일반기사 I

KTA 터널 하부단면 굴착방식 개선사례 및 적용기술 소개

이태노
(주)성보지오텍
대표이사/기술사

1. 서론

오늘날 국가경제의 눈부신 발전으로 지역간에 교류되는 물동량 및 교통량이 폭발적으로 증대되고 있으며, 국토의 균형발전을 위해 다양한 형태의 교통망이 계획되고 공사가 진행되고 있다. 교통망 노선은 90년대 들어서면서 용지보상과 민원처리에 따른 부담과 도로 및 철도의 효용성 가치를 높이고자 이전과는 달리 선형이 직선화로 검토되고 있기 때문에 전체 노선중 교량과 터널구간이 자연적으로 증가할 수 밖에 없다.

다행히, 국내의 터널굴착 기술은 선진국 수준이라 해도 과언이 아닐 정도로 많이 발전했다. 그만큼 우수한 설계 및 시공기술 인원이 양성되고 터널 기술자들의 다양한 현장경험과 선진외국의 끊임없는 견학을 통해 고도의 기술력이 확보되어 있다, 그럼에도 불구하고 선진기술을 받아들을 수 있는 제도 및 분위기 여건은 그렇지만은 아닌 듯 싶다.

본 고에서 기술하고자 하는 터널 하부단면 굴착방식 또한 예외는 아니다. 터널 하부단면의 굴착선은 측벽부와 바닥부로 이루어지기 때문에 터널의 안정성에 절대적 영향을 미치는 천단부 및 아치부와의 굴착 및 지보방식 결정에 다소 유연성을 발휘할 수 있다. 또한, 굴착장비의 끊임없는 발전과 보강기술의 향상으로 터널의 굴착방식을 현실성 있게 대처할 수 있는 기술이 존중될 필요가 있다. 다시 말해서 터널연장, 터널규모, 작업환경 여건 및 공사기간을 종합적으로 검토하여 터널 하부단면 굴착방식을 다양하게 검토하고 고려할 수 있는 기준 및 여건이 조성 되어야 할 것으로 보인다. 그래서, 본 고에서는 터널 하부단면 굴착방식에 대한 국내외 적용사례와 국내 터널현장에 적용하기 위한 기술검토(안)을 소개하고자 한다.

2. 국내터널 하부단면 굴착방식 현황

2.1 터널 굴착방식 결정기준

터널단면은 교통시설의 필요공간과 규격에 따라 폭원 및 건축한계가 결정될 뿐만 아니라 환기, 방재 등의 내부설비 설치공간까지 감안하여 결정된다. 그러나 요즈음 터

널설계는 이와같은 기준외에 차도의 측방 여유폭과 사람의 이동통로 공간이 커지면서 기존의 표준단면보다 큰 단면을 적용하고 있다. 또한 교통량 증가로 지금까지의 2차로 터널단면 보다는 3차로 내지 4차로 터널규모로 증가하고 있다. 이와같은 터널의 굴착단면 및 폭이 커지면서 터널의 전단면 굴착방식 보다는 2분할 내지는 3분할 굴착방식으로 설계되고 시공되는 현장이 증가하는 추세이다.

터널단면의 굴착방식과 형태는 터널의 지반상태가 공학적으로 분류 및 평가가 이루어 진 후 안정성과 경제성을 고려하여 결정 되지만, 터널에 투입되는 굴착장비의 적합성과 공기를 충분히 감안하여 결정 되어야 한다. 특히, 발파작업으로 굴착되는 터널은 주변에 존재하는 각종 보안물건과 인체에 미치는 발파공해의 영향요소를 감안하여 결정해야 한다. 그러나, 지금까지의 터널 굴착방식과 형태는 일반적으로 터널막장의 지반상태를 고려하여 결정되는게 일반적이다. 표 1은 터널 굴착방식을 결정하는 요소를 나타낸 것이다.

