schubert, W., Budil, A.(1995년) The importance of longitudinal deformation in tunnel excavation. Fujii editor, *Proceedings of 8th International Congress on Rock Mechanics*, Tokyo, Rotterdam, A.A. Balkema, pp. 1411-1444.