

계면요소를 이용한 지반-라이닝 상호작용 모델에 의한 터널 콘크리트 라이닝 연구

허도학^{1*} · 문현구²

¹정회원, 한양대학교 공과대학 박사과정, (☎)유신

²정회원, 한양대학교 공과대학 교수

A study of tunnel concrete lining design using the ground-lining interaction model with the interface element

Do-hak Huh^{1*}, Hyun-Koo Moon²

¹Korea, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul

²Korea, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul

ABSTRACT: In NATM tunnel, the Ground-Lining Interaction model(GLI model) had been proposed a one of the numerical analysis as the ground load estimation method of the concrete lining. But this model was not applied with the interface mechanism between the ground and the support member or concrete lining. Therefor in this study, it is implemented as a model for closer than actual states that the interface element applied to the existing GLI model. And the modified GLI formula is proposed with the ground load estimation that is from the numerical results for each ground and rock cover conditions. Based on the numerical results, the ground load acting on concrete lining is reduced to ave. 88~106% in case of IV ground condition and ave. 47~57% in case of weathered soil condition comparing with the existing GLI model. It can be anticipated that the results obtained from this study can be applied to an estimation of the ground load on the concrete lining modeled like as real states, consistent and economical design.

Keywords: Ground-Lining interaction model, Concrete lining, Interface element, Ground load

초 록: NATM터널의 콘크리트 라이닝에 작용하는 지반하중을 산정하는 방법으로 수치해석적 기법인 지반-라이닝 상호작용모델(Ground-Lining Interaction Model, GLI 모델)에 의한 지반하중 산정방법이 제안되었다. 그러나, 기존의 GLI 모델은 지반과 지보재 또는 콘크리트 라이닝 사이에 존재하는 계면(Interface)의 구조적 역할을 반영하지 못하였다. 이에 본 연구에서는 기존의 GLI 모델에 계면요소를 반영하여 보다 실제에 가까운 모델로 구현하였다. 그리고, 지반조건 및 토피별 지반하중을 수치해석을 통해 산정하고 기존의 GLI모델 지반하중 상관식을 수정하여 제안하였다. 연구결과, 기존 모델에 비해 계면요소 반영시 지반하중은 토피두께에 따라 IV등급 지반조건에서는 평균 88~106%, 풍화토 지반조건에서는 평균 47~57% 수준으로 감소하였다. 본 연구결과로 콘크리트 라이닝에 작용하는 지반하중을 실제에 가까운 모델로 산정할 수 있으며, 상관식을 이용하여 일관되고 경제적인 설계가 가능하게 될 것으로 예상된다.

주요어: 지반-라이닝 상호작용 모델, 콘크리트 라이닝, 계면요소, 지반하중

1. 서 론

일반적으로 콘크리트 라이닝 설계개념은 역학적 기능을 부가시키는 개념과 역학적 기능을 부가시키지 않는 개념으로 분류된다. 국내에서는 터널완공 후 록 볼트 및 슛크리트의 알칼리 골재반응 등으로 인한

*Corresponding author: Do-hak Huh
E-mail: dhuh@nate.com

Received September 25; Revised October 20;
Accepted October 27

1차 지보재의 열화 등을 이유로 주지보재를 임시구조물로 고려하여 콘크리트 라이닝에 역학적 기능을 부가하여 설계한다. 그러나, 역학적 기능을 부가하여 설계 시 콘크리트 라이닝에 작용하는 외력인 지반하중에 대한 규명이 명확히 이루어지지 않으므로 전토프 하중이나 재래식 터널공법(ASSM)의 지반하중산정방법인 Terzaghi의 수정지반하중 등 과다한 지반하중이 적용된다(Kim et al., 2012).

이에 지반과 지보재 및 라이닝의 구조적 작용기구를 실제와 유사하게 모사할 수 있는 GLI 모델이 제안되었으며, 원형터널에 대한 이론해석 및 현장설계변경사례 등을 통하여 그 타당성이 입증된 바 있다(Chang et al., 2006; Huh et al., 2008; Chang et al., 2010). GLI 모델은 기존방법들에서 고려할 수 없는 복잡한 지반조건 등을 합리적으로 고려할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나, 복잡한 구조계산법으로 인하여 동일한 조건에 대하여 설계자들에 따라 다른 결과가 도출 될 수 있으므로 이에 대한 Terzaghi의 지반하중산정표나 산정식과 같이 설계자들이 간편히 사용할 수 있도록 GLI가 고려된 지반하중 크기 예측식이 제안되었다(Kim et al., 2012).

GLI 상관식을 제안하기 위해 적용된 기존의 GLI 모델은 지반과 지보재(1차 지보재 및 콘크리트 라이닝)를 해석단계에서 일체로 거동하도록 모델링되어 실제로 지반과 지보재 사이에 존재하는 계면의 구조적 역할을 간과하고 해석한 경향이 있다. 이러한 이유로 지반과 지보재 사이의 계면의 구조적 역할을 규명하기 위해 계면요소의 부착력(Bonding strength)에

대한 연구가 이루어졌다. 그 결과에 따르면 계면요소의 작용으로 인해 지반이 하중을 분담하는 역할이 증가하여 지반의 변위는 증가하고 지보재에 작용하는 하중이 감소하는 경향이 있다고 하였다(Chang et al., 2005). 또한, 이때 작용하는 부착력은 최대 1.0MPa를 넘지 않으며 이 결과는 현장 실험실험의 결과에서도 같다(Ahn et al., 2004).

