

# 복개터널 라이닝 해석을 위한 모델링 기법에 관한 연구

## A Study of Modelling Methods Used for the Analysis Cut-and-Cover Tunnel Lining



배규진\*  
Bae, Gyu-Jin



이규필\*  
Lee, Gyu-Pil

### Abstract

In this study, numerical analyses on cut-and-cover tunnel linings were performed using different modeling methods based on both structural and geotechnical engineering. The purposes were to find a relatively more reasonable modeling method and boundary conditions. The results of the study revealed problems associated with each modeling method and factors influencing the behavior of cut-and-cover tunnel lining. A method was proposed allowing the simulation of field condition in a more rational way. It was indicated that, under the given conditions, displacements and member forces occurring on concrete lining could be different as much as 53% depending on the type of modeling method applied; and 32% depending on the boundary conditions employed. Determination of boundary conditions properly simulating actual field conditions and verification of prediction based on instrumentation are essential for rational design and analysis.

**Keywords** : Cut and cover tunnel, Modelling methods, Interface element

\*1 한국건설기술연구원 토목연구부장

\*2 한국건설기술연구원 연구원

## 요 지

본 연구에서는 복개터널 라이닝의 합리적인 모델링 방법 및 구속조건 등을 검토하기 위하여, 동일한 현장 조건에 대하여 현재 널리 적용되고 있는 구조공학적 모델링 방법과 지반공학적 모델링 방법을 이용하여 해석을 실시하였다. 해석결과로부터 각 모델링 방법의 문제점 및 복개터널 라이닝의 거동에 영향을 미치는 인자를 파악하였으며, 현장조건을 보다 합리적으로 모델링 할 수 있는 방안을 제시하였다.

해석결과 동일 조건하에서 모델링 방법에 따라 콘크리트 라이닝에 발생하는 변위 및 부재력은 약 53%의 차이가 발생하며, 구속조건에 따라 콘크리트 라이닝에 발생하는 변위 및 부재력은 약 32%의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 보다 합리적인 설계 및 해석을 위하여 현장조건에 맞는 구속조건 결정 및 현장계측 등을 통한 모델링 기법의 정확성 검증 등과 같은 다양한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 복개터널, 모델링기법, 경계요소

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

복개터널 구조물의 라이닝 해석 및 설계시에는 상재하중, 토압, 수압, 자중, 터널 내부의 건축하중, 온도변화 및 건조수축, 지진하중 등과 같은 다양한 현장조건 등을 고려하게 된다. 현재 복개터널 라이닝의 설계에는 라이닝 완공 후 성토되는 되메움 토층을 하중으로 산정하여 해석을 실시하는 기법, 즉 구조공학적 모델링 기법이 가장 널리 적용되고 있다.

이러한 구조공학적 모델링 방법은 복개터널 라이닝에 인접하여 시공되는 굴착사면의 경사 및 굴착폭, 현장 되메움 토층의 다짐도의 영향, Soil Arching 등과 같은 지

반공학적 특성을 모사하기에 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 널리 적용되고 있는 구조공학적 모델링 기법과 지반공학적 모델링 기법을 이용하여 모델링 기법에 따른 복개터널 라이닝의 거동을 분석하였으며, 라이닝 구속조건을 매개변수로 하여 복개터널 라이닝의 거동에 미치는 영향을 파악하였다.

### 1.2 연구방법

본 연구에서는 2차선 도로 복개터널을 연구대상으로 선정하였으며, 지반공학적 모델링 기법에서는 되메움 토층은 평면-변형률 모델을 적용하여 50cm씩 단계별로 성토하는 것으로 모델링 하였다. 또한 구조공학적 모델링 기법에서는 되메움 토층을 연직하중을 산정하였으며, 수

표 1. 각 모델링 기법별 해석조건

구 분	콘크리트 라이닝 지점 구속조건	하 중	비 고
지반공학적 모델링 기법	Hinge Fix	단계별 성토 (50cm)	Interface element 고려
구조공학적 모델링 기법	Hinge Fix Hinge+Spring Fix+Spring	성토체를 수직 및 수평하중으로 모델링	성토체의 탄성계수를 토대로 스프링강성 산정

평방향 토압은 정지토압 조건을 기준으로 산정하였다.

