Int. J. Highw. Eng. Vol. 19 No. 6 : 47-56 DECEMBER 2017
https://doi.org/10.7855/IJHE.2017.19.6.047

복층터널 중간슬래브 유지관리에 따른 응력분포 특성 분석

Characteristics of Middle Slab Stresses in Double-Deck Tunnel During Maintenance

조 영 교 Cho, Young Kyo | 정회원 · 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 연구박사 (E-mail : brain@khu.ac.kr)
이 영 훈 Lee, Young Hoon | 정회원 · 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 석사과정 (E-mail : rjiky@khu.ac.kr)
박 범 근 Park, Beom Keun | 정회원 · 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 석사과정 (E-mail : bkpark224@khu.ac.kr)
김 성 민 Kim, Seong-Min | 정회원 · 경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : seongmin@khu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to investigate the stresses of the middle slab in a double-deck tunnel owing to the slab lift to replace the underlying elastic pads during maintenance work.

METHODS : The middle slab was divided into three different sections: typical section, expansion joint section, and emergency passageway section. Finite element analysis models of these three sections of middle slab were developed, and the stress distribution and maximum stresses were obtained using the models when the middle slab was lifted to replace the underlying elastic pads. Various slab lifting methods were examined in this study such as one-, two-, and multiple-point lifts, distributed lifts, and one or both slab side edge lifts.

RESULTS : When the slab side edge is lifted, the longitudinal stresses of the slab are almost the same as the principal stresses. This implies that the governing stresses are the longitudinal stresses. The maximum stresses with both-edge lifts are generally smaller than those with one-edge lifts at all three sections of middle slab.

CONCLUSIONS : If the middle slab in a double-deck tunnel is lifted for maintenance, the slab should be lifted at multiple points along the longitudinal direction to reduce the tensile stresses.

Keywords
double-deck tunnel, middle slab, numerical analysis, expansion joint, emergency passageway, stress, maintenance

Corresponding Author : Kim, Seong-Min, Professor
Department of Civil Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deogyeong-daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 17104, Korea
Tel : +82.31.201.3795 Fax : +82.31.202.8854
E-mail : seongmin@khu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Oct. 02. 2017 Revised Oct. 07. 2017 Accepted Oct. 18. 2017

1. 서론

복층터널은 일반터널과 달리 터널 내부에 중간슬래브를 설치하여 터널을 상부와 하부로 분리하여 사용하는 형식이다(Park et al., 2017). 터키의 유라시아 터널, 프랑스의 A86 East 터널, 중국의 Fuxing 터널, 스페인의 M30 터널, 말레이시아의 SMART 터널 등 여러 나라에서는 교통량이 극심한 도심지 구간에 대심도 복층터널을 건설하여 공용 중에 있다(Arlet, 2012; Kannapiram, 2005; Kim, 2010; Santhiman and Weei, 2006).

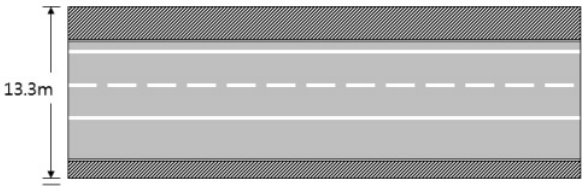
복층터널의 중간슬래브는 터널 라이닝과 강결된 브래킷 위에 놓여지며, 브래킷과 중간슬래브를 완만하게 연결하고 상시 및 지진 시 슬래브의 수평력과 이동량을 수

용하기 위하여 중간슬래브와 브래킷 사이에 탄성패드가 설치된다. 복층터널에서 중간슬래브의 원활한 주행성과 안전성을 확보하기 위해서는 중간슬래브 받침대인 탄성패드의 유지관리가 중간슬래브 상부 도로 포장의 유지보수와 함께 중간슬래브에 대한 가장 중요한 유지관리 요소라고 할 수 있다.

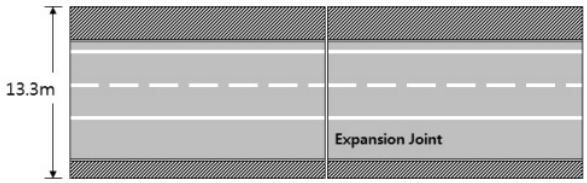
중간슬래브와 브래킷 사이에 설치된 탄성패드의 교체작업 시에는 중간슬래브를 약 50mm 정도는 인상하여야 작업 공간이 확보된다. 이러한 중간슬래브의 부분 인상 작업은 슬래브에 예기치 못한 응력을 발생시키며 이러한 응력에 의해 슬래브에 손상을 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 브래킷으로 양단이 지지되어 있는 복층터널 중간슬래브의 특성을 고려하여 탄성패드의 교체를 위한 중간슬래브 인상 시 발생하는 슬래브의 응력 분포를 분석함으로써 복층터널 중간슬래브의 설계 및 유지관리 방안의 기반을 마련하고자 한다.

2. 중간슬래브 해석모델

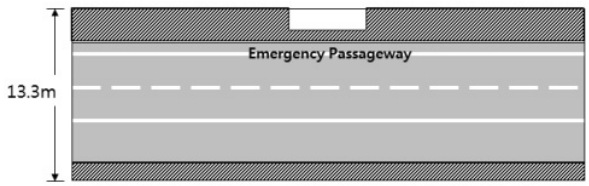
복층터널 중간슬래브의 단면은 크게 일반구간(Typical section), 팽창줄눈구간(Expansion joint section), 비상대피시설구간(Emergency passageway section)으로 구분할 수 있으며, 이에 대한 각 해석모델을 Fig. 1에 나타내었다.



(a) Typical Section



(b) Expansion Joint Section



(c) Emergency Passageway Section

Fig. 1 Section Types of Middle Slab

분석에 사용된 중간슬래브 두께는 400mm이며, 종방향 길이는 100m이다. 이와 같은 중간슬래브의 제원을 바탕으로 유한요소 해석 프로그램(ABAQUS, 2007)을 이용하여 Fig. 2와 같이 3차원 구조 해석 모델을 구성하였다. 탄성패드 교체를 위한 중간슬래브의 인상 높이는 50mm이며, 슬래브 인상 시에는 중간슬래브에 교통통행이 없기 때문에 차량하중은 재하하지 않았다.

