

암반특성의 수직변화가 암반분류에 미치는 영향에 관한 수치해석적 연구

Effect of Vertical Change of the Rock Mass Characteristics on Rock Mass Classification by Numerical Analysis

권순섭.* 이종선** 우성원*** 이준우****
Kwon, Soon-Sub Lee, Jong-Sun Woo, Sung-Won 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 vertical direction. However, such case is seldom encountered in practice and not applicable when the properties vary along the vertical 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 vertical 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(vertical direction) on 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 수직방향으로 변화될 경우 이에 대한 지보시스템의 결정이 달라져야 한다. 본 연구는 3차원 수치해석 프로그램(FLAC3D)을 이용하여 NATM 터널시공시 암반특성의 수직방향 변화가 암반분류 및 지보시스템 결정에 미치는 영향을 파악하고자 총 84Case를 현장의 시공순서를 고려한 해석을 수행하였다.

2. 해석 조건

2.1 지반 물성치

본 연구에 적용된 지반 물성치는 경상도 지방에 많이 분포하는 안산암이 주암종으로 파악된 지역에서 조사된 물성치를 기준으로 다음의 표1과 같이 선정하였다(부산상수도사업본부, 2002 ; 한국고속철도공단, 2002, 2003).

* 남광토건(주), 토목사업본부 상무이사, 정회원

E-mail : 20064885@namkwang.co.kr

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

** 남광토건(주), 토목사업본부 토목기술팀 부장, 비회원

*** 남광토건(주), 토목사업본부 토목영업팀 부장, 비회원

**** 남광토건(주), 토목사업본부 토목기술팀 대리, 비회원

표 1. 해석에 적용된 지반 물성치

암반등급	단위중량(t/m ³)	변형계수(MPa)	프와송비	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
1	2.70	1.95E4	0.20	6.7E3	47
2	2.60	9.70E3	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 89.815m² 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).

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	2.0m	1.5m	
	하반				3.0m	1.2m
벤치장	-	-	-	20m	20m	
숏크리트 두께	5cm	5cm	8cm	12cm	16cm	
록볼트	길이	3.0m	3.0m	4.0m	4.0m	4.0m
	종방향 간격	Random	3.5m	2.0m	1.5m	1.2m
	횡방향 간격	Random	2.0m	1.5m	1.5m	1.5m

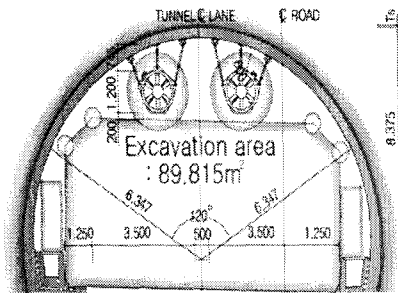
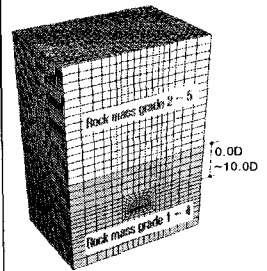


그림 1. 터널 단면

표 3. 해석 Case

하부의 암반등급	상부의 암반등급	경계면 위치
1	2, 3, 4, 5	0.0D, 0.5D
2	3, 4, 5	1.0D, 1.5D
3	4, 5	2.0D, 2.5D
4	5	3.0D, 4.0D
		10.0D



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 하였으며, 전·후방 3D를 종방향 해석범위로 설정하였다. 또한, 축압계수는 수압과쇄시험, AE, DRA 시험 등을 통하여 산출한 것을 보정한 것으로 심도가 100m인 점을 감안하여 2.0으로 설정하였다.

2.4 해석모델 및 해석순서

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

2.5 암반특성의 수직방향 변화

지반강성의 차이가 있는 암반등급에서 경계면의 위치는 터널 0.0D(천단부)에서 상부로 0.5D, 1.0D, 1.5D, 2.0D, 2.5D, 3.0D, 4.0D, 10.0D(지표면, 동일한 암반등급이 존재하는 경우로 기준이 됨.)까지 변화시키면서 천단 침하의 변화양상을 파악하고자 총 84Case를 수행하였으며, 편의상 1/2(1:하부암반, 2:상부암반)와 같이 표기하

고자 한다.

