

불연속면이 터널지반에 미치는 영향

김대균*

*상명대학교 토목환경공학부
e-mail:daekyu@smu.ac.kr

Geotechnical Effect of Discontinuity on Tunnel

Dae-Kyu Kim*

*Dept of Civil & Environmental Engrg, Sangmyung University

요 약

본 논문에서는 불연속면과 터널라이닝과의 교차부에 대한 효과적인 지반공학적 검토를 위하여 불연속면의 경사를 고려할 수 있는 3차원 수치해석을 수행하였다. 불연속면이 존재하는 경우, 콘크리트 라이닝에 발생하는 휨압축응력이 불연속면을 주변을 따라 불연속면이 없는 경우에 비해 상대적으로 크게 나타났으며 이는 불연속면의 존재로 인한 응력집중현상에 기인한다. 최대휨압축응력은 축압계수와 함께 증가하였으며, 불연속면을 고려하였을 경우 그 증가폭이 확대되었다.

1. 서 론

불연속면은 터널의 안정성에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 특히 불연속면 방향성의 3차원적 특징을 고려한 해석이 필수적이거나 이를 2차원으로 단순화한 검토가 일반적으로 수행되고 있다[1, 2, 3, 4, 5]. 불연속면과 터널라이닝과의 교차부에 대한 효과적인 지반공학적 검토를 위하여 불연속면의 3차원적 경사를 고려할 수 있는 수치해석을 수행하였으며 불연속면이 터널 지반의 안정성에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 해석모델링

그림 1~3은 터널의 횡/종단면도 및 불연속면의 좌우 대칭을 고려한 해석모델링이다. 해석구간의 물성입력값은 시추지질조사 및 실내시험에 의하여 결정되었으며 표 1과 같다. 라이닝 설계기준강도는 아치부 120, 측벽부 100kg/cm², 코어압축강도는 측벽부 228kg/cm², 비파괴강도는 아치부 246, 측벽부 286kg/cm²이다. 축압계수는 불연속면 유무 경우에

있어서 0.5 및 1.0를 고려하였다[2, 4, 5].

표 1. 해석구간의 물성입력값

구분	지반(경암)	불연속면 주변	콘크리트 라이닝
$\gamma(t/m^2)$	2.68	2.5	
$E(t/m^2)$	2,000,000	1,000,000	1500
ν	0.2	0.2	0.2
$c(t/m)$	200	100	
$\phi(^\circ)$	45	40	