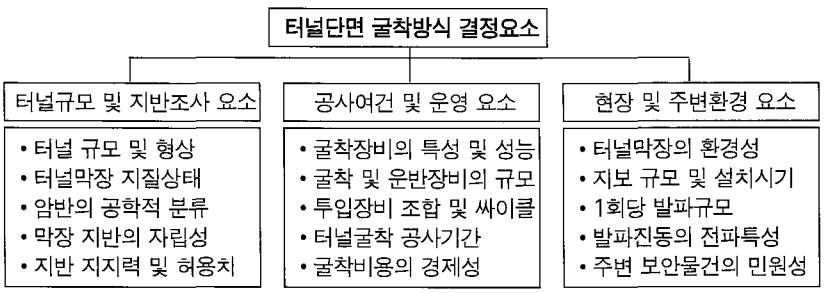
2.2 터널단면 굴착방법 및 순서

터널 굴착방식은, 크게 전단면 굴착방식과 분할 굴착방식으로 분류된다. 이중에서 가장 이상적인 굴착방식은 터널 굴착장비를 막장에 투입하여 한번에 터널 전단면 굴착을 완료한 한 후에 보강작업이 이루어지는 작업공정이 가장 이상적이다. 그러나, 앞장에서 기술한 바와 같이 막장 지반 특성, 투입장비의 규모 및 조합성, 주변 환경요인 등을 고려할 경우, 터널 막장을 전단면으로 1회에 굴착할 수 없을 경우에는 분할하여 굴착해야 한다. 터널의 분할 굴착방식의 경우 풍화암 이하의 연약지대에서는 터널규모와 지반상태에 따라 상부단면을 기계굴착한 후 보강작업이 이루어지는 방법과 상부단면 중앙부를 지반과 일체시킨 상태에서 측벽선진도갱공법(Side Pilot 공법) 및 링커트공법(Ring Cut 공법)을 적용하는 방법이 있으며, 연암이상의 암반지대에서는 발파규모와 발파진동 전파특성을 고려한 후 상 · 하를 분할하여 발파하되, 현장여건에 따라 하부단면 굴착시기를 조정하여 발파작업이 이루어진다(Long Bench Cut 공법 내지 Mini Bench Cut 공법). 최근에는 터널규모가 커지면서 상 · 하부 단면을 2분할 내지 3분할 형태로 나누어 작업이 이루어 지고 있다. 그림 1은 국내 터널현장중 가장 큰 터널규모로 굴착되고 있는 서울외곽순환고속도로 터널단면 굴착순서(Type – 2 이하)를 나타낸 그림이다.

2.3 암반구간의 터널 하부단면 굴착현황 및 문제점

터널 하부단면 굴착은 상부단면 굴착과 보강작업이 완료된 후에 이루어진다. 연암이상의 암반구간의 하부단면은 일반적으로 발파작업을 통해 굴착이 이루어 지는데, 하부단면 전체를 일시에 발파작업으로 굴착하는 것이 보통이나, 발파규모를 축소하고 지발당장약량을 최소화 할 경우 2

표.1 터널 굴착방식을 결정하는 요소



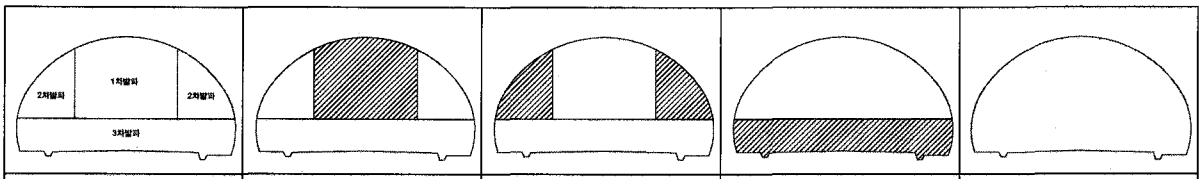


그림.1 서울외곽순환고속도로 터널단면 굴착순서(예)

표 2. 발파방식별 비장약량 및 비천공장 비교

구 분	터널 하부단면 벤치발파	지표면 벤치발파	비 고
자유면 수	2자유면	2자유면	
천공방향	수평천공 방식	수직천공 방식	
천 공 장	3,200 mm	3,200 mm	
비장약량	0.80kg/㎥(A)	0.34kg/㎥(B)	A/B = 2.35
비천공장	1.38m/㎥(A)	0.55m/㎥(B)	A/B = 2.50
산출근거	안성-음성간00현장 사례	건설교통부 지침	

분할 하여 발파작업이 수행 되기도 한다. 터널 하부단면을 굴착하기 위해 사용되는 천공장비는 점보드릴(Jumbo Drill)을 사용하는데, 장비가 고가이며 대형이기 때문에 터널의 규모 및 현장여건에 따라 인력천공방식(Leg Drill)을 사용 하거나 크로라드릴 천공방식(Crawler Drill)을 사용하는 경우도 있다. 그러나, 인력천공방식과 크로라드릴 천공방식은 천공시간이 너무 길고 천공장에 한계가 있기 때문에 오히려 발파비용을 증가시키는 원인이 된다.

