

Dilatancy 효과를 고려한 원형 터널 이완하중에 대한 해석적 연구

박신영, 한희수*
금오공과대학교 토목공학과

Analytical study of circle tunnel Load considering Dilatancy Effect

Shin-Young Park, Heui-Soo Han*
Department of Civil Engineering, Kumoh Institute of Technology

요약 본 연구에서는 원형 터널을 대상으로 Terzaghi 토압공식과 지반조사 자료결과를 이용한 방법 그리고 Dilatancy 효과를 고려한 방법을 유한요소해석을 통해 검토하여 각 방법들을 비교하고 지반의 거동을 분석하였다. Terzaghi 토압 공식의 경우, 이완하중이 과도하게 산정되어 과다설계를 유발할 수 있으며 지반조사 자료결과를 이용한 방법은 공학적인 토압계수가 적용되지 않을 경우 실제 현장과 상이한 거동을 보여 예상치 못한 문제가 발생할 수 있다. Dilatancy 효과를 고려한 방법의 경우, 팽창각을 통한 강도증진효과와 상대밀도를 모두 고려할 수 있으며 그로 인해 각 방법 중 가장 합리적으로 이완하중이 산정되는 것으로 나타났다. 현장지반조사 결과를 이용한 유한 요소해석 결과, 터널 상부지반이 저토포일 때 터널 천단부에서 인장응력이 작용하는 것으로 나타나 실제 현장 지반 거동과는 달랐다. 딜리턴시를 고려한 지반 해석방법의 경우, 지반의 이완하중이 합리적으로 나타났다. 그러나, 현장 계측결과와의 비교 등을 통해 추가적인 검증이 필요하다고 판단되며 추가 연구를 통해 정규화시킨다면 터널 설계 시 이완하중을 합리적으로 산정하여 안전하고 경제적인 설계가 가능할 것으로 판단된다.

Abstract This study examined the behavior of the ground by comparing the methods using the results of the Terzaghi formula and the ground investigation data and method considering the dilatancy effect for a circular tunnel using the finite element method. In the case of the Terzaghi formula, the tunnel load can be overestimated and cause overdesign. The method using the results of the ground investigation data cannot be applied when a reasonable coefficient of earth pressure is not determined. This is because it behaves completely differently from the actual behavior, and unexpected problems can occur. In the case of the method considering the dilatancy effect, however, both the strength enhancement effect can be considered through the dilatancy angle and relative density. Therefore, the tunnel load was calculated most reasonably using the method considering dilatancy. Finite element analysis using the geotechnical survey results showed that the tensile stress acts at the top of the tunnel when the upper soil of the tunnel is shallow. On the other hand, additional verification is necessary, such as a comparison with the field measurement results. Through additional research, if normalized, the tunnel load can be calculated reasonably at the time of tunnel design, and safe and economical design is possible.

Keywords : Tunnel Load, Finite Element Analysis, Dilatancy, Arching Effect, Height Of Ground

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음.(2018104056)

*Corresponding Author : Heui-Soo Han(Kumoh Institute of Technology)
email: hanhs@kumoh.ac.kr

Received August 3, 2020

Revised September 1, 2020

Accepted September 4, 2020

Published September 30, 2020

1. 서론

종래의 터널설계 시에는 편의성과 보수적 설계를 위해 이론적 방법을 통해 터널 상부의 토압을 산정하였다. 하지만 컴퓨터의 발달로 인해 수치해석을 통한 방법이 터널설계에 다용도로 활용되고 있다. 터널해석에 사용되는 수치해석 방법은 크게 연속체 모델해석과 불연속체 모델해석 그리고 지반반력 모델해석 세 가지로 구분된다. 연속체 모델해석법으로는 유한요소법(FEM)과 유한차분법(FDM) 그리고 경계요소법(BEM) 등이 있으며, 불연속체 모델해석법으로는 개별요소법(DEM), 지반반력 모델해석법으로는 보요소법(Beam with Elastic Support) 등이 있다. 특히 이 중 사용성과 편의성 그리고 정밀성으로 인해 유한요소법과 유한차분법과 같은 연속체 모델 해석방법이 가장 널리 사용되고 있다. 특히 유한요소법의 경우, 응력-변형을 거동을 파악할 수 있는 장점이 있으나 계산 시 과도한 시간이 산정된다는 단점이 존재하였다. 그러나 컴퓨터의 고성능화로 인해 해석 시간이 상당부분 개선되어 응력해석에 가장 효과적인 수단으로써 터널설계뿐만 아니라 복잡한 구조물의 거동해석에 대한 도구로서 급상승하게 되었다[1,2].