따라서, 본 연구에서는 지반과 지보재 사이의 계면의 구조적 역할을 모사하지 않은 기존의 GLI 모델에 계면요소를 반영하여 지반과 지보재 사이의 구조적 거동을 보다 실제와 유사하게 모사하고, 이를 통해 다양한 지반조건 및 하중조건에 대한 해석을 수행하여 콘크리트 라이닝에 작용하는 지반하중을 검토하고자 한다. 또한, 그 결과를 이용하여 수정된 GLI 상관식을 제안함으로써 지반조건 및 해석자에 따라 달라질 수 있는 수치해석적 방법의 지반하중 산정에 일관성을 가질 수 있도록 하고자 한다.

2. GLI 모델 및 GLI 모델 지반하중식 (GLI Formula)

GLI 모델은 굴착하중을 지반과 분담하고 있는 주지보재가 열화 등에 의한 지지력 상실시, 콘크리트 라이닝으로 전이되는 하중을 지반하중으로 고려하는 방법으로, 굴착과 지보완료후 평형상태에서 지보재를 수치모델로 구현한 구조요소(structural element)를 제거하는 방법으로 지보재의 지지력 상실을 반영한다(Fig. 1).

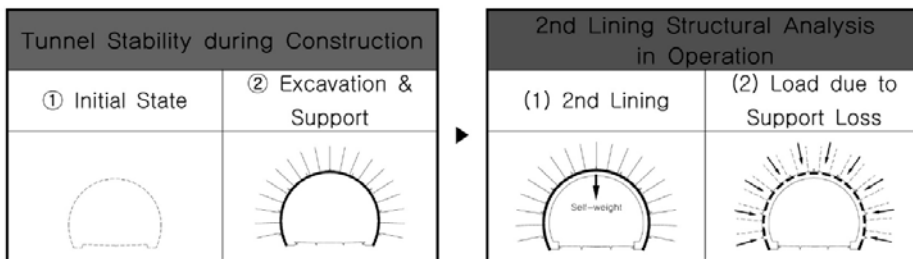


Fig. 1. Numerical analysis procedure of GLI methods

지보재의 제거는 지반하중을 지지하는 지보재 반력이 상실되어 지반과 지보재의 평형상태가 깨어짐으로써 지반은 다시 거동하게 되며, 이미 설치된 콘크리트 라이닝에는 터널변위에 대해 평형상태에 이를 때까지 하중이 작용하게 된다.

따라서, GLI 모델에서의 지반하중 산정방법은 기존의 터널수치해석이 굴착과 지보과정으로 한정된 것을 콘크리트 라이닝 시공과정까지 확장한 것으로 이해할 수 있다. 그리고, 원형터널에 대한 이론해석 및 현장설계변경사례 등을 통하여 그 타당성이 입증된 바 있다(Seo et al., 2002; Chang et al., 2006, 2010). 지반 라이닝 상호작용을 고려한 모델은 다양한 지반 조건, 터널형상 등을 고려할 수 있는 장점이 있으나, 구조계산법의 복잡성 등으로 인하여 현실적으로 직접 적용하기에는 다소 문제점이 야기될 가능성도 배제할 수 없다. 따라서, 일반철도와 고속철도 단면에 대하여 기존설계사례분석을 통한 임반등급별 대표물성치, 토피고를 매개변수로 수치해석적인 방법을 사용하여 지반하중크기를 산정하였다. 그리고, 그 결과값에 대한 다중회기분석을 통하여 식 (1)의 Terzaghi 이론식과 유사한 식 (2)의 GLI 상관식을 도출하였다(Kim et al., 2012).

$$P = \frac{\gamma \times B}{2K \times \tan \phi} \left(1 - e^{-K \cdot \tan \phi \cdot \frac{2H}{B}} \right) \quad (1)$$

$$P = \left[\frac{\gamma \cdot (B + H) - c}{7 \tan \phi} \right] \cdot e^{-\frac{E}{1000(\gamma \cdot B)}} \quad (2)$$

여기서, $B = 2 \left[\frac{b}{2} + h \cdot \tan(45 - \frac{\phi}{2}) \right]$

- h : 터널높이(m)
- b : 터널폭(m)
- γ : 지반의 단위중량(kN/m³),
- E : 변형계수(kN/m²)
- ϕ : 내부마찰각(°)
- c : 점착력(kN/m²),
- H : 토피고(단, H > 80 m 인 경우, H= 80을 적용)

Fig. 2는 상기 제안된 지반하중 예측식에 대하여 기존설계에서 많이 사용되고 있는 Terzaghi 지반하중 산정표 및 Terzaghi 이론식과 지반하중 크기를 비교한 결과를 나타낸 것이다. 비교 결과, GLI 고려시 기존의 Terzaghi의 경험식이나 이론식보다 지반하중이 적게 산정되었다. 이는 기존식의 적용시에 과도한 하중이 산정됨을 알 수 있다. 반면, 지반하중 예측식의 경우

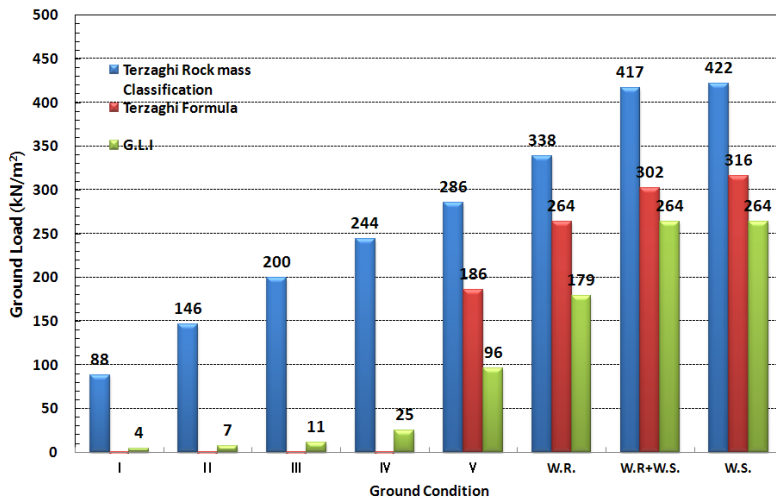


Fig. 2. Comparison from Terzaghi's table, Terzaghi's theory and GLI Formula(Kim et al., 2012)

주보재의 기능 저하에 의한 1차 평형조건의 파괴 및 라이닝에 의한 2차 평형조건 도달시 추가변위에 의한 지반하중의 소산도 하중이 적게 발생된 원인으로 판단된다.

