

대형모형실험을 통한 수평 절리암반에서의 병설터널 이격거리

이용준^{1)*}, 이상덕²⁾

Pillar Width of Twin Tunnels in Horizontal Jointed Rock Using Large Scale Model Tests

Yong Jun Lee, Sang Duk Lee

Abstract Stability of twin tunnels depends on the pillar width and the ground condition. In this study, large scale model tests were conducted for investigating the influence of the pillar width of twin tunnels on their behavior in the regular horizontal jointed rock mass. Jointed rocks was composed of concrete blocks. Pillar width of twin tunnels varied in 0.29D, 0.59D, 0.88D and 1.18D, where D is the tunnel width. During the test, pillar stress, lining stress, tunnel distortion, and ground displacement were measured. Lateral earth pressure coefficient was kept in a constant value 1.0. As a result, it was found that the pillar stress and the displacement of the ground and tunnel were increased by decreasing pillar width. The maximum displacement rate was measured just after the upper excavation in each construction sequence. And the maximum influence position was the right shoulder of the preceding tunnel at the pillar side. It was also found that for the stability assessment the inner displacement was more critical than the crown displacement. The influence zone was formed at the pillar width 0.59D~0.88D that was smaller than 0.8D~2.0D, which was proposed by experience for a good ground condition. And it would be concluded that horizontal joints could also influence on the stability of the twin tunnels.

Key words Twin tunnels, Pillar width, Stress concentration on pillar, Influence area fo twin tunnels

초 록 병설터널에서 근접 굴착으로 인한 영향은 터널간 이격거리에 따라 달라진다. 본 논문에서는 수평절리암반에 형성된 병설터널의 이격거리에 따른 영향을 파악하기 위하여 콘크리트 블록으로 균일 수평 절리 모형 지반을 조성하고 이격거리를 변화시키면서 모형터널을 설치한 후에 대형 모형실험을 수행하였다. 병설터널의 이격거리(필라 폭)는 터널 폭 D를 기준으로 0.29D, 0.59D, 0.88D, 1.18D로 변화시켰다. 실험중에 필라 응력, 터널변위, 지반 변위를 측정하였다. 측압계수는 1.0을 유지하였다. 실험결과, 터널 및 주변지반의 변위와 필라 응력은 필라 폭이 감소함에 따라 증가하였다. 각 측정항목에서 최대 변화폭이 발생하는 단계는 후행터널의 상반굴착 직후로 나타났다. 병설터널 굴착 시 가장 큰 영향을 받는 위치는 필라부와 맞닿아 있는 선행터널의 어깨부로 확인되었다. 이러한 결과는 병설터널의 안정성은 시공 시 천단변위보다 내공변위 관리를 통해 평가되어야 한다는 것을 보여준다. 또한, 병설터널의 영향권이 양호한 지반조건에 대한 경험이론의 근접시공 영향권(0.8D~2.0D)보다 근접한 0.59D~0.88D 범위에서 형성되었으며 이러한 영향범위 감소는 병설터널의 안정성에 수평절리의 영향이 있는 것으로 판단된다.

핵심어 병설터널, 필라 폭, 필라 응력집중, 병설터널 영향권

1. 서 론

선행터널에 근접하여 후행터널을 굴착하는 병설터널

에서는 터널 간에 상호간섭이 발생하므로 안정성을 확보하기 위해서 적절한 이격거리가 필요하며, 터널간 적정 이격거리는 터널의 크기, 지반조건, 시공방법 등에 따라 달라진다. 단일터널의 굴착에 따른 터널과 주변지반의 거동 및 안정성에 대해서는 많은 연구가 있어 왔지만 수평절리암반에서의 병설터널 이격거리에 따른 터널의 변형과 주변지반의 거동 및 안정성에 관한 실험적 연구는 미약하다.

¹⁾ 아주대학교 건설교통공학과, 박사과정

²⁾ 아주대학교 건설교통공학과 교수, 공학박사

* 교신저자 : geoeng9@empal.com

접수일 : 2010년 9월 16일

심사 완료일 : 2010년 10월 7일

게재 확정일 : 2010년 10월 15일

정 등(2007)은 특정대상에 대하여 암반의 필라강도 추정 이론식과 유한차분법 해석을 통하여 암반등급과 토피고를 조건으로 필라폭에 따른 간섭체적비를 산정하였으며 축소모형실험을 통하여 필라부의 파괴형상을 구현하고 필라부의 안정성과 간섭여부를 판단하여 보강방안을 제시하였다. 또한 김 등(2007)은 비대칭 근접 병설터널에서 유한차분법 해석을 통하여 굴착순서와 이격거리, 축압계수(K_0) 변화에 따른 필라의 안정성을 강도응력법으로 평가하고 프리스트레스 보강 적용시의 안정성 향상효과를 검증하였다. 그러나 위의 연구사례는 절리암반에서 절리를 따라 변위와 응력이 전달되는 블록의 영향을 해석과 모형실험에서 충분히 고려할 수 없는 조건이다. 이(2007)는 절리암반을 모사한 대형모형실험장치에 2-Arch 터널에서 필라하중과 지반변위 경향을 절리각도에 따라 측정하였으며 각도가 0°(수평)인 경우가 필라하중이 가장 작게 작용한다는 결과를 도출하였으나 병설터널에서의 거동에 대한 연구는 진행되지 않았다.