(a) Typical and Expansion Joint Sections

(b) Emergency Passageway Section

Fig. 2 Finite Element Analysis Models of Middle Slab

3. 일반구간 응력 분석

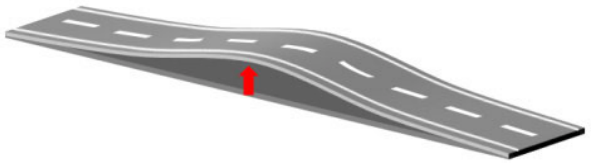
Table 1은 중간슬래브 일반구간에서 슬래브에 응력이 최소로 걸리도록 슬래브를 인상하는 방안을 찾기 위한 해석 인자를 나타내었다. 중간슬래브의 인상은 브래킷에 지지되는 양쪽 단부 중 한쪽 단부만을 인상할 경우와 양쪽 단부를 동시에 인상할 경우에 대해 비교 분석하였으며, 슬래브에 인상력을 가하는 지점의 개수에 따른 영향 또한 분석하였다. 한쪽 단부를 인상하는 경우는 1E라고 표현하였으며, 양단부 인상은 2E라고 표현하였다. 1점 인상은 한 위치에서 집중하중으로 슬래브를 50mm 인상하는 경우로 1P라고 표현하였으며(Fig. 3(a)), 2점 인상은 서로 2m 이격된 2점에서 집중하중으로 슬래브를 50mm 인상하는 경우로 2P라고 표현하였다(Fig. 3(b)). 분포하중 인상은 슬래브 종방향 32m 길

이를 슬래브 중심 50mm 인상을 기준으로 양방향 코사인 그래프 개형으로 완만하게 인상하는 경우를 의미하며 D라고 표현하였다(Fig. 3(c)). 이때 사용된 코사인 함수는 Eq. (1)과 같다.

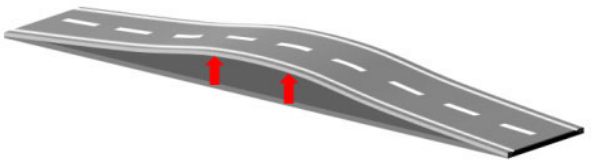
하지만 현실적으로 분포하중으로 슬래브를 인상할 수는 없기 때문에 이와 유사한 7점 인상을 고려하였으며 이를 7P라고 표현하였다(Fig. 3(d)). 7점 인상의 경우 50mm 인상하는 부분을 중심으로 양방향 4m, 8m, 12m 이격된 총 7점에서 집중하중으로 슬래브를 인상하며 각 이격된 점에서는 분포하중과 마찬가지로 코사인 그래프 개형을 보이며 완만하게 슬래브를 인상하도록 크기를 조정하였다.

Table 1. Lift Cases at Typical Section

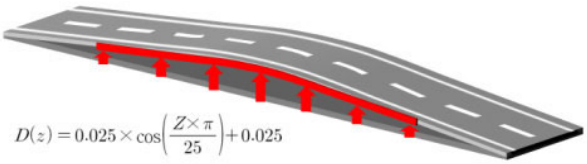
No. of lifting points	One-edge lift (1E)	Both-edge lift (2E)
1 Point (1P)	T-1E-1P	T-2E-1P
2 Points (2P)	T-1E-2P	T-2E-2P
Distributed (D)	T-1E-D	T-2E-D
7 Points (7P)	T-1E-7P	T-2E-7P



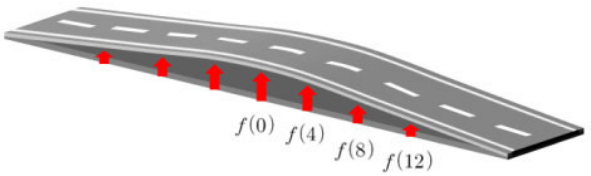
(a) 1-point Lift



(b) 2-point Lift



(c) Distributed Lift



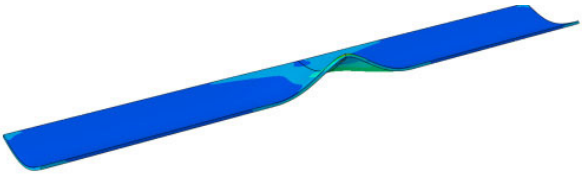
(d) 7-point Lift

Fig. 3 Lift Cases along Longitudinal Direction

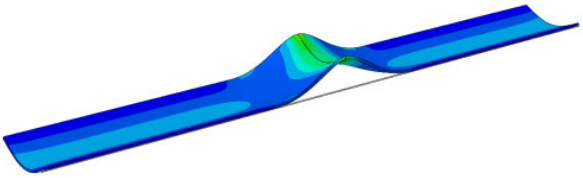
$$D(z) = 0.025 \times \cos\left(\frac{Z \times \pi}{25}\right) + 0.025 \quad (1)$$

where, z = longitudinal length

Fig. 4는 일반구간에서 중간슬래브를 한쪽 단부와 양쪽 단부에서 인상 시 중간슬래브에 발생하는 전형적인 응력분포와 변형의 모습을 보여준다.



(a) One-edge(1E) Lift

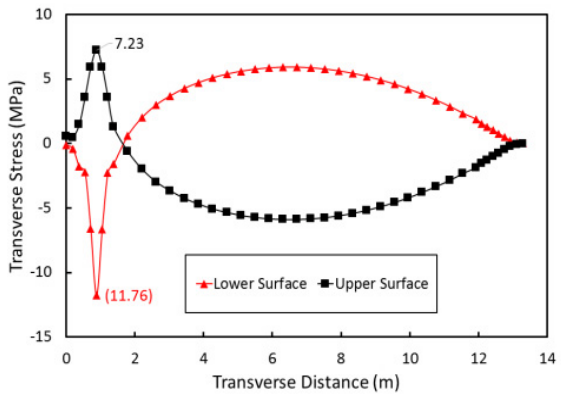


(b) Both-edge(2E) Lift

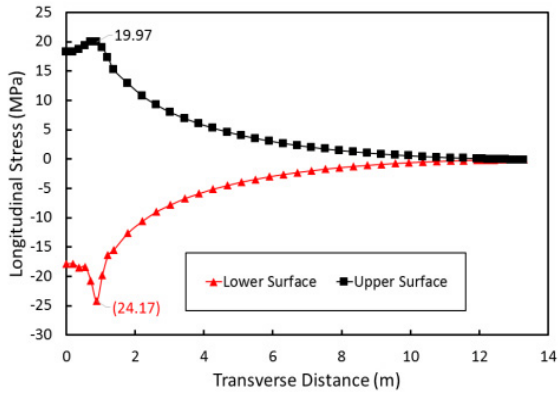
Fig. 4 Stress Distribution and Deformation of Middle Slab Typical Section