하지만, 유한요소법을 통한 터널의 설계는 매우 단순한 방법을 통해 수행되며, 그로인해 매우 보수적인 비경제적 설계가 수행되곤한다. 먼저, 지반조사를 통해 지층분포를 확인하고 현장시험을 통해 점착력(cohesion)과 마찰각(friction angle), 탄성계수(young's module) 등과 같이 지반의 강도정수를 선정하며, 일반적으로 토압계수(K_0) 0.5, 1.0으로 하여 지보재에 작용하는 축력과 내공변위, 천단변위, 지표침하의 허용 기준치 만족여부만을 검토한다.

하지만, Han et al(2011)[3]은 이러한 터널 설계법은 토압을 과도하게 산정하여, 비경제적인 설계라고 제시하였으며, 이에 대한 개선방안으로 지반의 팽창을 고려한 터널 상부 토압 산정방법을 제시하였다. 터널 굴착 시 지반의 팽창으로 인해 발생하는 dilatancy 현상 때문에 지반의 전단강도 증진효과가 나타나며 이를 유한요소해석으로 모사할 때 팽창각(ψ)과 딜리턴시를 고려한 토압계수(K_d)를 이용하여야 한다고 주장하였다[3].

일반적으로 터널의 설계 시에는 터널 상부에 작용하는 이완하중은 Terzaghi's 토압공식으로 인해 산정하지만 Terzaghi's 토압공식의 경우 굴착으로 인해 발생하는 이완영역을 실제 발생하는 이완영역에 비해 과도하게 가정하여 토압이 과도하게 산정된다[4]. 그로 인해 터널 라이

닝의 필요 두께가 과도해지며 시공성 및 경제성이 저하되는 단점이 있으나, 이를 정량적으로 평가한 사례는 전무하다.

따라서 본 연구에서는 유한요소해석을 통해 Han et al(2011)[3]이 제시한 방법과 지반조사 결과를 그대로 적용한 방법 그리고 Terzaghi 토압공식을 통해 이완하중을 산정하고 이를 정량적으로 비교하였다.

2. 이론적 배경

2.1 이완하중

터널의 라이닝에 작용하는 하중으로는 토체의 자중으로 인한 토압과 수압, 편압 등이 존재하며 이 크기는 현장 지반의 지질학적 특성과 터널 단면, 굴착방법, 시공일정 등 다양한 인자들로 인해 상이한 값을 보인다. 하지만 KTA(2004)[5]에 의하면 라이닝에 작용하는 하중 중 가장 큰 영향을 끼치는 요인으로는 토압이며 특히 이완하중이라고 제시하였다. 이완하중의 경우, Terzaghi(1936)[4]가 TrapDoor 실험을 통해 아칭효과(Arching Effect)로 설명된다. 아칭효과의 경우, 터널의 토피고가 충분할 경우 아칭효과로 인해 토압이 분배되어 토체의 자중보다 적은 하중이 작용하게 되지만 토피고가 충분치 못할 경우 이완영역이 온전히 형성되지 못해 상부 토체 전체의 자중이 토압으로 작용할 수도 있다.

2.2 Dilatancy를 고려한 이완하중 산정

Terzaghi(1936)[4]에 의한 터널 상부의 이완하중의 경우 굴착으로 인한 지반의 점진적인 소성변형을 고려하지 않았기 때문에 흙의 딜리턴시 효과로 인한 강도 증진을 고려하지 않았으며, 파괴면을 과도하게 크게 가정하고 파괴면 형성에 필요한 과도한 전단변형을 무시하여 굴착 시 발생하는 터널의 변형과 상부 이완하중 간의 관계를 충분히 설명하지 못하는 단점이 있다[3].

