

## 토피고 변화에 따른 Liner Plate 거동특성에 관한 연구

정지수<sup>1</sup>, 지영환<sup>2</sup>, 조현<sup>3</sup>, 허인영<sup>4</sup>, 이승호<sup>5\*</sup>

### A study on behavior characteristics of liner plate with depth

Ji-Su Jeong, Young-Hwan Ji, Hyun Cho, In-Young Hur, Seung-Ho Lee

**ABSTRACT** In this study, the numerical analysis has been conducted in order to check behavior characteristics of liner plate made of corrugated steel from urban small sized tunnel excavation. The analysis was conducted with five kinds of conditions like 5 m, 10 m, 15 m, 20 m and 25 m to examine the behavior characteristics of liner plate according to the depth of cover. Analysis results showed that the maximum axial stress and the maximum displacement occurs in the lower end of the member, and the maximum shear stress occurs in the upper part of the member. Also, change of displacement, stress shearing stress of liner plate based on various depth of cover are existed, but the difference is slight, and by increasing depth of cover, structural stability is gradually ensured.

**Keywords:** Depth of cover, liner plate, behavior characteristics, parameter, numerical analysis

**요약** 본 연구에서는 도심지 소구경 터널굴착공법에서 파형강판으로 제작된 liner plate의 거동특성에 대해 알아보기 위해 유한요소 해석 프로그램인 MIDAS/GTS를 이용하여 수치해석을 실시하였다. 토피고 변화에 따라 liner plate의 거동특성을 알아보기 위해 토피고는 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m 5가지 각 조건으로 해석을 실시하였다. 수치해석 결과 liner plate의 최대변위와 최대축응력은 부재의 하단부에서 발생되며, 최대전단응력의 경우 부재의 천단부에서 발생하는 것으로 확인되었다. 또한 토피고에 따른 liner plate의 변위, 응력, 전단응력의 변화는 있었으나 그 차이가 미미하고 토피고가 증가함에 따라 점점 구조적 안정성이 확보되는 것으로 판단된다.

**주요어:** 토피고, 라이너 플레이트, 거동특성, 매개변수, 수치해석

---

접수일(2012.2.15), 수정일(2012.3.10), 게재확정일(2012.3.21)

<sup>1</sup>정희원, 상지대학교 건설시스템공학과 외래교수

<sup>2</sup>정희원, 상지대학교 토목공학과 박사과정

<sup>3</sup>정희원, 쌍용건설 상무이사

<sup>4</sup>정희원, 한국시설안전공단 위촉연구원

<sup>5</sup>정희원, 상지대학교 토목공학과 교수

\*교신저자: 이승호 (E-mail: shlee@sangji.ac.kr)

## 1. 서론

본 연구에서는 도심지 소구경 터널굴착공법에서 파형강판으로 제작된 liner plate에 대해 국내 지질 및 지반조건에 대한 적용성 및 안정성 평가를 위하여 유한요소해석을 통해 분석해 보고자 하였다.

파형강판 구조에 관한 국내외의 설계기준은 시공 시 성토되는 토피고에 따라 파형강판 단면의 두께 및 기하학적 한계만을 규정하고 있다(김낙영 외, 2004). 그러나 지중에서는 흙-구조물 합성 구조계의 작용이 거동을 지배하며, 휨에 대한 연성구조이므로 이러한 단순화된 이론은 그 신뢰도가 낮고 적용상 제한이 따른다(Abdel-Sated, 1993). 따라서 본 연구는 풍화토 지반에서 도심지 소구경 터널굴착공법 적용시 토피고에 따른 liner plate의 공학적 거동특성을 분석하는데 그 목적이 있다.

## 2. liner plate의 구조 특성

Liner plate는 파형이 있는 강판을 조립하여 만들어진 지반-구조물로 저항하는 시스템을 갖고 있으며 압축링 이론에 의해 해석이 가능하다.

Liner plate의 강판은 매우 얇기 때문에 그림 1(a)에서 보는 것과 같이 구조물에 연직 토압이 가해지면 liner plate는 주철관의 약1/2~1/9 정도의 하중 밖에 견디지 못하여, 연직방향의 지름이 축소되고 수평방향의 지름이 확대되어 측면의 토사를 압축하고 저항 토압(수동토압)이 발생하여 그림 1(b)처럼 된다.