복개터널 라이닝의 지점부 구속조건은 지반공학 및 구조공학 모델링 방법을 이용한 해석시 현지 및 고정단 각각의 경우에 대하여 고려하였다. 또한 구조공학 모델링 기법에서는 되메움 토층과 콘크리트 라이닝의 상호작용을 검토하기 위하여 현지+스프링, 고정단+스프링을 고려하였다. 스프링 지점의 강성은 되메움 토층의 지반탄성계수를 기준으로 Woefler 식을 통하여 산정하였다.

또한 지반공학 모델링 기법에서는 콘크리트 라이닝과 되메움 토층의 접촉면의 마찰력 등을 고려하기 위하여 경계요소(Interface Element)를 고려하였다.

## 2. 복개터널 라이닝의 해석

### 2.1 복개터널 라이닝의 형태

복개터널은 개착공법(Open cut)을 이용하여 갱구부 및 계곡부 개착부이나 터널과 터널 사이의 연장이 짧아 터널로 연장시키기 위해 지반을 굴착하고 구조물을 설치한 후 복개시키는 모든 터널을 말한다. 설계시 지형, 지질조건, 지하수조건, 기상 등의 자연조건과 민가, 구조물의 유무 등의 사회적 조건, 경사의 안정, 편토압, 기상재해의

가능성, 주변경관과의 조화 등을 고려하여야 한다.

일반적으로 BOX형 복개터널이 지하철 건설 등에 가장 널리 적용되어 왔으나, 최근에는 도로터널 및 고속철도 터널 등에 아치형 또는 육각형 등과 같은 다양한 형태로 설계 시공되고 있다(그림 1~2 참조).

### 2.2 복개터널 라이닝의 해석기법

복개터널 라이닝의 거동해석은 지반공학 모델을 이용하여 시공단계별로 작용하는 하중을 고려한 라이닝의 거동파악 및 구조공학 모델을 이용한 라이닝의 구조적 안정성 확보가 모두 요구되며, 복개터널 라이닝 설계를 위한 해석과 관계된 내용을 정리하면 다음과 같다.

#### 2.2.1 지반공학 모델에 의한 2차원해석

복개터널의 특징은 시공방법상 되메움이 단계적으로 진행됨에 따라 되메움 흙을 포함한 구조체가 형성되며, 각 단계마다 하중이 라이닝 구조체에 재하된다는 점이다. 되메움 흙과 콘크리트 라이닝의 상호작용이 수반되는 이러한 과정을 수치해석적으로 모사하기 위하여, 수치해석시 터널 축에 연직인 평면단면을 고려하며, 이러한 평면 변형률 조건은 되메움 공정이 터널 축을 따라 최소한 콘크리트 라이닝 정상까지 수 차례의 작은 단계로 나누어져



그림 1. 아치형 복개터널



그림 2. 육각형 복개터널

수행되기 때문에 타당한 것으로 판단된다.

따라서 본 수치해석에서는 되메움 토층의 토압 작용 메커니즘을 보다 정확하게 규명하기 위하여, 되메움 흙이 접촉하는 터널라이닝과의 경계면에 경계요소를 두어 이들 경계면에서 발생하는 마찰력을 고려하였다.

### 2.2.2 구조공학적인 모델에 의한 2차원 해석

구조공학적인 모델링을 통한 해석을 실시하기 위하여 콘크리트 라이닝 측벽부 및 상부에 되메움 토층을 전체 하중으로 고려하여 연직방향 토압을 산정하였으며, 횡방향 토압은  $K_0$  조건으로 산정하였다. 콘크리트 라이닝은 보 (beam) 요소로 모델링 하였으며, 지점조건은 현장의 다양한 조건을 고려하여 완전 고정조건 외에 힌지조건도 함께 검토하였다. 또한 주변 지반 성토에 따른 구조물과 되메움 토층간의 상호 작용을 모델링하기 위하여 스프링 지점을 고려하였다.

### 2.3 복개터널 라이닝에 작용하는 하중

복개터널의 설계시에는 터널의 외부에서 작용하는 하중, 자중, 터널 내부의 하중 및 이로 인해 발생하는 지반 반력을 고려하여야 한다. 터널의 외부에서 작용하는 하중은 터널 상부의 상재하중, 토압, 수압 등이며, 터널 내부의 하중이란 터널내의 주행하중, 자동차하중 등이다.