3. 지반과 지보재 상호거동해석을 위한 계면요소 적용을 위한 연구

3.1 1차 지보재의 계면요소 적용성 검토

쏯크리트는 시공특성상 굴착면에 부착시켜 지반의 거동을 제어하는 주지보재이며, 콘크리트 라이닝은 방배수층에 의해 지반(또는 쏯크리트)과 분리되어 거

동하므로, GLI 모델 적용시 이에 대한 고려가 중요하다. 그러나, 현재까지는 지반과 쏯크리트 및 콘크리트 라이닝 사이의 계면에 대한 정의가 불확실하여 쏯크리트 및 콘크리트 라이닝과 지반을 일체화하여 수치 해석을 수행하여 왔다. 따라서, 본 장에서는 계면요소 적용을 위한 기초단계로 계면요소 적용시 적용 물성 결정을 위한 변수연구를 수행하였다.

쏯크리트 계면요소의 변수연구를 위해서 Fig. 3에 서와 같이 철도 복선터널에 해당하는 마제형 터널에 대해서 해석경계의 영향을 최소화하도록 충분한 해석 영역을 모델링하였으며, 지반의 물성치는 4등급의 암반등급에 해당하는 물성치를 사용하였다(Table 1). Table 2는 계면요소 파라미터 연구를 위한 각각의

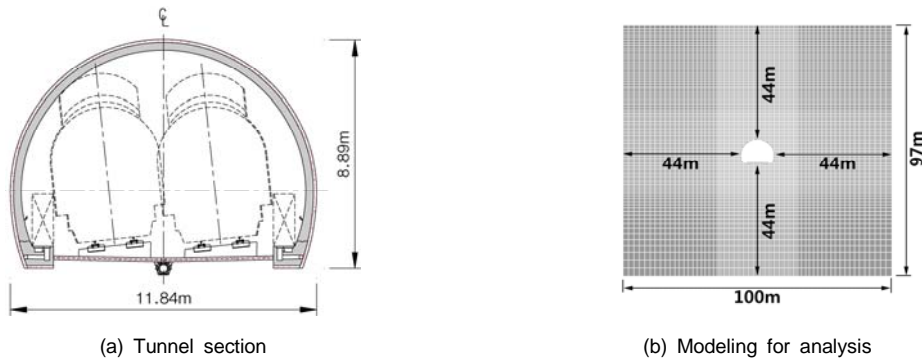


Fig. 3. Tunnel section and modeling for interaction parameter analysis

Table 1. Ground properties and support's properties for parameter study

	Unit weight (kN/m ³)	Cohesion (MPa)	Friction angle (degree)	Deformation modulus (MPa)	Poisson ratio (ν)
Rock mass Classification-IV	23	0.15	34	2,000	0.27
Hard shotcrete	-	-	-	15,000	0.18

Table 2. Interface parameters each cases for analysis

	Normal Stiffness Kn (GPa/m)	Shear Stiffness Ks (GPa/m)	Cohesion (MPa)	Friction angle (degree)	Bonding strength (MPa)
Case 1	23.0	9.0	0.15	34	0.1~5
Case 2	23.0	9.0	0.15	25~45	result of Case 1
Case 3	23.0	9.0	0~0.15	34	result of Case 1

분석케이스와 각 케이스에 해당하는 물성치를 나타낸 것으로 각 케이스별 선정사유는 다음과 같다.

- Case 1 : 부착강도를 변수로 큰 지보재력이 발생하는 부착강도 선정
- Case 2 : 마찰각을 변수로 마찰각의 영향 검토
- Case 3 : 점착력을 변수로 점착력의 영향 검토

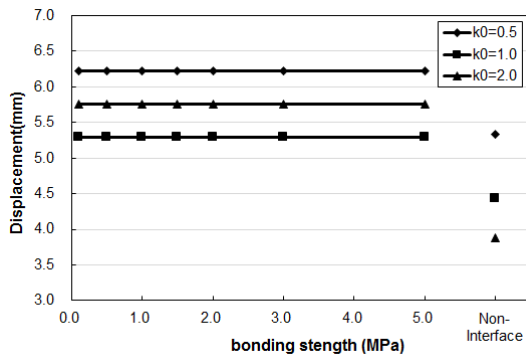
Fig. 4는 계면요소를 반영한 해석과 계면요소를 반영하지 않은 일반 해석의 결과를 비교한 것으로 기존 부착력에 대한 연구결과(Chang et al., 2005)에서와 같이 계면요소 적용시 지반의 하중분담력이 증가하여 지반변위 발생이 커지고, 지보재에 작용하는 지

반하중은 감소하는 경향을 나타냈다.