Fig. 5는 일반구간에서 한쪽 단부의 1점 슬래브 인상 시(1E-1P) 발생하는 슬래브 응력을 횡방향을 따라 나타내었다. Fig. 5(a)는 슬래브 횡방향을 따라 발생하는 횡방향 응력을 나타내었다. 슬래브 상면(Upper surface)에서 최대 인장응력, 슬래브 하면(Lower surface)에서 최대 압축응력이 발생하는 것을 알 수 있다. Fig. 5(b)는 슬래브 횡방향을 따라 발생하는 종방향 응력을 나타내었으며, Fig. 5(c)는 슬래브에 발생하는 최대 주응력을 횡방향을 따라 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 종방향 응력과 주응력의 크기는 거의 같으며 횡방향 응력에 비해 큰 것으로 보아 중간슬래브 인상 시 종방향 응력이 지배적인 것을 알 수 있다.

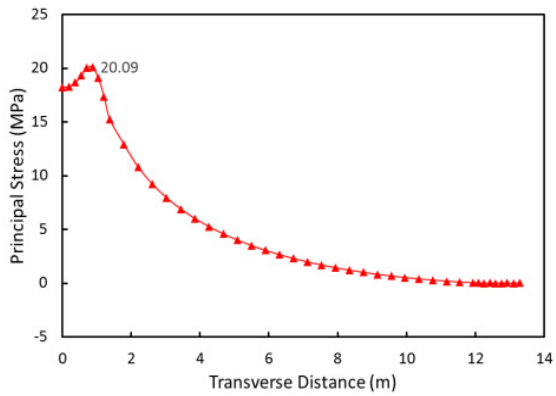
Fig. 6은 일반구간에서 한쪽 단부의 1점 슬래브 인상 시 발생하는 슬래브 응력을 종방향을 따라 나타내었다. Fig. 6(a), (b), (c)는 각각 횡방향 응력, 종방향 응력, 주응력을 나타낸다. 종방향을 따라 발생하는 응력분포는 인상 위치로부터 횡방향 응력은 약 6m, 종방향 응력은 약 14m, 주응력은 약 7m까지 영향을 받는 것을 알 수 있다.



(a) Transverse Stresses

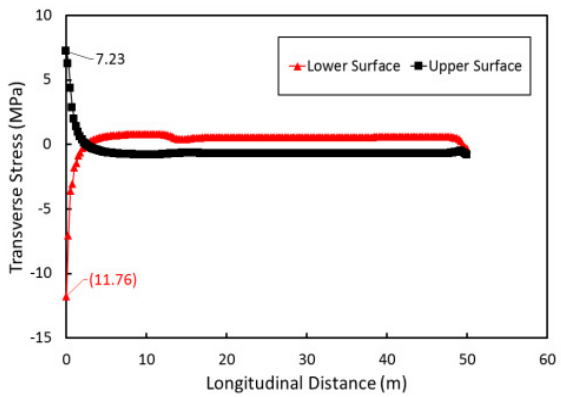


(b) Longitudinal Stresses

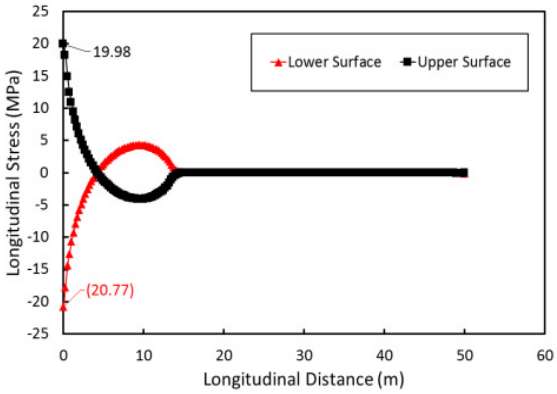


(c) Principal Stresses

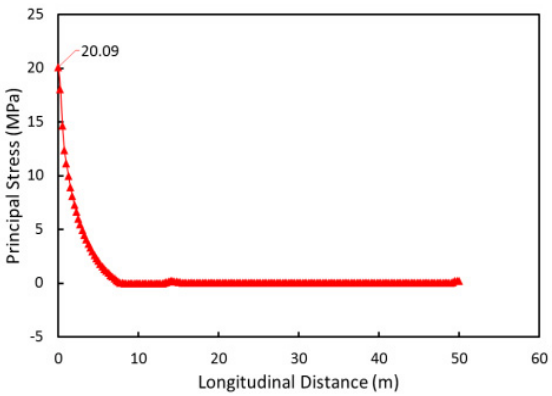
Fig. 5 Stress Distribution along Transverse Direction



(a) Transverse Stresses



(b) Longitudinal Stresses



(c) Principal Stresses

Fig. 6 Stress Distribution along Longitudinal Direction

Fig. 7은 일반구간에서 한쪽 단부 1점 인상(T-1E-1P)과 양단부 1점 인상(T-2E-1P) 시의 주응력을 종방향을 따라 나타내었다. 한쪽 단부만을 인상할 경우의 최대 응력이 20.09MPa로 양단부를 인상할 경우보다 응력이 다소 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 일반구간에서 한쪽 단부 인상 시 인상 방법에 따른 슬래브의 응력을 나타내었다. 분석에 사용된 인상 방법은 1점 인상(T-1E-1P), 2점 인상(T-1E-2P), 분포 인상(T-1E-D), 7점 인상(T-1E-7P)이다. 그림에서와 같이 주응력이 가장 큰 경우는 1점을 인상할 경우로서 약 20MPa의 최대 인장응력이 발생하는 것을 알 수 있으며, 분포 인상 시 가장 작은 응력인 약 10MPa의 최대 인장응력이 발생한다. 또한 2점 인상의 경우가 7점 인상의 경우보다 오히려 미소하나마 응력이 작게 발생하는 것을 알 수 있다.