3. 해석 결과

하부에 암반 1등급, 상위에 있는 암반 2, 3, 4, 5등급 존재시 경계층 위치 변화(0.0D~10.0D)에 따른 터널의 천단침하 변화율을 나타내었다(그림 2).

상위의 암반상태가 불리해지면서 천단침하의 크기가 커짐을 알 수 있으며, 아래암반과 상위 암반과의 경계층의 거리가 커지면서 천단침하가 작아지고 있으나, 1/1(동일암반 등급이 존재하는 경우)에 비해서 천단침하가 다소 작아지는 경우(1/5조건)는 단위중량이 적어지면서 유효응력이 줄어든 것에 기인한 것으로 판단된다. 상위에 2, 3등급이 있는 경우는 암반경계층이 0.5D의 위치에서 변위가 다소 증가하였으며, 0.0D(터널천단부)에서는 50%이상이 증가하였으며, 4, 5등급이 상위에 있을 경우는 암반경계층의 위치가 1.0D에서 약 12~20% 증가하였지만, 0.5D에서는 약58% 증가하고, 0.0D에서는 각각 1,025%, 2,550% 까지 증가하였다.

따라서 하부에 암반 1등급이 존재하고 상부에 암반 2, 3등급이 존재할 경우에는 암반경계층이 터널천단부를 기준으로 0.5 상위까지는 암반1등급으로, 그 이하는 불리한 암반등급으로 평가하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 상위에 암반 4, 5 등급이 존재할 경우는 암반경계층이 터널천단부를 기준으로 1.0D 상위까지는 암반 1등급으로 그 이하에 위치할 경우는 불리한 암반등급으로 평가해야 함을 알 수 있다.

하부에 암반 2등급, 상위에 있는 암반 3, 4, 5등급 존재시 경계층위치 변화(0.0D~10.0D)에 따른 터널의 천단침하 변화율을 나타내었다(그림 3). 상위의 암반상태가 불리해지면서 천단침하의 크기가 커짐을 알 수 있으며, 아래암반과 상위 암반과의 경계층의 거리가 커지면서 천단침하가 작아지고 있다.

상위에 3, 4등급이 있는 경우는 암반경계층이 0.5D의 위치에 존재할 때 변위가 다소 증가하였으며, 0.0D(터널천단부)에서는 44%이상이 증가하였으며, 5등급이 상위에 있는 경우는 암반경계층의 위치가 1.0D에 존재할 때 약 14% 증가하였지만, 0.5D에서는 약 60%, 0.0D에서는 1,348% 증가하였다.

따라서, 하부에 암반 2등급이 존재하고 상부에 암반 3, 4등급이 존재할 경우에 암반경계층의 위치가 0.5D상위까지는 유사한 거동을 보이고, 그 이하는 다른 거동을 보이며, 상위에 암반 5 등급이 존재할 경우 암반경계층이 터널천단부를 기준으로 1.0D 상위까지는 암반 2등급으로 그 이하에 위치할 경우는 불리한 암반등급으로 평가해야 함을 알 수 있다.