따라서, 터널 굴착 시 발생하는 dilatancy 효과로 인한 전단강도 증진 효과를 고려하여야 하며, dilatancy 효과로 인한 강도증진효과는 팽창각(ψ)으로 표현되어, Eq. (1)과 같이 마찰각이 증가하게 된다.

$$\phi + \psi = \phi_d \quad (1)$$

where, ϕ denotes friction angle, ψ denotes dilatancy angle ϕ_d denotes friction angle considering dilatancy.

여기서, 팽창각은 상대밀도와 평균유효응력 간의 상관 관계를 통해 Eq. (2)와 같이 산정할 수 있다[6].

$$\psi = 6.25 \{ D_r (10 - \ln P') - 6.25 \} \quad (2)$$

where, D_r denotes relative density P' denotes effective overburden pressure

흙의 팽창으로 인해 토압계수 역시 변화하게 되며, 팽창계수(K_d)의 경우 쓰일네일링의 dilatancy 효과를 직접 전단시험(Direct Shear Test)을 통해 분석한 결과로부터 Eq. (3)과 같이 제안되었다[7].

$$K_d = \frac{0.85 + 0.5 \sin^2 \phi}{\cos^2 \phi} \quad (3)$$

where, K_d denotes coefficient of earth pressure considering dilatancy.

팽창각(ψ)과 팽창계수(K_d)를 통해 Han et al(2011)[3]이 제시한 이완하중은 Eq. (4)와 같다.

$$\sigma_{v,d}' = \frac{B(\gamma - \frac{c}{B})}{K_0 K_d \tan \phi_d} \left(1 - e^{-\frac{z K_0 K_d \tan \phi_d}{B}} \right) \quad (4)$$

where, $\sigma_{v,d}'$ denotes vertical stress acting sliding surface of random depth considering dilatancy

3. 이완하중 산정 조건

3.1 개요

dilatancy 현상을 고려한 해석과 지반조사 결과를 그대로 적용하는 방법 그리고 Terzaghi 토압공식을 통한 이완하중을 비교하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석은 2차원 지반범용해석소프트웨어인 MIDAS 사의 GTS (Geo-Technical analysis System) NX ver. 을 사용하였다.

각 방법들에 따른 이완하중만을 비교하는 것이 목적이므로 별도의 지보재와 라이닝 등은 모델링을 하지 않았다.

3.2 기하형상과 요소망

Fig. 1은 유한요소해석에 적용된 기하형상과 요소망

을 나타낸 것이다. 굴착 단면은 Terzaghi 토압공식과 동일하게 원형 단면으로 선정하였으며 터널 직경(D)은 6.0m로 설정하였다. 그리고 토피고에 따른 아칭효과를 검토하기 위해 토피고는 0.5D(3.0m)에서부터 2.5D(15.0m) 까지 적용하였으며 이는 저토피에 해당하는 토피고이다. 굴착 단면 좌우와 하부는 응력전달범위를 고려하여 4.0D의 여유거리를 설정하였다. 유한요소해석을 통한 거동분석의 신뢰성과 정밀성을 높이기 위해 요소망의 크기는 0.3m로 매우 조밀하게 생성하였다.

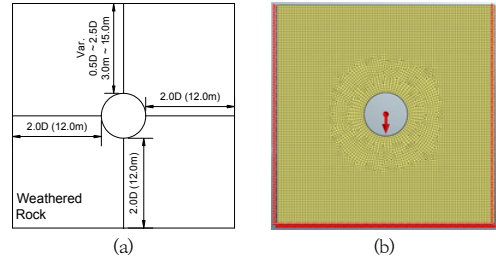


Fig. 1. Geometry and Mesh for finite element analysis (a) Geometry (b) Mesh

3.3 지반의 모델과 적용 물성치

dilatancy 효과로 인한 강도증진은 Mohr-Coulomb 파괴포락선에서 팽창각으로 표현되기 때문에 유한요소 해석 시 적용한 지반의 모델은 Mohr-Coulomb 모델을 적용하였다(Fig. 2 참조).

