

# 굴착경사가 개착식터널의 구조적거동에 미치는 영향에 관한 연구

## The Effect of Cut-slope on Structural Behavior of Cut-and-Cover Tunnel

유 건 선\* Yoo, Kun-Sun

### Abstract

Existing cut-and-cover tunnels are designed regardless of cut-slope under the assumption that the overburden weight of backfill soil acts on tunnel arch and the earth pressure at rest acts on tunnel walls. However, actual earth pressures acting on the tunnel lining depend on open-cut size composed of cut-slope and cut-width, and thus the tunnel lining shows a different structural behavior. This study investigated the effect of cut-slope on structural behavior of the cut-and-cover tunnel lining as follows; Firstly, a comprehensive numerical analysis method using FLAC2D code was used and verified by field measurements of tunnel profile. Secondly, based on the verified numerical analysis technique, earth pressure acting on the lining, and displacement and sectional force developed on the lining were estimated with various shapes of cut-slopes(30°, 45°, 60°, and 75°). Numerical analysis results indicate that the steeper cut-slope shows the more displacement and moment of the tunnel lining.

### 요 지

기존 개착식터널은 굴착경사와 관계없이 터널상부에는 되메움지반의 자중이 그리고, 터널벽체에는 정지토압이 작용하는 것으로 가정하여 설계되고 있다. 그러나 개착식터널에 실제 작용하는 토압은 개착규모에 따라 다르며 이에 따라 터널라이닝의 구조적거동 또한 다르게 나타난다. 본 연구에서는 수치해석적방법을 사용하여 굴착경사가 터널라이닝에 미치는 영향을 다음과 같이 조사하였다. 첫째로, 지반범용수치해석프로그램인 FLAC2D를 사용하여 개착공법으로 시공된 기존 터널의 변형거동을 모사할 수 있는 수치해석방법을 활용하여 현장의 계측결과와 비교하므로써 수치해석방법의 타당성을 검증하였고, 둘째로, 동일한 수치해석기법을 적용하여 굴착경사가 30°, 45°, 60°, 75°인 개착식터널에 작용하는 토압 및 변위와 터널라이닝에 발생하는 단면력을 조사하였다. 수치해석에 사용된 개착식터널은 2차로 도로터널이며, 터널라이닝과 되메움지반 사이의 마찰력을 고려하기 위하여 접합면 요소를 사용하였다. 수치해석결과, 되메움지반과 터널라이닝 및 굴착사면 사이의 마찰력에 의한 되메움지반 내부의 아칭현상으로 인하여 굴착경사가 클수록 터널벽체에 상대적으로 작은 토압이 작용하였으며, 이에 따라 터널라이닝의 변형, 모멘트, 전단력이 증가하였음을 알 수 있었다.

**Keywords :** Arching, Cut-and-cover tunnel, Cut-slope, Earth pressure, Interface, Lining

### 1. 서 론

산악터널의 시공에서 터널 상부의 토피가 얇은 입출구 부분의 터널시공의 경우, 경제성을 감안하여 보편

적으로 사용되고 있는 NATM 방식의 터널공법 대신에 원지반을 개착식으로 굴착하고 터널의 콘크리트라이닝을 시공한 후 원지반선까지 되메우기를 실시하는 개착식 터널공법을 사용한다.

\* 정희원, 한라대학교 건축·토목공학부 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil Engrg., Halla Univ.)

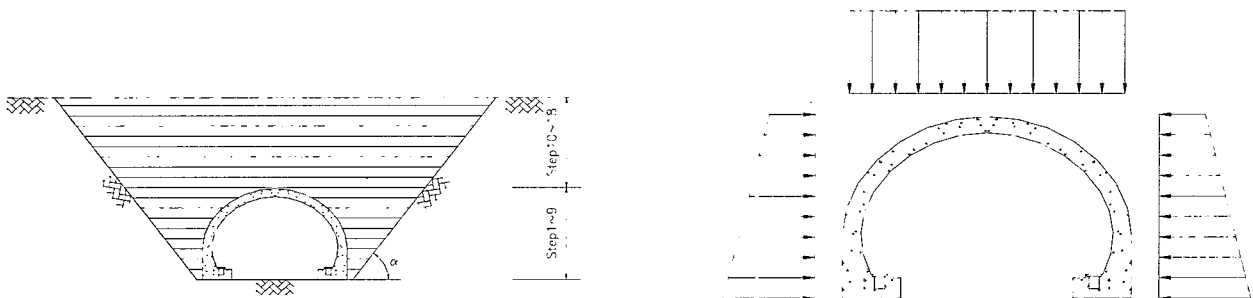
개착식터널의 시공은 공법특성상, 토공량을 최소화 하기 위하여 굴착경사를 가능한 한 급하게 하며, 또한 환경보존차원에서 지표면은 원래의 형상대로 복원하게 된다. 한편 산악지형의 원지반은 일반적으로 암석으로 이루어져 있으므로 이러한 지반을 개착하여 콘크리트 라이닝을 시공한 후 양질의 토사로 되메움할 경우 콘크리트라이닝에 작용하는 하중은 전적으로 되메움지반에 의한 자중(상재하중) 및 토압에 의해 결정된다. 따라서 터널라이닝의 구조적 거동은 굴착경사에 의해 결정되는 되메움 공간의 형상에 의해 영향을 받게 된다. 또한 터널라이닝 좌우에 시공되는 되메움지반은 되메움 초기에는 터널라이닝에 하중으로 작용하지만, 되메움 완료후에는 터널라이닝(천단)의 침하에 따라 이와 연계하여 발생하는 터널라이닝(벽체)의 측방변형에 저항하는 반력을 생성하는 역할을 하므로 되메움지반의 강성 또한 터널의 구조적 거동에 영향을 미친다. 그러나 이러한 요인들이 개착식터널의 구조적거동에 미치는 영향에 대한 연구는 국내외적으로 미미한 실정이다. 현재까지 대부분의 연구들은 좁은 되메움공간에서의 토압감소(Getzler, 1968; Sherif, 1982; Handy, 1985; Kingsley, 1989; Kellog, 1993; 김홍택, 1990; 이승래 등, 1993; 정성교 등, 1996; 이상덕, 2000)와 터널라이닝과 되메움지반의 상호작용(Kovari et al, 1982; Tisa et al, 1988)을 각각 독립적으로 다루었기 때문에 이 두가지 문제점이 유기적으로 연결되어 있는 개착식터널의 구조적 거동을 규명하는 데에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 수치해석적 방법을 사용하여 굴착경사에 의해 결정되는 되메움공간의 형상이 개착식터널의 구조적 거동에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 개착식터널의 일반적인 변형거동특성