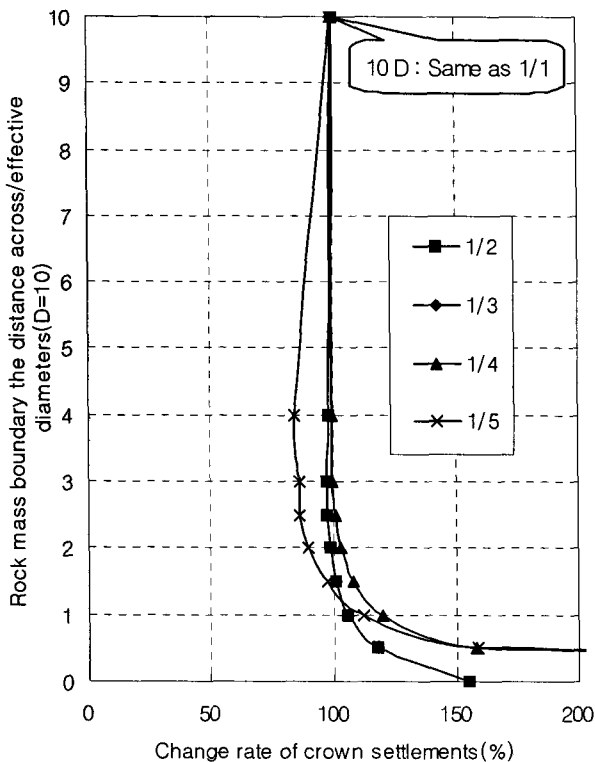


그림 2. 암반 1등급이 하부에 있는 경우

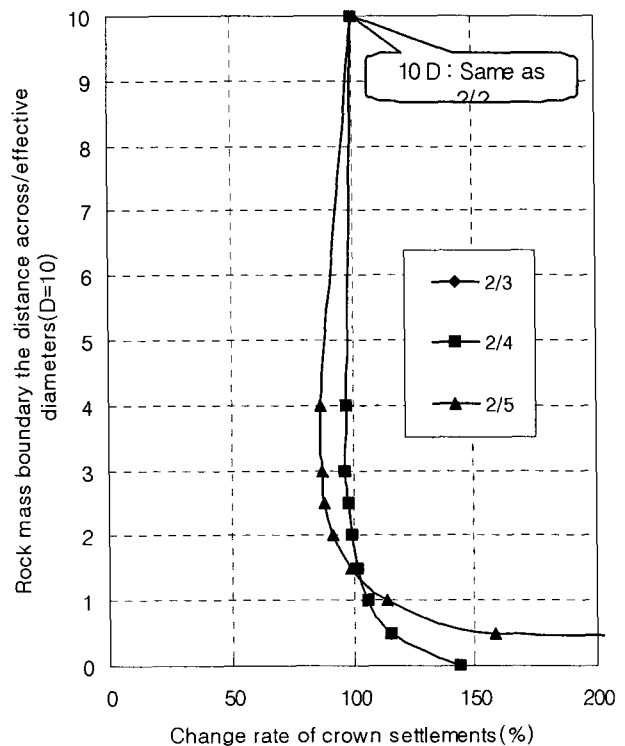


그림 3. 암반 2등급이 하부에 있는 경우

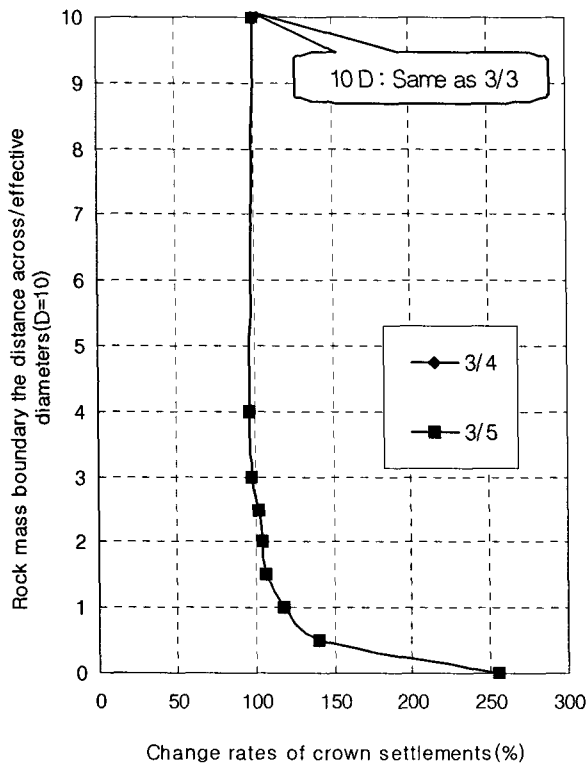


그림 4. 암반 1등급이 하부에 있는 경우

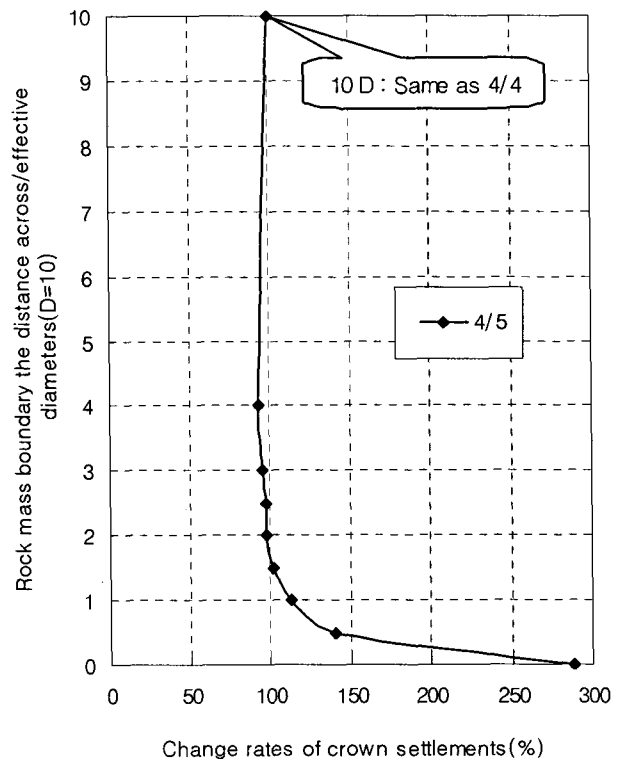


그림 5. 암반 2등급이 하부에 있는 경우

하부에 3등급, 상위에 암반4, 5등급의 존재시 경계층 위치변화(0.0D~10.0D)에 따른 터널의 천단침하 변화율을 나타내었으며(그림 4), 암반경계층이 1.0D에 존재할 때 변위가 다소 증가하였으며, 0.5D에서는 40%이상이 증가하였다.

따라서 하부에 암반 3등급이 있고 상부에 암반 4, 5등급이 존재할 경우 암반경계층이 터널천단부를 기준으로 1.0D 상위까지는 암반 3등급으로 그 이하에 위치할 경우는 불리한 암반등급으로 평가해야 함을 알 수 있다.

하부에 암반 4등급, 상위에 5등급이 있는 경우 경계층 위치변화에 따른 해석단계별 터널의 천단침하 변화율을 나타내었으며,(그림 5) 암반경계층이1.0D에 존재할때 변위가 다소 증가하였으며, 0.5D에서는 40%이상이 증가하였다.