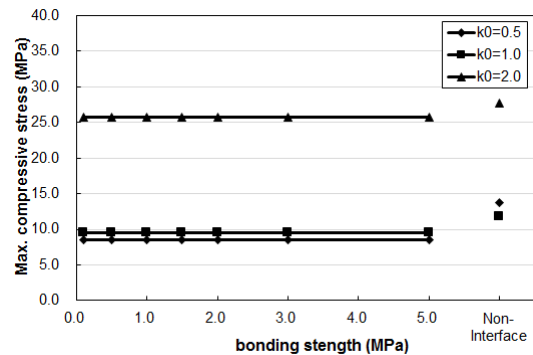
지보재에 가장 큰 지보재력이 작용하는 부착강도의 영향을 검토하기위한 Case 1의 해석결과 지반과 터널 지보재와의 상호거동에는 부착강도의 크기가 영향을 주지는 못하는 것으로 나타났다. 단, 계면요소를 사용했을 경우와 사용하지 않은 경우에는 Fig. 4와 같이 계면요소의 영향이 나타나는 것으로 결과가 나타났다.

Case 2와 3의 파라미터 연구에서는 상기와 같은 결과로 부착강도를 1.0 MPa인 경우에 대해 계면의 점착력과 마찰각의 영향을 검토하도록 하였다.

Case 2는 계면의 마찰각만을 변수로 계면 마찰각 영향을 검토한 것으로 Fig. 5와 같이 계면의 마찰각이 증가할수록 다소의 변화는 있지만 슛크리트에 작용하

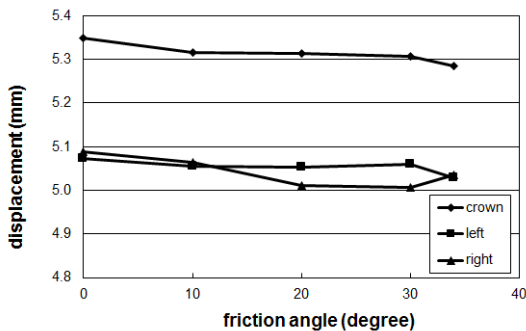


(a) Displacement

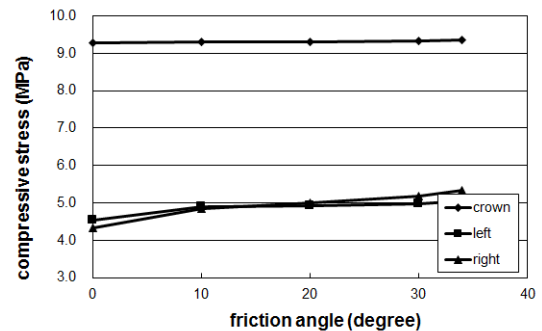


(b) Compressive stress

Fig. 4. Result comparison of interface used model and non-interface used model analysis(at tunnel roof)



(a) Displacement



(b) Compressive stress

Fig. 5. Analysis results with friction angle variation

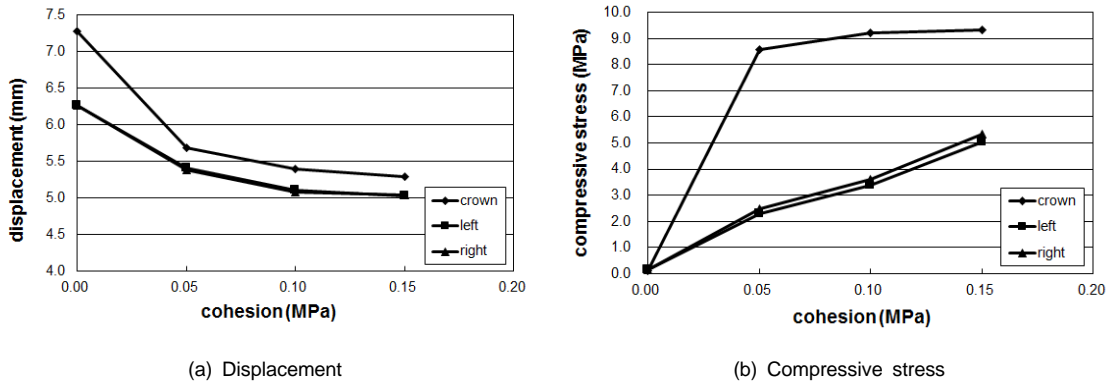


Fig. 6. Analysis results with cohesion variation

는 응력상태는 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 계면의 마찰각은 원지반 물성치보다 적은 약 30° 정도의 값을 계면의 마찰각으로 정하는 것이 합리적이라고 판단된다.

Case 3도 같은 방법으로 부착강도와 마찰각은 고정하고 점착력의 변화가 지보재에 미치는 영향을 검토한 것이다. Fig. 6의 결과에서와 같이 계면의 점착력이 증가할수록 슛크리트에 작용하는 지보재력이 증가하는 경향이 있긴하나 원재료의 물성치에 근사한 값이 될수록 지보재력의 변화가 심하므로 결과에 나타난 바와 같이 원재료 물성치보다 낮으면서 지보재력을 최대 발생시키는 0.05 MPa 정도를 계면의 점착력으로 정하는 것이 합리적이라고 판단된다.

상기와 같이 슛크리트와 지반과의 접촉면을 계면요소를 이용하여 해석할 경우 계면요소의 부착강도보다는 내부마찰각이나 점착력의 영향이 크다는 것으로 결과되었다. 이는 터널 굴착에 따른 굴착면 주변의 응력상태가 원심방향의 응력(radial stress)은 소멸되고 원주방향 응력(tangential stress)이 지배하기 때문에 슛크리트와 지반과의 계면에서 미끄럼현상(slip)에 의한 거동이 지배적이기 때문이라고 판단된다.

결국, 연속체해석에 의한 계면요소를 이용한 슛크리트와 지반과의 상호거동 해석시에는 계면요소의 부착강도보다 점착력과 내부마찰각의 영향이 크다고 할 수 있다.