개착식터널은 시공특성상 되메움시, 되메움지반과 터널 라이닝 사이의 흙구조체 상호작용(soil-structure interaction)에 의해 다음과 같은 변형거동과 이에 따른 토압양상을 보인다. 즉, 개착식 터널의 시공은 원지반을 개착식으로 굴착하고 콘크리트라이닝을 시공한 후 원지반까지 되메움하는 방법으로 이루어지고 있기 때문에, 되메움지반이 되메움 초기에는 콘크리트라이닝 측벽에 하중으로서 작용하지만, 되메움 완료후에는 상재하중으로 인한 콘크리트라이닝의 천단침하에 따른 콘크리트라이닝의 측방변형에 저항하는 반력을 생성하는 역할을 하기도 한다. 따라서 되메움 초기(그림 1(a)에서 Step8~9까지 터널측벽에 대한 되메움시)에는 되메움토압에 의해 라이닝 측벽은 터널내부로 변형을 일으키며 이에 따라 터널라이닝 천단은 위로 변형이 발생하게 된다.

그러나 되메움지반이 터널라이닝 상부에 쌓이게 되면(그림 1(a)의 터널상부에 대한 되메움, Step9~10 이후) 상황은 반전되어 상재하중으로 인해 터널라이닝 천단은 침하하게 되며 이에 따라 터널라이닝 측벽은 터널 외부로 변형을 일으키게 된다. 이때 터널라이닝 측벽에 접해있는 되메움지반의 토압과 강성에 따라 터널라이닝의 측방변형이 좌우되고 이에 따라 터널라이닝의 천단침하가 영향을 받는 등 되메움지반과 콘크리트라이닝 사이에 상호작용이 발생한다. 즉 굴착사면과 콘크리트라이닝 사이에 시공되는 되메움지반의 토압과 강성이 작으면 작을수록 콘크리트라이닝의 측방변형은 증가하고 이에 따라 천단침하 또한 증가한다. 반면에, 되메움지반의 토압과 강성이 크면 클수록 콘크리트라이닝의 측방변형은 감소하고 이에 따라 천단침하 또한 감소한다.

한편 굴착경사에 의해 결정되는 되메움공간의 형상



(a) 시공단면도

(b) 설계에서 사용되고 있는 토압분포

그림 1. 개착식터널의 일반적인 시공단면도 및 설계토압분포 예

이 개착식터널구조체에 미치는 영향은 다음과 같이 설명될 수 있다. 그림 1(a)에 나타난 바와 같이 굴착경사( $\alpha$ )가 급할수록 되메움공간이 협소해지며 이에 따라 굴착사면 및 콘크리트라이닝에 의한 마찰력의 영향으로 상부 되메움지반의 자중이 하부에 제대로 전달되지 않는다. 이렇게 하부에 작게 전달되는 되메움지반의 자중은 콘크리트라이닝 측벽에 대한 토압의 감소로 이어져 상재하중(콘크리트라이닝 상부에 놓이는 되메움지반의 자중)에 의한 콘크리트라이닝의 측방변형에 대한 저항력이 감소하며 이로 인해 천단침하가 증가하는 경향이 있다(유건선, 1997, 유건선 등 1999). 그러나 현재 일반적으로 사용되고 있는 개착식터널 설계방법에서는 이러한 굴착경사의 영향을 적절히 반영하지 못하고 그림 1(b)와 같이 토압을 가정하여 설계하고 있는 실정이다. 그림 1(b)에서 터널좌우 및 상부의 토압은 굴착경사와 관계없이 단지 터널벽체의 직상부에 놓여있는 토피고를 고려하여 계산되고 있을 따름이다.

### 3. 수치해석

#### 3.1 해석 모델링

개착식터널의 특징은 시공방법상, 되메움이 단계적으로 진행됨에 따라 되메움지반을 포함한 구조체제가 형성되며, 매 단계마다 하중이 구조체제에 재하된다는 점이다. 터널라이닝에 접촉하여 이루어지는 되메움지반과 터널라이닝의 상호작용이 수반되는 이러한 과정을 수치해석적으로 재현하기 위하여, 터널축에 연직인 평면단면을 고려하였다. 이러한 평면변형을 조건은 되메움 공정이 터널축을 따라 최소한 터널라이닝 정상까지

수차례의 작은 단계로 나누어져 수행되기 때문에 타당한 것으로 판단된다. 본 수치해석에서는 개착식터널 공법의 특성상 터널라이닝의 역학적 거동에 결정적인 역할을 하는 되메움 토압의 작용메카니즘을 보다 정확하게 규명하기 위하여, 되메움지반이 접촉하는 굴착사면과의 경계면 및 터널라이닝과의 경계면에 접합면요소(ITASCA, 1998)를 두어 이들 경계면에서 발생하는 마찰력에 의해 되메움지반내에서 발생하는 아칭효과를 고려하였다. 본 해석에서의 하중조건은 전적으로 되메움지반의 자중 만이며, 이 자중과 되메움지반 내부의 아칭현상과 터널라이닝의 변형 등의 상호작용에 따라 터널라이닝 주변에 발생하는 토압은 터널라이닝의 변형에 따라 주동상태와 수동상태 사이에서 변하며, 이 토압이 다시 터널라이닝과 영향을 주고 받는 상호작용(soil-structure interaction)을 본 해석에서 고려하였다. 본 해석에서는 유한차분법(Finite Difference Method) 범용 프로그램인 FLAC2D를 사용하여 시공 단계별로 수치해석을 수행하였으며, 대변형 모드(large strain mode)기법을 도입하므로써 시공 단계별로 발생하는 구조물의 변위가 누적되도록 하여 시공단계에 따른 되메움지반과의 상호작용을 고려하였다. 되메움지반은 Mohr-Coulomb의 파괴기준과 탄소성적 응력-변형을 구성관계를 갖는 2차원 평면변형요소로, 콘크리트 터널라이닝은 보(beam) 요소로 모델링하였으며, 라이닝 하단부는 원지반과 힌지로 연결된 것으로 가정하였다. 되메움지반과 터널라이닝 사이 및 되메움지반과 굴착경사면 사이에 접합면요소(interface element)를 두었으며, 그 역학적 특성은 3.2절에서 Brünnen 터널의 거동을 적절히 모사한 수치해석을 통하여 결정되었다. 한편 되메움시 단계별로 시공되는 되메움지반의 시공두께(1m)와 현장여건을 고려