국내의 도로 및 철도터널에서 하부단면을 굴착하기 위해 사용되는 천공장비는 점보드릴을 사용한다. 이와같은 점보드릴을 사용할 경우는 터널 진행방향으로 수평천공하여 발파작업이 이루어 지게 된다. 이때 1회 발파당 굴진장은 터널의 굴착패턴에 준해서 결정되기 때문에, 천공작업은 터널공사 작업 싸이클(Cycle)에 따라서 이루어진다. 이와같은 작업공정상 고가의 점보드릴의 투입시간은 발파당 2시간/싸이클에 불과하다. 물론 천공작업이 이루어지는 막장수가 여러개 일 경우는, 장비의 투입시간이 길어 지겠지만 장비의 이동거리, 막장의 작업 싸이클에 제한을 받기 때문에 어려움이 많다.

또한, 터널 하부단면 발파는 2자유면이 확보되는 벤치발파(Bench Cut)임에도 불구하고 하부단면 굴착높이 및 터널폭의 제한으로 인하여 경제적인 발파작업이 제대로 이루어지지 않는게 현실이다. 예를들어 지표면의 벤치발파와 비교해 볼때 동일한 2자유면 발파임에도 불구하고 표 2에서 보는 바와 같이 비장약량 및 비천공장이 거의 2.5배 정도이다.

그렇기 때문에 선진외국에서는 일부 유류비축기지 현장 및 터널현장에서 하부단면 굴착방식을 지표면 벤치발파 방식으로 작업을 수행하는 경우도 있다. 최근에는 국내 터널현장에서도 이와같은 방식으로 굴착방식을 조정하여 시공하는 사례도 있다.

3. 터널 하부단면 굴착방식 개선사례

3.1 개요

터널 하부단면 굴착방식 개선은 천공방식을 수평천공방식에서 수직천공방식으로 개선하는 것이 일반적이다. 이와같은 방법은 단순히 천공방식만 달리하는 것이지만

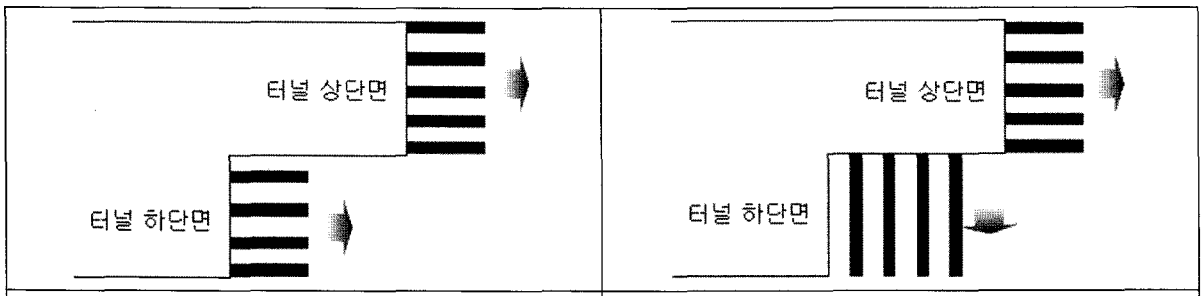
굴착작업 싸이클의 변화와 작업 효율성에 많은 효과를 얻을 수 있다. 그림 2는 터널 하부단면 굴착방식에 따른 천공방식의 모식도이다.

국내외적으로 터널 하부단면 굴착방식을 터널 상부단면과는 달리 수직천공하여 굴착한 사례를 보면 다음과 같다.

3.2 NAPHTHA 지하비축기지(스웨덴)

스웨덴 Stenungsund에 위치한 지하 NAPHTHA 비축기지는 지하 암반에 대규모 공동을 구축하여 NAPHTHA를 저장하기 위해 암반을 굴착할 뿐만 아니라 각종 파이프 라인과 전기시설을 설치하는 현장이다. 표 3은 본 현장의 주요 현황 및 내용이며, 그림 3은 본 현장 위치와 지하공동 굴착방식의 모습이다.