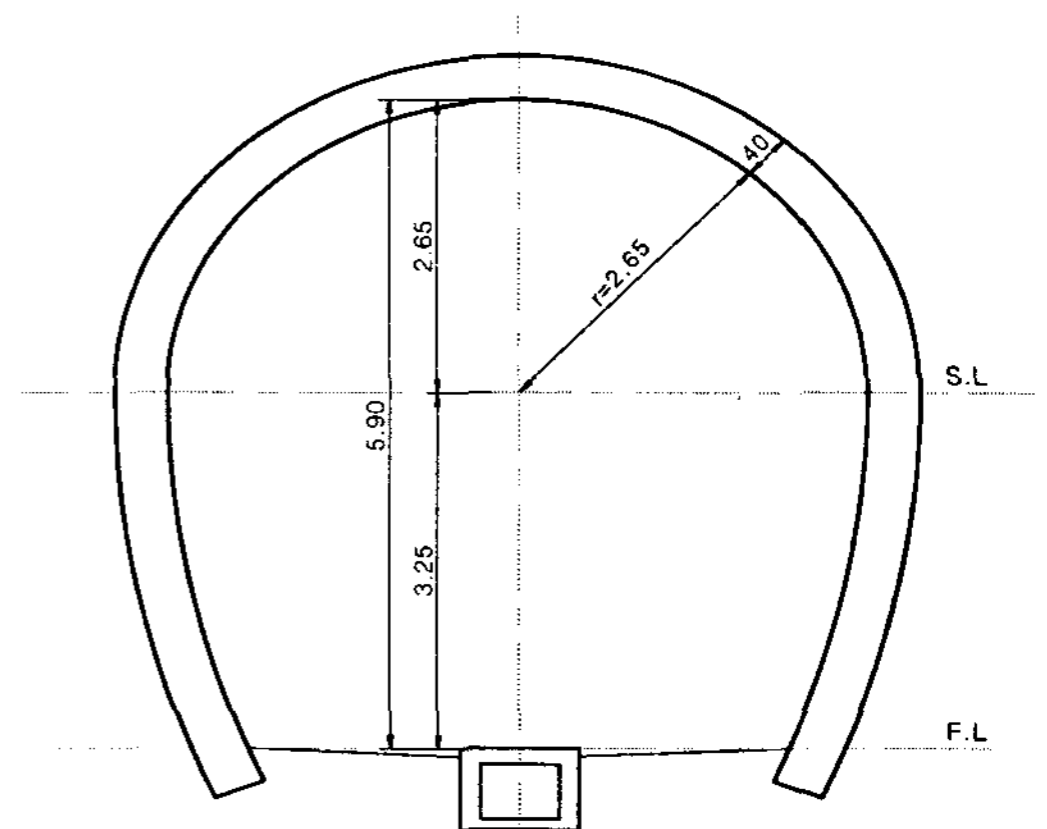


그림 1. 라이닝 횡단면도

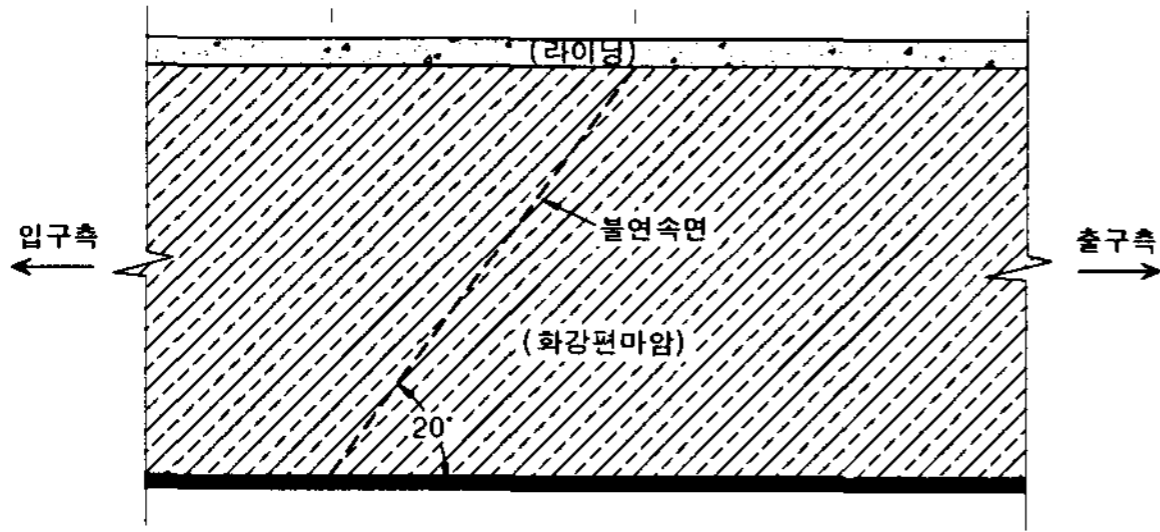


그림 2. 지질 종단면도