3.2 콘크리트 라이닝의 계면요소 적용성 연구

콘크리트 라이닝은 시공순서상 굴착면-스�크리트-부직포-방수막-콘크리트 라이닝의 순서 중 방수막 다음으로 설치되며 방수막과의 연결된 요소는 없이 콘크리트 모르타르를 타설하여 경화시켜 설치되는 구조물이다. 이러한 이유로 콘크리트 라이닝은 지반과 분리구조의 구조물이라고 할 수 있다. 그러나, 지금까지의 지반해석시에는 콘크리트 라이닝이 지반과 분리상태가 아닌 지반과 일체 상태로 연속체 해석을 수행해 왔다.

콘크리트 라이닝과 지반이 분리구조이므로 계면요소의 물성치는 존재하지 않는 것이 합리적이라고 판단되나, 이를 검증하기 위해 수치해석적으로 검토하고자 한다. 이를 위한 해석모델은 상기 해석과 동일한 모델과 지반물성치를 사용하고, 시공절차에 따라 콘

Table 3. Lining concrete material properties for analysis

	Unit weight (kN/m ³)	Cohesion (MPa)	Friction angle (degree)	Deformation modulus (MPa)	Poisson ratio (ν)
Lining Concrete	-	-	-	25,800	0.18

Table 4. Interface parameters with cases for concrete lining interface analysis

	Normal Stiffness (GPa/m)	Shear Stiffness (GPa/m)	Cohesion (kPa)	Friction angle (degree)	Bonding strength (kPa)
Case 1	23.0	9.0	0	0	0
Case 2	23.0	9.0	70 (50% of ground)	15 (50% of ground)	500 (50% of shotcrete bonding strength)
Case 3	23.0	9.0	glued	glued	glued

크리트 라이닝 요소 설치시기는 지반-라이닝 상호작용모델에서와 같이 슛크리트 제거 후 설치하는 것으로 한다. 단, 콘크리트 라이닝 계면요소 물성치 파라미터 연구를 위한 적용 물성치는 다음과 같이 한다.

해석케이스는 Table 4와 같이 지반과 라이닝이 분리된 구조로서 계면요소의 물성치가 존재하지 않는 케이스, 기존의 해석과 같이 일체로 해석하는 케이스와 라이닝 콘크리트 타설시 타설압에 의한 접착력이 존재할 것을 가정하여 지반물성치의 50% 정도를 적용하는 케이스로 연구하였다.

해석결과 다음 Fig. 7과 같이 나타났으며 슛크리트 계면요소의 영향검토에서와 같이 물성치에 따라 천단부 압축응력이 다소 증가하는 경향은 있다. 그러나, 그 변화량이 매우 미미하고 구조적으로 콘크리트 라이닝과 지반은 분리구조로 되어있으므로 계면요소를 이용한 콘크리트 라이닝 해석시에는 분리구조로 해석하는 것이 합리적이라고 판단된다.

4. 계면요소를 이용한 수정 지반하중 상관식 제안

지반과 1차 지보재 또는 콘크리트 라이닝의 계면요소의 파라미터 결정에 대한 연구는 GLI모델에서 지반과 지보재나 라이닝과의 사이에 형성된 불연속면의 물성을 반영하여 해석하므로써 GLI모델에 의한 지반하중을 합리적으로 도출하고 이를 근거로 지반-라이닝상호작용모델 지반하중식을 수정하여 제안하고자 함이다. 이를 위해, GLI모델 지반하중식을 결정하기 위한 해석 모델을 이용하여 계면요소가 반영된 해석을 재수행하였다. 계면요소가 반영된 GLI모델 지반하중식 도출을 위해 Fig. 8에서와 같이 마제형 터널에 대해서 해석경계의 영향을 최소화하도록 충분한 해석영역을 모델링하였다. 지보재 물성치와 계면요소의 물성치는 상기 연구에서 결정된 값들을 사용하였다. 해석을 위한 지반조건은 Table 5에서와 같이 지반하중 해석에 의한 값이 발파이완하중에 의한 하중보다