본 연구에서는 수평절리암반에서의 병설터널 이격거리에 따른 터널과 주변지반의 거동 및 필라응력 변화 경향을 대형모형실험을 통하여 규명하고자 하였다. 이를 위하여 폭 5.0 m, 높이 5.0 m, 길이 0.80 m 규격의 대형모형실험기에 폭 0.2 m, 높이 0.15 m, 길이 0.45 m인 블록으로 수평절리를 가진 모형지반(폭 3.3 m, 높이 3.0 m, 길이 0.45 m)을 조성하고 1/20 축척으로 폭 0.68 m, 높이 0.42 m의 모형터널을 설치하여 실험을 수행하였다. 축압조건($K_0 = 1.0$)을 일정하게 유지하고 터널간의 이격거리를 터널폭 D를 기준으로 0.29D, 0.59D, 0.88D, 1.18D로 변화시키면서 터널 굴착에 따른 주변지반의 변위와 필라에 작용하는 응력변화를 측정하여 수평절리암반에서 병설터널 굴착 중 영향을 검토하였다.

2. 이론적 배경

실험을 통하여 확인할 수 있는 지반변위, 필라부 응력, 라이닝변위는 수평절리암반이라는 특수한 경우에 대한 결과이므로 일반적인 병설터널의 이격거리에 따른 영향권이나 필라부 작용응력에 대한 결과와 비교가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 병설터널 시공시 영향범위를 고려한 근접도 구분과 필라부 작용응력에 대한 이론을 소개하고 실험과 같이 수평절리암반이라는 특수한 지반조건하에 대한 결과와 비교하고자 한다.

2.1 병설터널 근접시공의 경험적 평가 방법

표 1은 일본 철도총합기술연구소(1996)에서 제시한

간이적인 근접도 평가방법으로 기설터널 좌우에 신설터널을 병설한 경우에 적용한다.

실험조건과 연계하면 양호한 지질조건에 따라 20%를 감하여 보정하고 불리한 상부위치로 가정할 경우 대형모형실험에서의 주요범위는 0.8D~2.0D로 근접도를 평가할 수 있다.

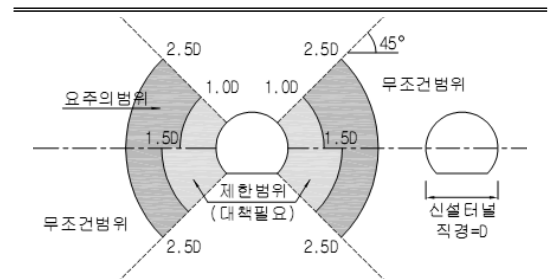
R.B. Peck과 D.U. Deere는 신설터널과 동일크기의 공동 또는 폐갱이 병렬로 배치된 경우 영향범위를 신설터널의 직경 D를 기준으로 2.0D로 제시하였다.

국내의 문헌과 설계사례에서도 터널 안정성 확보나 간섭효과를 고려한 최소 이격거리를 1.0D~2.0D로 제시하고 있다.

2.2 필라의 작용응력

필라 안정성을 평가하기 위한 방법으로는 Peck의 방법, Matsuda(1997, 1998)의 방법, 현장에서 쉽게 이용할 수 있는 지류이론(tributary theory)등이 제안된 바 있으나(표 2), 다양한 지반 및 시공조건 등을 합리적으로 고려하기에는 한계가 있다. 현재까지도 병설터널의 이격거리는 대부분 정역학적 조건에 의해 제안된 최소

표 1. 근접도(터널병설시 표준영향범위)



병설터널 위치관계	이격거리	근접도 구분
신설터널이 기존터널 상부 위치	1.0D 미만	제한범위(대책요)
	1.0D~2.5D	요주의범위
	2.5D 이상	무조건범위
신설터널이 기존터널 하부 위치	1.5D 미만	제한범위(대책요)
	1.5D~3.0D	요주의범위
	2.5D 이상	무조건범위

* D는 신설터널의 외경

<적용조건 및 보정치>

- 터널주변지질이 제4기 실트암 정도일때의 범위로 지질 조건에 따라 다음과 같이 보정
안정한 경암 및 연암지반 : -20%
사질토층, 점성토층 등의 토사지반 : +20%
불안정한 지반(팽창성, 미고결지반) : +40%
- 기설터널의 라이닝이 건전한 경우로 라이닝 변형이 발생한 경우 보정 : +20%
- 상기 조건이 복합적인 경우 보정치를 더한다.