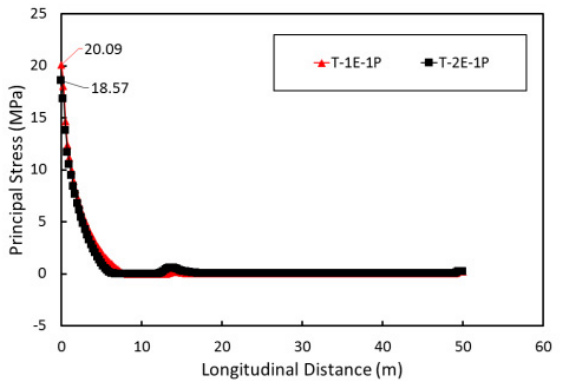


Fig. 7 Stress Distribution Comparison between One-and Both-Edge Lifts at Typical Section

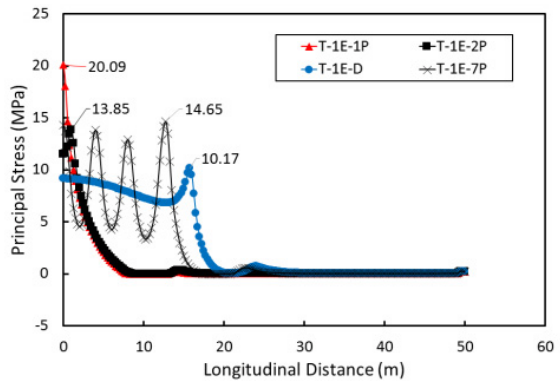


Fig. 8 Stresses of Typical Section Depending on One-Edge Lift Cases

Fig. 9는 일반구간에서 양단 인상 시 인상 방법에 따른 슬래브의 응력을 나타내었다. 분석에 사용된 인상 방법은 1점 인상(T-2E-1P), 2점 인상(T-2E-2P), 분포 인상(T-2E-D), 7점 인상(T-2E-7P)이다. 가장 큰 주인장응력은 1점을 인상할 경우 약 18.6MPa의 최대 응력이 발생하는 것을 알 수 있으며, 분포 인상 시 최대 응력은 약 7.2MPa로 가장 작은 최대 응력이 발생한다. 또한 한쪽 단부 인상 시와는 달리 2점 인상의 경우가 7점 인상 시보다 큰 응력이 발생하는 것을 알 수 있다.

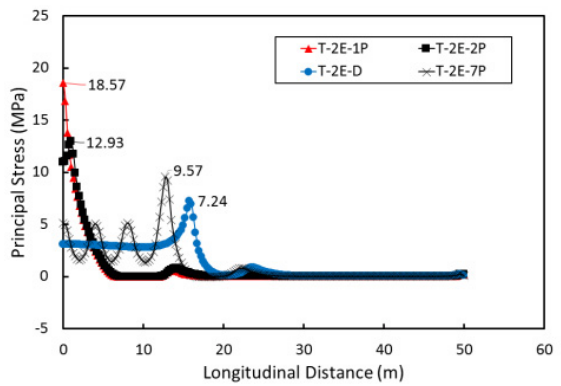


Fig. 9 Stresses of Typical Section Depending on Both-Edge Lift Cases

Fig. 10은 각 경우에 대한 최대 주인장응력을 나타내었다. 한쪽 단부 인상과 양단 인상 모두 분포 인상할 경우 가장 작은 최대 응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 하지만 분포 인상은 현실적으로 어렵기 때문에 가장 작은 응력의 발생은 양단에서 7점 인상할 경우이다.

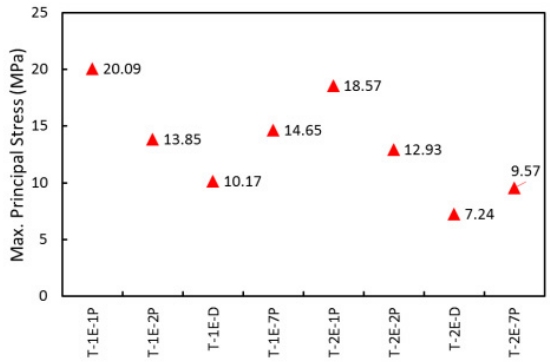


Fig. 10 Maximum Stresses of Typical Section Depending on Lift Cases

4. 팽창줄눈구간 응력 분석

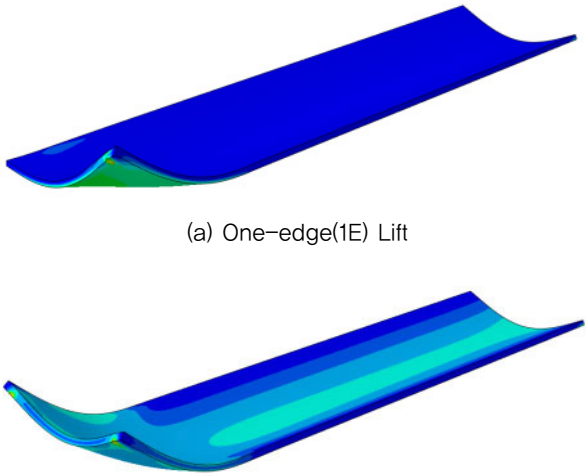
도로교의 경우 온도변화, 건조수축, 크리프 등에 의해 발생하는 슬래브의 신축량에 대비하여 신축이음 구간을 규정에 의해 설치한다. 복층터널 중간슬래브의 경우에도 도로교의 신축이음과 같이 팽창줄눈을 설치하여 온도변화 등에 의한 슬래브의 신축량에 대비하게 된다.