그러나 liner plate를 흙속에 매입하면 연직토압에는 쉽게 변형되었던 파형강판은 그림 1(c)와 같이 구조물 주변의 토압이 거의 일정하게 된다. 이러한 하중분포는 구조물의 압축링과 같이 거동하므로 휨 모멘트가 억제되고 축방향 압축력에 의해 거동이 지배된다.

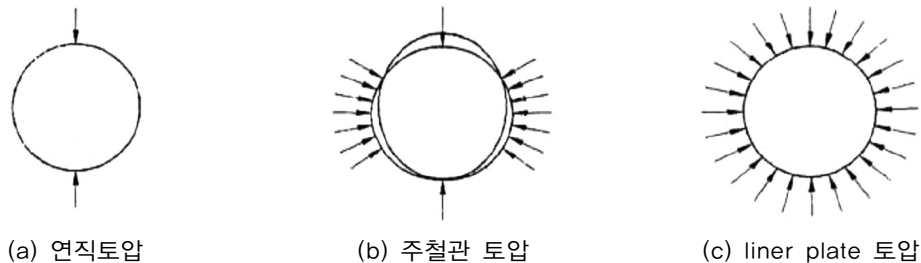


그림 1. 강판에 작용하는 토압분포

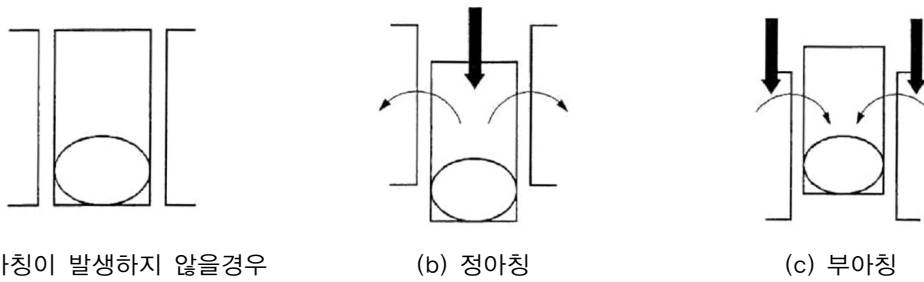


그림 2. 강관에 작용하는 토압분포

### 3. 아칭 효과

구조물의 변형에 의한 저항토압의 영향 외에도 지중에 매설된 연성관은 연직 하중이 강성관에 비해 작게 작용하여 결과적으로는 하중저항능력이 증가되는 효과를 가져 올 수 있다.

파형강관의 모든 구조물 지점이 지중에 의하여 동일한 수직변위를 일으킨다면 그림 2(a)와 같이 구조물 상부아치 위에 성토된 흙과 주변 흙 사이에 하중 전이가 발생하지 않는다.

하지만, 상부아치 위에 성토된 흙이 그 옆에 있는 흙보다 더 많은 수직변위를 일으킨다면, 마찰력에 의해 양옆의 흙이 성토된 흙을 위로 끌어당기게 되어 상부에 작용하는 하중이 옆에 있는 흙으로 전달된다. 이와 같은 하중전이효과로 인해 구조물에 작용하는 하중이 다소 줄어들게 되는데 이러한 현상을 그림 2(b)처럼 ‘정아칭’이라고 한다. 그러나 주변의 흙으로 부터 상부아치 위에 성토된 흙으로 하중이 전이되어 구조물에 작용하는 하중이 증가되는 현상을 그림 2(c)와 같이 ‘부아칭’이라한다.

이러한 두 현상은 항상 존재하므로, 각 설계기준에서는 아칭효과를 고려하기 위한 규정을 제공하고 있으나 대부분 경험적인 관계식으로부터 얻어진 것이다.

### 4. 수치해석

#### 4.1 수치해석 적용 모델

지반공학 분야에서는 일반적으로 토사 및 암의 소성거동을 나타내기 위해 Mohr-Coulomb 모델을 사용한다. Mohr-Coulomb 모델의 기본가정은 재료는 등방성이며 탄성한계에 도달한 후에는 완전한 소성거동을 보인다는 것이다. 본 연구에서 liner plate의 거동특성을 분석하기 위해 유한 요소법을 적용한 MIDAS/GTS 프로그램을 이용하였으며, 수치해석은 2차원 평면변형을 조건을 적용하였다. 다음 표 1은 수치해석에 위해 적용된 재료별 모델이다.