표 2. 기존 필라 안정성 평가기법에서 필라부 작용응력

구분	작용응력 (S_p)
Peck 방법	$\gamma \cdot H (1 + D/P)$
Matsuda 방법	if $H > D$, $\gamma \cdot D \cdot B/P$
	if $H < D$, $\gamma \cdot H \cdot B/P$
지류론	$(A_t/A_p) \cdot \gamma \cdot H$

γ : 단위중량 H : 토피고 D : 터널폭
 B : 이완하중폭(터널중심거리) P : 필라폭
 A_t : 유효부담면적 A_p : 필라의 단면적

이격거리를 별도의 검토 없이 적용하여 결정하는 것이 일반적인 설계경향이다.

3. 대형모형실험

3.1 모형지반과 모형터널

실험에 사용된 모형실험기는 폭 5 m, 높이 5 m, 길이 0.8 m 규격이고 연직 및 수평재하가 가능하다. 지반의 초기응력상태를 구현하기 위하여 실험기 상부와 측면에는 유압실린더를 각각 5개를 설치하였으며, 2.5 MN의 하중을 가할 수 있다(그림 1).

모형절리암반은 단면 0.2×0.15 m, 길이 0.45 m의 콘크리트 블록을 제작하여 수평 절리를 포함한 폭 3.3 m, 높이 3 m, 길이 0.45 m의 기본 RMR 값이 67인 양호한 지반으로 조성하였다(표 3).

모형터널은 실제크기의 1/20로 축소하여 폭 0.68 m, 높이 0.42 m로 제작·설치하였으며, 터널 라이닝두께는

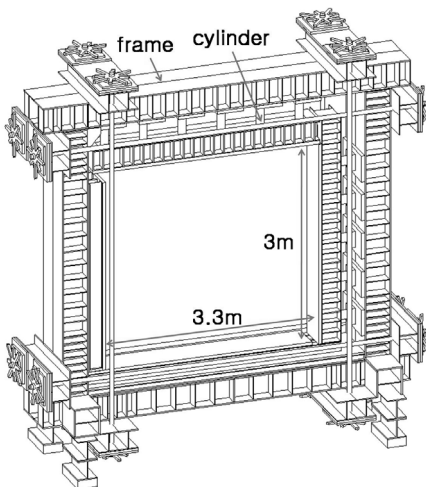


그림 1. 대형실험기 개요도

표 3. 모형지반 기본 RMR 선정

구분	평가기준	배점	비고
견실암반의 강도	1 MPa 미만	2	블록압축강도
RQD(%)	90~100	20	블록잇수고려
절리간격	200~600mm	10	블록잇수고려
절리-조인트 상태	절리면 약간 거침, 분리폭 1mm 이내	20	모형지반기준
지하수	완전건조	15	모형지반기준

Duddeck and Erdmann(1985)이 제시한 지반의 상대강성을 고려한 상사율을 적용하여 4.5 mm 강판으로 제작하였다. 대형실험기의 바닥면과 좌우측면에는 롤러를 설치하여 경계마찰을 최소화하였다.

3.2 계측장치 및 실험방법

터널간 이격거리는 터널 폭 D(0.68 m)를 기준으로 0.29D(=0.2 m), 0.59D(=0.4 m), 0.88D(=0.6 m), 1.18D(=0.8 m)로 변화시켰으며(그림 2), 모형지반을 조성한 후에 가압장치로 하중을 가해 초기 축압조건($K_0 = 1.0$)을 구현하였다. 또한 모형터널라이닝 내부와 지반의 변위측정용 변위계를 설치하고, 필라 하부에 로드셀을 설치하여 필라에 작용하는 응력을 측정하였다(그림 3).

모형실험은 다음과 같은 순서로 진행하였다. 우선 모형실험기 바닥과 측면에 경계조건을 구현한 후 터널 하부지반을 조성하고 소정의 위치에 굴착시스템을 설치하였다. 터널굴착은 상하반이 분리된 상태로 제작 후 설치