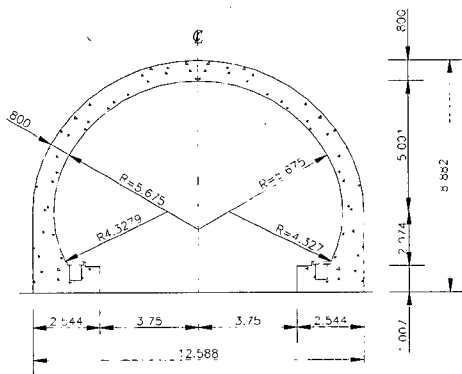


그림 2. 수치해석에 사용된 터널 단면

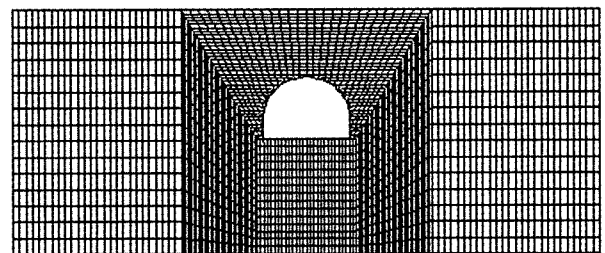


그림 3. 수치해석 모델링

하여 되메움지반의 평면요소두께를 0.5m로 하였다.

본 연구에서는 국내에서 시공중인 2차로 개착식터널(폭=12.6m, 높이=8.9m, 콘크리트라이닝 두께=80cm, 토 피고=터널고=8.9m, 그림 2 참조)을 대상으로, 지표면이 편평한 지반에서 굴착경사( $\alpha$ )를 30°, 45°, 60°, 75°로 각각 시공할 경우 굴착경사가 터널라이닝에 미치는 영향을 수치해석방법으로 조사하였다. 본 연구에서 적용된 대표적인 수치해석모델링은 그림 3과 같다.

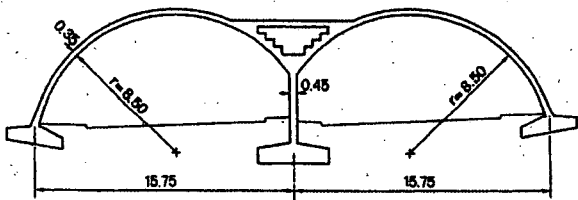
### 3.2 수치해석결과와 실측치와의 비교

본 연구에서 사용한 수치해석의 적용성을 검증하기 위하여, 스위스의 Bern시와 1번 국도를 연결하는 외곽 도로의 일부 구간에서 개착식으로 시공된 길이 550m의 Brünnen터널(그림 4(a) 참조)에서 시공중(터널천단까지 되메움)에 3개 단면에서 측정한 터널의 변위(Tisa, 1993)를 수치해석결과와 비교분석하였다. 수치해석에 사용된 입력자료는 Tisa(1993)의 보고서에서 인용한 자료로서 되메움지반의 탄성계수  $E=50,000\text{kN/m}^2$ , 포아송비  $\nu=0.33$ , 내부마찰각  $\psi=30^\circ$ , 단위중량  $\gamma=22\text{kN/m}^3$ , 콘크리트라이닝의 탄성계수  $E_c=30,000\text{MN/m}^2$ , 원지반의 탄성계수  $E_0=80,000\text{kN/m}^2$  및  $150,000\text{kN/m}^2$ 로 가정하였

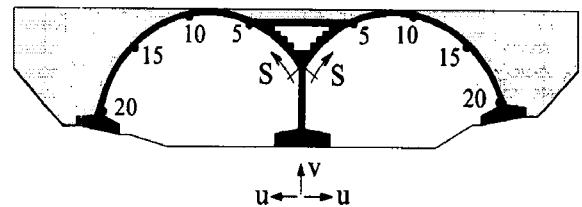
다. 터널중심의 천단부로부터의 거리(Arch Length, S, 그림 4(b))에 따른 콘크리트라이닝의 위치별 수평변위와 수직변위에 대한 수치해석결과와 실측변위값을 그림 5에 함께 표현하여 비교한 결과, 터널의 오른쪽 일부를 제외하고는 수치해석결과와 실측치가 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 5에서 터널 오른쪽의 실측변위값과 수치해석결과와의 차이는 수치해석에서는 터널구조물을 대칭으로 해석하였으나 우측기초의 위치가 좌측기초 보다 약간 높은 실제 구조물의 비대칭성으로 인해서 생긴 오차로 판단된다. 수치해석결과, 기초의 침하와 직접적인 관련이 있는 원지반의 탄성계수는 콘크리트라이닝의 수평변형거동에는 큰 영향을 미치지 못한 반면에, 수직변형거동에는 큰 영향을 미침을 알 수 있으며, Brünnen터널 현장의 원지반 탄성계수  $E_0$ 는  $80,000\text{kN/m}^2$ 보다  $150,000\text{kN/m}^2$ 에 가까울 것으로 판단된다.

### 4. 수치해석 결과 및 분석

상기 3.2절의 되메움시 개착식터널의 변형거동을 적절히 모사하므로써 검증된 수치해석방법을 사용하여 굴착경사가 개착식터널라이닝의 구조적 거동에 미치는 영향을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연

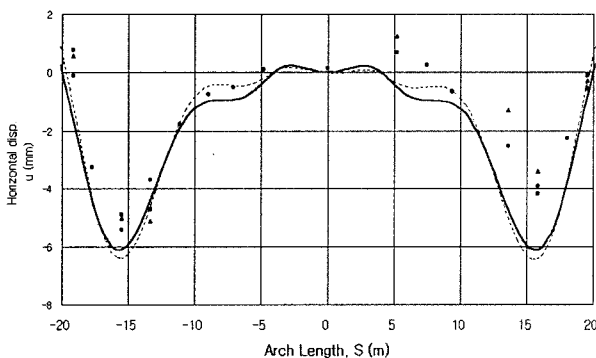


(a) Brünnen터널 단면도

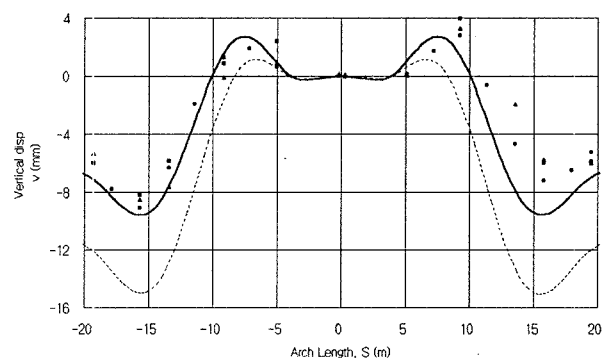


(b) 변위계측 위치도

그림 4. 스위스 Brünnen터널의 단면도 및 변위계측 위치도



(a) 수평변위



(b) 수직변위

그림 5. 터널 콘크리트라이닝의 위치별 수평 및 수직변위의 측정값과 수치해석값의 비교

구에서는 굴착경사의 영향을 조사하기 위하여 지표경사가 없는 편평한 원지반에 대하여 굴착경사( $\alpha$ )를 30°, 45°, 60°, 75°로 변화시켜 매 단계성토별(1단계성토고=1m)로 수치해석하였다.