**표 1.** 재료별 해석에 적용된 모델

재 료	재료모델	해석유형
MessGuide Beamer Plate Liner Plate	Linear Elastic	Most Simple
지 반	Mohr-Coulomb	Elasto-Plastic

## 4.2 수치해석 단면설정

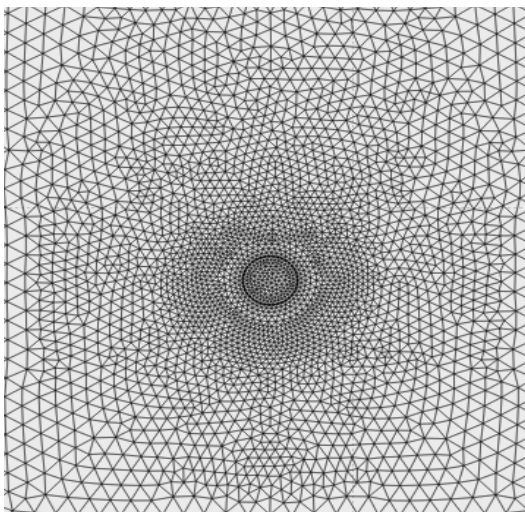
본 해석에서는 응력의 흐름이 원활하게 이루어지고, 경계의 구속조건에 영향을 받지 않도록 하기 위하여 구조물의 좌우측, 하부 해석영역은 6D이상 적용하여 해석을 실시하였다.

토피고의 증가에 따른 liner plate의 거동을 검토하기 위하여 5~25 m까지 토피고를 변화시키며 해석을 실시하였고, 수치해석은 직경 2,500 mm(1D)의 도심지 소구경 터널굴착 공법을 적용하여 시공하는 조건이며, 대표단면은 다음 그림 3와 같다.

## 4.3 수치해석 적용 물성치

Liner plate는 적용 공법 특성상 산악터널 보다는 도심지 터널 시공시 적용되어진다. 도심지 터널은 일반 산악터널이나 대심도 암반층에 건설되는 지하공동과는 달리 비교적 얇은 심도 및 연약지반에 건설되는 경우가 빈번하다(이영휘 외, 2003).

따라서 도심지 지반특성을 고려한 비교적 불량한 지반 조건을 설정하여 수치해석을 진행할 필요가 있다.



**그림 3.** 대표해석단면

**표 2.** 해석에 적용된 지반 물성치

지반등급	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	변형계수 (MPa)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	포아슨비
풍화토	19	50	10	30	0.35

**표 3.** 지보재의 물성치(압연강판 SS400)

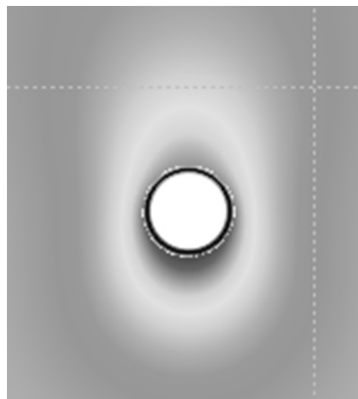
구 분	탄성계수 (MPa)	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	포아슨비	비고
Messer Plate	210,000	78.5	0.3	4000×250×120×20
Guide Beam	210,000	78.5	0.3	200×200×8×12
Liner Plate	210,000	78.5	0.3	1570×500×50×2.7

본 연구에서는 liner plate의 토피고별 거동특성 분석을 위해 지반조건을 표 2과 같이 서울시지반조사 편람(1996)에서 제시된 풍화토 물성 범위를 적용하였고, 수치해석에 적용된 지보재 물성치는 표 3과 같이 D=2,000 mm이상일 경우 사용하는 규격을 적용하였다.

#### 4.4 해석결과

본 연구에서는 풍화토 지반에서 토피조건 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m인 설정하고, 토피고별 liner plate의 거동특성을 분석하였다.

그림 4은 지중에서 외부 응력에 따른 liner plate에 변위 형상을 나타내고 있다. 그림에서 보여지듯이 지중에서의 liner plate의 변위는 부재의 하단부에서 최대 변위가 발생하는 것으로 확인되었다.