따라서, 하부에 암반 4등급이 존재하고 상부에 암반 5등급이 존재할경우 암반경계층이 터널천단부를 기준으로 1.0D 상위까지는 암반 4등급으로 그 이하에 위치할 경우는 불리한 암반(암반5등급)으로 평가해야 함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 암반특성의 수직변화에 따른 암반분류 혹은 지보시스템을 제안하기 위하여 암반경계층의 위치 변화에 따른 영향을 평가하였다.

암반특성이 수직으로 변화되는 경우에 터널천단부를 기준으로 약 0.5D~1.0D에 암반경계가 놓이게 되면 터널본선의 암반과는 상이한 거동을 하므로 동일한 암반등급(본선터널의 암반)으로 평가할 수 없으므로, 불리한 암반등급으로 평가하거나 적절한 범위까지 지보패턴을 하향 조정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 대한터널협회(1999년), “터널설계기준”, p. 42.
2. 부산상수도사업본부(2002년), “수정산 터널 배수지 건설공사 설계보고서”, pp. 27-34.
3. 한국고속철도공단(2002년), “경부고속철도 제14-2공구 노반신설 공사 설계보고서”, pp. 19-28.
4. 한국고속철도공단(2003년), “경부고속철도 제13-3공구 노반신설 공사 설계보고서”, pp. 24-30.