본 연구에 사용된 되메움지반의 공학적 성질은 현장에서 요구되는 시방기준인 되메움지반의 지반반력계수가 110MN/m<sup>2</sup>이상인 점을 고려하여 탄성계수=27800 kN/m<sup>2</sup>, 마찰각=33°, 점착력=10kN/m<sup>2</sup>, 단위중량=20kN/m<sup>3</sup>으로 가정하였으며, 원지반은 경암의 탄성암반으로 가정하였다.

지표면이 편평한 지반에서 굴착경사( $\alpha$ )를 30°, 45°, 60°, 75°로 개착하여 터널라이닝을 시공한 후 그림 1(a)와 같이 단계별 되메움으로 시공된 개착식터널에 대한 수치

해석결과를 분석하면 다음과 같다.

#### 4.1 토압분포

되메움 완료직후, 굴착경사에 따른 되메움지반 내부의 수직응력상태를 굴착경사별로 그림 6에 나타내었으며, 각 굴착경사에 대한 되메움지반 내부의 수평응력 및 수직응력의 상태를 함께 부록 A에 나타냈다. 그림 6에 의하면, 굴착경사가 급해질수록 터널하부 되메움지반의 수직응력이 작아짐을 알 수 있으며, 이러한 현상은 되메움지반과 터널라이닝 사이 및 되메움지반과 굴착경사면 사이의 마찰력으로 인하여 상부 되메움지반의 자중이 하부로 제대로 전달되지 않아 발생하는 현상으로 판

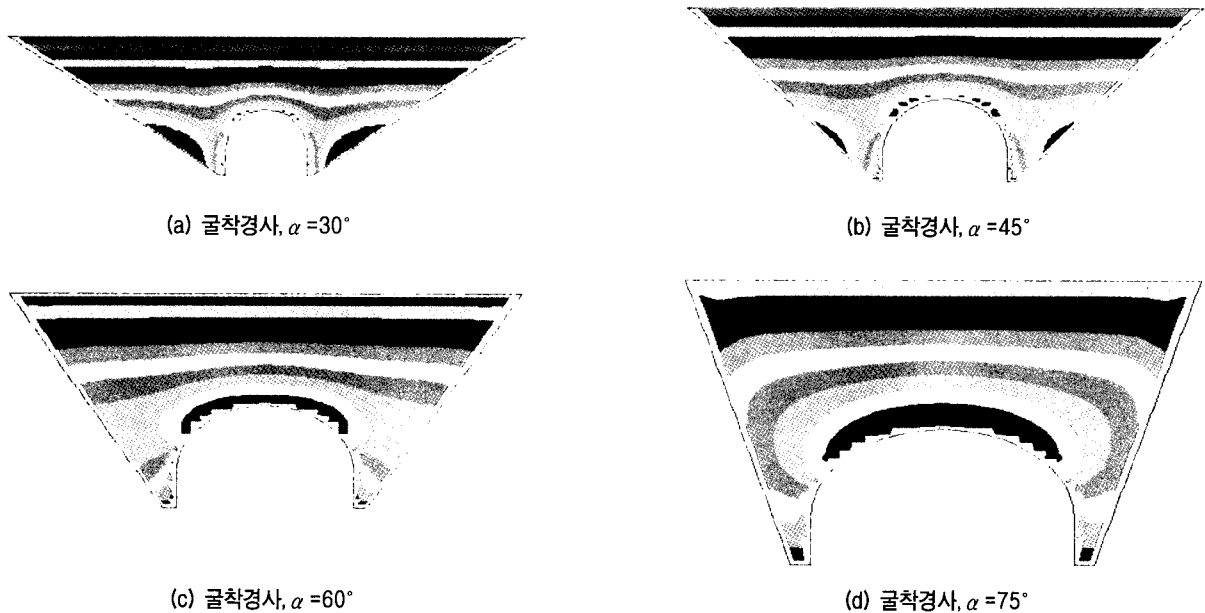
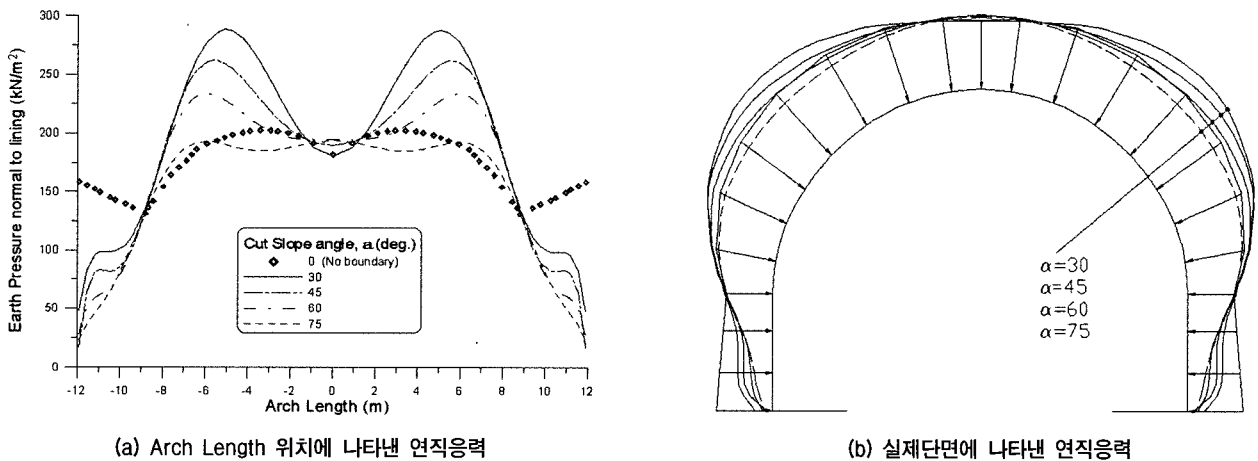