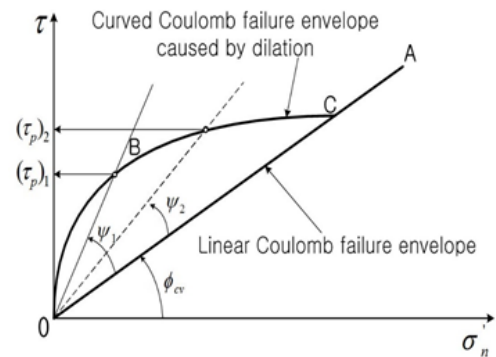


Fig. 2. Dilatancy effect on Mohr-Coulomb failure envelope [8]

유한요소해석에 적용한 지반의 물성은 전국 36개소의 현장 풍화암에 대해 분석하여 평균 물성값을 제시한 문헌을 인용하여 Table 1과 같이 적용하였다[9].\

Table 1. Weathered rock properties [9]

Division	Value
γ (kN/m^3)	23.54
c (kPa)	49.035
K_0	0.50
E (kPa)	118,665
ν	0.30

Table 2는 dilatancy를 고려하여 선정된 상대밀도에 따른 지반 물성을 나타낸 것이다. 상대밀도는 30%, 50%, 70% 그리고 90%로 가정하여 Eq. (2)를 통해 팽창각을 산정하였다. 지반조사를 통한 토압계수(K_0) 0.5를 그대로 적용하는 방법과 달리 dilatancy를 고려한 팽창계수는 1.512로 매우 상이한 값이 산정되었다. 상대밀도에 따른 토피고별 팽창각 변화는 Fig. 3과 같으며, 상대밀도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 저토피고에서 팽창각이 가장크게 산정되었고, 상대밀도에 따른 증가폭도 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 2. Properties considering dilatancy

D_r (%)	K_d	ψ (°)
30	1.512	5.82
50	1.512	13.86
70	1.512	21.91
90	1.512	29.95

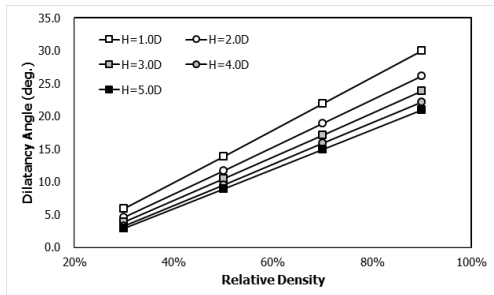


Fig. 3. Dilatancy changes according to relative density

4. 이완하중 산정 결과

4.1 Terzaghi 토압공식에 의한 이완하중

Terzaghi 토압공식의 이론적 배경으로는 지반요소를 체적변화가 없는 강체로 가정하였기 때문에 지반의 체적

팽창과 그로 인한 dilatancy 현상을 고려하지 못한다. Fig. 4는 토피고에 따른 이완하중 변화를 나타낸 것이다. 토피고가 증가됨에 따라 이완하중 또한 비선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 토피고 3.0m(0.5D)인 경우 이완하중은 약 40kPa로 산정되었으며 토피고 15.0m (2.5D)일 때의 이완하중은 약 145kPa로 산정되었다.

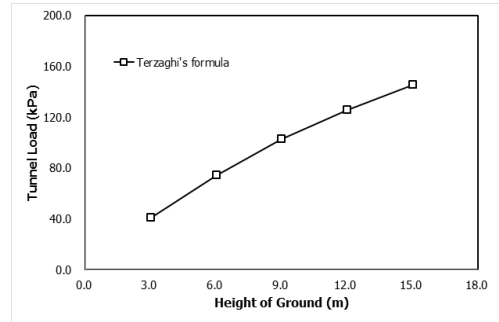


Fig. 4. Tunnel Load using Terzaghi's formula

4.2 지반조사 결과를 적용한 방법에 의한 이완하중

지반조사결과를 적용한 방법의 경우, dilatancy를 고려한 방법과의 비교를 위해 w/o dilatancy라 표기하였다. 지반조사 결과 산정된 토압계수(K_0) 그대로 적용하며, Terzaghi 토압공식과 같이 체적팽창에 대한 dilatancy 현상을 고려할 수 없다. Fig. 5는 토피고에 따른 이완하중 변화를 나타낸 것이며, Fig. 6은 유한요소해석 결과 산정된 수직응력 컨투어를 나타낸 것이다. 지반조사 결과 적용한 토압계수는 0.5이며, 이는 토사의 토압계수와 유사하며 그로 인해 토피고가 낮은 경우 터널이 수직방향으로 팽창하게 되어, 토피고 0.5D (3.0m)와 1.0D (6.0m)인 경우 천단부에서 인장력이 발생하는 것으로 나타났다. 토피고가 1.5D (9.0m)부터 아치효과가 발생하는 것으로 나타났으며, 토피고가 증가함에 따라 하중전이 현상이 명확히 분석되었다.