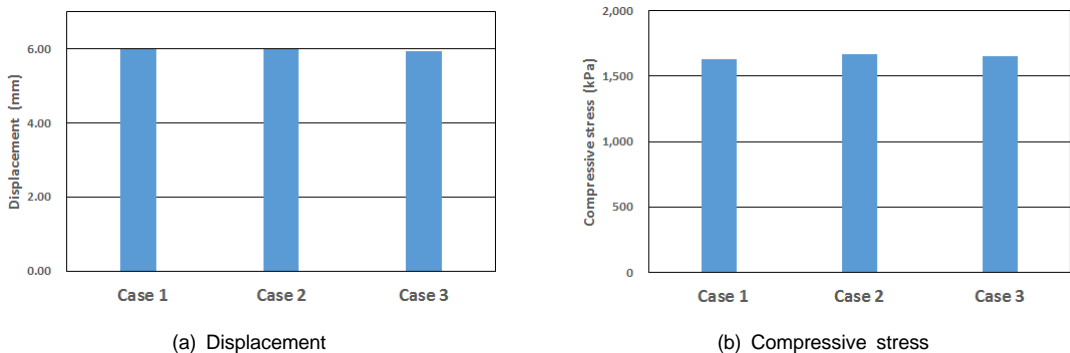


Fig. 7. Results of lining interface parameter analysis

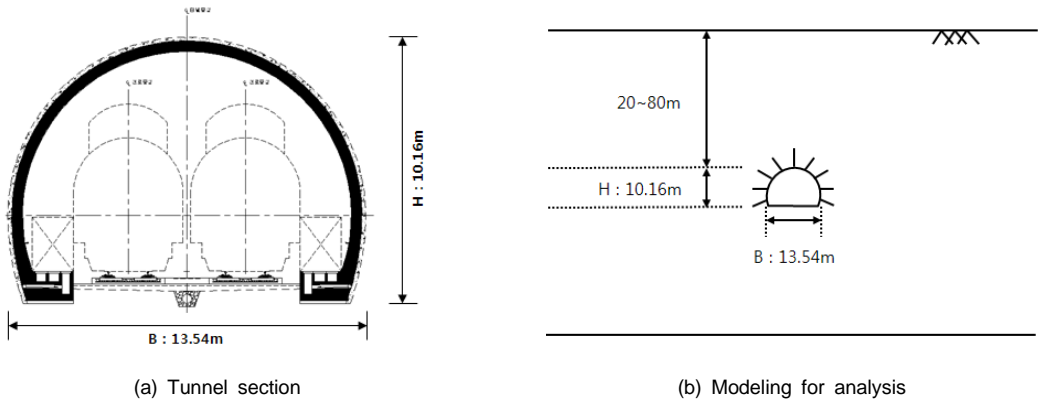


Fig. 8. Tunnel section and modeling for analysis

Table 5. Properties of rock classification for analysis

Ground condition	Classification	Unit weight, γ (kN/m ³)	Deformation Modulus (MPa)	Poisson ratio, ν	Cohesion, c (kPa)	Friction angle ϕ (°)
1	IV	23	4,000	0.26	700	32
2					400	
3					700	
4			400			
5			700			
6			400			
7	V	22	1,000	0.28	200	30
8			100			
9			800		200	
10			100			
11			200			
12	100					
13	Weathered rock (WR)	21	400	0.30	90	32
14					70	
15					50	
16			90			
17			300		70	
18			50			
19			90			
20	200	70				
21	50					
22	Weathered soil (WS)	20	100	0.32	40	30
23					35	
24					30	
25			40			
26			80		35	
27			30			
28			60		40	
29			35			
30			30			
31			40			
32			35			
33	40	30				




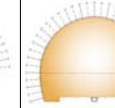
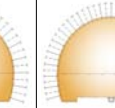
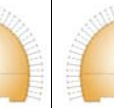
작은 I, II, III 등급을 제외한 IV ~ 풍화토까지 지반 조건을 사용하였다. 해석에 사용한 지반조건별 지보 패턴은 Table 6을 사용하였다.

지반조건과 함께 터널 상부 토피의 영향을 검토하기 위해 터널 상부 토피 20~80 m의 심도별 조건을 반영하여 총 165케이스에 대해 해석을 수행하였다. 해석을 수행한 결과 Fig. 9는 터널 상부의 토피 두께에 따라, 지반등급 IV 등급부터 풍화토까지 기존 GLI 모델의 결과와 계면요소를 사용한 GLI 모델의 결과의 지반하중 비를 나타낸 것이다. 계면요소를 사용한 GLI 지반하중 결과는 IV 등급에서는 평균 88~106%, V 등급에서는 평균 46~85%, 풍화암조건에서는 49~77% 그리고 풍화토 조건에서는 47~57% 수준으로 감소한다. 지반조건이 양호한 IV 등급에서는 기존 GLI

에 의한 지반하중과 유사한 수준으로 지반하중이 산정되나 지반조건이 불량해질수록 지반하중의 감소폭이 큰 것으로 나타난다. 그리고 토피가 작을수록 계면 요소가 없는 경우와 유사하거나 지반하중의 감소폭이 작게 나타난다. 계면요소 사용에 의한 지반하중 감소는 기존 Chang et al. (2005)의 연구에서와 같이 계면요소 사용시 지보재에 작용하는 하중이 감소하는 효과와 유사한 결과라고 할 수 있다.

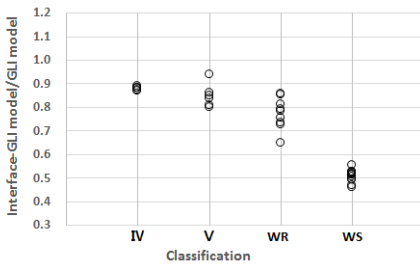
지반조건이 암반인 암반분류 IV ~ 풍화암과 토사로 구분하여 경향성을 분석하면 암반분류 IV ~ 풍화암까지는 다음 Fig. 10과 같이 계면요소를 반영했을 때 결과와 이에 의한 상호작용 상관식 (3)을 구하여 비교할 수 있다. 계면요소가 반영된 상관식 (3)의 상관계수는 0.97~0.99를 나타낸다. 풍화토 지반조건에서

Table 6. Support patterns for analysis

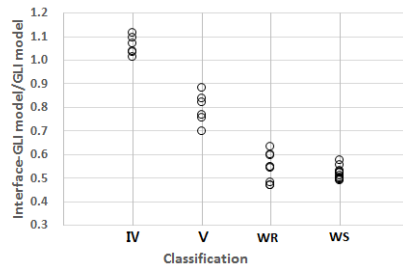
Support pattern		PD-1	PD-2	PD-3	PD-4	PD-5	PD-6
R M R		> 81	61~80	41~60	21~40	< 20	< 20
Q		> 40	10~40	1~10	0.1~1	< 0.1	< 0.1
Layout							
Excavation method		upper/lower divided	upper/lower divided	upper/lower divided	upper/lower divided	upper/lower divided	upper/lower divided
Advance (m)		3.5	2.5	2.0	1.5	1.2	1.2
Shotcrete (mm)		50 shotcrete	50 steel fiber reinforced	100 steel fiber reinforced	150 steel fiber reinforced	200 steel fiber reinforced	200 steel fiber reinforced
Rock bolt (SD350)	length (m)	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0
	long/trans space (m)	Random	2.5/2.0	2.0/1.5	1.5/1.5	1.2/1.2	1.0/1.2
Lattice girder	long space (m)	-	-	-	1.5	1.2	1.0
	spec.	-	-	-	lattice girder 50×20×30	lattice girder 70×20×30	lattice girder 95×22×32
Concrete lining	thickness (mm)	300	300	300	400	400	400
	rebar	-	-	-	reinforced	reinforced	reinforced
Auxiliary method		-	-	-	if necessary, forpoling, small steel pipe reinforcement or large steel pipe reinforcement		

