

대단면 근접병설터널에서의 필러부 거동특성 검토

신영완¹⁾, 김영근^{2)*}

Review of Mechanical Behaviors of Pillar in Large Parallel Tunnel

Young-Wan Sin, Young-Geun Kim

Abstract The design and construction of tunnels has been followed an large parallel tunnels with a small clearance because of the various conditions. Rock pillar between each single tunnel is supposed to be under heavy load by rock mass. The stability of pillar is very important for the ensure the stability of the large parallel tunnels. In this study, the analysis of stress state of pillar at various construction cases is reviewed to investigate the mechanical behaviour of tunnels and stability of the pillar.

Key words Large tunnel, parallel tunnel, pillar, mechanical behaviour

초 록 근접병설터널은 충분한 이격거리를 확보한 병설터널의 거동특성과는 구별되는 거동특성을 보이므로 이에 대한 체계적인 안정성 평가방법을 대단면 근접병설터널 설계사례를 중심으로 고찰하였다. 또한 대단면 근접병설터널의 경우 필러부의 안정성을 확보하는 것이 본 터널의 안정성을 좌우하는 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 본 검토에서는 대단면 근접병설터널 시공경험을 바탕으로 이격거리, 지반조건 및 굴착순서에 따른 필러부의 역학적 거동특성을 해석적으로 검토하여 대단면 근접병설터널 계획시 합리적인 터널설계·시공이 이루어질 수 있도록 도움이 되고자 하였다.

핵심어 대단면 터널, 근접병설, 필러부, 역학적 거동

1. 서 론

최근 들어 터널계획시 용지매입 제한과 민원문제의 대두 및 자연환경훼손의 최소화를 요구하는 사회적 경향을 고려하여 병설터널간 이격거리가 상당히 근접된 형태로 터널이 계획되는 사례가 증가하고 있다. 국내에서는 주로 지반이 불량하고 용지매입이 극히 제한되는 도심지의 지하철 정거장 설계와 도로터널 계획시 지반조건이 불량하여 1Arch 대단면 터널로는 건설이 불가능한 구간이나, 2차로 병설터널과 비교하여 환경훼손을 최소화 할 수 있는 구간에 주로 중앙벽체의 지지기능을 활용한 2Arch터널의 형태로 계획·시공되었다. 그러나, 아직까지 국내에서의 시공실적 및 설계사례의 부족으

로 체계적인 검토가 이루어지지 않은 실정이며, 또한 근접병설터널의 역학적인 거동에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 충분한 이격거리를 확보한 병설터널의 거동특성과는 구별되는 근접병설터널의 거동에 대한 안정성 평가방안에 대해 실제 국내 시공계획중인 대단면 근접병설터널의 안정성 검토사례를 중심으로 고찰하였다. 또한 대단면 근접병설터널을 시공사례를 바탕으로, 이격거리(필러폭), 지반조건 및 굴착순서에 따른 중앙필러부의 변형거동 특성을 분석하고, 주변터널에 작용하는 지보재의 응력특성을 검토하였다. 이를 통하여 대단면 근접병설터널에서의 적정 이격거리 및 필러부 보강방안에 대한 방향을 제시하고자 하였으며, 특히 필러부 보강에 대하여 실제 시공조건을 고려하여 단층대 등을 포함하는 경우에 대한 합리적인 보강대책을 수립하고자 하였다.

¹⁾ 하경엔지니어링 지반부 상무

²⁾ 삼성물산(주) 토목ENG팀 부장, 공학박사, 기술사

* 교신저자 : babokyg@hanmail.net

접수일 : 2010년 6월 18일

심사 완료일 : 2010년 6월 23일

게재 확정일 : 2010년 6월 25일

2. 필러부 안정성 검토 이론

2.1 지류론을 이용한 방법

근접 병설터널 중앙 필러부의 개략적인 안정성 검토 방법으로 지류론(Tributary theory)이 있다. 지류론은 원활하게 이동하고 있는 흐름속에 교각을 설치했을 경우와 같이 유속 증가의 정도는 교각과 교각사이의 폭과 전체폭과의 비에 따라 결정된다는 이론으로서 지반내 공동의 굴착에 따른 응력흐름도 이와 유사하다는 이론이다.

병설터널 사이의 필러에서 응력전달은 교각사이의 물의 흐름과 매우 유사한 관계에 있다는 것으로 서로 인접한 공동사이의 필러에 대한 응력선 분기 및 연속응력의 집중도 등을 취급하는 이론이다.

지류론에서는 공동의 전 단면적과 필러의 면적비에 의하여 정해지는 평균 필러응력과, 필러형상에 따라 결

정되는 응력집중도에 따른 응력에 관한 사항으로 나눌 수 있다(Hoek and Brown, 1980).

토피가 얇은 초근접 터널의 경우, 암반 필러부의 응력 상태를 일축압축상태로 가정할 수 있으며, 토피고(H)와 터널 굴착폭(D)의 관계에 따라 일축압축강도와 필러부 응력의 비로 필러의 안전성을 검토할 수 있다(Matsuda 등, 1997).

$$FS = \frac{\text{Pillar 일축압축강도}}{\text{Pillar 응력}}$$

필러에 작용하는 하중은 아래와 같은 방법으로 산정할 수 있으며 필러의 일축압축강도와와의 비를 이용하여 안정성을 평가할 수 있다.

Mohr-Coulomb 파괴기준은 일반적으로 암반의 파괴 이론으로 적용되고 있으며 전단응력과 전단강도 비교에 의하여 지반의 전단파괴 가능성을 판단할 수 있다. 즉, Mohr 응력원이 파괴포락선에 접하면 지반이 항복하여 전단파괴가 발생하는 것으로 간주한다.

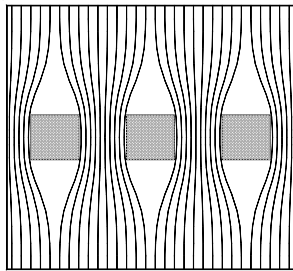
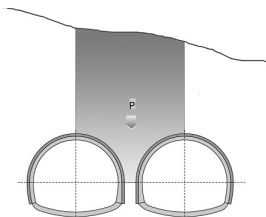


그림 1. 지류론 개념

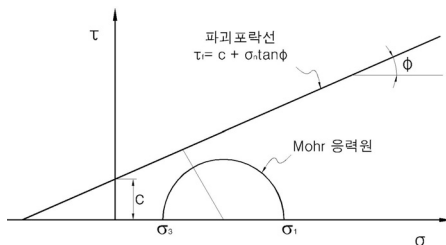
2.2 필러부 보강원리

대단면 터널의 근접시공에 의한 필러폭의 축소는 추가적인 터널의 단계굴착에 의하여 필러부의 변형 및 응력집중이 발생되어 터널 안정에 악영향으로 작용한다. 따라서, 지반조건이 불량하고 필러의 폭을 증가시킬 수 없는 현장조건을 고려하였을 때, 필러부에 보강공법의 적용이 요구된다.