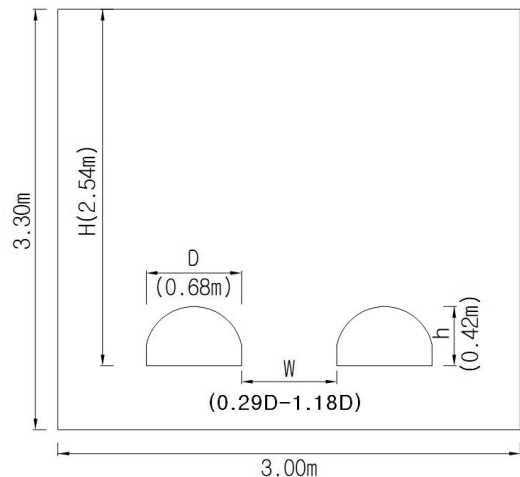
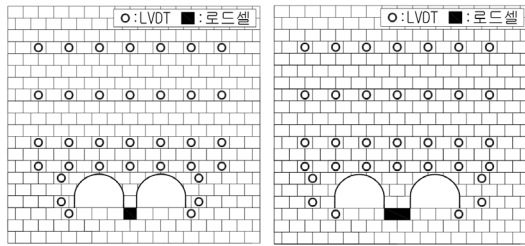
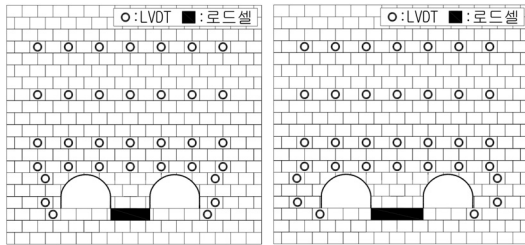


그림 2. 모형실험 규격



(a) CASE 0.29D

(b) CASE 0.59D



(c) CASE 0.88D

(d) CASE 1.18D

그림 3. 실험 변수 및 계측위치

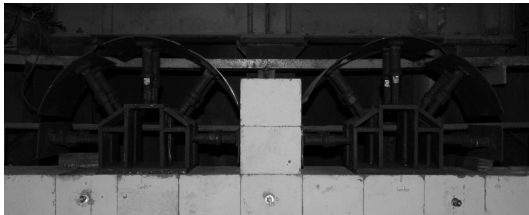


그림 4. 터널 굴착 시스템

하여 굴착시 각 부분의 연결부를 제거하는 방식으로 터널굴착을 모사하였다(그림 4). 정해진 변수에 따라 블록으로 수평절리암반을 조성하고 계측장치를 설치하였다. 실험장치 상부와 측면의 유압실린더를 이용하여 0.33 MPa의 하중을 가하여 초기 축압상태($K_0 = 1.0$)를 구현한 상태에서 선행터널(좌측)을 상·하반 굴착한 후에 후행터널(우측)의 상·하반을 굴착하는 순서로 진행하였다(그림 5).

4. 실험 결과

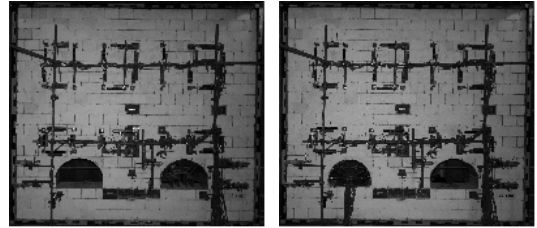
4.1 지반변위

터널을 굴착함에 따라 터널 주변 지반에 발생된 지반변위는 LVDT를 설치하여 직접 측정하였다. 선행터널 굴착 시 및 후행터널 굴착 시 발생된 연직변위를 등고선으로 표시하였다(그림 6).



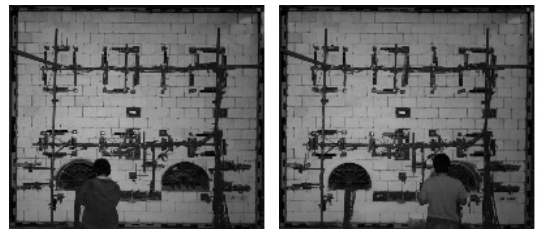
(a) 지반조성/굴착장치 설치

(b) 계측기 설치



(c) 선행터널 단계별 굴착

(d) 선행터널 라이닝 설치



(e) 후행터널 단계별 굴착

(f) 후행터널 라이닝 설치

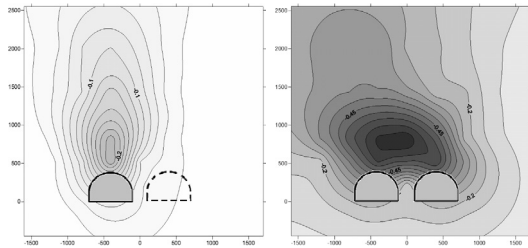
그림 5. 실험 진행 순서

- CASE 0.29D

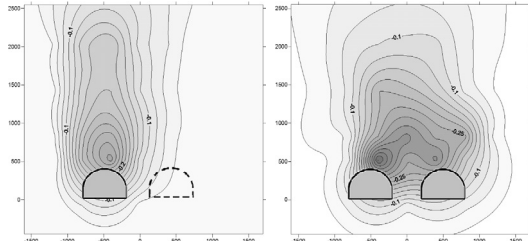
후행터널 굴착 직후 선행터널 상부에서 최대 변위 0.56 mm로 가장 크게 나타났으며(그림 7(b)) 두 개의 터널을 굴착 완료한 후 지반변위는 두 개의 터널 상부와 필라에 집중되었다(그림 6(a)). 이는 터널간의 이격 거리가 매우 근접하여 병설터널을 모두 포함하는 하나의 터널과 같은 거동을 보인 것으로 판단된다. 필라상부와 선행터널 상부변위도 다른 Case보다 상대적으로 큰 값을 보였다.