복개터널의 설계시 고려해야 할 하중들을 정리하면 다

음과 같다.

- 상재하중
- 토압
- 수압
- 자중
- 터널 내부의 하중
- 온도변화 및 건조수축
- 지진하중
- 시공시 하중

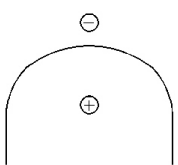
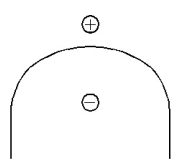
## 3. 수치해석 및 결과 분석

### 3.1 해석조건

본 연구에서는 2차선 도로터널을 기본해석 단면으로 선정하여, 구조공학적인 모델 및 지반공학적인 모델에 의한 2차원 해석을 실시하였다. 또한 되메움 토층의 성토고는 1D(D : 터널 등가환산직경 12m)로 가정하였다.

대부분 복개터널 라이닝은 시공시 굴착사면이 인근에 위치하며, 굴착사면과 되메움 토층의 마찰 등으로 인하여 라이닝에 작용하는 연직 및 수평토압이 영향을 받아 변화하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 현장조건은 구조공학적인 모델에 의한 해석시 합리적으로 모델링하기 곤란하다. 따라서 두 해석기법의 동일한 조건에서 비교분석

표 2. 해석조건 구분 및 부호규약

구분	모델링 기법	구속조건	모멘트	변위	축력
CASE 1	지반공학적인 모델링	Hinge			압축 : +
CASE 2	지반공학적인 모델링	Fix			
CASE 3	구조공학적인 모델링	Hinge			
CASE 4	구조공학적인 모델링	Fix			
CASE 5	구조공학적인 모델링	Hinge + Spring			
CASE 6	구조공학적인 모델링	Fix + Spring			

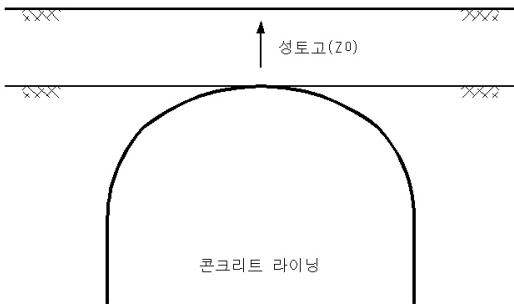


그림 3. 토피고( $Z_0$ )와 라이닝의 환산단면 직경(D)비( $Z_0/D$ )

을 위하여 지반공학적인 모델에 의한 해석시에도 굴착사면을 고려하지 않았다.

콘크리트 라이닝 천단부로부터 증가하는 토피고( $Z_0$ )와 라이닝의 환산단면 직경(D)비( $Z_0/D$ ) 변화에 따른 변위 및 부재력의 변화 등을 검토하였으며, 각 해석조건별 구분과 해석결과 콘크리트 라이닝에 발생하는 변위 및 부재력에 대한 부호규약은 표 2와 같다(그림 3 참조).

### 3.2 지반공학적인 모델에 의한 2차원 해석

본 연구에서는 되메움 토층의 단계별 성토와 경계요소 등을 고려한 지반공학적인 수치해석을 실시하기 위하여, 유한차분법(F.D.M) 해석프로그램인 FLAC을 이용하였다.

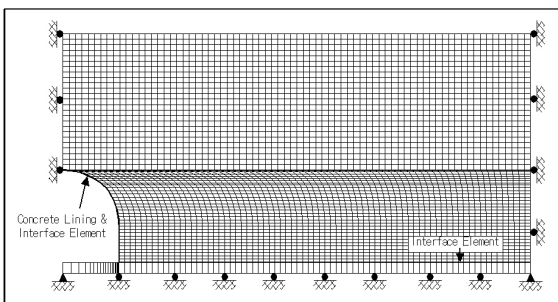


그림 4. 지반공학적인 모델해석을 위한 Mesh 및 구속조건

되메움 흙은 2차원 평면요소, 콘크리트 라이닝은 빔요소로 모델링 하였으며, 라이닝 지점부는 힌지조건과 고정단 조건 두 경우에 대하여 수치해석을 실시하였다(그림 4 참조).