그림 6. 굴착경사에 따른 되메움지반 내부의 수직응력분포, 간격=20kN/m<sup>2</sup>



(a) Arch Length 위치에 나타낸 연직응력

(b) 실제단면에 나타낸 연직응력

그림 7. 굴착경사( $\alpha$ )에 따라 터널라이닝에 작용하는 연직응력(토압)의 변화

단된다. 한편 터널어깨(shoulder)부분에 상대적으로 큰 토압이 유발되는 현상은 지반내부의 상대변위에 따른 힘의 전이현상을 규명한 Terzaghi and Peck(1967)의 아칭이론으로 설명될 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 굴착 경사면과 터널벽체 사이에 이미 시공된 하부의 되메움 지반이 그후에 시공되는 상부의 되메움지반의 무게로 인하여 침하하므로써 발생하는 부등침하에 따른 아칭 현상에 의해 터널상부의 되메움지반의 자중이 상대적으로 변위가 작은 굴착경사면과 터널라이닝(어깨부분)으로 전이되어 발생한 현상으로 보인다. 아칭현상은 되메움공간이 넓어 마찰력의 영향을 상대적으로 덜 받는 굴착경사가 완만한 경우에 현저하게 나타나고 있으며, 이러한 사실은 터널라이닝에 작용하는 연직응력을 조사한 그림 7에서도 확인할 수 있다. 한편 그림 7에 기존 개착식터널의 설계에 사용하고 있는 토압의 분포[(a)No boundary, (b)화살표로 표시]를 포함시켜 수치해석결과와 비교하였다.

그림 7에 의하면 굴착경사에 의해 결정되는 되메움공간의 크기에 따라 터널라이닝의 어깨부에 작용하는 토압과 측벽에 작용하는 토압이 다르게 나타났으며, 작용 위치 또한 굴착경사에 따라 다르게 나타났다.

#### 4.2 터널라이닝의 변위

개착식터널의 되메움공정에 따른 대표적인 터널라이닝의 변형거동을 그림 8에 나타내었다. 이 그림에서는 대표적으로 굴착경사가 60° 인 경우에 단계별 성토가 진행됨에 따라 변하는 터널라이닝의 변형거동을 동일한 축척으로 나타내었으며, 여러 굴착경사에 대한 터널라이닝의 변형거동을 비교하기 위하여 그림 9에 단계별 성토고에 따른 터널천단의 수직변위의 변화를 함께 나타내었다. 그리고 되메움완료 후 콘크리트라이닝의 각 위치(그림 10의 Arch Length 참조)에서 발생한 수평 및 수직변위를 굴착경사에 따라 그림 11에 나타내었다.

그림 9에 의하면, 굴착경사에 관계없이 터널라이닝의 시공후 되메움 초기(1단계~8단계성토)에는 터널측벽에 작용하는 되메움토압으로 인하여 터널천단이 상향으로 솟아오르는 반면에 되메움 후기(9단계 이후)에는 터널라이닝 상부에 놓이는 되메움지반의 자중으로 인하여 되메움이 진행되어감에 따라 터널천단이 침하하는 경향을 보였으며 이러한 현상은 대형터널모형실험을 통하여 유건선 등(1999)에 의해서도 밝혀진바 있다.

한편 굴착경사가 증가함에 따라 터널천단의 상향변

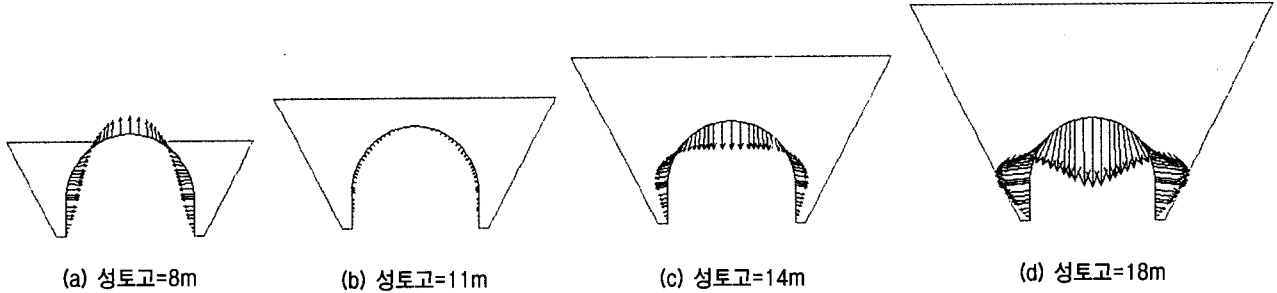


그림 8. 되메움 성토고에 따른 터널라이닝의 변위

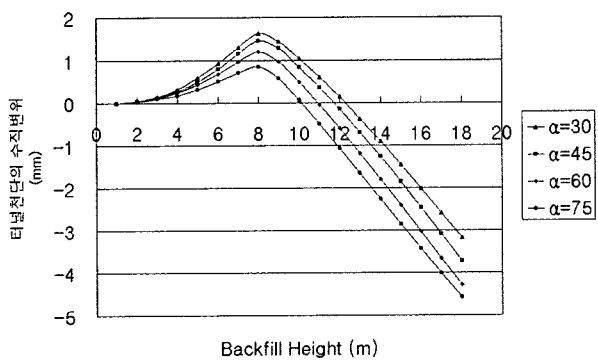


그림 9. 단계별 성토고에 따른 터널천단의 수직변위 변화

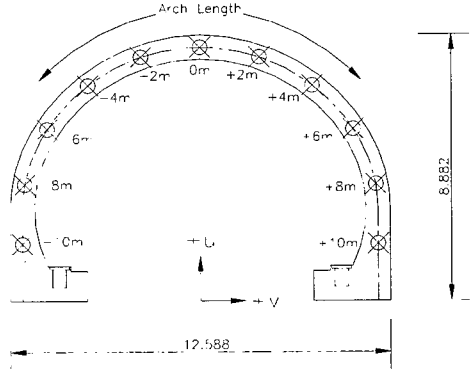


그림 10. Arch Length, S

위는 감소하는 반면에 침하는 증가하는 경향을 나타낸 것은 터널측벽과 굴착사면의 사이에서 형성되는 되메움공간의 크기와 관계있는 것으로 판단된다. 즉, 굴착경사가 증가할수록 되메움공간이 좁아짐으로써 되메움지반과 굴착사면 사이 및 되메움지반과 터널측벽 사이에서 각각 유발되는 마찰력의 영향이 상대적으로 증가하게 되어 상부에 쌓이는 되메움지반의 자중이 하부에 제대로 전달되지 않는다. 따라서 터널측벽에 대한 토압이 작아질 뿐만 아니라 터널측벽의 변형에 대한 구속력 또한 작아지게 되므로 되메움 초기에는 터널측벽의 변형에 의한 터널천단의 상향변위가 작은 반면에, 되메움 종료시에는 터널측벽에 대한 되메움지반의 구속력 감소로 인한 터널측벽의 변형증가에 따라 터널천단의 침하

는 증가하는 것으로 판단된다.