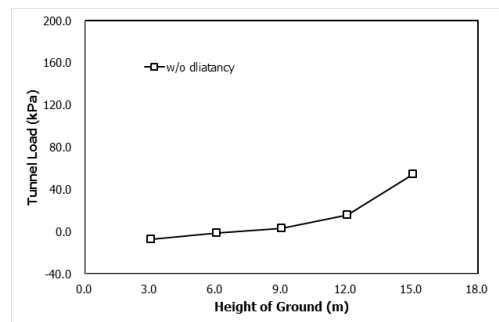


Fig. 5. Tunnel Load of w/o dilatancy

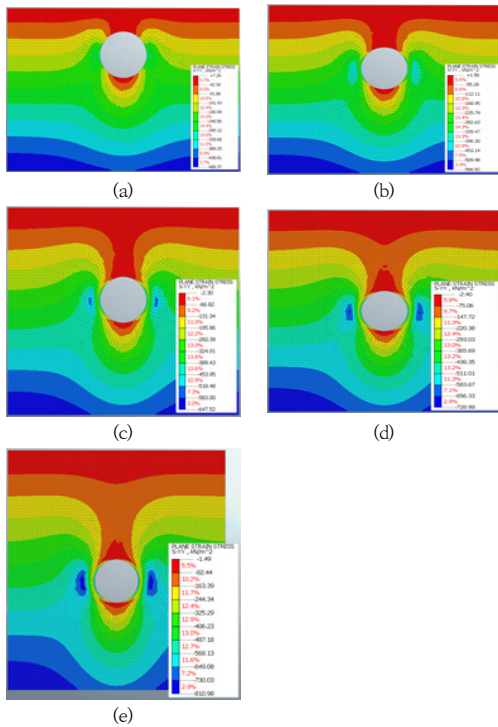


Fig. 6. Vertical Stress contour of w/o dilatancy
(a) 0.5D (b) 1.0D (c) 1.5D (d) 2.0D (e) 2.5D

4.3 Dilatancy를 고려한 이완하중

체적팽창으로 인한 dilatancy 효과를 고려한 방법은 체적의 변화를 상대밀도로 묘사할 수 있으며 상대밀도에 따른 이완하중을 산정할 수 있다. 일반적인 설계방법과의 비교를 위해 dilatancy를 고려한 방법은 w/ dilatancy 라 표기하였으며, Fig. 7은 토피고에 따른 이완하중 변화를 나타낸 것이다. 토피고 0.5D인 경우에는 상대밀도에 따른 변화가 거의 없는 것으로 나타났으나, 토피고가 증가할 경우 그 차이가 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 상

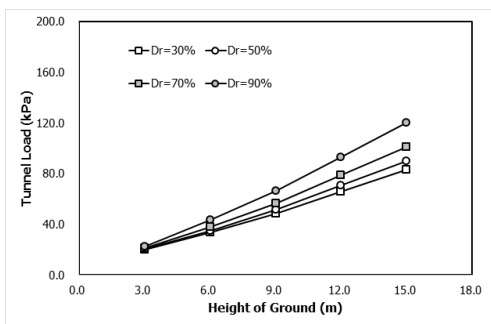


Fig. 7. Tunnel Load of w/ dilatancy

대밀도 큰 경우 이완하중이 가장 크게 작용되는 것으로 나타났으며, 이는 상대밀도가 크다는 것은 지반의 강도가 강하다는 것을 뜻하며 그로 인해 파괴면 형성에 많은 에너지가 형성되어 이완영역의 형성이 낮은 상대밀도에 비해 어렵기 때문이다.