- CASE 0.59D

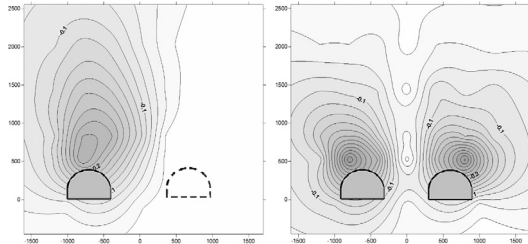
후행터널 굴착 시 지반변위가 필라상부에 집중되지만 집중도는 0.29D보다 작게 나타났다(그림 6(b)). 이는 이격거리 증가로 터널 간섭효과가 감소하였기 때문으로 판단된다. 0.59D의 경우에도 선행터널 상부에서 최대변위(0.37 mm)가 발생하였다(그림 7(b)).



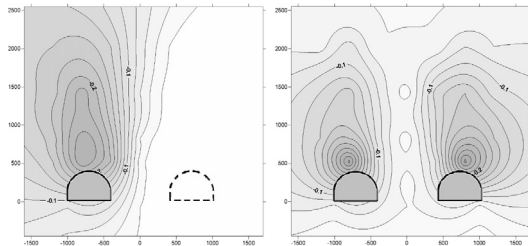
(a1) CASE0.29D 선행굴착 (a2) CASE0.29D 후행굴착



(b1) CASE0.59D 선행굴착 (b2) CASE0.59D 후행굴착



(c1) CASE0.88D 선행굴착 (c2) CASE0.88D 후행굴착

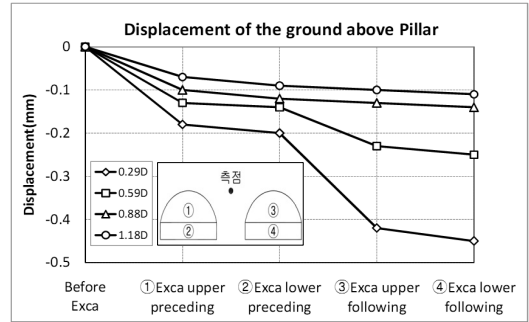


(d1) CASE1.18D 선행굴착 (d2) CASE1.18D 후행굴착

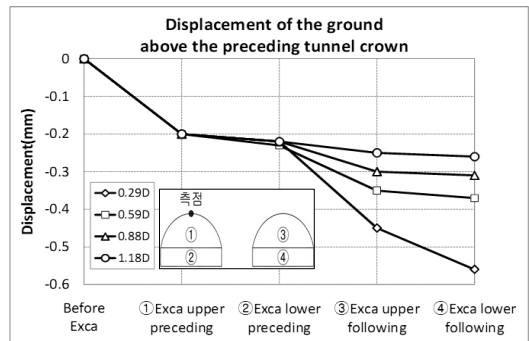
그림 6. 지반변위 등고선

- CASE 0.88D

이격거리가 증가하면서 터널 굴착 시 지반변위는 필라 상부에 집중되지 않고 중첩영역이 크게 감소하였다. 선행터널 굴착 시와 두 개의 터널 굴착 시 변위등고선을 보면 필라를 중심으로 각각의 단일터널에서 나타나는 형태와 비슷한 양상을 보였다(그림 6(c)). 병설터널 굴착 시 선행터널 상부 최대 지반변위가 0.3mm로 이격거리가 가까운 경우보다 작게 발생하였다(그림 7(b)).



(a) 필라 상부 변위



(b) 선행터널 상부 변위

그림 7. 굴착단계별 변위

- CASE 1.18D

병설터널에서의 지반변위가 단일터널의 형태와 유사한 양상을 보여 터널 간 중첩이 대부분 사라진 것으로 나타났다(그림 6(d)). 이러한 경향은 ‘동일 심도의 병설터널에서 이격거리가 1.0D일 경우 터널간 간섭 효과가 10% 미만으로 작아진다’고 알려진 것과 일치한다. 선행터널 천단변위는 후행터널 굴착 후 변위증가가 크지 않았다(그림 7(b)).