그림 3에서 보는바와 같이 지하공동이 3분할되어 굴착되는데, 지하공동의 1단 및 2단은 점보드릴을 이용한 수평천공 굴착방식을 적용하고 있으며, 마지막 3단은 크로라드릴을 이용하여 수직천공 굴착방식을 적용하고 있다.

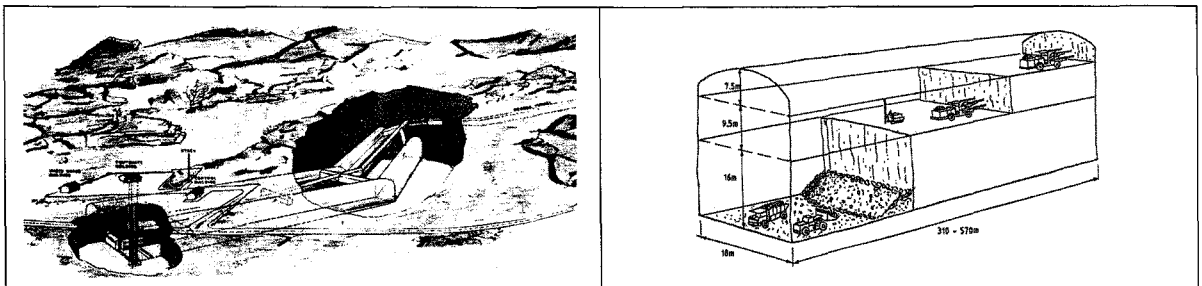


수평천공 방식 | 수직천공 방식

그림 2. 터널 하부단면 굴착방식에 따른 천공방식의 모식도

표.3 본 현장의 주요 현황 및 내용

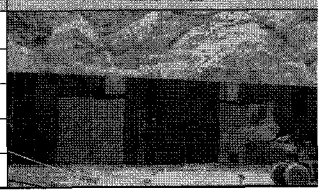
구 분	현황 및 내용	비 고
발 주 처	스웨덴 경제정책국	
위 치	스웨덴 Stenungsund	해양 하부
저장규모	510,000㎥	
지하공동 규모	425m(연장)× 20~30m(폭)× 40m(높이)	
공사기간	1979 ~ 1982	29개월



NAPHTHA 지하 비축기지 위치도 | 지하공동 굴착방식 모습

그림 3. 본 현장 위치와 지하공동 굴착방식의 모습

표 4. 본 현장의 주요내용 및 모습

구 분	주 요 내 용	현장모습
현 장 명	양령로확장공사 현장	
위 치	서울시 관악구 봉천동 ~ 동작구 상도동	
터널규모(Type-Ⅲ)	상단면(42.822㎡), 하단면(24.826㎡)	
암 종	화강편마암	
보안물건 최단거리	50 m	

이와 같은 작업방식을 채택한 이유는 다음과 같다.

- 당초 지하공동을 4단면으로 분할하여 굴착하고자 하였으나, 공사기간 및 굴착비용을 고려하여 3단으로 변경하여 분할하고자 하였다.
- 3단으로 분할 할 경우 마지막 3단의 굴착높이가 16m 이기 때문에 점보드릴의 천공장 한계 및 성능상 수평천공을 통한 굴착방식 적용이 불가능 하였다.
- 크로라드릴을 이용하여 3단을 수직천공 굴착방식으로 공사할 경우 16m 굴착높이를 1회 발파로 굴착공간을 확보할 수 있기 때문에 굴착비용 절감 및 공기를 단축시킬 수 있다.

국내에서도 1998년도에 프로판 및 부탄 지하 저장기지(인천시 송도 ○○비축기지)에서 이와같은 굴착방식이 검토된 바 있으나, 실행 되지는 못했다.

3.3 양령로 확장공사 현장

우리나라 도로건설 현장에서도 터널의 상부단면과 하부단면의 굴착방식을 달리하여 터널굴착이 시도된 바 있다. 이와같은 작업이 시도된 양령로 확장공사 현장은 서울시 관악구 봉천동에서 서울시 동작구 상도동까지 연결되는 도로건설 현장이다. 터널연장은 상, 하행선 각각 280m에 불과하지만 사람이 다수 거주하는 주택 및 아파트가 터널노선으로부터 최단거리로 50m 에 위치해 있기 때문에 발파진동 및 소음으로 인한 민원이 끊임없이 발생하였다. 이로 인하여 터널 굴착공사 기간이 지연될 뿐만 아니라 보안물건의 피해가 우려되어 터널 하부단면 굴착방식 개선이 검토 되었다. 표 4는 본 현장의 주요내용 및 모습이다.