이에 따라 중간슬래브 팽창줄눈구간에서 슬래브 인상 시 슬래브에 작용하는 응력이 최소가 될 수 있는 최적의 인상 방안을 찾기 위해 일반구간과 동일하게 Table 2와 같이 해석 인자를 구분하여 분석을 수행하였다. 1점 인상, 2점 인상, 분포 인상, 7점 인상으로 구분하였으며, 일반구간과 구분하기 위해 팽창줄눈의 약자 EJ를 사용하였다. 하지만 팽창줄눈의 경우 슬래브가 줄눈으로 분리되어 있기 때문에 2점 인상은 실제 2점 인상이 아니라 줄눈부에서 1m 이격된 위치에서의 1점 인상이며, 7점 인상의 경우 또한 줄눈부를 중심으로 사실상은 한 방향으로 4점 인상이다.

Table 2. Lift Cases at Expansion Joint Section

No. of lifting points	One-edge lift (1E)	Both-edge lift (2E)
1 Point (1P)	EJ-1E-1P	EJ-2E-1P
2 Points (2P)	EJ-1E-2P	EJ-2E-2P
Distributed (D)	EJ-1E-D	EJ-2E-D
7 Points (7P)	EJ-1E-7P	EJ-2E-7P

Fig. 11은 중간슬래브 인상 시 슬래브 팽창줄눈구간에 발생하는 응력분포와 변형의 예를 보여준다.



(a) One-edge(1E) Lift

(b) Both-edge(2E) Lift

Fig. 11 Stress Distribution and Deformation of Middle Slab Expansion Joint Section

Fig. 12는 팽창줄눈구간에서 한쪽 단부를 1점 인상(EJ-1E-1P)할 경우와 양단부를 1점 인상(EJ-2E-1P)할 경우의 주응력을 종방향을 따라 나타내었다. 한쪽 단부를 인상할 경우의 최대주응력이 약 14MPa로 양단부를 인상할 경우보다 응력이 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

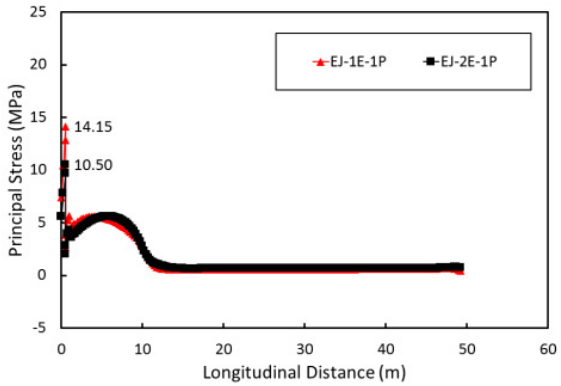


Fig. 12 Stress Distribution Comparison between One-and Both-Edge Lifts at Expansion Joint Section

Fig. 13은 팽창줄눈구간에서 한쪽 단부 인상 시 인상 방법에 따른 슬래브의 응력 분포를 비교하여 나타내었다. 분석에 사용된 인상 방법은 1점 인상(EJ-1E-1P), 2점 인상(EJ-1E-2P), 분포 인상(EJ-1E-D), 7점 인상(EJ-1E-7P)이다. 1점과 7점 인상의 경우에서 최대응력이 약 14MPa 정도로 가장 크며 유사하게 발생하였으며, 2점 인상 시 약 8MPa 정도의 가장 작은 최대응력이 발생하였다. 분포 인상 시에는 약 10MPa 정도의 최대응력이 발생하였다. 일반구간의 경우 인상 지점이 많을수록 최대응력이 작게 발생하는 경향을 보였으나 팽창줄눈구간의 경우는 다소 다른 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

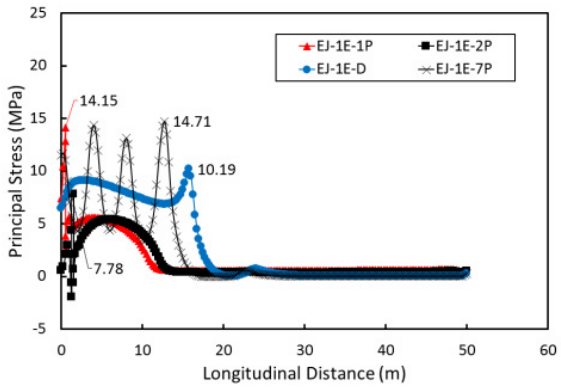


Fig. 13 Stresses of Expansion Joint Section Depending on One-Edge Lift Cases

Fig. 14는 팽창줄눈구간에서 양단 인상 시 인상 방법에 따른 슬래브의 응력분포를 나타내었다. 분석에 사용된 인상 방법은 1점 인상(EJ-2E-1P), 2점 인상(EJ-2E-2P), 분포 인상(EJ-2E-D), 7점 인상(EJ-2E-7P)이다. 한쪽 단부 인상 시와 유사하게 1점과 7점 인상 시에 약 10MPa 정도로 가장 큰 최대응력이 발생하였으며, 2점 인상 시 약 6MPa 정도의 가장 작은 최대응력이 발생하였다. 분포 인상의 경우에는 약 7MPa 정도의 최대응력이 발생하였다.

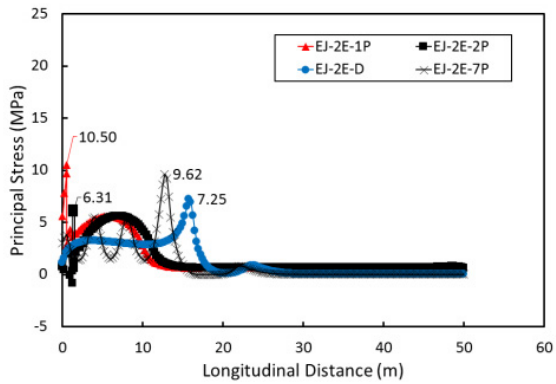


Fig. 14 Stresses of Expansion Joint Section Depending on Both-Edge Lift Cases

Fig. 15는 팽창줄눈구간 인상 시 각 경우에 대한 최대응력을 나타내었다. 팽창줄눈구간에서도 일반구간의 인상에서와 같이 양단 인상의 경우가 한쪽 단부 인상의 경

우보다 응력이 작게 발생하는 것을 알 수 있다. 하지만 일반구간에서는 분포 인상할 경우 최대응력이 가장 작게 발생하였으나 팽창줄눈구간에서는 2점 인상의 경우에서 가장 작은 최대응력이 발생하는 것으로 분석되었다.