굴착 완료 후 전체 변위 경향은 그림 6과 같이 이격거리가 증가할수록 중첩한 상태에서 단일터널의 변위 경향으로 분리되는 형태를 보였다. 또한 필라 상부와 선행터널 상부 변위도 그림 7과 같이 이격거리가 가장 가까운 0.29D에서 상대적으로 큰 값을 보여 근접 굴착으로 인한 중첩효과가 발생함을 확인하였다.

기존 경험식인 근접도 평가방법(표 1, 일본 철도총합기술연구소(1996))과 R.B. Peck 및 D.U. Deere의 영향범위에서 제시한, 근접도 0.8D~2.0D, 영향범위 2.0D를 실험에서 나타난 지반변위 경향과 비교하면 실험결과에서의 근접도는 0.59D~0.88D로 간섭효과가 감소

하는 것으로 나타났다. 이러한 영향권의 감소는 기존식에서 고려하지 못한 지반조건 즉, RMR 67의 양호한 암반에서 터널에 유리한 절리의 방향성, 블록의 형태 및 배치로 인하여 변위와 응력이 연속적으로 전달되지 않는 블록효과로 병설터널 굴착 영향권이 감소하여 형성되는 것으로 판단할 수 있다.

4.2 필라응력

초기 측압상태($K_0 = 1.0$)에서 병설터널의 실제 시공 순서에 따라 선행터널 분할 굴착 후 후행터널 상·하반을 굴착하면서 필라에 작용하는 응력을 측정하였다. 병설터널 이격거리 0.29D, 0.59D, 0.88D, 1.18D에 대해 각 굴착단계에 따라 필라에 작용한 응력증가량은 그림 8(a)와 같다. 필라에 작용하는 응력은 후행터널 상반 굴착 시 가장 큰 폭의 증가를 보였으며 이격거리가 가장 가까운 0.29D에서 최대 증가를 나타내었다.

각 Case에서 굴착 이전의 필라부 응력을 기준으로

굴착단계별 필라부 응력 증가율을 백분율로 환산하여 그림 8(b)와 같이 도시하였다. 응력 증가량과 동일하게 응력 증가율도 후행터널 상반 굴착 시 가장 큰 폭으로 증가하였다. Case별로 굴착이전의 응력과 비교하여 0.29D 140%, 0.59D 109%, 0.88D 96%, 1.18D 90% 증가율을 보였으며 이격거리가 가까울수록 터널 굴착으로 인한 필라부 응력이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

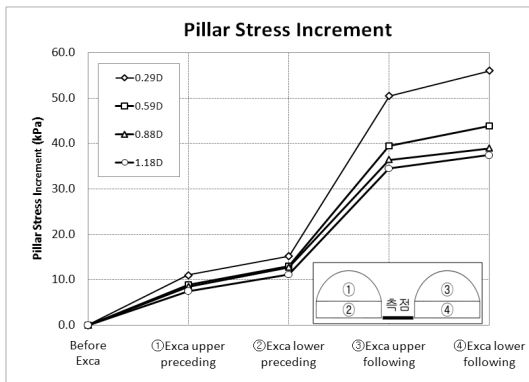
응력 증가량과 증가율은 매우 유사한 경향을 나타내고 있다.

각 Case에서 최종 필라응력(σ_E)을 기준으로 각 굴착 단계별 필라 응력의 증가분($\delta\sigma_E$)을 그림 9에 도시하였다. 병설터널에서 단계별 터널 굴착으로 인한 필라부 응력증가 분담률($\delta\sigma_E/\sigma_E$)은 이격거리에 따라 큰 변화를 보이지 않고 굴착 단계별로 약 20%, 10%, 60%, 10% 정도의 값을 보이고 있다. 이러한 결과는 이격거리에 따른 각 굴착단계에서의 응력 증가율은 차이가 있지만 굴착단계별 응력증가 비율은 큰 차이가 없으며 따라서 1.18D 범위까지는 근접 병설터널 굴착으로 인한 영향이 존재한다는 것을 보여준다.

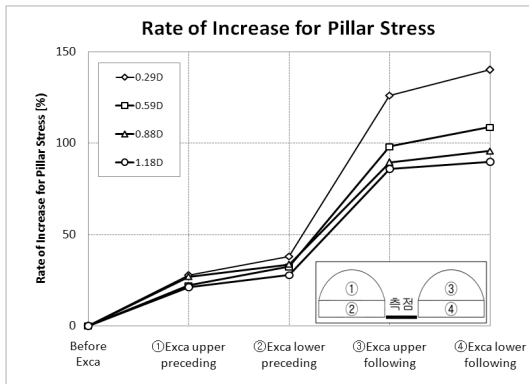
굴착 단계별 필라 응력 분담률($\delta\sigma_E/\sigma_E$)은 선행터널의 굴착완료까지 전체 응력증가의 약 30%이고 병설터널 조건이 발생하는 후행터널 굴착중 70%가 발생하였다. 특히 병설터널 형성 초기단계인 후행터널 상반 굴착 시 전체 필라부 응력증가의 약 60%가 발생하여 병설터널 굴착에서 후행터널의 상반 굴착단계가 터널의 안정성이 가장 저하되는 시점이라는 것을 확인할 수 있다.