표 3. 지반공학적인 수치해석 모델링

구분	모델링 요소	적용 모델	비고
되메움 흙	평면-변형률 요소	Mohr-Coulomb	
콘크리트 라이닝	Beam 요소	Elastic	

표 4. 되메움 흙의 입력 Parameter

탄성계수	내부마찰각 ( $\phi$ )	점착력 (c)	단위중량	해석조건
5,000 t/m <sup>2</sup>	33°	1.0 t/m <sup>2</sup>	2.1 t/m <sup>3</sup>	K <sub>0</sub> Condition

표 5. 콘크리트 라이닝의 재원

단위중량	탄성계수	포와송비	두께
2.5 t/m <sup>2</sup>	2.35 × 10 <sup>6</sup> t/m <sup>2</sup>	0.2	0.75 m

### 3.3 구조공학적인 모델에 의한 2차원 해석

구조공학적인 모델링을 통한 수치해석을 실시하기 위하여 콘크리트 라이닝 측벽부 및 상부에 되메움 토층을 전체 하중으로 고려하여 수직하중과 K<sub>0</sub> 조건으로 수평하중을 산정하였다. 콘크리트 라이닝은 빔(Beam)요소로 모델링 하였으며, 라이닝 지점부의 구속조건은 고정단 및 힌지조건에 대하여 각각 매개변수로 하여 검토하였다. 콘크리트 라이닝과 되메움 토층간의 상호 작용을 모델링하기 위하여 스프링 지점을 고려하였다. 구조물 구속조건을 정리하면 그림 5와 같다.

본 해석에서는 유한요소법(F.E.M) 해석프로그램인 SAP 2000을 이용하였으며, 시공단계별 검토를 위하여 콘크리트 라이닝 천단부로부터 토피고가 0~1D인 경우에 대하여 수치해석을 실시하였다.

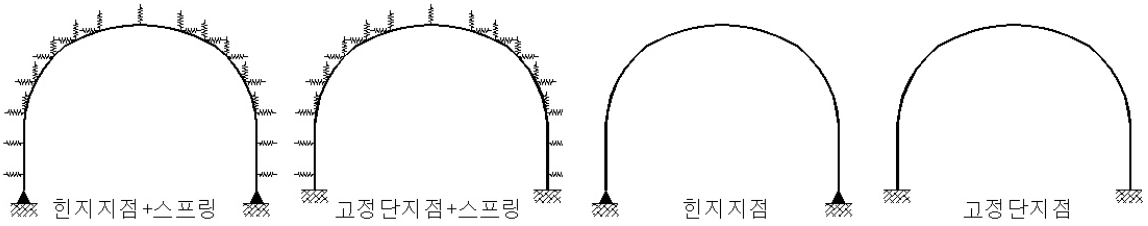
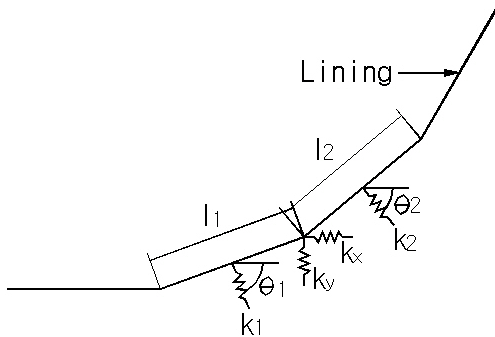


그림 5. 구조해석을 위한 구속조건

콘크리트구조물과 되매움 토층간의 상호 작용을 모델링하기 위한 스프링지점의 강성은 지반공학적 모델링에 적용된 지반탄성계수를 근거로 Woefler공식을 이용하여 산정하였다(그림 6 참조). 수치해석시 스프링지점을 모델링 한 경우 인장력이 발생하는 스프링은 제거 후 재해석을 실시하였다.



$$K' = \frac{E}{R}$$

$$K_i = K' \cdot i \cdot l_i = K' \cdot i \cdot l_2$$

$$K_x = 0.5(K_1 \cos \theta_1 + K_2 \cos \theta_2)$$

$$K_y = 0.5(K_1 \sin \theta_1 + K_2 \sin \theta_2)$$

여기서,

$K'$ : 단위접선 길이당 지반반력계수

$E$ : 주변 지반의 탄성계수

$R$ : 등기환산 라이닝반경( $\sqrt{A} / \pi$ )

$l_1, l_2$ : 부재의 길이

그림 6. Woefler 공식을 이용한 스프링계수 산정

### 3.4 결과분석

#### 3.4.1 휨모멘트

##### (1) 천단부 휨모멘트

천단부에 발생하는 그림 7과 같이 휨모멘트는 토피고가 낮은 경우( $Z_0/D=0.2$  이하) 횡방향 토압이 연직방향 토압에 비하여 크게 작용하게 되므로, 부(-)모멘트가 발생하고 이 후 토피고가 증가함에 따라 정(+)모멘트가 발생하는 것으로 나타났다.