또한 그림 7에서 보인바와 같이 굴착경사에 따라 터널라이닝에 작용하는 연직응력(토압)의 크기와 위치가 변하므로 이에 따라 터널라이닝의 변위가 달라지는 것을 그림 11에서 확인할 수 있다.

### 4.3 터널라이닝의 단면력

굴착경사가 변화함에 따라 되메움완료 후 콘크리트 라이닝의 각 위치(그림 10의 Arch Length 참조)에서 발생하는 모멘트, 전단력, 및 축력 등의 단면력을 그림 12에 각각 나타내었으며, 이들의 최대값의 변화를 그림 13

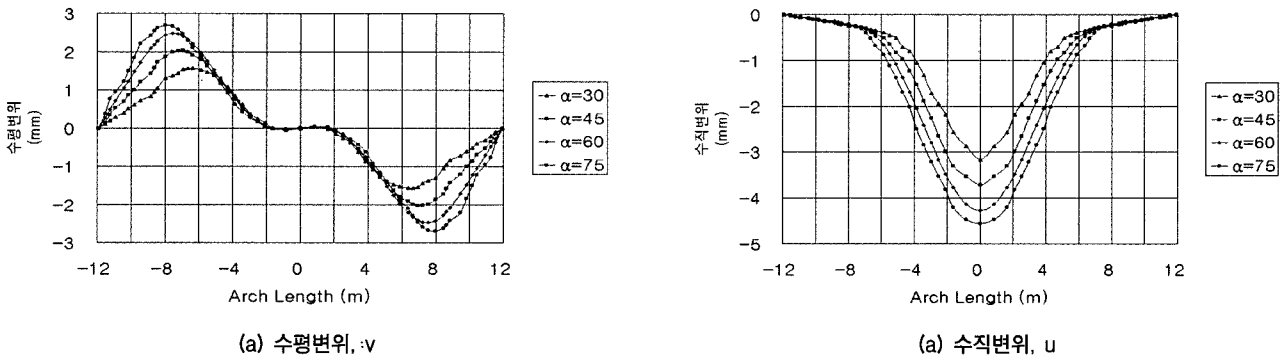


그림 11. 굴착경사( $\alpha$ )에 따른 되메움완료후의 터널라이닝 변위

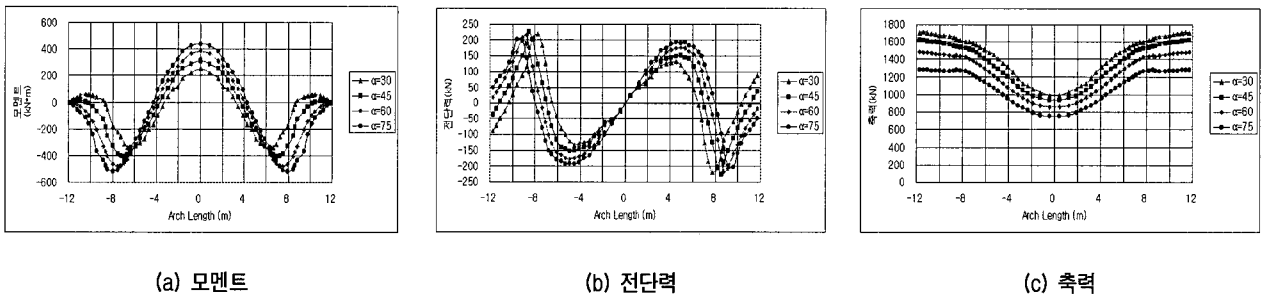


그림 12. 굴착경사( $\alpha$ )에 따른 되메움완료후의 터널라이닝의 단면력분포도

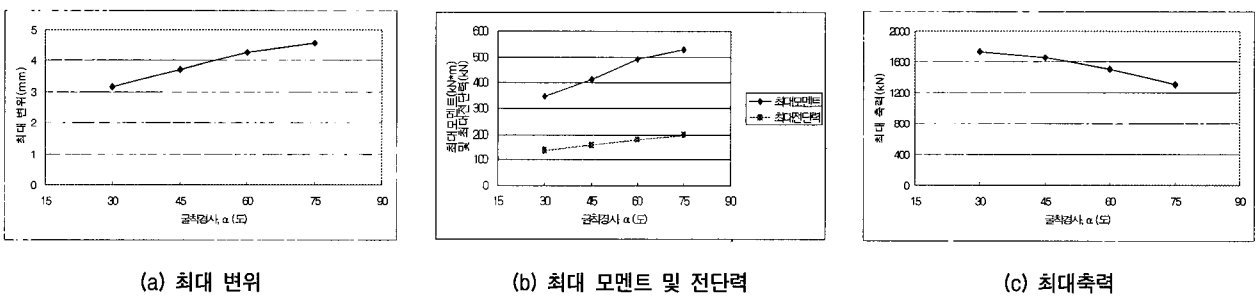


그림 13. 굴착경사( $\alpha$ )에 따른 터널라이닝의 최대 변위 및 단면력 변화

표 1. 굴착경사( $\alpha$ )에 따른 터널라이닝의 최대 변위 및 단면력의 수치해석값

굴착경사 $\alpha$ (도)	최대 변위				최대모멘트		최대전단력		최대축력	
	수평		수직		kN · m	(%)	kN	(%)	kN	(%)
	mm	(%)	mm	(%)						
30	1.57	100	3.17	100	346	100	136	100	1740	100
45	2.03	129	3.71	117	413	119	154	113	1660	95
60	2.48	158	4.28	135	490	142	179	132	1510	87
75	2.70	172	4.57	144	530	153	197	145	1310	75

및 표 1에 각각 정리하였다.

상기 4.1절 및 4.2절에서 언급한 굴착경사에 따른 토압분포의 변화 및 이에 따른 터널라이닝의 변형거동에 따라 굴착경사가 30° 인 경우에 비해 굴착경사가 75° 인 경우, 수직변위는 44%, 최대모멘트는 53%, 최대전단력은 45% 각각 증가하였으며, 최대축력은 25% 감소하였다. 또한 최대단면력이 작용하는 위치도 굴착경사에 따라 다르게 나타났다. 최대모멘트 및 최대전단력이 발생하는 위치가 굴착경사가 30° 인 경우에는 터널천단 부근인 반면에 굴착경사가 75° 인 경우에는 터널어깨부로 나타났다으며, 최대축력은 굴착경사에 관계없이 터널라이닝의 좌우측 하단부에서 발생하였으며 그 절대값은 굴착경사가 클수록 작게 나타났다. 최대축력의 크기는 터널 상부에 놓이는 되메움공간의 크기에 비례하여 증가하는 것으로 판단된다. 즉 굴착경사가 클수록 터널상부에 놓이는 되메움공간이 작아지므로 이에 따른 상재하중의 감소로 인하여 터널라이닝에 작용하는 축력은 감소하는 것으로 판단된다.