본 현장에서는 터널 전단면중 상부단면은 점보드릴을 이용하여 굴착하고 하부단면은 크로라드릴을 이용하여 수직천공 방식에 의한 굴착이 시도 되었다. 그러나, 현장여건 및 설계상의 기준에 대한 어려움으로 인하여 계속적으로 진행되지는 못했다.

3.4 장항선 ○○공구 노반 개량공사 현장

본 현장은 기존의 장항선의 노선을 개량하여 철도의 운송능력을 제고시키고자 시행되고 있는 철도 노반 개량공사 현장이다. 본 현장의 터널 하부단면 굴착방식은 수직천공 방식으로 설계되어 있다. 그러나 당초 설계대로 터널 굴착작업이 진행되지 않고 점보드릴을 이용한 수평천공방식을 채택하여 작업하고 있다.

4. 터널 하부단면 굴착방식 개선검토 및 적용기술

4.1 개요

국내 터널현장에서 터널 하부단면의 굴착방식을 개선하고자 하는 시도는 있었으나, 외국의 경우처럼 일관되게 진행되지 못했으며, 시공성 및 경제성 측면에서도 별 효과를 얻지 못한 것으로 추측된다. 이와같은 현상은 터널

하부단면 굴착방식에 대한 설계 및 시방기준이 세부적으로 마련되지 않았으며, 터널 기술자들의 경험부족과 실적부재에 따른 회의적 시각에 기인된 것으로 보인다.

그러나, 터널 하부단면을 수평천공방식 대신 수직천공방식으로 개선할 경우 많은 장점이 있을 것으로 보이며, 적용에 따른 문제점을 개선하기 위한 노력이 이루어 진다면 효율적으로 적용할 수 있을 것이다. 따라서, 본고에서는 국내 ○○현장의 터널 하부단면 굴착을 수직천공 방식으로 검토한 바 있는 사례를 소개하고자 한다.

4.2 검토배경 및 필요성

○○현장은 경기도 성남시에 위치하고 있는 단선터널 굴착공사 현장으로서 공사기간 중에 병렬터널로 변경된 현장이다. 본 현장 터널의 굴착방식중 Type-1, 2 는 전단면 굴착으로 설계되어 있으며, Type-3, 4, 5, 6은 터널 단면을 상,하단면으로 분할하여 굴착 하도록 설계되어 있다. 추가로 공사되는 터널노선을 보면 시점부 갱구로부터 80m 구간은 반단면으로 굴착작업을 진행해야 하며, 이후부터 275m 구간은 전단면 발파, 그 다음에 50m 구간은 다시 반단면으로 굴착작업이 진행되어야 한다. 이와같은 굴착방식은 시공성 및 작업 효율적인 측면으로 볼때 많은 어려움이 발생하기 때문에 터널노선 전 구간을 일관성 있는 굴착패턴으로 진행하는 것이 바람직 하다. 따라서, 본 현장의 추가터널 굴착방식을 개선하여 시공성 및 작업 효율성을 증대시켜 공기를 단축시킬 뿐만 아니라 경제성을 제고 시키고자 터널 하부단면 굴착방식을 검토하게 되었다.

4.3 터널 하부단면 굴착방식 특징 및 장단점

터널 하부단면 굴착방식별 특징 및 장단점을 보면 표 5와 같다.

4.4 굴착방식 개선 주요내용

터널 하부단면을 개선하고자 하는 내용을 크게 분류하면 굴착방식과 지보설치 방식이다. 굴착방식은 기존의 수평천공 방식에서 수직천공 방식으로 개선하는 것이며, 하부단면 지보설치 방식은 터널 중앙부를 선행하여 굴착한 후 터널 지보패턴에 준하여 측벽부의 굴진장을 확보한 후 지보를 설치하는 방식이다. 표 6은 ○○현장의 터널 하부단면 굴착방식을 개선하기 위해 검토한 주요내용이다.