천단부 휨모멘트는 그림 8과 같이 토피고가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다.  $Z_0/D$ 비가 동일한 경우 모델링 방법에 따라 천단부 휨모멘트는 17~45% 정도의 차이가 나타나고 있으며, 모델링 방법이 동일한 경우 해석시 구속조건의 변화에 따라 7~23%의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

또한 성토 초기단계에서는  $Z_0/D$ 비가 0.3으로 증가하는 경우 해석결과 모델링 방법 및 구속조건에 따른 해석 결과의 차이는 증가하고,  $Z_0/D$ 비가 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 보인다. 따라서 천단부 휨모멘트는

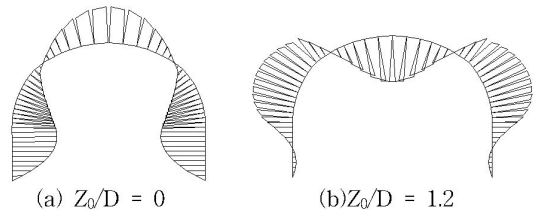


그림 7. 콘크리트 라이닝 휨모멘트(구속조건 : 힌지)

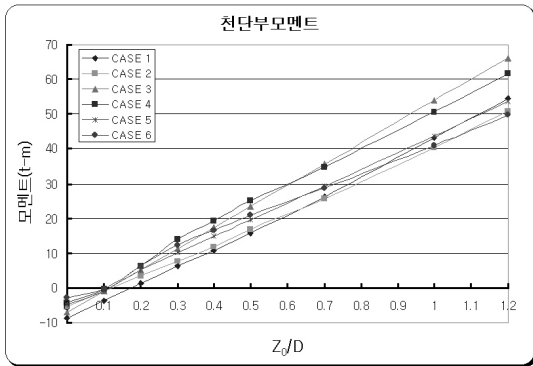


그림 8. 천단부 휨모멘트 변화

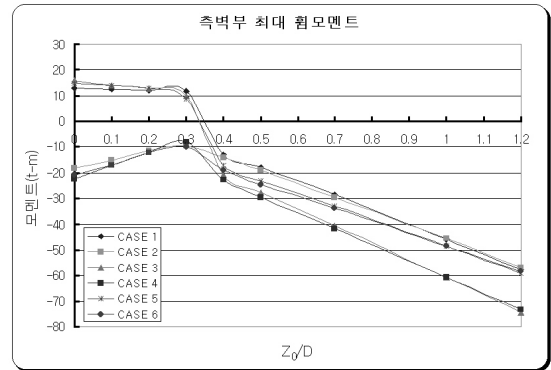


그림 9. 측벽부 최대 휨모멘트 변화

$Z_0/D$ 비가 0.3이상으로 증가함에 따라 모델링 방법 및 구속조건의 변화에 의한 영향은 감소하는 것으로 판단된다.

## (2) 측벽부 최대 휨모멘트

측벽부에 발생하는 최대 휨모멘트는 그림 9와 같이 콘크리트 라이닝의 구속조건 및 토피고 증가에 따른 변화 양상에 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 고정단 구속조건인 경우 토피고가 낮은 경우( $Z_0/D=0.3$ 이하)에는 측벽부에 정(+)모멘트가 가장 크게 발생하며, 토피고가 증가함에 따라 부(-)모멘트가 발생하는 것으로 나타나고 있다. 그러나 구속조건이 힌지인 경우 측벽부에 부(-)모멘트가 최대 휨모멘트로 발생하는 것으로 나타났다.