Fig. 8은 dilatancy를 고려한 방법의 수직응력 컨투어를 나타낸 것이다. 상대밀도에 따른 dilatancy 효과를 고려하여 팽창각(ψ)이 변화하였으며, 토피고에 따라 토압계수(K_v)가 변화하여 수직응력 분포의 변화가 나타나는 것으로 나타났다. 상대밀도가 30%인 경우 이완하중은 토피고에 따라 약 20 ~83kPa까지 변화하였으며, 상대밀도 90%인 경우에는 약 22~120kPa까지 변화하는 것으로 나타났다. 상대밀도가 작을수록 낮은 토피고에서 아칭효과가 분석되는 것으로 나타났으며 상대밀도 90%인 경우에는 토피고 2.5D에서도 아칭효과가 명확히 분석되지 않았다.

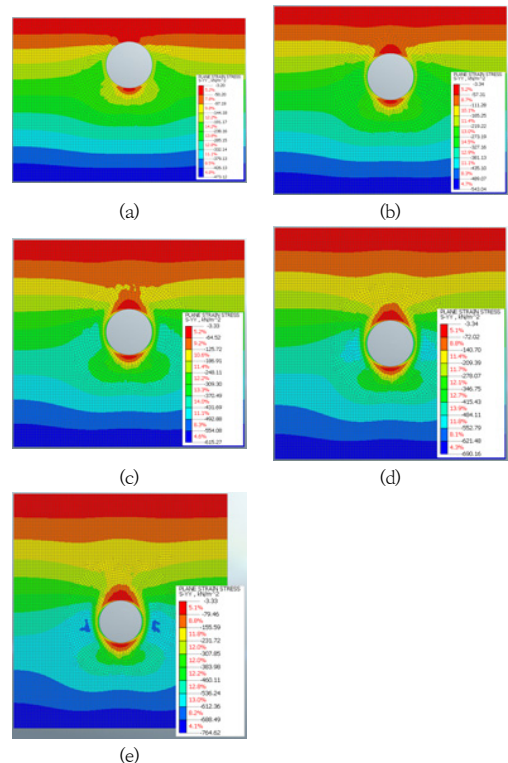


Fig. 8. Vertical Stress contour of w/ dilatancy
(a) 0.5D ($D_r = 30\%$) (b) 1.0D ($D_r = 50\%$)
(c) 1.5D ($D_r = 70\%$) (d) 2.0D ($D_r = 90\%$)
(e) 2.5D ($D_r = 50\%$)

5. 이완하중 비교검토

Fig. 9는 토피고 0.5D, 1.0D 그리고 1.5D일 때의 Terzaghi 토압공식과 지반조사 자료를 적용한 경우 그리고 dilatancy를 고려한 방법 세 가지의 이완하중을 비교한 것이다. Terzaghi 토압공식에 의한 이완하중이 가장 크게 산정되었으며, 지반조사 자료를 그대로 적용한 경우는 현장 지반이 풍화암임에도 불구하고 토사와 유사하게 토압계수가 0.5이다. 따라서 수평토압이 더욱 강하게 작용하여 천단부에서는 인장응력이 작용하는 것으로 나타났으며, 토피고 1.5D일 때부터 압축력이 작용되는 것으로 나타났다. dilatancy를 고려한 경우, 지반의 상대

밀도에 따라 다른 토압이 산정되었으며 그 크기는 토피고에 따라 약 3~18kPa의 차이를 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 10은 토피고 2.0D, 2.5D 일때의 각 방법에 의한 이완하중을 비교한 것이다. Fig. 9와 같이 Terzaghi 토압공식에 의한 이완하중이 가장 크게 산정되었으나, dilatancy를 고려한 방법과의 차이는 감소하는 것으로 나타났다. 지반조사 자료를 적용한 방법은 토피고 2.0D에서 2.5D로 증가에 따라 이완하중이 약 3.5배 증가하였다. dilatancy를 고려한 방법은 토피고가 증가함에 따라 이완하중 또한 증가하였으며, 특히 상대밀도 90% 인 경우 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 상대밀도가 큰 경우 지반의 강성 또한 큰 것으로 판단할 수 있고, 그에 따라 파괴면을 형성하기에 많은 에너지가 소모되어 이완영역 생성이 어렵기 때문이다.