표 5. 터널 하부단면의 굴착방식에 대한 비교

구 분	수평천공 방식	수직천공 방식
발파방식	2자유면 터널발파	2자유면 벤치발파
천공장비	점보드릴	크로라드릴
발파 주자유면	하단면 상부	하단면 앞면
굴착 및 지보 방법	• 하부단면 전체를 지보패턴에 준하는 굴진장으로 굴착한 후 지보설치	• 하부단면을 일정폭으로 중앙부구역을 설정한 후 선행하여 굴착 • 나머지 양측 측벽부 구역을 후행으로 굴착한 후 지보설치
장 점	• 터널 기술자에게 익숙해 있음 • 터널 바닥면을 매끄럽게 유지가능 • 매 발파시마다 지보설치 가능으로 터널 안정성 확보	• 발파당 굴진장에 유연성 있음 • 굴착작업 연속으로 공기단축 가능 • 발파진동 및 소음이 작음 • 비장약량 및 비천공장이 낮음
단 점	• 발파당 굴진장 제한을 받음 • 천공작업이 굴착 싸이클에 준하여 이루어지기 때문에 굴착작업 연속성이 없음	• 터널 바닥면에 요철이 형성 • 굴착작업이 이원화로 진행됨 • 대괴가 발생할 우려가 높음

표 6. ○○현장의 터널 하부단면 굴착방식 개선 주요내용

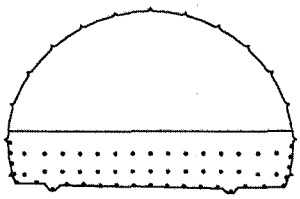
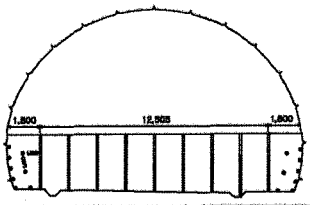
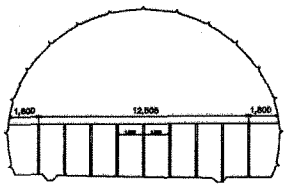
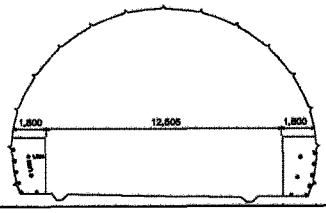
구 분	원 안	개선안
적용 굴착공법	- 전단면 굴착:Type-1, 2 - 반단면 굴착:Type-3, 4, 5, 6	- 모든 굴착패턴 반단면으로 굴착 - 상부단면 관통후 하부단면 굴착
하부단면 굴착방식	수평천공 방식	• 중앙부 : 수직천공 방식 • 측벽부 : 수평천공 방식
하부단면 발파당 굴진장	- Type-3 : 3.0 m - Type-4 : 1.2 m - Type-5,6 : 1.0 m	• 중앙부 : 굴진장 제한없이 연속적으로 굴착 • 측벽부 : 지보패턴별 굴진장 준수
천공장비	점보드릴	크로라 드릴
하부 반단면 높이	3.2 m	3.2 m
천공방식		

표 7. 터널 하부단면 발파패턴 및 천공 배열도

구 분	항 목	단 위	발파패턴	천공 배열도
중앙부	천공방식	-	수직천공	
	천 공 장	mm	3,500	
	천 공 경	mm	ϕ 76	
	최소저항선	mm	1,500	
	공 간 격	mm	1,600	
	공당 장약량	kg	2.4	
측벽부	천공방식	-	수평천공	
	천 공 장	mm	1,100 ~ 3,200	
	천 공 경	mm	ϕ 45	
	최소저항선	mm	750	
	공 간 격	mm	600	
	공당 장약량	kg	0.225 ~ 0.875	