- 중앙필러에 작용하는 하중의 폭은 양측 터널의 중심선사이 거리(W)
- 토피(H)가 이완하중고(Hp) 보다 큰 경우
 $P = \gamma H_p \cdot W$, γ : 지반단위중량
- 토피(H)가 이완하중고(Hp) 보다 작은 경우
 $P = \gamma H \cdot W$

그림 2. 근접병설터널 중앙필러부에 작용하는 하중



$$\tau_f = c + \sigma_n \tan \phi$$

τ_f : 전단강도(shear strength)

c : 점착력(cohesion)

σ_n : 파괴면에 작용하는 수직응력 (normal stress)

ϕ : 내부 마찰각 (angle of internal friction)

그림 3. Mohr-Coulomb 파괴기준

일반적으로 필러부 보강공법은 지중구조물인 터널의 특수성을 고려하였을 때, 보강재 및 보강구조물의 설치가 곤란함에 따라, 터널 필러부 지반의 지지력 및 강도 특성을 증가시켜 터널의 안정성을 도모하는 타이로드 공법(목볼트 체결)이 적용된다.

터널 필러부 타이로드 공법의 보강원리는 원지반의 강도특성에 따라 보강효과는 상이하나, 기본적으로 타이로드의 긴장력(T)이 필러부 구속응력(σ_3')으로 작용

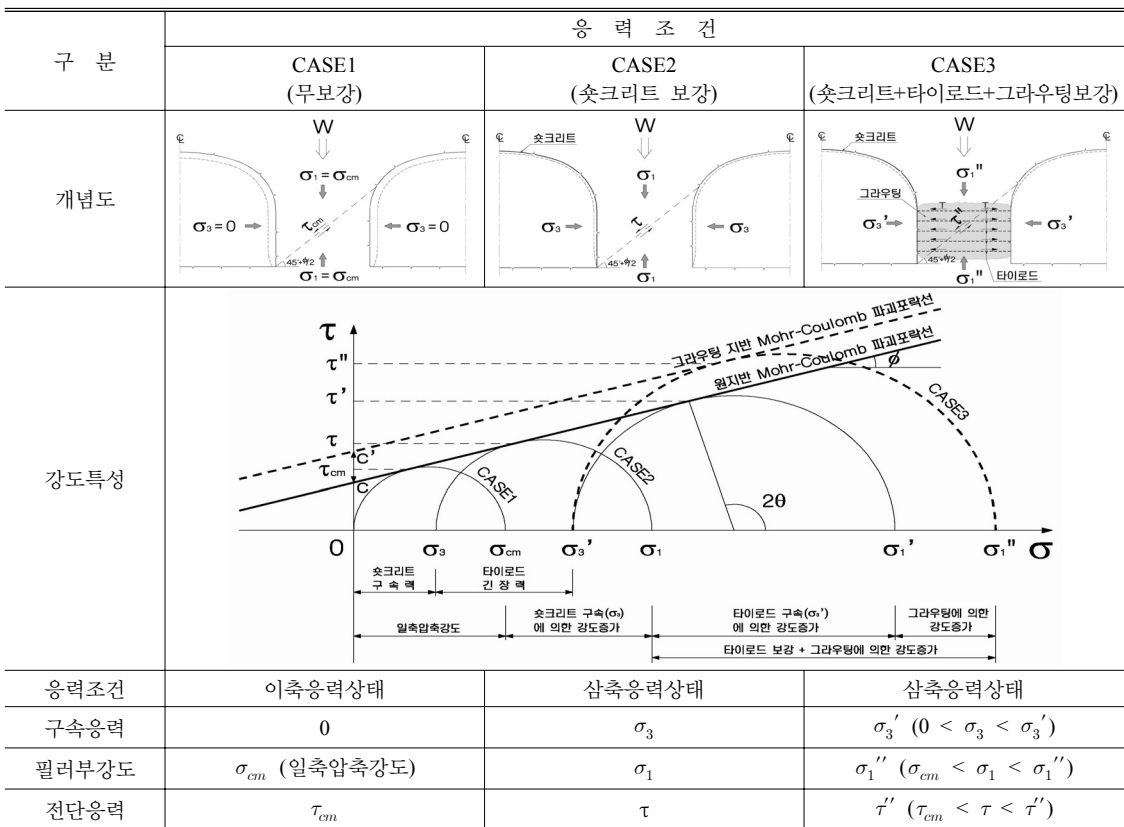
하여 필러부 지반강도를 증가시켜 터널의 안정성을 확보하는 원리이다.

터널 필러부 타이로드 공법의 보강효과에 대하여 Mohr 응력원과 파괴포락선을 이용하여 다음 세가지 표 1에서 보는 바와 같이 CASE 1~3 단계로 구분하여 검토하고, 그라우팅 적용시는 지반의 강도 증가영향을 포함하여 검토가 가능하다.

표 1. 타이로드 공법 보강효과 비교

구 분	응 력 조 건
CASE1	터널굴착 후, 무지보 조건
CASE2	터널굴착 후, 슛크리트 보강조건
CASE3	터널굴착 후, 슛크리트 + 타이로드 + 그라우팅 보강조건

표 2. 터널 필러부 보강효과 비교



σ_3 : 슛크리트 구속응력

σ_3' : 타이로드 긴장력(T)에 의한 구속응력

σ_{cm} : 필러부 지반 일축압축응력(무보강시)

σ_1 : σ_3 작용시 최대주응력

σ_1' : σ_3' 작용시 최대주응력

σ_1'' : 그라우팅 보강된 필러부에 σ_3' 작용시 최대주응력

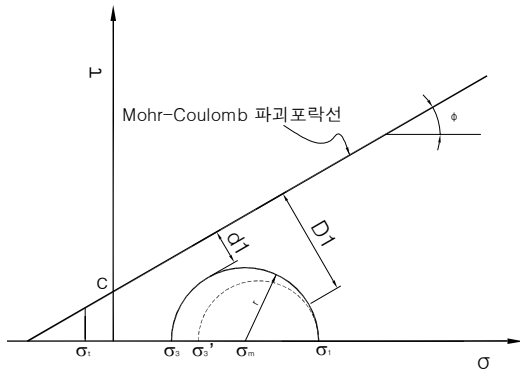
τ_{cm} : 필러부 지반 전단응력(무보강시)

τ : σ_3 작용시 전단응력

τ' : σ_3' 작용시 전단응력

τ'' : 그라우팅 보강된 필러부에 σ_3' 작용시 전단응력

- 타이로드는 터널 필러부에 설치되어 구속응력(σ_3')을 증가시켜 필러부 지반이 외력에 의하여 견딜 수 있는 응력수준을 증가시키는 역할을 한다.
- 타이로드 보강영역에 그라우팅(압밀주입공법)을 수행할 경우, 지반 점착력이 증가되어($c \rightarrow c'$) 동일한 구속응력(σ_3')하에서 필러부 지반강도가 더욱 커진다. ($\sigma_1' \rightarrow \sigma_1''$)



여기서, $D1$: 응력 접근도, $d1$: 파괴여유도

그림 4. Mohr-Coulomb 파괴기준을 적용한 파괴접근도 개념도

2.3 파괴접근도에 의한 안전을 검토방법

- 암반은 응력원이 파괴포락선에 어느 정도 접근하였는가에 따라 파괴 가능성을 판단할 수 있다.
- 안전율 :

$$FS = \frac{D1}{r} = \frac{D1}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}} = \frac{(\frac{c}{\tan\phi} + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2})\sin\phi}{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}$$

$$= \frac{(\frac{2c}{\tan\phi} + \sigma_1 + \sigma_3)\sin\phi}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

- 안전율은 Mohr 응력원의 최대원과 파괴기준선의 근접도를 의미하며, 안전율이 1.0 이하인 경우는 암반이 파괴되기 쉬우므로 보강공법이 필요하다.