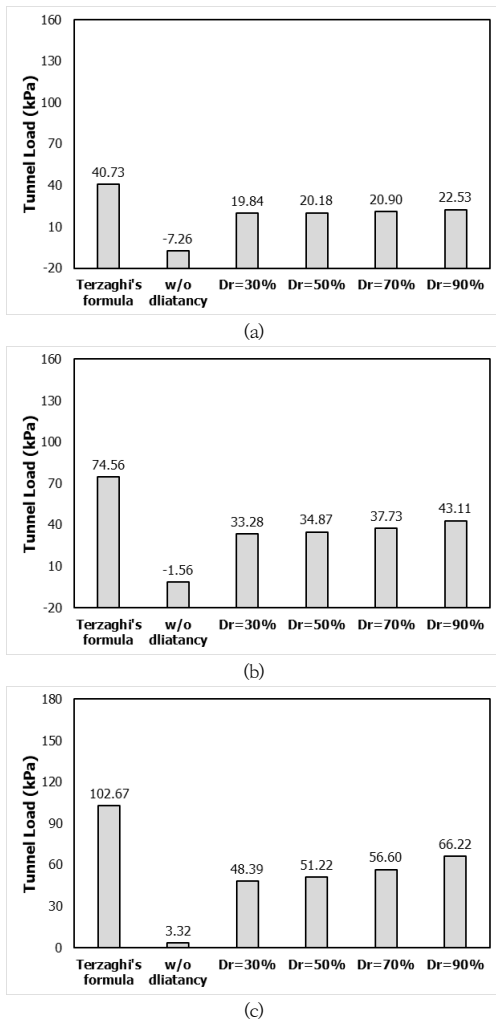


Fig. 9. Tunnel Load using each methods (countinue)
(a) 0.5D (b) 1.0D (c) 1.5D

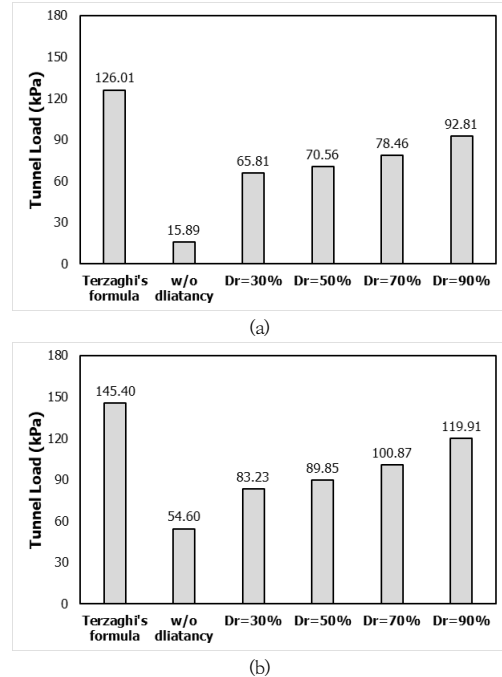


Fig. 10. Tunnel Load using each methods
(a) 2.0D (b) 2.5D

Table 3은 Terzaghi 토압공식에 의한 이완하중대비 지반조사 결과를 이용한 방법과 dilatancy를 고려한 방법의 이완하중의 비율을 나타낸 것이다. Terzaghi 토압 공식은 Eq.이라 명하고, 지반조사 결과를 이용한 방법은 w/o, dilatancy를 고려한 방법은 상대밀도(%)로 명하였다.

토피고 0.5D인 경우 dilatancy를 고려한 방법은 최소 48.7%에서 최대 55.3%정도의 이완하중이 작용하지 않는 것으로 나타났으며, 토피고 2.5D일 때는 57.2~82.5%의 이완하중이 작용하는 것으로 나타났다.

Table 3. Ratio of Tunnel load for each methods

H	0.5D	1.0D	1.5D	2.0D	2.5D
Eq.	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
w/o	0.0%	0.0%	3.2%	12.6%	37.5%
30%	48.7%	44.6%	47.1%	52.2%	57.2%
50%	49.5%	46.8%	49.9%	56.0%	61.8%
70%	51.3%	50.6%	55.1%	62.3%	69.4%
90%	55.3%	57.8%	64.5%	73.7%	82.5%

6. 결론

본 연구에서는 원형 터널을 대상으로 dilatancy 효과를 고려한 이완하중 산정 방법을 해석적으로 분석하였다. Terzaghi 토압공식과 지반조사 자료를 적용한 방법 그리고 dilatancy 효과를 고려한 방법을 정량적으로 비교 하였으며, 본 연구 결과 도출된 결론은 다음과 같다.