4.3 터널 내공변위

선행터널 굴착 완료 후 후행터널 굴착 시 라이닝 거



(a) 굴착중 필라 응력 증가



(b) 필라폭에 따른 필라응력 증가율

그림 8. 굴착 단계별 필라응력 및 증가율

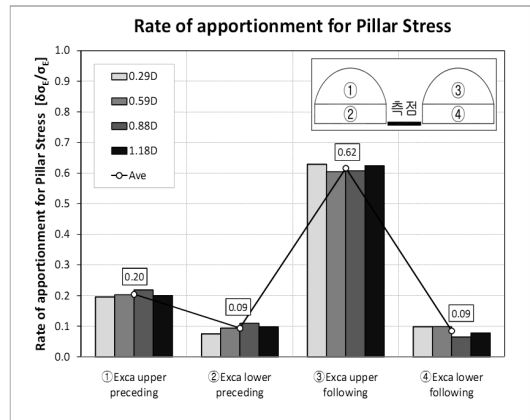


그림 9. 굴착 단계별 필라응력 및 증가율

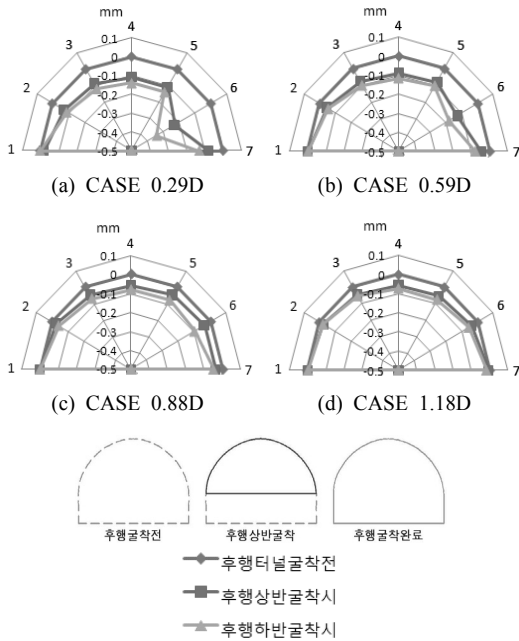


그림 10. 후행터널 굴착에 따른 선행터널 내공변위

동을 확인하기 위하여 선행터널 모형내에 LVDT를 설치하고 굴착 중 변위를 측정하였다.

그림 10은 병설터널에서 후행터널 굴착시 선행터널의 내공변위 양상과 변화를 나타낸 것이다. 실험 결과, 내공변위는 후행터널 굴착으로 인해 선행터널의 천단부와 측벽부에서 크게 나타났고, 이격거리가 감소할수록 내공변위량은 증가하였다.

이격거리 0.29D와 0.59D의 경우 후행터널 굴착으로 인해 필라부와 맞닿아 있는 우측 어깨부, 6번 측정점에서의 변위가 크게 발생하였으며, 0.88D부터는 필라부와 맞닿은 부분의 변위량이 감소하면서 좌우 대칭인 형태를 띠었다. 전체적인 변위의 크기는 1.18D < 0.88D < 0.59D < 0.29D의 순서로 측정되었다.

내공변위 발생 경향으로 볼 때, 후행터널의 영향에 의해 선행터널의 변위는 천단부보다 단면적이 감소하면서 필라부를 형성하게 되는 측벽부에서 크게 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서 병설터널 시공시에는 터널의 천단변위보다 내공변위를 바탕으로 터널의 안정성을 평가하고 보강을 고려하는 것이 타당하다고 판단된다.

5. 결론

수평 절리암반에 병설터널을 시공할 경우 터널간 이

격거리에 따른 지반거동 및 필라부 응력변화를 확인하기 위하여 대형모형실험기에 폭 3.3 m, 높이 3.0 m, 길이 0.45 m인 모형지반을 조성하고 축척을 1/20을 적용하여 병설모형터널의 이격거리를 0.29D, 0.59D, 0.88D, 1.18D로 변화시키면서 시공순서에 따라 굴착 및 계측을 수행하였다.