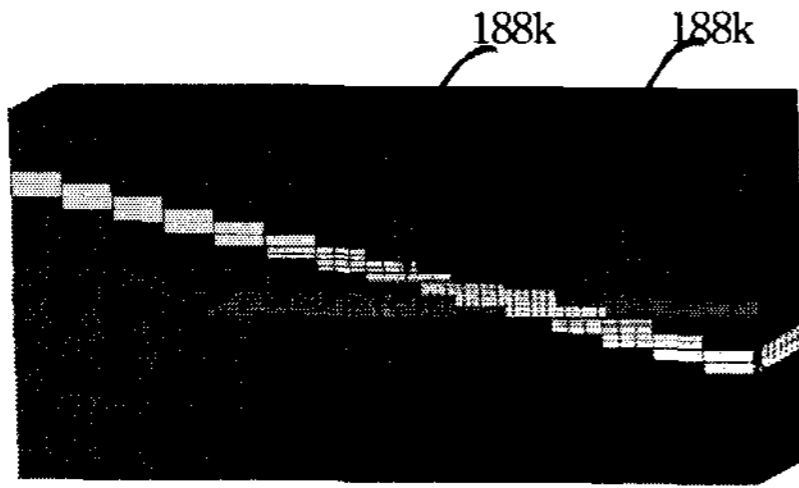


그림 3. 해석 모델링

3. 해석결과

그림 4는 천정부 지반이 주변에 비해 상대적으로 큰 천단침하가 발생함을 보여주고 있으며, 그림 5는 불연속면 주변지반에 응력이 집중되는 모습이다.