의 결과는 Fig. 11과 같으며 식 (4)가 풍화토 지반에서 수정 상관식이며 상관계수는 0.97~0.99이다. 풍화암 이상의 지반조건과 풍화토 지반조건을 분류한 이유는 계면요소가 반영된 GLI모델 해석결과가 다소 일관된 경향을 보이지 않기 때문이며, 이는 토사터널 설계와

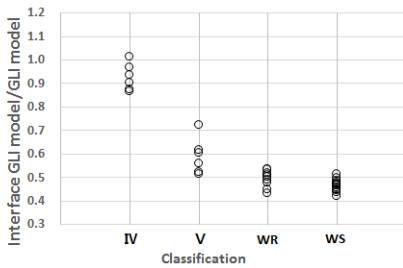
암반터널 설계 개념을 달리한 경향과도 관계가 있다고 할 수 있다. 풍화암 이상 지반에서는 토피가 높아지고 지반물성치가 양호할수록 상관식보다는 많은 지반 하중이 발생하는 것으로 나타났다. 반면에 풍화토 지반에서는 심도가 낮고 지반물성치가 양호할수록 상관



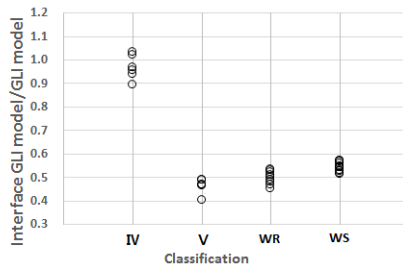
(a) rock cover 20 m case



(b) rock cover 40 m case



(c) rock cover 60 m case



(d) rock cover 80 m case

Fig. 9. Ratio of GLI with interface and GLI model in case of rock cover variation

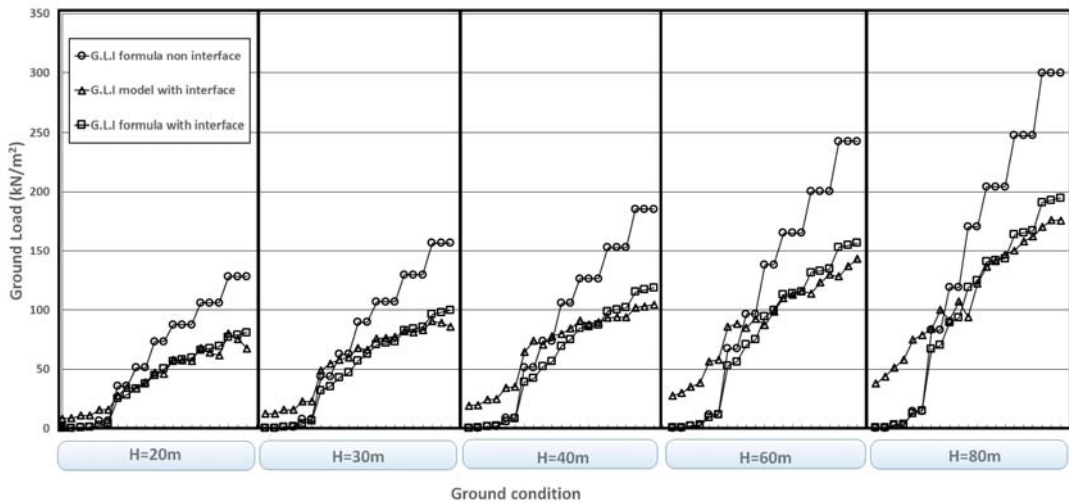


Fig. 10. Comparison modified GLI formula with other results from IV to weathered rock condition with each rock cover(H)

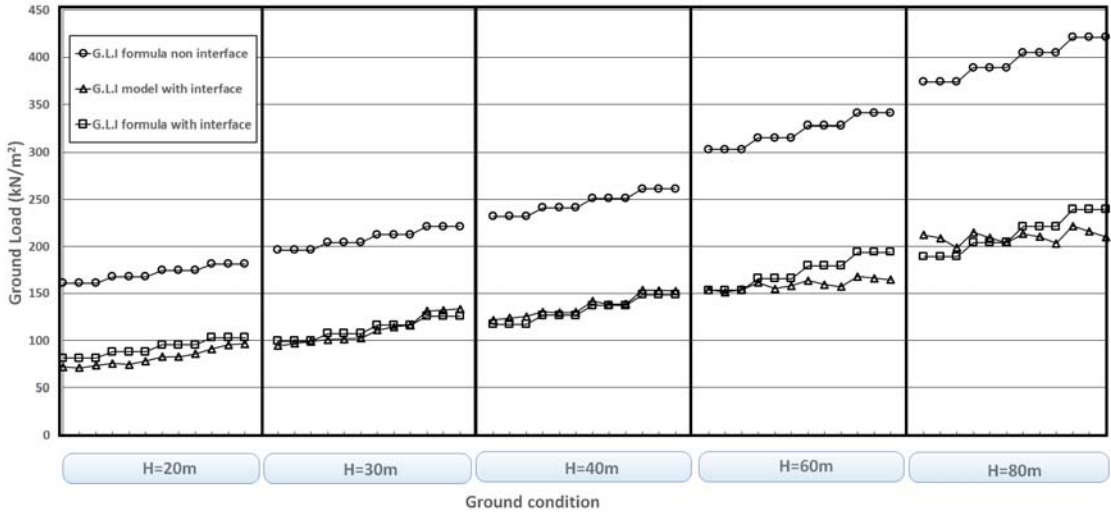


Fig. 11. Comparison modified G.L.I. formula with other results in weathered soil condition with each rock cover(H)