3. 굴착순서에 따른 필러부 영향 검토

3.1 개요

터널을 시공함에 있어 굴착순서 또는 굴착과정이 터널변형에 영향을 미친다고 알려져 있다. 또한 근접한 병설터널의 경우 두 터널간의 이격거리를 충분히 확보하여 터널의 안정성 확보를 우선으로 계획하여야 한다.

표 3. 병설터널 이격거리 규정 및 적용 예

터널설계기준	터널단면크기와 공학적 특성을 감안하여 상호 충분히 이격	
도로설계 요령	일반적인 경우	굴착폭의 2~3배
	완전탄성체일 경우	굴착폭의 2배
	연약지반일 경우	굴착폭의 5배
외국 적용 예	조립의 사질암반	굴착폭의 1.5배
	점착력 있는 자갈층	굴착폭의 1.82배
	점토일 경우	굴착폭의 6배
한국도로공사	굴착폭의 1.5배 (해석결과에 따라 경감)	

표 4. 병렬터널의 중심 간격 적용 예

구분 차선수	터널명	터널폭 (m)	굴착폭 D (m)	D와의 배수 관계	비고
편도2차로	죽령터널 (중앙고속도로)	10.03	11.93	2.5 D (30 m)	2차로 고속도로 터널의 일반적 기준은 2.5 D
	상주터널 (중부내륙)	11.30	12.00	2.5 D (30.2 m)	
	내사터널 (영동고속도로)	10.86	11.86	2.5 D (30 m)	
편도3차로	매봉터널 (서울시)	12.55	14.66	2.0 D (30 m)	암질 매우 양호
	소하터널 (제2경인고속도로)	13.81	15.88	2.8 D (45 m)	급사면, 토피 20 m 정도의 계곡통과
편도4차로	수암터널 (서울외관순환)	17.94	19.63	2.3 D (44.4 m)	암질 보통

근접병설터널의 경우 이격거리를 충분히 확보하고 있는 터널보다 안정성 측면에서 불리한 점이 많으므로 설계시 터널 안정성 확보를 위한 보강대책에 대한 검토가 충분히 수행되어야 한다. 터널 상호간의 영향에 대해서는 지반이 완전탄성체일 경우에는 중심간 간격이 굴착폭(D)의 2배, 지반이 연약지층인 경우 5배 이상으로 하면 거의 상호간에 영향을 미치지 않는 것으로 보고되어 있으며, 통상적으로 터널 중심 간격을 2.5 D로 적용하여 설계하는 것이 일반적이다.

본 검토에서는 터널 굴착순서 및 이격거리에 따른 터널의 거동을 분석하여 근접병설터널의 상호 간섭효과에 대한 검토를 수행하고자 한다.

3.2 검토방법

터널설계를 위해서는 시공시 과다변위의 발생 여부 혹은 지보재에 과다한 응력이 작용하는지에 대한 여부 등 터널의 안정성을 검토하기 위한 수단이 필요하다. 본 연구에서는 수치해석 방법을 사용하는 상용 프로그램 FLAC-2D를 적용시켜 대상지역을 유한요소로써 모델링하고 지반의 해석 모델은 Mohr-Coulomb 탄·소성 모델을 적용하였다.

터널의 굴착방법은 2분할 굴착공법을 적용하였으며, 병설터널의 필러부측 선굴착과 필러부측 후굴착에 대한 비교와 터널간 이격거리에 따른 변위 및 지보재 응력을 상대비교하기 위한 검토를 수행하였다.

3.3 해석방법 및 조건

3.3.1 해석방법

터널의 굴착방식은 2분할 굴착방식으로 축압계수가 1.0일 때 터널별 굴착순서와 이격거리에 따른 영향을 보기위해 터널간 이격거리가 0.5 D, 1.0 D 및 2.0 D일 때 필러부측 선굴착과 필러부측 후굴착의 총 6 Case에 대해 해석을 수행하였다. 아래표는 본 연구에서 수행된 해석 Case의 개념도를 나타내며, Case1·2의 경우 최초 가정된 암반 III등급이 아닌 연약한 지반상태에서의 필러부측 선굴착 및 후굴착에 대한 거동 또한 분석하였다.

3.3.2 해석조건

터널해석을 위한 수치해석 범위설정에는 가능한 한 터널 굴착으로 인한 지반의 영향이 미치지 않도록 하여야 한다. 해석범위 결정시 터널간 최대 이격거리 2.0 D를 고려하여 측면은 터널 굴착폭의 약 3배 이상, 하부경계는 터널주변으로부터 터널 높이의 3배 이상 되는 지점에 설치하였고, 천단부 위의 지반은 터널 높이의 3배 이상을 확보하였다.

모델링은 좌·우 경계부에서 x방향 변위를 구속하여 롤러 지점으로 하부 경계부는 y방향 변위를 구속하여 롤러 지점으로 두고 하부 양단모서리는 x·y방향 변위를 모두 구속하여 힌지 지점으로 조건을 설정하였다.

해석 수행시 적용된 슛크리트 두께는 30cm이며 연성 및 강성 슛크리트로 구분하여 연성 슛크리트는 5×10^5

표 5. 터널 굴착순서와 이격거리에 따른 해석 Case 개념도

구 분	굴착 순서		
	필러부측 선굴착	필러부측 후굴착	
이 격 거 리	0.5 D	<p>case 1</p>	<p>case 2</p>
	1.0 D	<p>case 3</p>	<p>case 4</p>
	2.0 D 이상	<p>case 5</p>	<p>case 6</p>

tf/m², 강성 슛크리트는 1.5×10⁶ tf/m²의 탄성계수를 적용하였다. 록볼트는 단위 m당 적용값으로 고려하여 6.0m 길이의 록볼트를 1.5 m 간격으로 설치하였으며 록볼트 탄성계수는 2.1×10⁷ tf/m²로 적용하여 해석을 수행하였다.

각 step별 세부 시공 순서는 굴착, 연성 슛크리트 및

록볼트 설치, 강성 슛크리트 타설 순으로 이루어지며, 총 42 step을 걸쳐 시공되도록 수행하였다.

각 Case별 해석결과는 다음 그림과 같이 천단부와 내공변위(상반·중반·하반)으로 나누어 변위 및 응력을 검토하였다.