참고로 굴착경사에 따른 터널라이닝의 구조적거동을 비교하기 위하여, 되메움완료직후의 각 굴착경사에 대한 터널라이닝의 변위 및 단면력의 분포도를 동일한 축척을 사용하여 부록 B에 나타내었다.

## 5. 결론

국내에서 시공중인 2차로 개착식터널(토피고=터널높이=8.9m)을 대상으로, 지표면이 편평한 지반에서 굴착경사를 30°, 45°, 60°, 75° 로 각각 시공할 경우 굴착경사가 터널라이닝에 미치는 영향을 수치해석방법으로 조사한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 굴착경사에 의해 결정되는 되메움공간의 크기에 따라 터널라이닝의 어깨(shoulder)부분에 작용하는 토

압과 축력에 작용하는 토압이 다르게 나타났다.

- (2) 굴착경사가 증가할수록 되메움공간이 좁아짐으로써 되메움지반과 굴착사면 사이 및 되메움지반과 터널측벽 사이에서 각각 유발되는 마찰력의 영향이 상대적으로 증가하게 되어 상부에 쌓이는 되메움지반의 자중이 하부에 제대로 전달되지 않는다. 따라서 터널측벽에 대한 토압이 작아질 뿐만 아니라 터널측벽의 변형에 대한 구속력 또한 작아지게 되므로 되메움 초기에는 터널측벽의 변형에 의한 터널천단의 상향변위가 작은 반면에, 되메움 종료시에는 터널측벽에 대한 되메움지반의 구속력 감소로 인한 터널측벽의 변형증가에 따라 터널천단의 침하는 증가한다.
- (3) 굴착경사에 의해 결정되는 되메움공간의 크기에 따라 터널라이닝의 어깨부분에 작용하는 토압이 다르며 그 값은 굴착경사가 작을수록 크게 나타났으며, 작용위치 또한 굴착경사에 따라 다르게 나타났다. 이러한 현상은 굴착경사면과 터널벽체 사이에 이미 시공된 하부의 되메움지반이 그후에 시공되는 상부의 되메움지반의 무게로 인하여 침하하므로써 발생하는 부등침하에 따른 아칭현상에 의해 터널상부의 되메움지반의 자중의 일부가 상대적으로 침하가 작게 발생하는 굴착경사면과 터널라이닝(어깨부분)으로 전이되어 발생한 현상으로 보인다.
- (4) 굴착경사에 따른 토압분포의 변화에 따라 굴착경사가 30° 인 경우에 비해 굴착경사가 75° 인 경우, 수직 변위는 44%, 최대모멘트는 53%, 최대전단력은 45% 각각 증가하였으며, 최대축력은 25% 감소하였다. 또한 최대단면력이 작용하는 위치도 굴착경사에 따라 다르게 나타났다. 최대모멘트 및 최대전단력이 발생하는 위치가 굴착경사가 30° 인 경우에는 터널천단인 반면에 굴착경사가 75° 인 경우에는 터널어깨부로 나타났다으며, 최대축력은 굴착경사에 관계없이 터널라이닝의 좌우측 하단부에서 발생하였으며 그 절



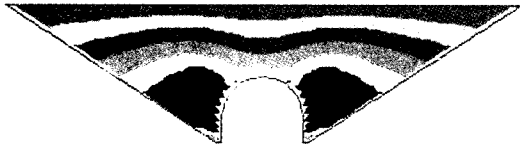
대값은 굴착경사가 클수록 작게 나타났다. 최대축력의 크기는 터널상부에 놓이는 되메움공간의 크기에 비례하여 증가하는 것으로 판단된다. 즉 굴착경사가 클수록 터널상부에 놓이는 되메움공간이 작아지므로 이에 따른 상재하중의 감소로 인하여 터널라이닝에 작용하는 축력은 감소하는 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

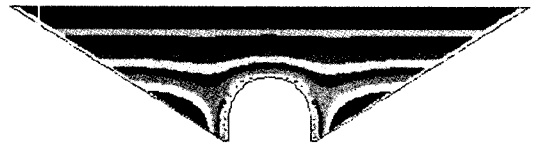
1. 김홍택 (1990), "암 근처에 설치되는 옹벽의 발생토압에 관한 연구" 대한토질공학회지, 제6권, 제3호, pp.18~28.
2. 유건선 (1997), "실험 및 수치해석에 의한 복개터널주위의 지압 및 터널복공의 역학적 거동에 관한 연구", 공학박사학위논문, 서울대학교, pp.43~50.
3. 유건선, 이상덕, 이정인(1999), "아치형태의 복개터널에 작용하는 토압과 터널복공의 변형거동에 관한 실험적 연구", 대한토목학회논문집, 제19권, 제III-4호, pp.737~744.
4. 이상덕(2000), "지중 박스구조물에 작용하는 토압", 한국지반공학학회논문집, 제16권 제1호, pp.243~250.
5. 이승래, 백규호, 박현일 (1993), "아칭효과를 고려한 강성체 옹벽의 주동토압산정", 대한토목학회 학술발표회집, pp.457~460.
6. 정성교, 조기영, 윤치관, 이대명 (1996), "뒤채움(굴착)의 형상에 따라 매설박스에 유발되는 토압", 한국지반공학회지, 제12권, 제5호, pp.75~85.
7. Getzler, Z., Komovovnik, A., and Mazurik, A. (1968), "Model study on arching above buried structure", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.94, No.SM5, pp.1123~1141.
8. Handy, R.L. (1985), "The arching in soil arching", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.111, No.GT3, pp.302~318.
9. ITASCA (1998), "FLAC User's Manual", Version 3.4, ITASCA Consulting Group Inc., Minneapolis, Minnesota, USA.
10. Kellog, C.G. (1993), "Vertical earth loads on buried engineered works", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.119, No.3, pp.487~506.
11. Kingsley, O. and Harrop-Williams (1989), "Geostatic wall pressures", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.115, No.9, pp.1321~1330.
12. Kovari, K. and Tisa, A. (1982), "Computational models for cuts and cover tunnels based on field measurements", Proceedings of the fourth international conference on numerical methods in geomechanics, Edmonton, Canada, pp.907~919.
13. Tisa, A. and Kovari, K.(1988), "Comparison of calculated and measured on cut-and-cover tunnels", Proc. 5th Int. Symp. on Tunnelling, London, pp.357~362.
14. Tisa, A. and Kovari, K.(1993), "Diagramme für die Vorbemessung von Tagbau-Tunnel", Forschungsauftrag Nr. 52/86, Institut für Geotechnik, ETH Zürich, pp.44~47.
15. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc., pp.267~268.