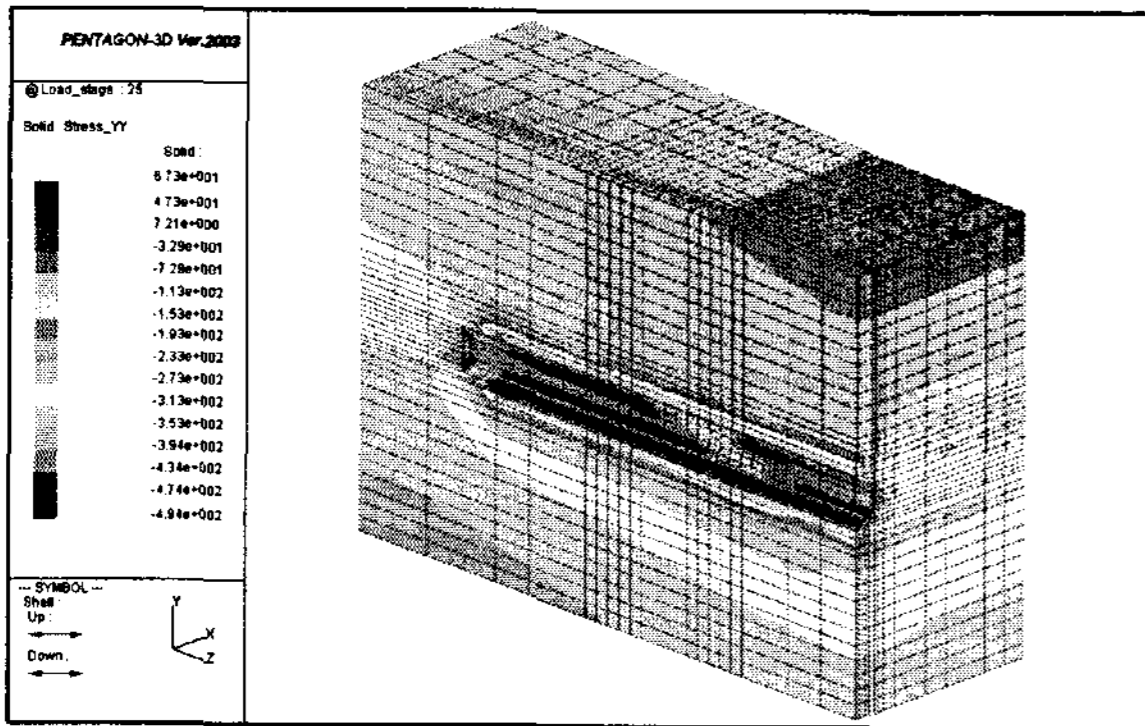


그림 4. 터널지반의 변위

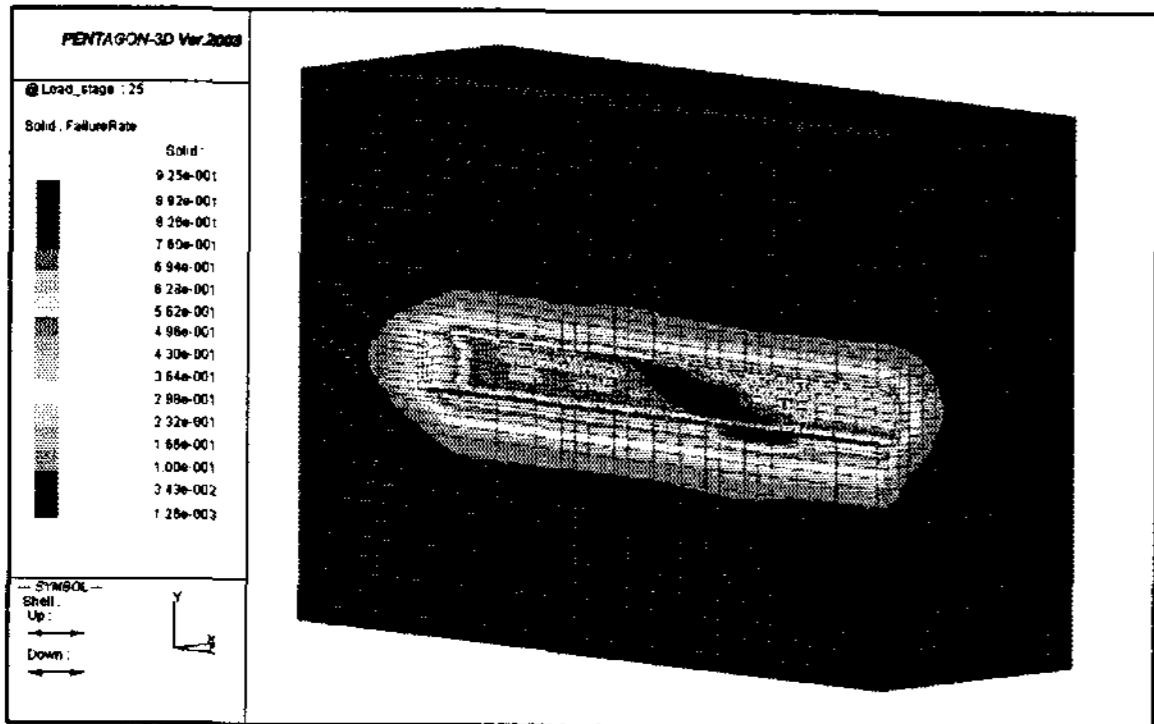


그림 5. 터널지반의 응력분포

그림 6, 7은 라이닝 외측의 휨압축응력이다.