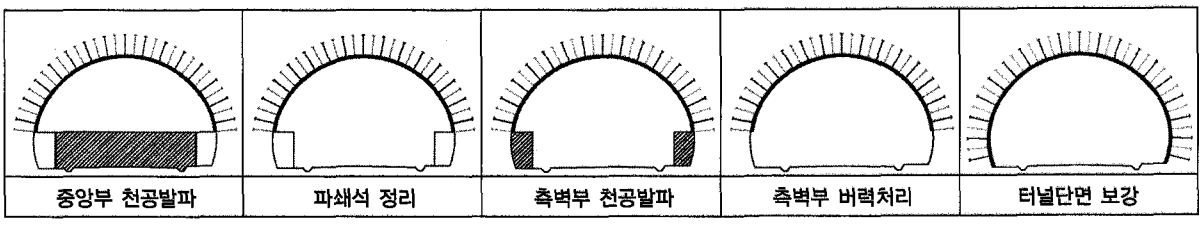


그림 4. 터널 하부단면 굴착 및 지보순서

4.5 터널 하부단면 발파패턴 및 굴착절차

터널 하부단면을 중앙부와 측벽부로 구분하여 굴착하되, 표 7과 같이 중앙부 구역은 크로라드릴을 이용하여 수직천공 방식으로 굴착하고, 터널 양쪽 측벽부는 크로라드릴을 이용하여 수평천공 방식으로 굴착하는 조건이다. 또한, 중앙부는 연속적으로 굴착작업이 가능하나, 1회 발파당 굴착패턴이며 측벽부는 지보패턴 Type-3~6 에 대한 굴착패턴이다. 또한 그림 4는 터널 하부단면 굴착 및 지보순서를 나타낸 것이다.

4.6 하부단면 굴착방법 및 적용기술

터널 하부단면을 수직천공과 수평천공을 병행하여 굴착할 경우 굴착방식 결정 기본개념 및 굴착기술은 다음과 같다.

기본개념

- 터널 하부 반단면 중앙부 영역 및 반단면 굴착높이는 크로라드릴 제원을 고려하고 수직천공이 가능한 범위내에서 결정
  - 하부 반단면 암선에서 터널 아치부 굴착선까지 최소한 높이 : 3.9m 유지 필요(70° 경사천공 감안)
- 터널 하부단면은 수평천공과 수직천공을 조합하여 순차적으로 굴착수행
- 터널 하부단면 중앙부는 수직천공하여 발파를 수행하되, 측벽부 보다 선행 굴착
- 터널 하부단면 측벽부는 중앙부 굴착 막장으로부터 50m 후방에서 수평천공 발파 후 지보설치

- 하부단면 굴착은 상부단면의 시점 및 종점 갱구부가 완전히 관통되고, 상부단면 보강작업이 완료된 후에 진행해야 한다.
- 터널 하부단면중 좌 · 우 측벽부 암반을 제외하고 중앙부 암반을 선행해서 발파작업을 수행한다.
- 중앙부 암반 굴착영역은 크로라드릴이 수직천공할 수 있는 범위 내에서 설정한다.
- 중앙부 암반굴착을 위해 하부단면 상부 자유면에서 터널 바닥면을 향해서 수직으로 천공한다.
- 천공장비는 유압식크로라드릴을 사용하며, 천공경은 ϕ45mm 및 ϕ76mm가 되도록 한다.
- 천공은 터널 앞면 자유면에서 후방으로 연속해서 수행한다.
- 1회 발파공은 버력처리 공정을 고려하여 결정하되, 발파작업이 이루어지지 않는 뒷열의 천공된 공에는 파이프를 삽입하여 전열공 발파작업으로 인한 공막힘현상을 방지한다.
- 중앙부 암반이 약 50m 정도 진행이 되면 좌 · 우 측벽부 발파작업을 수행한다.
- 측벽부 천공은 크로라드릴을 이용하여 터널막장면 자유면에서 터널방향으로 수평천공한다.
- 터널 측벽부에 천공되는 공은 확대공, 바닥공 및 외곽공이다.
- 외곽공은 터널 굴착선을 보호해야 하기 때문에 조절발파공법을 적용하며, 사용되는 화약류는 정밀폭약을 사용한다.
- 터널 측벽 및 바닥이 교차되는 우각부 장약공은 바닥공 발파를 수행해야 하기 때문에 정밀폭약 대신 일반화약을 사용한다.
- 터널 좌 · 우 측벽부 천공깊이는 터널 설계상의 굴진장과 지보장에 맞게 천공한다.
- 터널 좌 · 우 측벽부 발파작업이 완료되면 즉시 보강작업을 수행한다.