(접수일자 2001. 10.29, 심사완료일 2001. 12. 10)

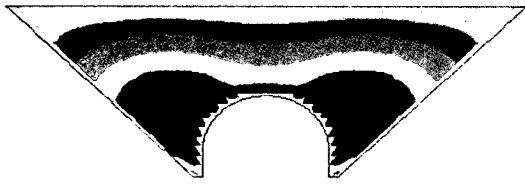
부록 A. 되메움완료후의 굴착경사( $\alpha$ )에 따른 되메움지반내의 응력분포



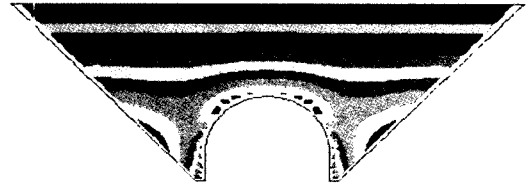
(a) 굴착경사,  $\alpha = 30^\circ$



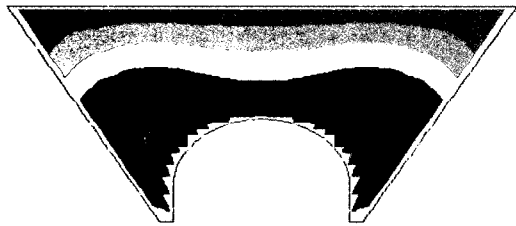
(a) 굴착경사,  $\alpha = 30^\circ$



(b) 굴착경사,  $\alpha = 45^\circ$



(b) 굴착경사,  $\alpha = 45^\circ$



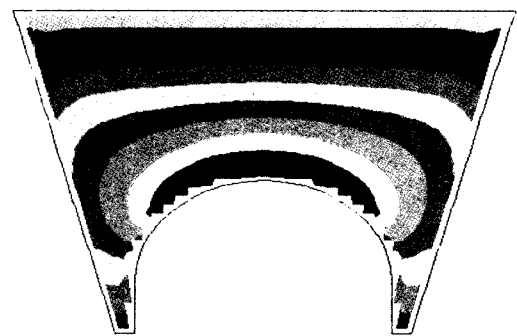
(c) 굴착경사,  $\alpha = 60^\circ$



(c) 굴착경사,  $\alpha = 60^\circ$



(d) 굴착경사,  $\alpha = 75^\circ$



(d) 굴착경사,  $\alpha = 75^\circ$

그림 A.1 터널라이닝에 작용하는 수평응력의 분포, 간격=20kN/m<sup>2</sup>

그림 A.2 터널라이닝에 작용하는 수직응력의 분포, 간격=20kN/m<sup>2</sup>

부록 B. 퇴메움완료후 굴착경사( $\alpha$ )에 따른 터널라이닝의 변위 및 단면력분포

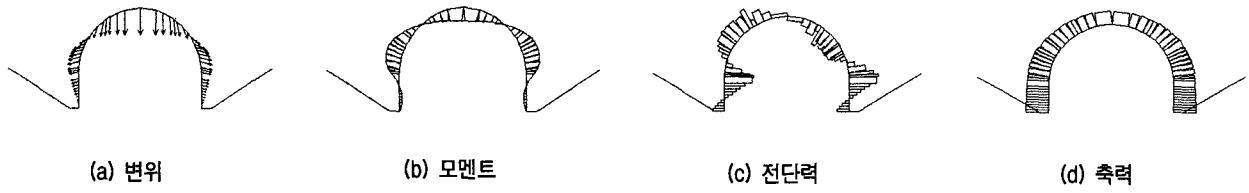


그림 B.1 굴착경사,  $\alpha = 30^\circ$  인 경우

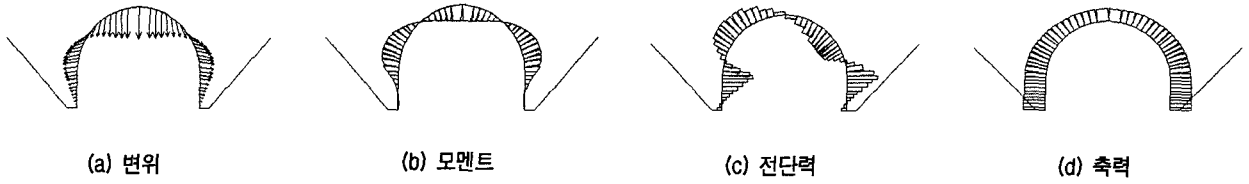


그림 B.2 굴착경사,  $\alpha = 45^\circ$  인 경우

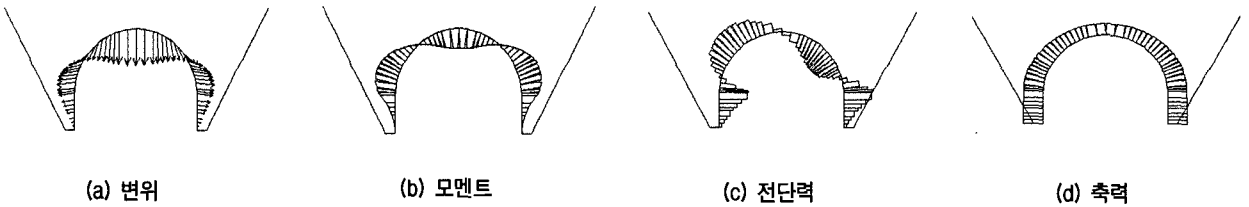


그림 B.3 굴착경사,  $\alpha = 60^\circ$  인 경우

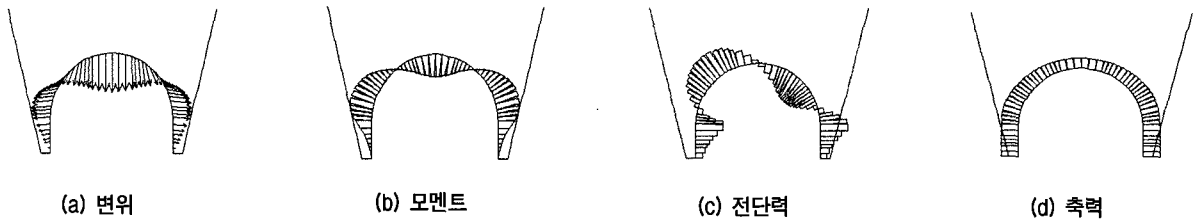


그림 B.4 굴착경사,  $\alpha = 75^\circ$  인 경우