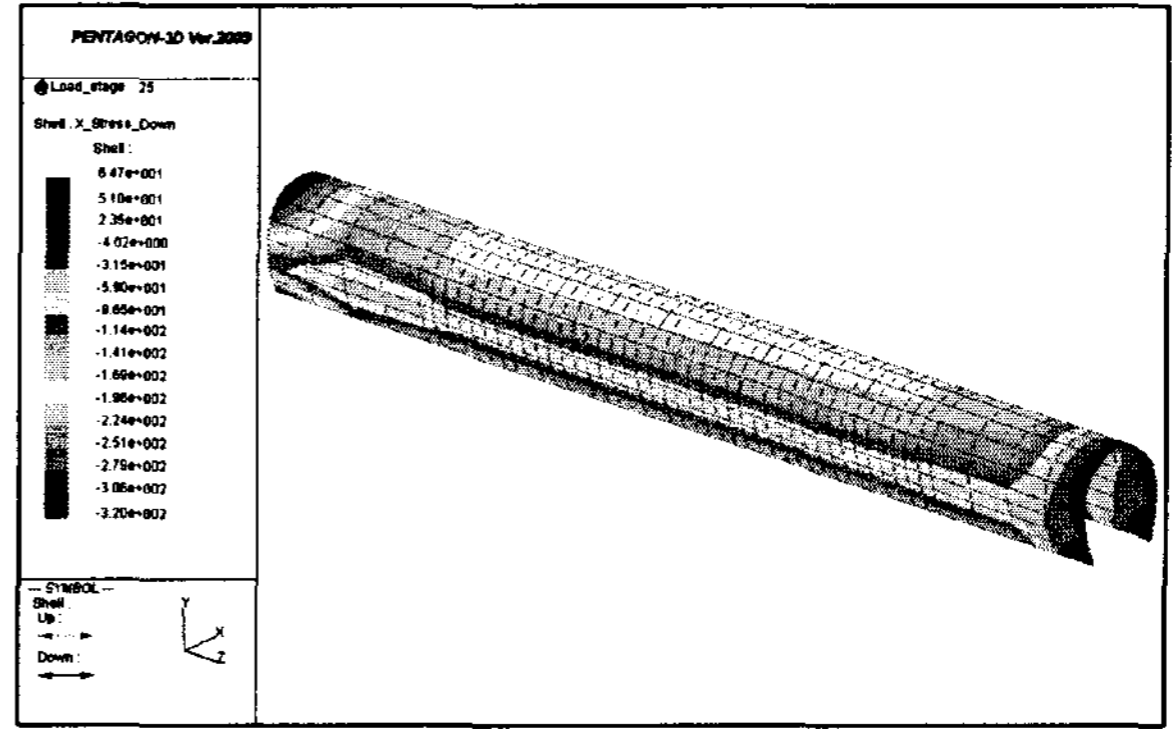


그림 6. 휨압축응력(k=1.0, 불연속면이 없는 경우)

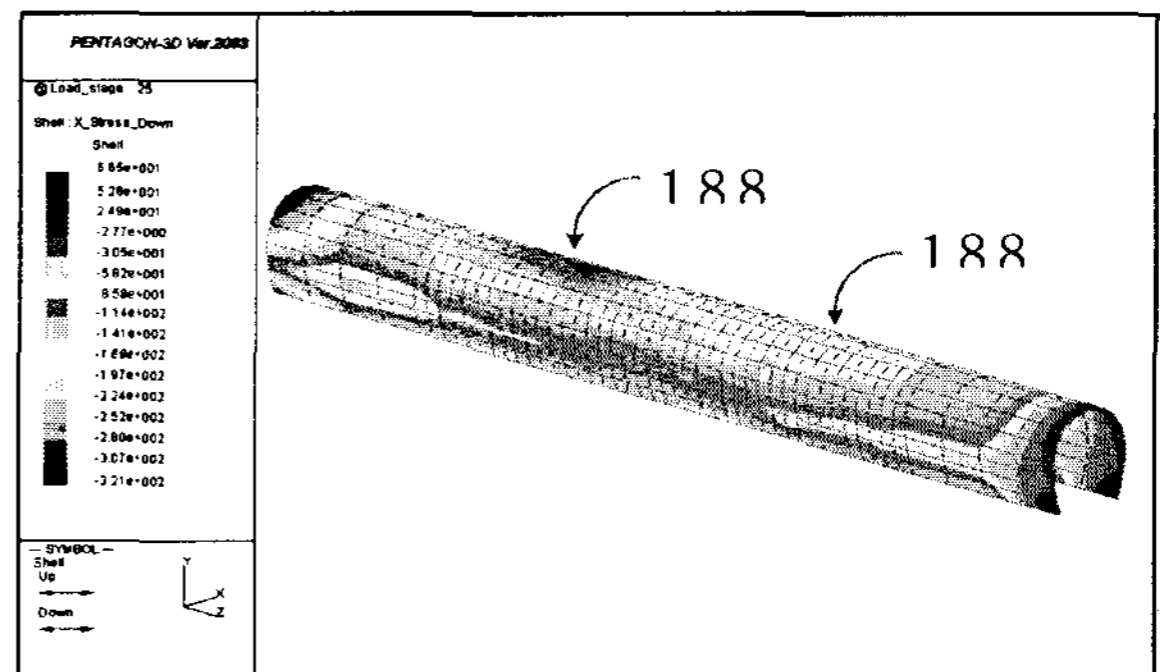


그림 7. 휨압축응력(k=1.0, 불연속면이 있는 경우)

천단부, 아치부 및 측벽부에서의 최대 휨압축응력을 표 2에 정리하였다. 최대 휨압축응력은 라이닝에 작용하는 축방향력에 의한 응력과 휨모멘트에 의한 응력을 더하여 나타낸 값이다.