4.7 ○○현장 터널 하부단면 굴착방식 개선에 따른 발파효과 분석(Type - 3 기준)

표 8 참조

표 8. ○○현장 터널 하부단면 굴착방식 개선에 따른 발파효과 분석(Type - 3 기준)

구 분	수평천공 방식(현장 설계기준)	수직천공 방식
천 공 수	47 공	34 공 (2열천공)
공당 장약량	2.25kg	2.4kg
지발당최대장약량	6.75kg	4.8kg
총 장약량	87.5kg	67.7kg
총 굴착량	144.471㎥	144.471㎥
비장약량	0.606kg/㎥	0.469kg/㎥
비천공장	1.041m/㎥	0.753m/㎥
발파효과	• 굴진장 3m당 천공수는 수직천공 방식이 약 13공 정도가 적음. • 수직천공 방식을 적용할 경우 수평천공 방식보다 장약량 및 비장약량은 22%, 비천공장은 약 27% 정도 적게 소요됨. • 위와같은 결과로 볼때, 수직천공 발파작업이 수평천공 발파작업시보다 발파효과가 우수하고 경제적임을 알 수 있음.	

표 9. 수직천공 굴착방식 적용에 따른 예상 문제점과 해결방안

예상 문제점	해 결 방 안
작업공정의 혼선	- 중앙부와 좌우 측벽부 굴착공정을 별도로 운영 - 가능한 터널 입 · 출구부 상부단면을 관통후 진행하여 중앙부와 측벽부 굴착장비 및 시설을 별도 운영
중앙부 연속 굴착으로 터널 암반의 안정성 문제점 대두	- 터널 상부단면 굴착 및 보강작업이 완료된 후 하부 단면 굴착작업 진행 - 중앙부 영역만 연속 굴착작업이 이루어지고, 좌 · 우 측벽부 굴착은 터널 지보패턴에 준하여 1회 발파당 굴진장 결정 - 좌 · 우 측벽부 굴착 후 즉시 보강작업 수행
터널 바닥부에 위치하는 공동구 및 배수로 확보	- 중앙부 영역 경계부를 공동구 및 배수로 위치까지 할 경우 굴착작업이 용이 - 수직천공시 공동구 및 배수로 굴착깊이 만큼 추가로 천공후 발파 - 좌 · 우 측벽부 천공작업시 공동구 및 배수로 지점을 동시에 천공하고 발파작업 수행
파쇄석 대괴발생 우려	- 중앙부영역 발파시 70° 내외의 경사천공 실시 - 최소저항선과 공간격을 1 : 1.5~2.0 으로 조정
터널 바닥면에 요철 형성	- 시험발파를 통해 정확한 추가천공장(Sub Drilling) 결정 - 공저에 집중장약으로 장약밀도 증대 - 경암구간은 저항선 및 공간격을 다소 좁혀서 천공
천공장비 대수 증대	- 크로라드릴을 사용하기 때문에 점보드릴 보다 장비 투입비 절감 가능

4.8 예상 문제점 및 해결방안

터널 하부단면 굴착방식을 수직천공 방식으로 수행할 경우 예상되는 문제점은 국내 기술자의 경험부족으로 인한 시공성 저하, 터널 바닥부에 확보되는 공동구 및 배수로 굴착방법, 굴착작업의 이원화로 인한 굴착장비 조합 및 작업공정에 대한 혼선 등으로 볼 수 있다. 또한, 지보패턴과는 달리 굴착이 선행되기 때문에 터널 안정성에 대해서도 문제점으로 생각할 수 있다. 이와같이 예상되는 문제점을 해결하기 위해서는 많은 기술적 노력과 적용 기준의 뒷받침이 절대적으로 필요하다. 표 9는 터널 하부단면 수직천공 굴착방식 적용에 따른 예상 문제점과 해결방안을 기술한 것이다.

5. 결론

지금까지 터널 하부단면 굴착방식은 점보드릴을 이용하여 지보패턴별 굴진장을 확보 한 후 버력처리, 지보설치 등의 작업공정으로 이루어 졌다. 그러나, 터널 하부단면은 터널 상부단면에 비해 상대적으로 암반상태 및 작업여건에 따라 굴진장을 증대 시킬 수 있을 뿐만 아니라 굴착 시스템을 유연하게 조정할 수 있다. 다시 말해서 터널 하부단면 중앙부영역은 크로라드릴 장비를 이용하여 수직천공한 후 연속적으로 굴착작업이 이루어지며 측벽부 영역은 크로라드릴 장비로 지보패턴별 굴진장 만큼 수평천공하여 굴착작업이 이루어지는 방식으로 조정할 수 있다. 본 고에서 기술한 바와 같이 터널 하부단면을 수직천공 방식으로 작업이 이루어지도록 관련제도와 분위기가 조성 된다면 터널 굴착작업의 효율성을 높일 수 있고 공기를 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 공사비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.