**그림 4.** liner plate 주위 변위 형상

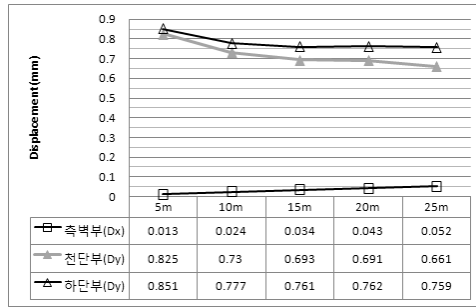


그림 5. 토피고 변화에 따른 liner plate 위치별 최대 변위

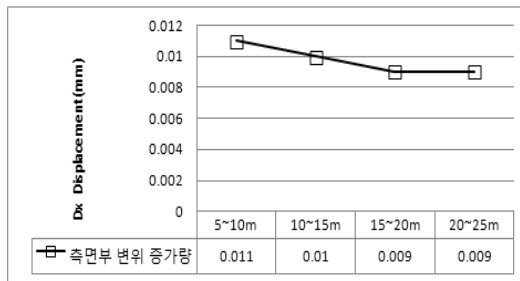


그림 6. 토피고에 따른 liner plate 측면부 변위 증가량

또한 liner plate의 변위량을 분석한 결과 그림 5와 같으며, liner plate의 변위는 부재의 천단부보다 하단부의 변위보다 비교적 크게 일어나는 것을 확인 할 수 있었다. 측벽부의 경우 미미한 변위량을 보이며, 토피고의 증가에 따라 변위량도 같이 증가를 하나 그림 6과 같이 부재의 측면부 변위 증가량이 10~25 m까지 0.011~0.009 mm으로 토피고 깊이의 증가에 따라 점점 감소를 보이는 것을 확인 할 수 있었다.



그림 7. x방향 최대축응력 발생 위치

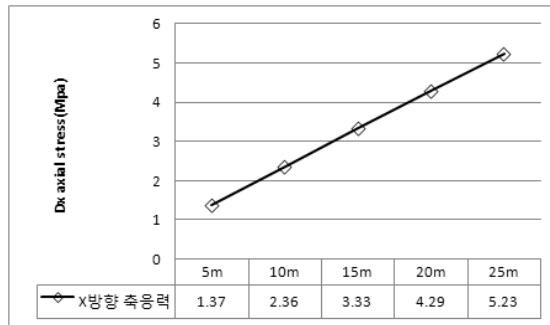


그림 8. 토피고 변화에 따른 liner plate x방향 축응력

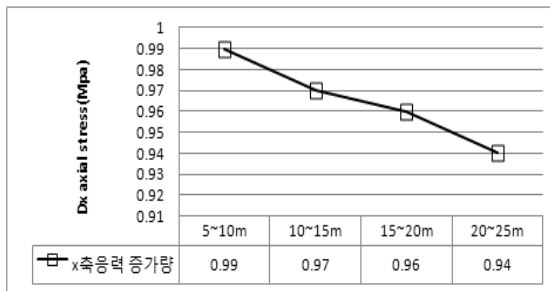


그림 9. 토피고 변화에 따른 liner plate x방향 축응력 증가량

또한 토피고의 따른 liner plate의 최대 축응력 발생위치는 그림 7과 같이 부재의 하단부에서 가장 큰 값이 작용되며, 그림 8과 같이 토피고에 깊이 증가에 따라 최대 축응력은 증가를 하나의 추세를 보이지만 그림 9의 x방향 축응력 증가량 검토시 토피고의 깊이 증가에 따라 x방향 축응력 증가량은 0.99~0.94 Mpa로 감소하는 경향을 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