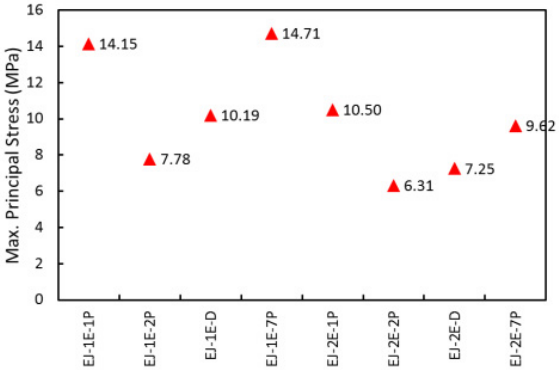


Fig. 15 Maximum Stresses of Expansion Joint Section Depending on Lift Cases

5. 비상대피시설구간 응력 분석

터널 내에서는 재해 발생 시 사람이나 차량이 대피할 수 있는 대피설비나 비상주차대가 존재해야 한다. 현재 국내에는 250m~300m 간격으로 비상대피시설을 설치해야 하는 규정이 마련되어 있다. 복층터널 중간슬래브의 경우 연장이 길며 복층으로 단면이 구분된 특성을 고려하여 슬래브 상하층으로 통하는 대피 설비가 필요하다. 더불어 Fig. 1(c)와 같이 중간슬래브에 비상대피로가 설치되는 구간은 브래킷으로 슬래브를 직접 지지할 수 없어 내민보의 형태를 가지게 되므로 비상대피공간이 고려된 중간슬래브의 거동은 별도로 분석하여야 한다.

이에 따라 중간슬래브 비상대피시설구간에서 슬래브 인상 시 슬래브에 작용하는 응력이 최소가 될 수 있는 최적의 인상 방안을 찾기 위해 Table 3에 나타낸 해석 인자에 대한 거동을 비교 분석하였다. 계단으로 상하층이 연결되도록 공간이 마련된 중간슬래브의 측면을 인상하는 경우를 EPS로 표기하였으며, 상하층 연결 공간이 없이 일반구간과 유사한 반대쪽의 측면을 인상하는 경우를 EPR로 표기하였다.

1점 인상은 1지점에서 집중하중으로 슬래브를 50mm 인상하는 경우로 1P로 표현하였으며, 2점 인상은 비상대피시설 한쪽 단부(EPS)의 경우 8m, 반대쪽 단부(EPR)는 2m 이격된 2점에서 슬래브를 50mm 인상하는 경우로 2P로 표현하였다. 분포 인상은 D로 표현하였고, 슬래브 종방향 26m 길이를 슬래브 중심에서 50mm 인상한 것으로 양방향 코사인 그래프 개형을 보이며 완만하게 인상하도록 하였다. 비상대피시설구간의 계단이 없는 측면부(EPR)에 사용된 인상 함수는 일반구간에 사용한 Eq. (1)과 동일하며, 계단부(EPS)의 분포 인상에 사용된 함수는 Eq. (2)와 같다.

$$D(z) = 0.025 \times \cos\left(\frac{Z \times \pi}{13} - \frac{\pi}{4}\right) + 0.025 \qquad (2)$$

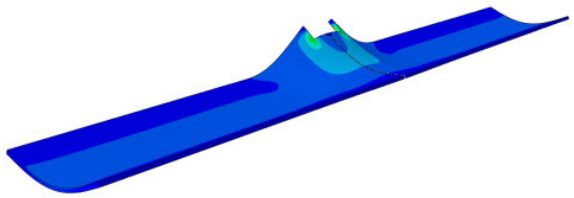
이미 언급한 바와 같이 분포 인상은 현실적 적용이 어렵기 때문에 분포 인상을 기반으로 한 다점 인상을 고려하였으며 P6, P7로 표현하였다. 다점 인상의 경우 50mm 인상하는 부분을 중심으로 비상대피시설 한쪽 단부(EPS)는 4m, 8m, 12m 이격된 총 6개의 지점에서 집중하중으로 슬래브를 인상하는 경우이다. 각 이격된 점에서는 분포하중과 마찬가지로 코사인 그래프 개형을 보이며 완만하게 인상되도록 조정하였다.

반대쪽 단부(EPR)의 경우는 0m, 4m, 8m, 12m 이격된 총 7개의 지점에서 집중하중으로 코사인 그래프 개형을 보이며 완만하게 슬래브를 인상하도록 하였다. 비상대피시설구간의 경우 슬래브 한쪽 측면에 빈 공간이 마련되어 있는 구조적 특이성 때문에 일반구간 및 팽창줄눈구간과는 다르게 양단 1점 인상, 양단 2점 인상은 고려하지 않았다.

Table 3. Lift Cases at Emergency Passageway Section

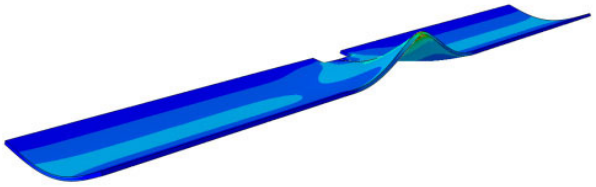
No. of lifting points	One-edge lift (1E)		Both-edge lift (2E)
	Stair side	None stair side	
1 Point (1P)	EPS-1E-1P	EPR-1E-1P	-
2 Points (2P)	EPS-1E-2P	EPR-1E-2P	-
Distributed (D)	EPS-1E-D	EPR-1E-D	EP-2E-D
6, 7 Points (6P, 7P)	EPS-1E-6P	EPR-1E-6P	EP-2E-7P

Fig. 16은 비상대피시설구간 슬래브 인상 시 중간슬래브에 발생하는 응력분포와 변형의 예를 보여준다.