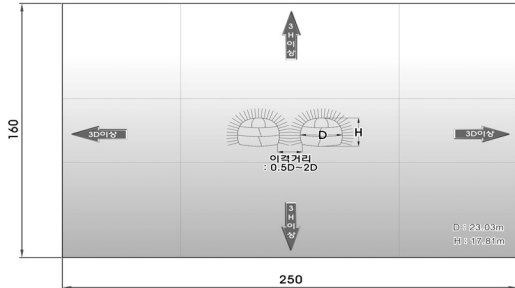


그림 5. 적용 모델링 해석 영역

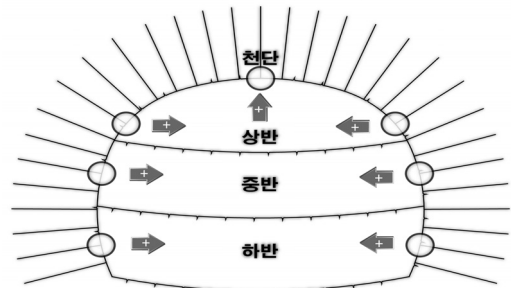


그림 6. 결과값 측정 위치 및 부호규약

표 6. 해석모델링 경계 조건

경계부	경계 조건		적용 지점
	x방향변위	y방향변위	
좌우 경계부	고정	허용	롤러 지점
하부 경계부	허용	고정	롤러 지점
하부 양단모서리	고정	고정	힌지 지점

표 7. 해석지반의 물리적 특성

구 분	단위중량 (tf/m ³)	점착력 (tf/m ²)	내부마찰각 (°)	변형계수 (tf/m ²)	포아송비 (ν)
암반등급 III	2.340	25.0	35.0	250,000	0.27

표 8. 굴착 및 시공 순서도

STEP	시공 순서	굴착 순서도
1~3	①번 굴착 및 지보재 설치	- 필러부 근거리 선굴착
4~6	②번 굴착 및 지보재 설치	
7~9	③번 굴착 및 지보재 설치	
10~12	④번 굴착 및 지보재 설치	
13~15	⑤번 굴착 및 지보재 설치	
16~18	⑥번 굴착 및 지보재 설치	
19~21	⑦번 굴착 및 지보재 설치	
22~24	⑧번 굴착 및 지보재 설치	- 필러부 원거리 선굴착
25~27	⑨번 굴착 및 지보재 설치	
28~30	⑩번 굴착 및 지보재 설치	
31~33	⑪번 굴착 및 지보재 설치	
34~36	⑫번 굴착 및 지보재 설치	
37~39	⑬번 굴착 및 지보재 설치	
40~42	⑭번 굴착 및 지보재 설치	

4. 필러부 거동 특성분석

4.1 굴착순서에 따른 필러부거동 분석

4.1.1 이격거리(필러폭) 0.5 D (Case1·2)

- 이격거리가 0.5 D일 때 필러부측 선굴착(필러부 근거리 굴착)/후굴착(필러부 원거리 굴착)에 따른 변위 결과에서 천단침하는 필러부에서 예상되는 응력집중에 의해 필러부측 선굴착이 필러부측을 후굴착하는 것 보다 약 2.4%정도 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 내공변위는 해석결과 상·중·하반 중 중반의 변위를 비교하였다. 내공변위 역시 필러부측 선굴착이 필러부측을 후굴착하는 경우보다 더 큰 변위값을 나타냄으로써 해석을 수행함에 있어 가정된 조건에서는 근접병설터널 시공시 필러부측 선굴착에 비해 필러부측 후굴착이 더 유효한 것으로 검토되었다.

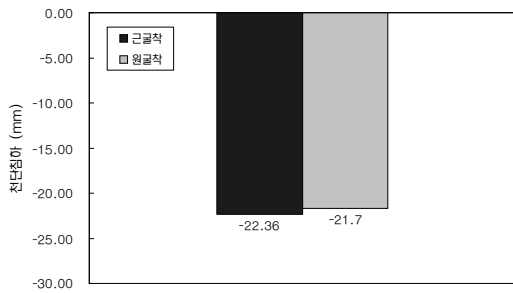
4.1.2 이격거리 1.0 D (Case3·4)

- 이격거리가 1.0 D일 경우 천단침하는 이격거리 0.5 D에서 보인 결과와 비교해서 상대적으로 필러부측 선

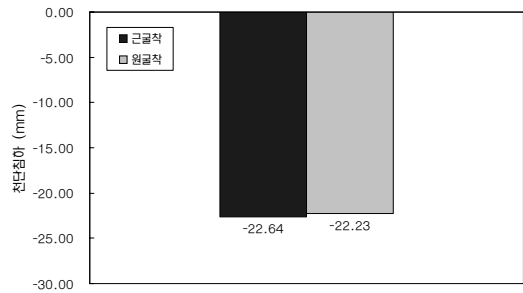
굴착/후굴착에 따른 영향없이 유사한 값으로 나타났다. 이러한 이유는 터널 굴착공사로 인한 주변 지반거동이 터널 시공에 있어 상호간 영향이 적게 미치는 이격이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 내공변위는 필러부 후굴착이 필러부 선굴착에 비해 미세하게나마 좀 더 큰 값을 나타내었다.

4.1.3 이격거리 2.0 D (Case5·6)

- 이격거리가 2.0 D일 경우 필러부측 선굴착과 필러부측 후굴착에 따른 변위 결과에서 천단침하는 필러부측 선굴착이 필러부 후굴착에 비해 좀 더 큰 값을 가지는 것으로 나타났으나 이격거리 1.0 D에서 보인 결과와 같이 큰 차이는 보이지 않는 것으로 나타났다. 내공변위는 터널간 이격거리 0.5 D와 1.0 D일 경우에 비해 거의 유사한 값을 가지는 것으로 나타나 이격거리가 증가함에 따라 필러부측 선굴착/후굴착에 따른 터널의 변위 양상에 미치는 영향은 감소하는 것을 알 수 있다.