측벽부 최대 휨모멘트는  $Z_0/D$ 비가 동일한 경우 모델링 방법에 따라 19~39% 정도의 차이가 나타나고 있으며, 모델링 방법이 동일한 경우 해석시 구속조건의 변화에 따라 1~20%의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

또한 성토 초기단계에서는  $Z_0/D$ 비가 0.3으로 증가하는 경우 해석결과와 모델링 방법 및 구속조건에 따른 해석 결과의 차이는 감소하고,  $Z_0/D$ 비가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다. 따라서 측벽부 휨모멘트는  $Z_0/D$ 비가 0.3이상으로 증가함에 따라 모델링 방법 및 구속조건의 변화에 의한 영향은 증가하는 것으로 판단된다.

라이닝의 지점부 구속조건이 고정단이고  $Z_0/D$ 비가

0.3이하로 토피고가 낮은 경우, 해석결과 정(+)모멘트가 최대 휨모멘트로 발생하는 것으로 나타났다. 이는 지점부에 구속조건 영향 등으로 인하여 측벽부보다 큰 휨모멘트가 발생하고, 스프링 지점을 고려한 경우 측벽부 변위 제어 효과 등으로 인한 것으로 판단된다.

## 3.4.2 축력

콘크리트 라이닝에 발생하는 최대축력은 그림 10과 같이 토피고가 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 것으로 나타나고 있다. 최대축력은 콘크리트 라이닝 지점부에서 발생하고, 구속조건 변화에 따라 큰 영향은 없는 것으로 나타나고 있으며, 구조공학적인 모델링 방법에 의한 해석결과가 지반공학적인 모델링 방법에 의한 해석결과에 비해 평균 약 29%정도 크게 발생하는 것으로 나타나고 있다(그림 11 참조).

라이닝에 발생하는 축력은 수평방향 하중에 의한 영향 보다는 수직방향 하중에 따라 크게 변화하며, 따라서 수직방향 하중은 지반공학적인 모델링 방법에 의한 해석시 구조공학적인 해석에 비하여 작게 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 이는 콘크리트 라이닝과 퇴매움 토층사이 접촉면에 모델링한 경계요소(Interface Element) 및 퇴매움 토층 내부의 Soil Arching 등에 의한 영향으로 인하여 상부 토피고에 의한 수직하중이 감소하기 때문인 것으로 판단

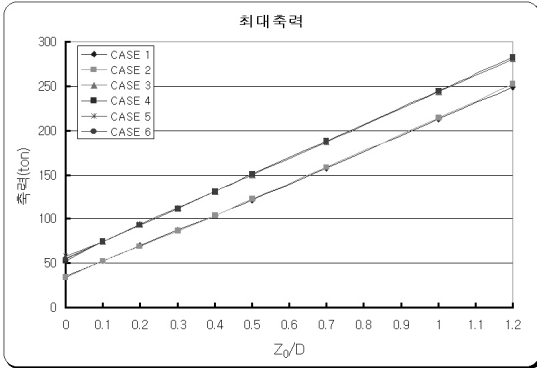


그림 10. 토피고 증가에 따른 최대축력

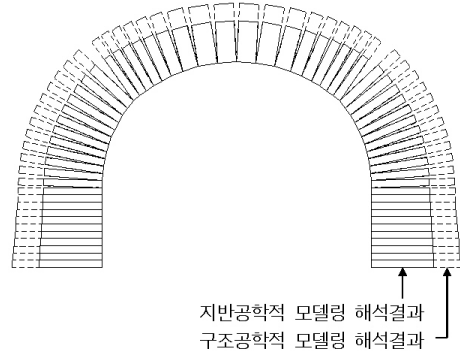


그림 11. 지반공학적 및 구조공학적 모델링 해석결과 (축력, CASE 2 vs. CASE 3)

된다.

### 3.4.3 변위

#### (1) 천단부 변위

천단부 변위는 그림 12와 같이 모델링 기법 또는 구속 조건에 따라 다소 차이가 발생하나 토피고가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타나고 있다. 지반공학적 모델링 방법을 이용한 수치해석에서 지점부 구속조건 변화에 의한 영향은 토피고가 증가함에 따라 해석결과의 차이는 최대 약 32%에서 2%로 점차 감소하며, 구조공학적 모델링 방법을 이용한 수치해석에서 지점부 구속조건 변화 및 스프링 지점 고려여부에 의한 영향은 토피고가 증가함에 따라 해석결과의 차이는 최대 약 20%에서 10%로 점차 감소하는 것으로 나타났다. 또한 구속조건이 힌지 또는 고정단인 경우 모델링 방법에 따라 22~51%의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

토피고가 낮은 경우( $Z_0/D=0.1$  이하)에는 천단부에는 상향 변위가 발생하고 이는 콘크리트 라이닝에 작용하는 수직하중에 비하여 수평하중이 크게 작용하기 때문이며, 토피고가 증가로 인한 수직하중의 증가로 인하여 천단부는 하향 변위가 발생하는 것으로 나타났다.