식으로 계산된 지반하중이 다소 높게 나타났다. 풍화 토 지반조건에서 토피고가 60 m 이상인 경우는 상관도가 다소 떨어지는 경향이 있으나, 실제 풍화토 지반조건에서 60 m 이상의 고토피 조건은 거의 발생되지 않으므로 풍화토 천층조건에 상관도가 좋은 상관식을 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

- 계면요소를 고려한 수정된 GLI 상관식
IV ~ 풍화암 지반조건 :

$$P = \left[\frac{\gamma \cdot (B+H) - c}{13 \tan \phi} \right] \cdot e^{-\frac{E}{1250(\gamma \cdot B)}} \quad (3)$$

풍화토 지반조건 :

$$P = \left[\frac{\gamma \cdot (B+H) - c}{13 \tan \phi} \right] \cdot e^{-\frac{E}{500(\gamma \cdot B)}} \quad (4)$$

여기서, $B = 2 \left[\frac{b}{2} + h \cdot \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right]$

h : 터널높이(m)

b : 터널폭(m)

γ : 지반의 단위중량(kN/m³)

E : 변형계수(kN/m²)

ϕ : 내부마찰각(°)

c : 점착력(kN/m²)

H : 토피고

본 연구에서 산정된 결과와 수정된 GLI 제안식에 대한 상관관계(corelation)을 검토해 본 결과 상관관계 계수(R2)는 0.97 이상으로 가능한 GLI 모델 해석결과 보다는 안전하게 설계할 수 있는 상관식이 되도록 결정하였다.

5. 결론

본 논문에서는 NATM 터널의 콘크리트 라이닝에 작용하는 지반하중에 대하여 합리적인 산정방법으로 제안된 GLI 모델 방법에 대하여 고찰해 보았다. 숏크리트 및 콘크리트 라이닝과 지반의 계면요소 적용을 위해 계면요소 적용시 적용 부착력 등의 물성에 대한 변수연구를 수행하였다. 그리고 이를 이용하여 계면 요소가 고려된 GLI 모델 해석을 통해 수정된 GLI 관계식을 제안하게 되었다. 이에, 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. GLI 모델은 주지보재 기능저하에 의하여 콘크리트 라이닝에 전이되는 하중을 산정하는 방법으로 기존 산정방법에 비하여 합리적인 방법이며, 지반 하중 크기 산정식 적용을 통하여 지반조건, 터널크기 등에 대하여 정량적 하중 산정이 가능하다.
2. 지보재에 발생하는 응력상태는 계면요소를 이용한 경우가 일반적 해석에 비하여 발생하는 압축응력 및 전단응력이 감소되며, 계면요소의 부착강도보다 점착력과 내부마찰각의 영향을 받는 것으로 분석되었다.
3. 계면요소를 이용하여 GLI 모델을 사용한 경우 지반하중은 기존 방법에 비해 80 m의 토피 조건에서 최대 40%(평균 46%)까지 감소되는 것으로 나타났다.
4. 지반하중 산출결과를 회귀분석하여 수정 GLI 상관식을 제안하였으며, 이를 통해 보다 용이하고 경제적인 설계가 가능하도록 하였다.

향후 보다 다양한 지반 및 하중조건에 대한 케이스 연구와 지반과 슛크리트 및 콘크리트 라이닝 계면요소 고려를 위한 모형실험 등을 통한 GLI 모델의 개선으로 더 신뢰성있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. Ahan, K.C., Shin, J.K., Kim, J.D., Won, K.Y., Kim, T.K. (2004), "The support design with mesurement of shotcrete bonding strength", Spring Conference Proceeding of Korean Society for Rock Mech, pp. 31-45.
2. Chang, S.B., Hong, E.J., Moon, S.J. (2005), "A study on effect of shotcrete adhesive strength on large section rock tunnel stability", J of Tunn Underground Space Association, Vol. 7, No. 4, pp. 305-311.
3. Chang, S.B., Huh, D.H., Moon, H.K. (2006), "A study of tunnel secondary lining design using ground-lining interaction model", J of Tunn Underground Space Association, Vol. 8, No. 4, pp. 365-375.
4. Chang, S.B., Lee, S.Y., Suh, Y.H., Yun, K.H., Park, Y.J., Kim, S.M. (2010), "A study on field change case of tunnel concrete lining designs using GLI(Ground Lining Interaction) model", Journal of Korean Society for Rock Mechanics, TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Vol. 20, No. 1, pp. 58-64.
5. Huh, D.H., Chang, S.B., Moon, H.K. (2008), "A study on the secondary tunnel lining design using a ground-lining interaction model", J of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, Vol. 45, No. 4, pp. 370-380.
6. Kim, S.H., Kim, K.L., Jeong, S.S., Choi, W.I., Lee, K.J., Lee, S.W. (2012), "Estimation of the ground loads acting on concrete lining in NATM tunnel", Spring Conference Proceeding of Korean Society for Railway, pp. 415.
7. Kim, S.H., Kim, K.L., Park, J.J., Kim, D.H., Lee, S.W., Kim, C.Y. (2012), "A study on the design loads of concrete lining using ground-lining interaction model in NATM tunnel", the 38st ITA- AITES World Tunnel Congress, pp. 417.
8. Seo, S.H., Chang, S.B., Lee, S.D. (2001), "An analysis model of the secondary tunnel lining considering ground-primary support-secondary lining interaction", Tunnel&Underground, J. of Korean Society for Rock Mech., Vol. 12, No. 2, pp. 107-114.