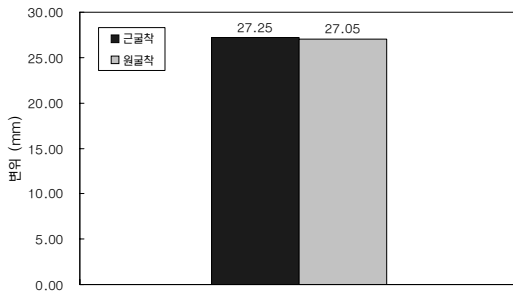


(a) 좌측 터널

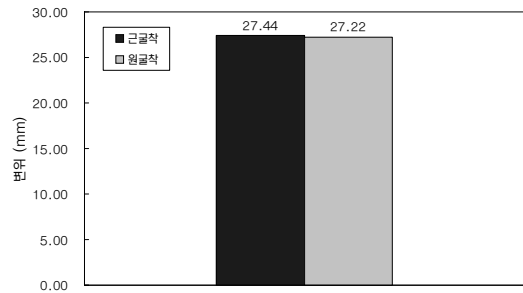


(b) 우측 터널

그림 7. Case 1·2 천단침하

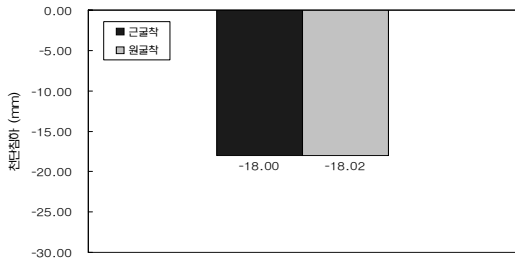


(a) 좌측 터널

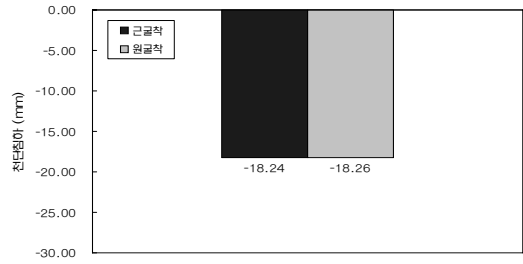


(b) 우측 터널

그림 8. Case 1·2 내공변위

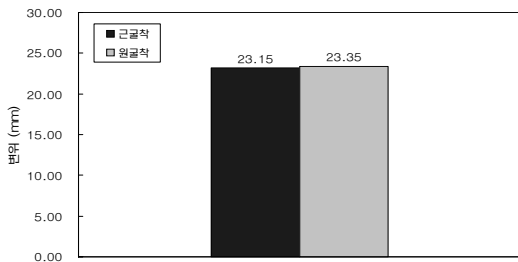


CASE3 · 4
굴착완료 후
(a) 좌측 터널

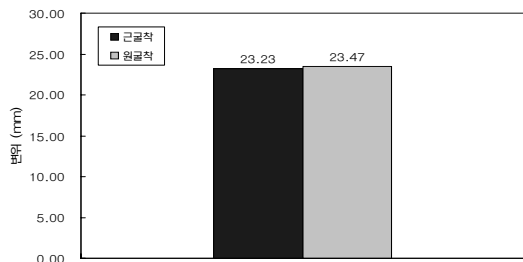


CASE3 · 4
굴착완료 후
(b) 우측 터널

그림 9. Case 3·4 천단침하

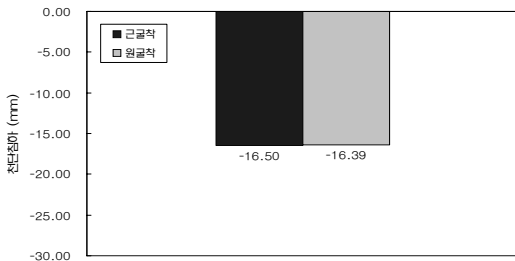


CASE3 · 4
굴착완료 후
(a) 좌측 터널

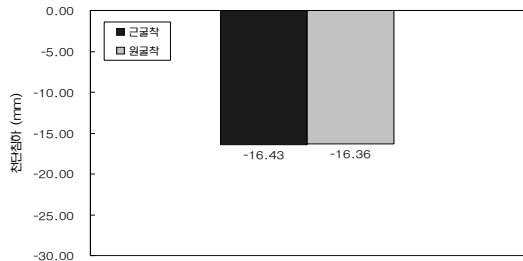


CASE3 · 4
굴착완료 후
(b) 우측 터널

그림 10. Case 3·4 내공변위

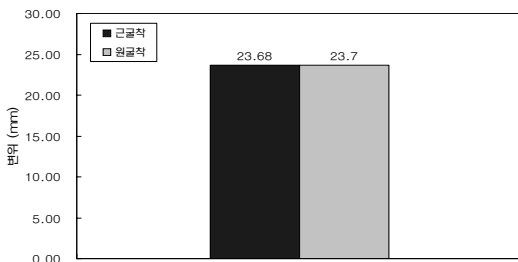


CASE5 · 6
굴착완료 후
(a) 좌측 터널

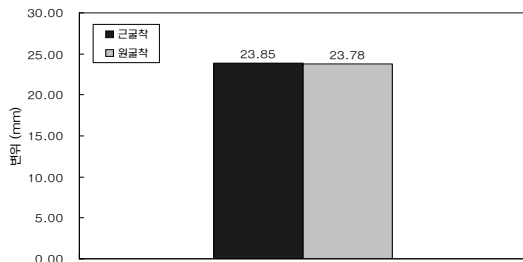


CASE5 · 6
굴착완료 후
(b) 우측 터널

그림 11. Case 5·6 천단침하



CASE5 · 6
굴착완료 후
(a) 좌측 터널



CASE5 · 6
굴착완료 후
(b) 우측 터널

그림 12. Case 5·6 내공변위

4.2 지반조건에 따른 필러 거동

연약한 지반조건에서 근접한 병설터널 이격거리가 0.5 D일 때 천단침하 및 내공변위는 본 연구에서 가정 한 압반 III등급에서 이격거리가 0.5 D일 경우와 비교 해 필러부측 후굴착이 선굴착에 비해 상대적으로 큰 값을 보이는 상반된 결과를 나타냈다. 결과적으로 필러부 선보강이 필요한 경우 필러부측 선굴착을 실시할 수 있을 것으로 검토되었다.

4.3 이격거리(필러폭)에 따른 필러거동 분석

4.3.1 필러부측 선굴착(Case1·3·5)

- 필러부측 선굴착에서 이격거리가 0.5 D, 1.0 D, 2.0 D로 증가함에 따라 근접병설터널의 좌·우측터널 천단 침하는 점차적으로 감소하는 것을 알 수 있으며, 내공 변위는 1.0 D에서 가장 작은 값을 보인 이후 2.0 D에서 거의 유사한 값을 가지는 것으로 나타났다. 결과적으로 전체적인 터널의 변위양상은 이격거리가 증가함에 감소함을 알 수 있다.

4.3.2 필러부측 후굴착(Case2·4·6)

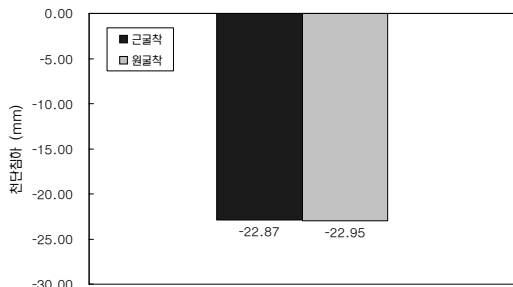
- 필러부측 후굴착에서 이격거리 증가에 따른 좌·우측터널의 천단침하와 내공변위는 필러부측 선굴착과 거의 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

필러부측 선굴착 및 후굴착의 변위비는 이격거리 0.5 D일 경우를 제외하고 거의 1의 값을 가지는 것으로 나타났으며 내공변위는 상반을 제외한 중·하반에서는 이격거리가 증가할수록 변위증가량이 감소하는 것으로 나타났다.

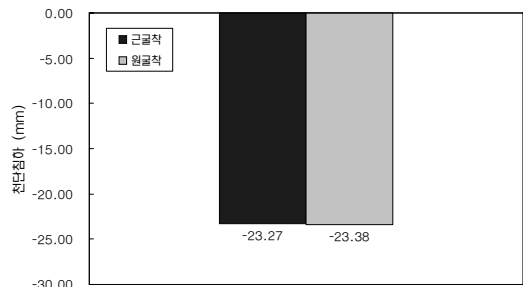
4.4 굴착순서에 따른 지보재 응력 검토 결과

4.4.1 이격거리 0.5 D(Case1·2) 지보재 응력 발생경향

- 근접병설터널의 필러부측 선굴착/후굴착에 따른 지보재 압축응력은 천단부에서 가장 작은 값으로 나타났으며, 필러부측 선굴착시의 지보재 응력이 원거리 선굴착보다 필러부 부근에서 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 필러부측 원거리부에서는 상대적으로 작은 값을 가지는 것으로 나타났다.