#### (2) 측벽부 변위

측벽부에 발생하는 변위는 그림 13과 같이 모델링 기법 또는 구속조건에 따라 다소 차이가 발생하나 토피고가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타나고 있다. 지반공학적 모델링 방법을 이용한 수치해석에서 지점부 구속조건 변화에 의한 영향은 토피고가 증가함에 따라 해석결과의 차이는 최대 약 27%에서 14%로 점차 감소하며, 구조공학적 모델링 방법을 이용한 수치해석에서 지점부 구속조건 변화 및 스프링 지점 고려여부에 의한 영향은 토피고가 증가함에 따라 해석결과의 차이는 최대 약 31%에서 23%로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 구속조건이 힌지 또는 고정단인 경우 모델링 방법에 따라 32~52%의 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

$Z_0/D$ 의 비가 0.2~0.3인 토피고가 낮은 경우 측벽부에는 라이닝 내측방향 변위가 발생하고, 이는 콘크리트 라이닝에 작용하는 수직하중에 비하여 수평하중이 크게 작용하기 때문이며, 수직하중이 증가함에 따라 수평하중이 증가하여 터널 측벽부에는 라이닝 외측방향 변위가 발생하는 것으로 나타났다.

토피고가 낮은 구간( $Z_0/D = 0.3$  이하)에서 천단부 및 측벽부 변위는 연직토압에 비해 횡방향 토압이 크게 작용하므로 라이닝 외측 및 내측의 변위가 발생하나,  $Z_0/D$ 비



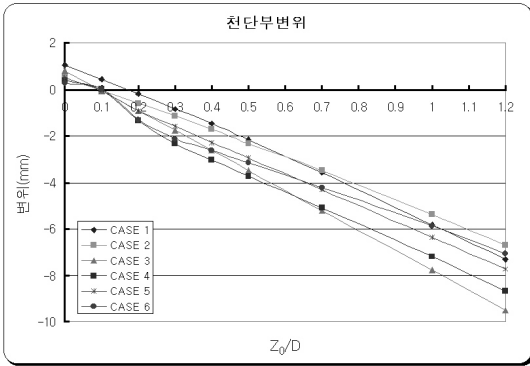


그림 12. 토피고 증가에 따른 천단부 변위

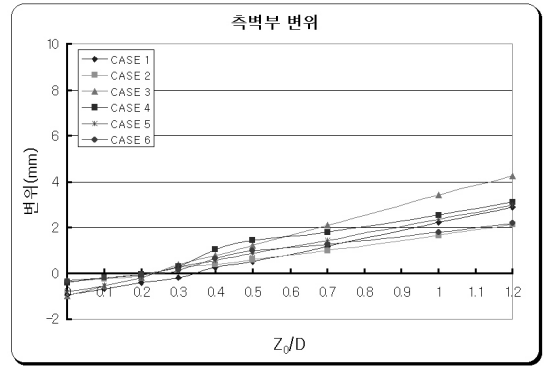


그림 13. 토피고 증가에 따른 측벽부 변위

가 증가함에 따라 선형적으로 변화하는 것으로 나타났다.

천단부 및 측벽부 변위는 해석결과 CASE 2의 경우 최소 변위가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 고정단 지점의 변위 제어 및 되메움 토층과 라이닝과의 상호 거동에 의한 변위 제어효과에 의한 것으로 판단되며, 최대 변위가 발생하는 것으로 나타난 CASE 3의 경우 라이닝 지점부의 구속조건이 헐지이므로 고정단 지점과 달리 지점부의 변위 제어효과가 나타나지 않으며, 구조공학적 모델링 방법의 가정 조건인 되메움 토층 전체를 하중을 산정하기 때문인 것으로 판단된다.