1) Terzaghi's 토압 공식은 지반 체적변화와 체적팽창으로 인해 발생하는 dilatancy 효과를 고려하지 못하며, 파괴면을 실제 이완영역에 비해 과도하게 산정하여 실제보다 토압이 크게 산정되는 문제점이 있어 이를 개선하여야 한다.

2) Dilatancy 효과를 고려한 방법의 경우 상대밀도에 따른 팽창각으로 인한 강도증진효과를 모사할 수 있고, 팽창계수를 적용하여 체적변화를 고려하여 공학적으로 이완하중 산정이 가능하다.

3) 지반조사 결과를 이용해 유한요소해석을 수행한 결과, 토압계수가 토사에 가깝게 산정되어 저토피일 때 천단부에서 인장응력이 작용하는 것으로 나타나 실제 현장에서의 지반 거동과 매우 상이한 것으로 나타났다.

4) 각 방법들에 의한 이완하중을 비교한 결과, Terzaghi 토압공식은 이완하중이 과도하게 산정되었고, 지반조사 결과를 이용한 방법의 경우 인장응력이 작용하는 등 실제와 상이한 거동이 나타났다. 하지만 dilatancy를 고려한 방법의 경우 이완하중이 다소 합리적으로 산정되었다.

5) 각 방법들간의 정량적 평가를 통해 dilatancy 효과

를 고려한 방법을 통한 이완하중이 합리적으로 판단되나, 실제 현장에서의 예측결과와의 비교 등을 통해 추가적인 검증이 필요하다고 판단된다.

References

- [1] C. W. Kim, "A Study on Arching Effect of Deep Tunnel using Discrete Element Method", Master thesis, Graduate of School Hanyang Univ., 2014.
- [2] S. W. Moon, "Analysis of tunnel using F.E.M(finite element method)", Master thesis, Graduate of School Sungkyunkwan Univ., 2002.
- [3] H. S. Han, J. H. Cho, N. Y. Yang, B. C. Shin, "Modification of Terzaghi's Earth Pressure Formula on Tunnel Considering Dilatancy of Soil", Journal of Geo-Environmental Society, Vol. 12, No. 11, pp.23-30, 2011.
- [4] K. Terzaghi, "Stress distribution in dry and saturated sand above a yielding trap-door", Proceedings of International Conference of Soil Mechanics, Harvard Univ., Cambridge, USA, 1936.
- [5] KTA, Tunnel Theory and Practice, Korea Tunnelling and Underground Space Association, Goomibook, 2004.
- [6] M. D. Bolton, "The Strength and Dilatancy of Sands", Geotechnique, Vol. 36, No. 1, pp. 65-78, 1986. DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/geot.1986.36.1.65>
- [7] R. A. Jewell, C. P. Wroth, "Direct Shear Tests on Reinforced Sand", Geotechnique, Vol. 37, No. 1, pp. 53-68, 1987. DOI: <http://dx.doi.org/10.1680/geot.1987.37.1.53>
- [8] M. Budhu, "Soil Mechanics & Foundations", John Wiley & Sons, New York, USA, pp.206-210, 2000.
- [9] J. H. Han, "A Comparative Study on the Behavior of NATM Tunnel Considering Geology Condition By Field Instrumentation and Numerical Analysis", Master Thesis, Graduate School Kyung Hee Univ, 2002.

박 신 영(Shin-Young Park)

[정회원]



- 1996년 2월 : 서울대학교 일반대학원 토목공학과 (토목공학석사)
- 2019년 8월 : 금오공과대학교 일반대학원 토목공학과 (토목공학 박사과정)
- 2016년 10월 ~ 현재 : ㈜한라 인프라이업 상무

〈관심분야〉

토질 및 기초, 지반, 터널

한 희 수(Heui-Soo Han)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (토목공학석사)
- 1999년 12월 : South Dakota School of Mines Technology (토목공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목공학과 교수

〈관심분야〉

토질 및 기초, 사면안정, 보강토옹벽