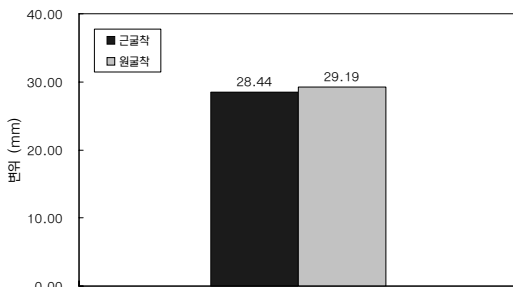


(a) 좌측 터널

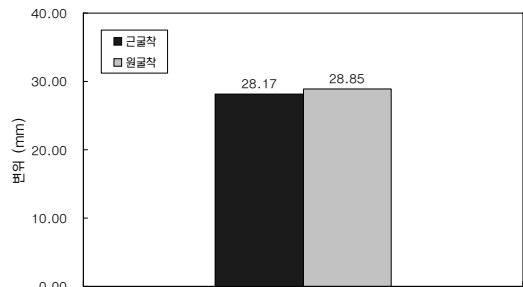


(b) 우측 터널

그림 13. Case 1·2 천단침하(연약한 지반)

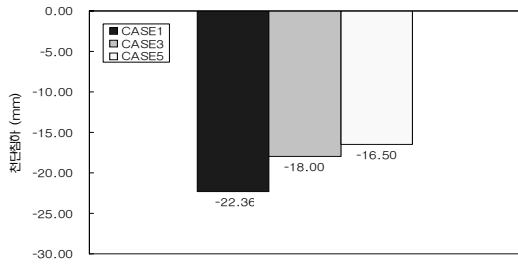


(a) 좌측 터널

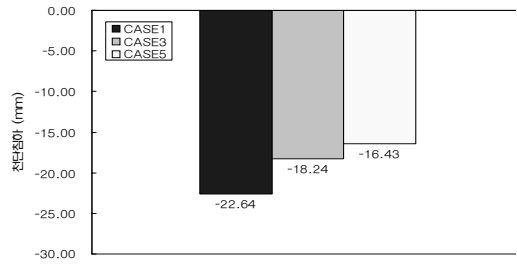


(b) 우측 터널

그림 14. Case 1·2 내공변위(연약한 지반)