표 2. 콘크리트 라이닝의 응력

구분	최대전단응력 (kg/cm ²)	최대휨압축응력(kg/cm ²)	
		라이닝외측	라이닝내측
$k_0=0.5$, 불연속면 ×	0.04	15.3	18.3
$k_0=0.5$, 불연속면 ○	0.09	22.4	21.0
$k_0=1.0$, 불연속면 ×	0.07	17.4	19.6
$k_0=1.0$, 불연속면 ○	0.18	27.1	30.7
설계기준강도	천 정 부	fck = 120	
	측 벽 부	fck = 100	
허용 휨압축응력	천 정 부	0.4 × fck = 48.0	
	측 벽 부	0.4 × fck = 40.0	
허용 전단응력	천 정 부	$0.25 \times \sqrt{f_{ck}} = 2.74$	
	측 벽 부	$0.25 \times \sqrt{f_{ck}} = 2.50$	

표 2에서 보는 바와 같이 불연속면이 존재하는 경우가 존재하지 않는 경우에 비해 콘크리트 라이닝에 발생하는 휨압축응력이 불연속면 주변을 따라 상대

적으로 크게 나타났으며 이는 불연속면의 존재로 인해 응력집중현상이 발생하는 것을 의미한다. 본 해석에서 발생한 최대 휨압축응력은 축압계수 k 와 관계없이 라이닝 내측에서는 아치부(188k 179 지점 부근)에서 발생하였고 라이닝 외측에서는 벽체부근(188k 159 지점 부근)에서 발생하였으며 이는 불연속면의 위치가 반영된 것으로 분석할 수 있다. 따라서 불연속면의 존재로 인해 라이닝에는 구조적 취약부가 발생되었으며, 압축응력에 비하여 휨응력의 영향이 크지 않아 모든 부재에서 휨인장응력이 발생하지 않았음을 알 수 있다.

또한 축압계수가 증가함에 따라 최대 휨압축응력이 증가하며, 특히 불연속면을 고려하였을 때 그 증가폭이 확대되므로 축압계수가 큰 경우가 불연속면의 영향을 더 크게 받는 것으로 분석되었다.

이상과 같은 해석결과로부터 현재 상태는 라이닝 응력이 허용응력보다 낮은 것으로 나타나 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 그러나 라이닝 자체의 결함 및 배면지반에 발생하는 공동과 같은 현상을 고려하지 않은 상태이며, 터널 상부에 계곡부가 위치하여 상대적으로 많은 누수가 조사된 것으로 미루어 불연속면의 성상, 즉, 충전물의 유무, 파쇄정도 및 파쇄대를 통한 계곡수의 유입으로 인한 수압작용 등으로 인해 라이닝에 추가적인 응력집중이 발생할 수 있으므로 라이닝에 대한 지속적인 관찰이 필요하다.

참고문헌

- [1] Dai, H. L., Wang, X., and Xie, G. X., "The Building of Theoretical Model and Analysis of Deformations of a Anchor-Grouting Soft Rock Tunnel," *Earth & Space* 98, 153-165, 2004.
- [2] Hoek, E., "Big Tunnels in Bad Rock," *J. Geotech. and Geoenviron. Engrg.* 726, 127-139, 2001.
- [3] Wang, Y., "Ground Response of Circular Tunnel in Poorly Consolidated Rock," *J. Geotech. Engrg.* 703, 122-141, 1996.
- [4] Fernandez, G., "Behavior of Pressure Tunnels and Guidelines for Liner Design," *J. Geotech. Engrg.* 122, 1768-1782, 1994.
- [5] Anagnostou, G. and Kovari, K., "Significant Parameters in Elastoplastic Analysis of Underground Openings," *J. Geotech. Engrg.*

119, 401-421, 1993.