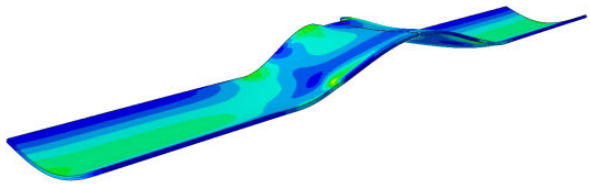


(a) Stair-side(EPS) One-edge (1E) Lift

〈Figs. Continued〉



(b) None-stair-side(EPR) One-edge (1E) Lift



(c) Both-edge (2E) Lift

Fig. 16 Stress Distribution and Deformation of Middle Slab Emergency Passageway Section

Fig. 17은 비상대피시설구간에서 계단 공간이 마련되어 있는 한쪽 단부 인상(EPS-1E-1P)과 그 반대쪽 단부 인상(EPR-1E-1P) 시의 주응력을 종방향을 따라 나타내었다. 계단 공간이 없는 측면 단부를 인상할 경우에 최대응력이 약 23MPa 정도로 계단 공간이 있는 단부를 인상할 경우보다 최대응력이 다소 크게 발생하는 것을 알 수 있다.

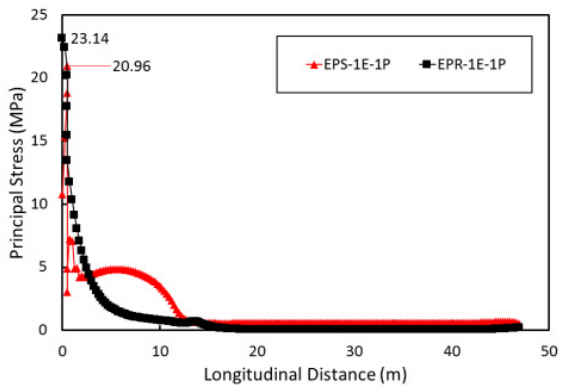


Fig. 17 Stress Distribution Comparison between Stair and None-Stair Side One-Edge Lifts

Fig. 18은 비상대피시설구간 계단부 인상 시 인상 방법에 따른 슬래브의 응력 분포를 나타내었다. 분석에 사용된 인상 방법은 1점 인상(EPS-1E-1P), 2점 인상(EPS-1E-2P), 분포 인상(EPS-1E-D), 6점 인상(EPS-1E-6P)이다. 최대응력이 가장 크게 발생하는 경우는 1점을 인상할 경우이며 최대응력이 가장 작게 발생하는 경우는 분포 인상의 경우이다. 2점과 6점 인상의 경우는 최대응력이 1점 인상에 비해 다소 감소하는 것을 알 수 있으나 차이는 미소하게 나타나는 것을 알 수 있다. 6점 인상의 경우 응력분포 형태를 살펴보면 분포 인상의 응력분포 유형을 기준으로 응력이 상하로 변동하는 것을 알 수 있다.

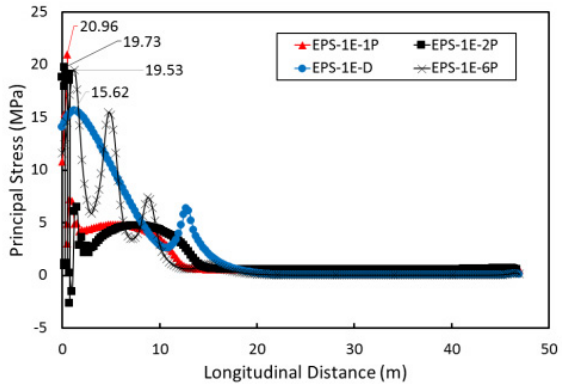


Fig. 18 Stresses of Stair-Side Emergency Passageway Section Depending on One-Edge Lift Cases

Fig. 19는 비상대피시설구간에서 계단부 공간이 없는 중간슬래브 측면 단부 인상 시 인상 방법에 따른 슬래브의 응력 분포를 나타내었다. 분석에 사용된 인상 방법은 1점 인상(EPR-1E-1P), 2점 인상(EPR-1E-2P), 분포 인상(EPR-1E-D), 7점 인상(EPR-1E-7P)이다. 가장 큰 최대응력은 1점을 인상할 경우에 발생하며, 가장 작은 최대응력은 분포 인상 시에 나타나며 최대응력의 차이는 매우 큰 것을 알 수 있다. 또한 2점 인상 시에는 1점 인상 시에 비해 최대응력이 크게 감소하며 7점 인상 시에는 최대응력이 조금 더 감소하는 것을 알 수 있다.

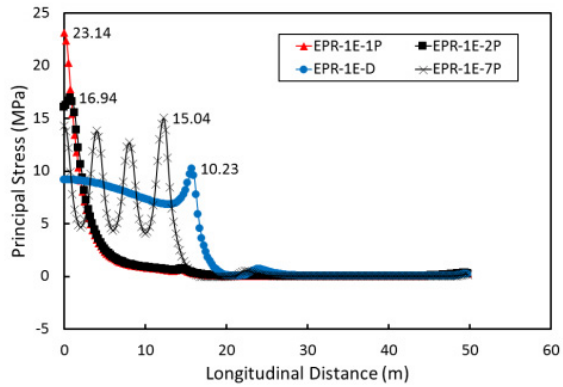


Fig. 19 Stresses of None-Stair-Side Emergency Passageway Section Depending on One-Edge Lift Cases

Fig. 20은 비상대피시설구간에서 양단 인상 시 인상 방법에 따른 슬래브의 응력 분포를 나타내었다. 분석에 사용된 인상 방법은 분포 인상(EP-2E-D)과 7점 인상(EP-2E-7P)이다. 7점 인상 시에는 분포 인상에서의

응력 분포를 기준으로 응력이 상하로 변동하며 최대응력은 분포 인상의 경우보다 다소 높게 발생하는 것을 알 수 있다.