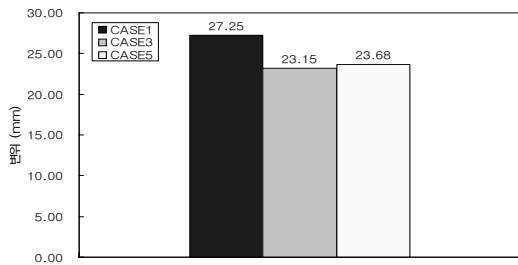


(a) 좌측 터널

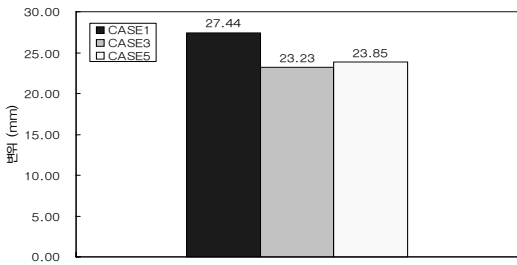


(b) 우측 터널

그림 15. Case 1:3:5 천단침하

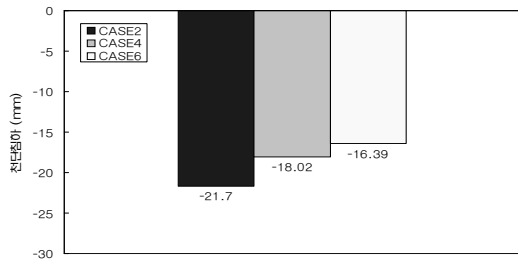


(a) 좌측 터널

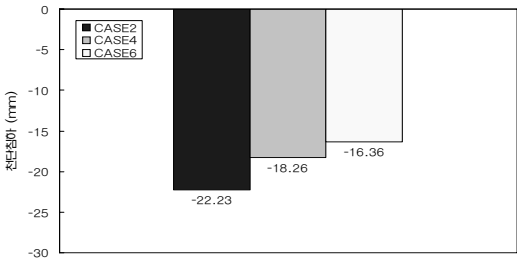


(b) 우측 터널

그림 16. Case 1:3:5 내공변위

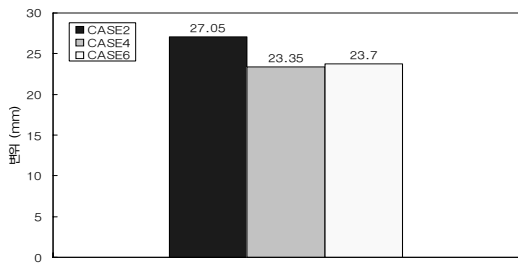


(a) 좌측 터널

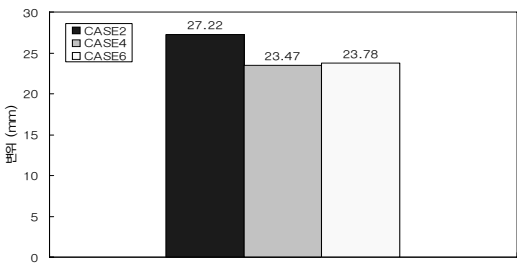


(b) 우측 터널

그림 17. Case 2:4:6 천단침하

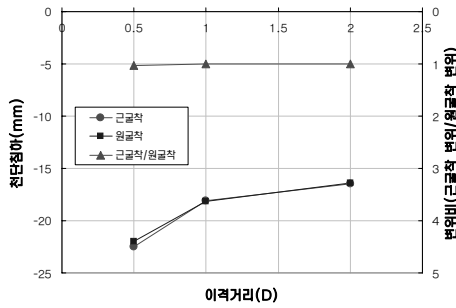


(a) 좌측 터널

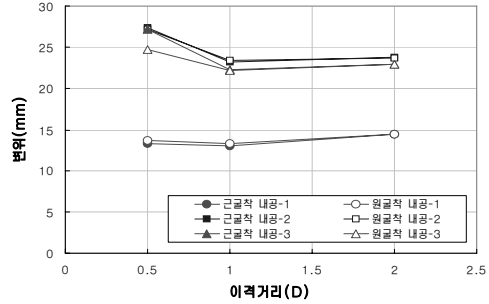


(b) 우측 터널

그림 18. Case 2:4:6 내공변위

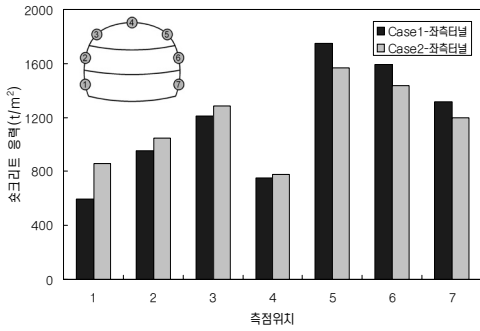


(a) 천단침하

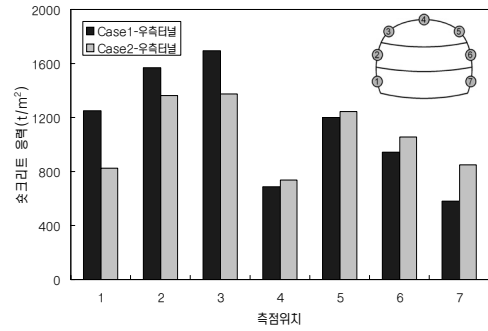


(b) 내공변위

그림 19. 필러부측 선굴착/후굴착에 따른 변위비

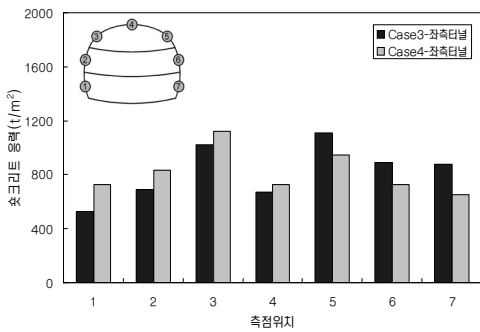


(a) 좌측 터널

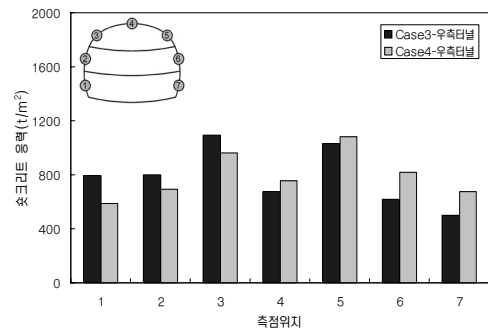


(b) 우측 터널

그림 20. Case 1·2 위치별 지보재 응력



(a) 좌측 터널



(b) 우측 터널

그림 21. Case 3·4 위치별 지보재 응력

4.4.2 이격거리 1.0 D(Case3·4) 지보재 응력 발생경향
 - 터널간 이격거리가 1.0 D일 경우 지보재 작용응력은 이격거리 0.5 D에서와 같이 천단부에서 가장 작은 값을 가지는 것을 알 수 있으며, 0.5 D일 경우에 비해 필러부와 필러부로부터 원거리부의 응력차이는 크지 않은 것을 알 수 있다.

4.4.3 이격거리 2.0 D(Case5·6) 지보재 응력 발생경향
 - 병설터널의 이격거리가 2.0 D일 경우 필러부측 선굴착/후굴착에 따른 지보재 압축응력 역시 천단부에서 가장 작은 값을 나타내고 필러부에서는 필러부측 선굴착이 필러부로부터 원거리부에서는 필러부측 후굴착의 응력이 더 크게 나타남을 알 수 있다.

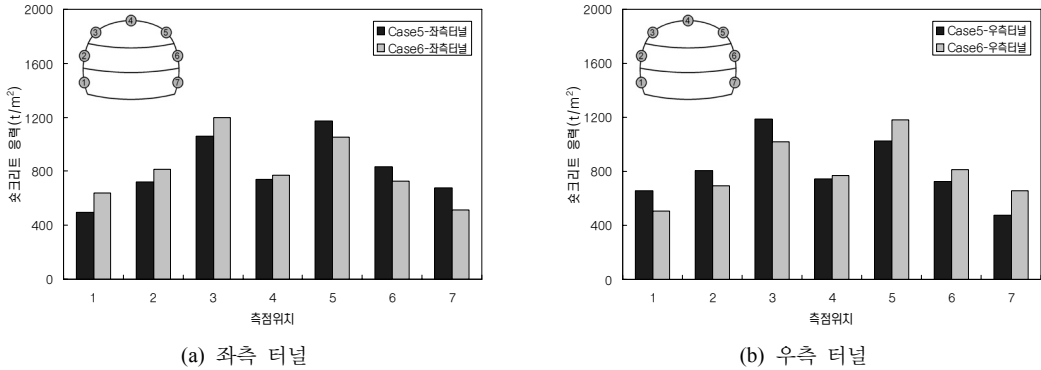


그림 22. Case 5·6 위치별 지보재 응력

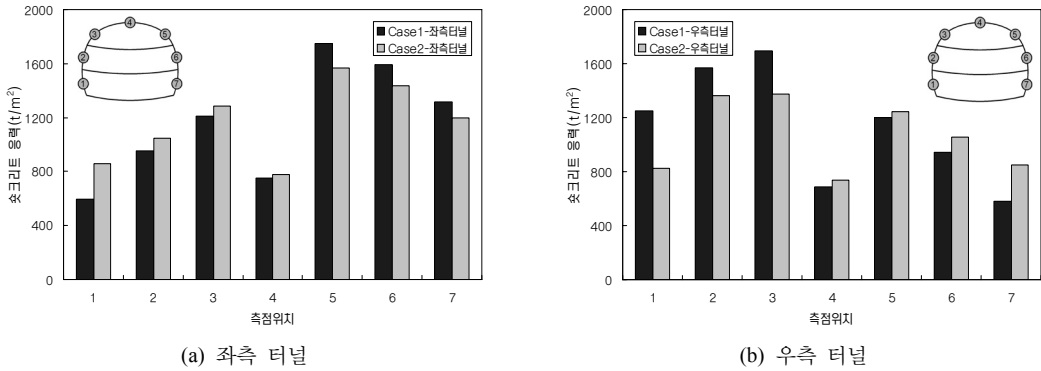


그림 23. Case 1·2 위치별 지보재 응력(연약한 지반)

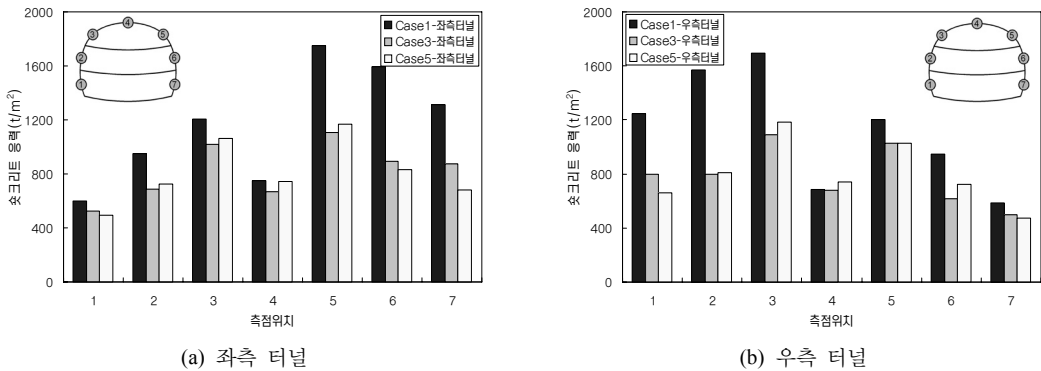


그림 24. Case 1·3·5 위치별 지보재 응력

4.5 지반조건에 따른 필러부 응력 검토

- 지반조건이 좋지 못할 경우 앞서 보여진 해석결과와 유사하게 이격거리가 0.5 D인 근접한 병설터널에서 필러부측 선굴착이 필러부를 후굴착하는 경우보다 필러부측에서 상대적으로 더 큰 지보재 응력을 가지는 것을 알 수 있으며, 필러부의 원거리측에서는 필러부를

후굴착하는 경우가 더 큰 지보재 응력을 가지는 것으로 나타났다.