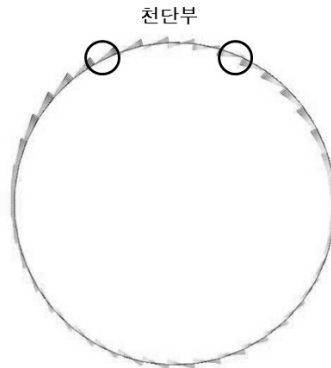


그림 10. xy방향 최대전단 발생 위치

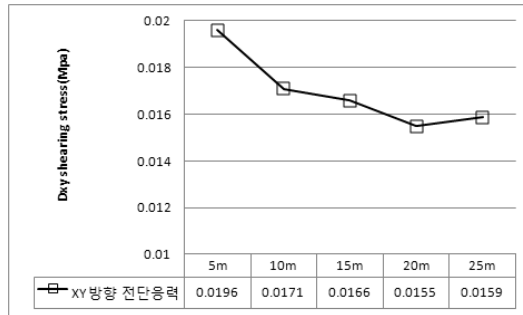


그림 11. 토피고 변화에 따른 liner plate의 xy방향 전단응력

liner plate에 발생하는 xy방향 최대전단응력의 경우 발생위치는 그림 10과 같이 부재의 천단부에서 부위에 발생하는 것을 알 수 있으며, 부재에 작용하는 최대전단응력 값 검토시 그림 11과 같이 토피고의 증가에 따라 점점 감소하는 경향을 보이고 있는 것으로 확인되었다.

## 5. 결론

본 연구에서 도심지 소구경 터널 굴착시 토피고가 liner plate에 미치는 영향을 알아보기 위해 수치해석을 실시하였다. 토피고 변화에 따라 파형강판으로 제작된 liner plate의 거동특성에 대해 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 토피고의 증가에 따른 liner plate의 최대변위는 부재 하단부에서 발생하는 것으로 확인할 수 있었으며, 토피고 5 m(2D)에서 가장 큰 변위가 발생되나, 토피고 10 m이상(4D) 깊이 이후 일정량의 미미한 변위만 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.
2. 또한 liner plate에 발생하는 최대 축응력의 경우 부재의 하단부에서 발생하는 것을 알 수 있었으며, 응력의 크기는 토피고에 따라 점점 증가하나 그 증가폭은 0.99~0.95 Mpa로 점점 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.
3. 최대전단응력의 경우 부재의 천단부에서 발생 되고, 토피고의 증가에 따라 발생량은 감소하는 양상을 띄었으며, 10 m(4D) 이후 일정 범위 안에서 최대전단응력이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.
4. 토피고의 증가에 따라 liner plate의 변위, 축응력, 전단응력은 감소되거나 증가폭이 감소되는 경향을 확인할 수 있었으며, 이는 토피고의 증가에 따른 하중전이로 인해 구조물에 작용하는 수직하중이 다소 줄어들게 되어 아칭효과가 나타나는 것으로 판단된다.



5. 토피고에 따른 liner plate 거동특성을 분석한 결과 변위, 축응력, 전단응력의 변화는 있었으나 그 발생량이 미미하고, 10 m(4D) 이후 발생량에 대한 큰 폭의 변화를 보이지 않는 것으로 보아 10 m(4D) 이후의 토피고에서 구조물은 점점 안정한 상태를 확보하는 것으로 판단되어 진다.

## 감사의 글

본 연구수행에 자료제공 및 많은 도움을 주신 김동민, 문훈기님 그리고 대지중건(주)께 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 대지중건(주) 기술연구소 (2010), “관로의 추진 및 터널구축에 관한 연구”.
2. 한국터널지하공간학회 (2011), “STM 터널굴착공법에 대한 현장 적용성 검토 보고서”.
3. 육정훈, 김낙영 (2004), “파형 강관 지중구조물의 토피고에 따른 거동특성”, 한국지반환경공학회 논문집 제5권, 1호, pp. 65-73.
4. 허인영(2011), “터널굴착공법에서 Liner Plate 변형특성에 관한 연구”, 상지대학교 석사 논문.
5. 천성렬(2009), “대단면 터널의 선지보네일 보강에 따른 거동특성 연구”, 상지대학교 박사 논문.
6. 한천희, 김성년, 이영휘 (2003), “도심지 터널 굴착시 지반거동에 관한 수치해석”, 대한토목학회 정기 학술대회. pp. 4781-4784.
7. Abdel-Sayed, G., Bakht, B., Leslie, G.J. (1993), “Soil-Steel bridge”, McGrawhill, New York. pp. 76-83, 125-130.
8. Duncan, J.M., Chang, C.Y. (1970), “Nonlinear analysis of stress and strain in soil”, ASCE Journal of Geotechnical Division, 96(SM5), pp. 629-1653.
9. Peindl, R.D., Janardhanam, R., Burns, F. (1992b). “Evaluation of flowable fly-ash backfill II: Dynamic loading”, J. Geotech. Engrg., 118(3), 464-474.