일반적으로 국내에서 복개터널의 콘크리트 라이닝 모델링시 지점부 구속조건은 명확한 기준에 의거하여 정해 지지는 않으나, 콘크리트 라이닝 하부지반이 경암 등과 같은 견고한 지반에서는 고정단지점으로 모델링하며, 풍화암 등에서는 헐지지점으로 모델링하는 경향이 있다. 그러나, 고정단 지점으로 모델링한 경우 헐지지점에 비해 천단부 휨모멘트는 평균 6.2%, 측벽부 최대 휨모멘트는 평균 22.5%, 천단부 변위는 평균 8.1%, 측벽부 변위는 평균 14.8% 정도 크게 발생하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 합리적이고 경제적인 복개터널 콘크리트 라이닝 설계를 위해서는 수치해석시 현장조건에 맞는 구속조건을 선정하여야 하며, 이를 검증하기 위한 현장계측 등의 관련 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 복개터널 라이닝의 설계시 적용 가능한 해석 기법들을 이용하여 각 조건 변화에 따른 복개터널 라이닝의 거동을 분석하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트 라이닝 모델링 방법에 따라 라이닝에 발생하는 변위 및 부재력은 최대 약 53% 정도의 큰 차이를 보이며, 동일 모델링 기법 적용시 구속조건 따라 라이닝에 발생하는 변위 및 부재력도 최대 약 32% 이상의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트 라이닝에 발생하는 변위 및 부재력은 구속조건 보다는 모델링 방법에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되며, 이러한 모델링 방법에 따른 라이닝에 발생하는 변위 및 부재력은 차이는 주로 되메움 토층 내부의 Soil Arching과 콘크리트 라이닝 및 되메움 토층의 Interaction 등의 영향으로 인해 발생하는 것으로 판단된다.
- 2) 두 모델의 해석결과는 복개터널 인근에 위치한 굴착사면의 경사, 폭, 높이와 지반상태 등과 같은 현장조건을 고려하지 않은 결과이므로, 굴착사면과 되메움 토층의 마찰 등 굴착사면의 영향을 반영한다면 두 모델의 해석결과가 더 큰 차이를 나타낼 것으로 판

단된다. 따라서 굴착사면의 기하학적인 조건과 지반 조건이 미치는 영향 파악과 함께 및 되메움 토층의 지반공학적 특성구명, 라이닝과 지반과의 Interaction 문제 등의 후속 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

- 4) 구조공학적 모델링 기법으로는 되메움 토층 전체를 수직 및 수평하중으로 가정하므로, 복개터널 라이닝에 인접하여 시공되는 굴착사면의 경사 및 굴착폭, 현장 되메움 토층의 다짐도의 영향, Soil Arching 등과 같은 지반공학적 특성을 모델링하기에 어려움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 복개터널 라이닝 설계시에는 지반조건의 변화와 굴착단면의 변화가 크거나 복개심도가 깊은 경우 등 지반공학적 변수가 많은 경우는 구조공학적 모델링외에 추가적으로 지반공학적인 모델링을 통한 해석의 적합성 검토가 병행되어야 할 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구에서는 라이닝 지점부의 구속조건이 해석결과에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타나고 있어 보다 합리적이고 경제적인 복개터널 콘크리트 라이닝 설계를 위해서는 수치해석시 지반조건 등을 반영

한 구속조건의 결정이 이루어져야 하며, 이를 위하여 지반조건별 세부 기준 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1998), “국내 터널설계 기술력 향상을 위한 신기술 연구”, 한국건설기술연구원, pp. 9~75.
2. 한국건설기술연구원(1999), “도로설계 편람(1) 제 6 편”, 건설교통부, pp. 612-1~613-17.
3. 김은섭, 이상덕(1999), “지하 박스구조물에 작용하는 토압에 관한 실험적 연구”, 한국지반공학회지, 제15권 제4호, pp. 235~246.
4. 유건선(1997), “아치형 복개터널의 설계”, 한국지반공학회 터널기술 Work Shop-II, pp. 295~322.
5. 정성교, 정진교, 이만렬(1997), “안정사면에 인접한 옹벽에 작용하는 수평토압”, 한국지반공학회지, 제13권 제5호, pp. 19~34.
6. Richard L. Handy(1985), “The Arch in Soil Arching”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111, No. 3, pp. 302~318.