4.6 이격거리에 따른 지보재 응력 검토

4.6.1 필러부측 선굴착(Case1·3·5)

- 필러부측 선굴착에서 이격거리가 0.5 D일 경우 지

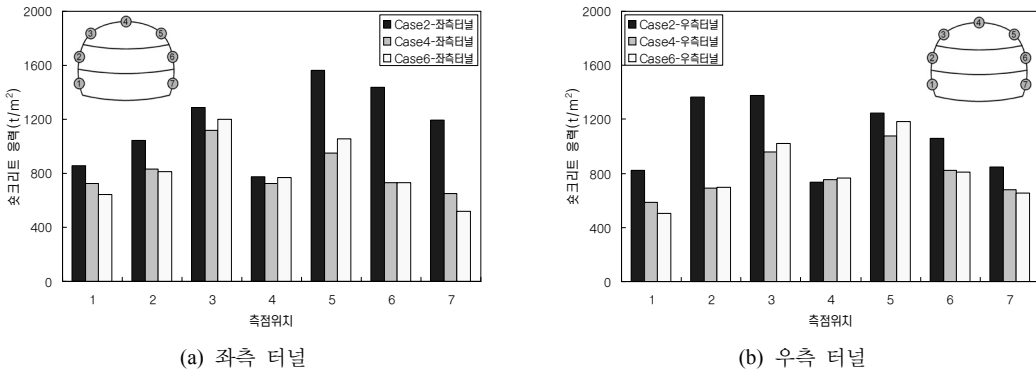


그림 25. Case 2·4·6 위치별 지보재 응력

보재 응력은 필러부에서 가장크게 나타났고, 이격거리가 증가할수록 필러부 영향이 줄어들고 좌·우측터널의 응력 상태는 대칭적으로 나타남을 알 수 있다.

4.6.2 필러부측 후굴착(Case2·4·6)

- 필러부측 후굴착에서 이격거리가 0.5 D, 1.0 D, 2.0 D로 증가함에 슛크리트 압축응력은 근거리 선굴착과 유사하게 필러부의 영향이 줄어드는 것으로 나타났다.

지보재 응력이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 지반조건이 연약한 조건에서 이격거리가 0.5 D일 경우 지보재 응력은 암반III등급으로 가정된 경우와 유사한 결과를 보였다. 또한, 병설터널 이격거리가 1.0 D 이상인 경우의 지보재 응력은 일정 크기로 수렴하는 경향을 보였으며 결과적으로 터널 안정성 확보를 위한 병설터널의 충분한 이격거리 확보는 매우 중요한 요소로 판단된다.

5. 결 언

대단면 근접병설터널의 경우 이격거리를 충분히 확보하고 있는 터널보다 안정성 측면에서 불리한 점이 많으므로 설계시 우선적으로 이격거리를 충분히 확보하여 터널의 안정성 확보를 우선으로 계획하여야 한다. 근접병설터널 필러부 거동특성 및 보강효과에 대한 해석적 검토를 수행한 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 이격거리가 작은 경우(0.5 D)에서는 필러부측 후굴착이 천단침하 제어에 다소 유리한 것으로 나타났으나, 이격거리가 다소 큰 경우(1.0 D 이상)에서는 천단침하 및 내공변위 발생 차이가 미소해지는 것으로 나타났다. 결과적으로 변위측면에서는 터널 이격거리가 작은 경우 필러부의 원거리측을 선굴착 및 보강 후 필러부측을 후굴착하는 경우가 천단침하 및 내공변위 제어 효과가 다소 있는 것으로 판단된다. 또한 지반조건이 매우 연약한 경우 필러부측 선굴착이 좀 더 유효한 것으로 나타나 필러부측의 선보강이 필요한 경우 필러부측을 우선적으로 선굴착 할 수 있겠다.
- 2) 근접한 병설터널의 이격거리가 작을수록 전반적으로 지보재 응력이 크게 발생하며 특히, 필러부측의

참고문헌

1. 백승한, 김창용, 김광염, 홍성완, 문현구(2006), 터널 거동에 대한 암반 연약대의 영향 평가를 위한 수치해석적 연구, 한국터널공학회 논문집, 제8권, 제2호, pp. 115-128.
2. 백영식, 김홍택, 임수빈(1993), 산악지 쌍굴 수로터널 해석에 대한 고찰 한국지반공학회 93 봄 학술회 논문집, pp. 21-26.
3. 오현식, 김홍문, 이상덕(2006), 파쇄암반대에 근접하여 굴착한 터널과 주변지반의 거동, 한국지반공학회 2006 가을 학술회 논문집, pp. 785.
4. 유충식, 이호(1997), 쌍굴터널의 거동에 관한 3차원 유한요소해석, 한국지반공학회 97 가을 학술발표회 논문집, pp. 151-160.
5. 이인모, 윤지선, 이석원, 이상덕, (2005), 대형·대단면 지하공간 창출을 위한 지하공간 건설기술(1차년도 중간), 건설교통부 한국건설교통기술평가원.
6. 정재우, 이봉열, 김학문(1996), 쌍굴터널 굴진에 따른 간섭효과와 주변지반의 거동 한국지반공학회 96 봄 학술발표회 논문집, pp. 173-182.
7. 한국건설기술연구원(1997), 국내터널건설의 현황조사 및 교차터널의 설계법 개발연구, 한국건설기술연구원.
8. 한국터널공학회(2004), 터널공학 시리즈 1 터널의 이론과 실무, 구미서관
9. 한국터널공학회(2007), 터널설계기준, 씨아이알
10. 삼성물산(주) 건설부문(2009), 대단면 경사터널 안정성 확보를 위한 지보패턴 및 보조공법 설계기술 개발 연구보고서

11. 삼성물산(주) 건설부문(2009), 특수 대단면 터널의 시공 및 평가기술의 전략상품 개발 연구보고서
12. Hoek, E. and Brown E.T.(1980), Underground excavation in rock, Institution of Mining and Metallurgy.



김 영 군

1987년 서울대학교 자원공학과 공학사
1989년 서울대학교 자원공학과 공학석사
1993년 서울대학교 자원공학과 공학박사

Tel: 02-2145-6039
E-mail: babokyg.kim@samsung.com
현재 삼성물산(주) 토목사업본부 부장



신 영 완

1991년 한양대학교 토목공학과 공학사
1995년 KAIST 토목공학과 공학석사
2004년 한양대학교 토목공학과 공학박사

Tel: 02-597-8831
E-mail: ywshin@hakyoung.net
현재 하경엔지니어링 터널지반부/상무