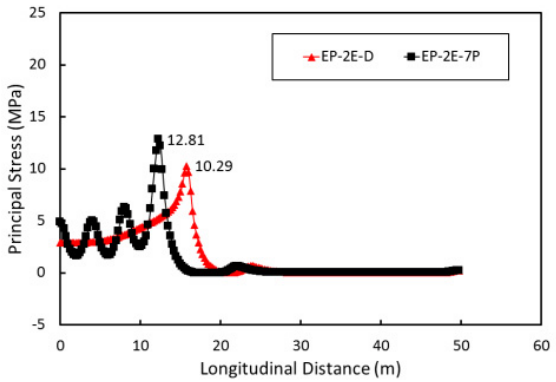


Fig. 20 Stresses of Emergency Passageway Section Depending on Both-Edge Lift Cases

Fig. 21은 비상대피시설구간 인상 시 각 경우에 대한 최대 응력을 나타내었다. 최대응력이 가장 큰 경우는 계단부가 없는 측면 단부에서 1점을 인상할 경우(EPR-1E-1P)로 나타났다. 하지만 2점 인상, 분포 인상, 다점 인상의 경우에는 계단부가 없는 측면 단부를 인상할 경우가 계단부가 마련된 측면 단부를 인상할 경우에 비해 최대응력이 작아지는 것을 알 수 있다. 가장 작은 최대응력은 계단부가 없는 측면 단부를 분포 인상할 경우(EPR-1E-D)이지만 분포 인상은 실제 적용하기 어렵기 때문에 비상대피시설구간의 슬래브 인상은 양단 7점 인상 시 인장응력의 발생을 최소화할 수 있을 것으로 분석되었다.

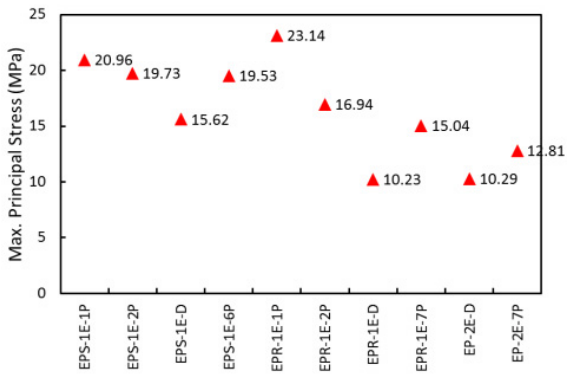


Fig. 21 Maximum Stresses of Emergency Passageway Section Depending on Lift Cases

6. 결론

본 연구는 복층터널 중간슬래브의 유지관리 시에 슬래브와 브래킷 사이에 설치된 탄성패드의 교체가 필요할 때 중간슬래브 인상 시 발생하는 응력 특성을 분석하여 슬래브 설계 및 유지관리 방안의 기반을 마련하고자 3차원 구조해석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 복층터널의 중간슬래브 측면 단부 인상 시 종방향 응력과 주응력의 크기가 거의 유사하게 되며 이를 통해 슬래브 인상 시 횡방향 응력보다는 종방향 응력이 지배적인 것을 알 수 있었다.
2. 중간슬래브 일반구간에서는 한쪽 단부 인상보다 양단을 동시에 인상할 경우 응력이 보다 작게 발생하는 것으로 나타났으며, 인상 지점의 경우 분포 인상할 경우에 가장 작은 응력이 발생하는 것으로 나타났다. 하지만 분포 인상은 현실적으로 적용하기 어렵기 때문에 양단부를 동시에 다점 인상(7점 인상 등)하면 슬래브에 가장 작은 응력을 발생시킬 수 있는 것으로 분석되었다.
3. 팽창줄눈구간에서도 한쪽 단부만 인상하는 것 보다는 양단을 동시에 인상하는 경우에 슬래브 인장응력의 크기를 감소시킬 수 있다. 또한 팽창줄눈에서의 1점 인상 또는 팽창줄눈부 전후의 다점 인상의 경우보다 팽창줄눈을 기준으로 전후에 1점씩을 인상하는 2점 인상을 적용하면 슬래브에 발생하는 응력의 크기를 최소화 할 수 있다.
4. 비상대피시설구간은 한쪽 측면에는 슬래브에 공간을 뚫어서 계단을 통해 슬래브 상하층으로의 이동이 가능하도록 되어 있다. 따라서 공간이 있는 계단부의 측면 단부를 인상할 경우와 계단부가 없는 반대편 측면 단부를 인상할 경우에 슬래브에 발생하는 응력 분포가 다르게 되며, 대체적으로는 인상 방법이 동일하면 계단부 반대편의 측면 단부를 인상할 경우의 최대응력이 보다 작아지게 된다. 또한 양단부를 동시에 인상할 경우에 최대응력의 크기가 작아지며 양단을 다점 인상하는 것이 가장 바람직한 것으로 분석되었다.
5. 일반구간과 비상대피시설구간에서는 양단 7점 인상, 팽창줄눈구간에서는 양단 2점 인상 시 중간슬래브에 가장 작은 최대응력이 발생하는 것으로 나타났다(Table 4). 팽창줄눈구간의 경우 Table 4와 같이 양단 7점 인상 시에도 최대응력이 일반구간 및 비상대피시설구간에 비해 그리 크지 않기 때문에 유지관리를 위한 중간슬래브의 인상은 양단 다점(7점 등) 인상이 가장 적절할 것으로 분석되었다.

Table 4. Summary of Maximum Stresses

No. of lifting points	Typical section	Expansion joint section	Emergency passageway section
2 points	12.93MPa	6.31Mpa	–
7 points	9.57Mpa	9.62Mpa	12.81MPa

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2014년 건설기술연구사업의 '대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발(14SCIP-B088624-01)' 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

REFERENCES

ABAQUS (2007). *User's Manual Version 6.7*, Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc., Pawtucket, R.I.

Arlet, A. (2012). *Tunnel A86 Duplex: A Private Initiative, International Seminar on Long Road Tunnels*, World Road Association-PIARC, Chile.

Kannapiram, R.K.M. (2005). A *Study and Evaluation on SMART Project*, Ph.D. Dissertation, University of Southern Queensland, Malaysia.

Kim, S. H. (2010). *Large Tunnels for Transportation Purposes and Face Stability of Mechanically Driven Tunnels in Soft Ground*, Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, USA.

Park, H. B., Cho, Y. K., Lee, Y. H., Kim, S. M. (2017). Analysis of the Fundamental Behaviors of the Middle Slab in a Double-Deck Tunnel for Design Guide Development, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 19, No. 1, pp.63-72.

Santhiman, M. S., Weei, L. H. (2006). *ITS of SMART*, PIARC International Seminar on Intelligent Transport System (ITS) in Road Network Operations, Kuala Lumpur, Malaysia.