모형지반의 거동과 터널 및 필라 상부의 변위, 필라 하부 응력변화를 분석하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 굴착 완료 후 전체 변위경향은 이격거리가 증가할수록 중첩한 상태에서 하나의 터널과 같은 거동 형태로 분리되는 양상을 보였다. 이격거리가 0.88D에서 각 터널이 단일터널의 변위경향을 나타내기 시작하여 1.18D에서는 병설터널의 개별 터널 주변 변위가 하나의 터널인 경우와 유사한 경향을 보였으며 이러한 경향은 근접 터널굴착으로 인한 중첩효과가 크게 감소하고 있다는 것을 의미한다.
- 2) 선행터널 상부와 필라 상부의 변위는 후행터널 상반 굴착단계에서 증가하였다. 변위 증가는 이격거리 0.88D, 1.18D에서는 큰 변화를 보이지 않고 0.29D, 0.59D에서 변위 증가가 두드러져 0.88D 미만에서 후행터널 굴착으로 인한 변위중첩영향이 크다는 것을 확인하였다.
- 3) 굴착단계에서 필라에 작용하는 응력의 증가량과 굴착 전 응력기준 응력 증가율은 1.18D < 0.88D < 0.59D < 0.29D 순으로 이격거리가 감소할수록 크게 나타났다. 이격거리가 감소할수록 근접 굴착에 따른 상호간섭 효과로 인해 필라측으로 응력이 집중되는 양상을 보였다. 지반변위와 필라 응력은 후행터널 상반 굴착 시 대부분 발생하였다.
- 4) 모든 Case에서 병설터널의 조건이 충족되는 단계인 후행터널 상반 굴착 시 전체 필라부 응력증가의 약 60%가 발생하여 후행터널의 상반 굴착단계가 터널의 안정성이 가장 저하되는 시점이라는 것이 확인되었다.
- 5) 선행터널의 내공변위 발생 경향은 후행터널 굴착으로 인해 필라부와 맞닿아 있는 우측 어깨부에서의 변위가 크게 발생하였으며 천단부보다 측벽부에서 크게 발생하는 것을 알 수 있었다. 0.88D이상에서는 대칭에 가까운 내공변위 형태를 보여 중첩으로 인한 영향이 감소함을 알 수 있었다.
- 6) 지반의 전체적인 거동과 터널 및 필라 상부의 변위 경향, 필라에 작용하는 응력 증가량과 증가율은 이격거리 0.59D를 기점으로 감소하였고 0.88D와 1.18D

에서는 큰 차이가 없었다.

이러한 결과는 절리의 방향성을 고려하지 못하는 경험식에서 제시한 근접시공 영향권 0.8D~2.0D보다 근접한 범위이며, 이로부터 수평절리를 가진 양호한 암반에서는 터널에 유리한 절리의 방향성, 블록의 형태 및 배치로 인하여 변위와 응력이 연속적으로 전달되지 않는 블록효과로 인하여 병설터널 굴착의 영향권이 감소하여 0.59D~0.88D정도의 범위에서 형성되는 것으로 판단할 수 있다.

참고문헌

1. 정용진, 송한찬, 이승훈, 신성호, 이승복, 2007, “근접터널 암반필라의 안정성 평가 및 보강방법에 관한 연구”, 한국암반공학회 특별 심포지움, pp. 486-500.
2. 김도식, 김영근, 2007, “암반필라를 포함한 비대칭 근접 병설터널의 안정성 평가에 관한 연구”, 한국터널공학회는 문집, 제9권, 제4호, pp. 387-401.
3. 이상덕, 2007, “절리암반에서 2-Arch 터널의 필라하중과 지반변위”, 한국터널공학회는문집, 제9권, 제1호, pp. 91-97.
4. 財團法人 鐵道總合技術研究所, 1996, “概説 トンネル近接 施工對策 マニュアル”, pp. 1-22.
5. Matsuda, T., 1997, “A study on design methods for twin tunnel constructed by the single drift and central pier method”, Proceeding of studies on tunnel engineering, Vol. 7
6. Matsuda, T., Terada, K., Igarashi, M., Miura, K., 1998, “Ground behavior and settlement control of twin tunnels in soil ground”, Tunnels and Metropolises, Vol. 2, pp. 1193-1198.
7. Duddeck, H. & Erdmann, J., 1985, “On structural design models for tunnels in soft soil. Underground Space”, Vol. 9. Pergamon Press, pp. 246-259.



이용준

1996년 아주대학교 토목공학과 공학사
1999년 아주대학교 건설교통공학과 공학석사
2010년 아주대학교 공학박사 수료

Tel: 031-219-2962
E-mail: geoeng9@empal.com
현재 아주대학교 공학연구소 연구원



이상덕

1980년 서울대학교 토목공학과 공학사
1982년 서울대학교 토목공학과 공학석사
1987년 독일 Stuttgart대학교 공학박사

Tel: 031-219-2503
E-mail: lsangduk@ajou.ac.kr
현재 아주대학교 환경건설교통공학부 교수