

제 4 장 굴착 공법 및 발파 패턴의 설계

4.1 굴착방법

4.1.1 굴착방법 일반사항

- (1) 굴착방법에는 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착 등이 있으며 굴착방법의 선정에 있어서는 다음 사항을 고려하여야 한다.
- (2) 원지반이 본래 가지고 있는 지지능력을 최대한 보존할 수 있으며 안정성, 경제성 및 시공성이 우수한 굴착방법을 채택하여야 한다.
- (3) 지반 조건, 지하수 유입 정도, 굴착단면의 크기와 형태, 터널연장, 근접 구조물의 유무와 주변 환경영향(진동, 소음 및 지표침하 등), 보조공법의 적용성을 고려하여야 한다.

4.1.2 굴착방법별 고려사항

(1) 인력굴착

- ① 삽입기, 소형브레이커 등 간단한 굴착도구를 사용하여 굴착하는 방법
- ② 인력굴착의 적용
 - 가. 자립시간이 짧은 토사지반을 소규모로 분할굴착하고 조기에 지보재를 설치하여야 하는 경우
 - 나. 진동영향을 크게 받는 지반을 소규모로 분할굴착하고 조기에 지보재를 설치하여야 하는 경우
 - 다. TBM 굴진에 어려움이 발생한 경우

(2) 기계굴착

- ① 기계굴착은 쇼벨(shovel), 브레이커, 로드헤더 등 중장비 혹은 TBM 등 터널굴진 장비를 사용하여 굴착하는 방법을 말한다.
- ② 절리가 심하게 발달한 파쇄암이나 풍화암 등에서 지반이완을 최소화하고 여굴을 억제하는데 적용할 수 있다.
- ③ 굴착 중장비는 시공성과 경제성 있는 기종으로 선정하여야 한다.

(3) 발파굴착(drill and blast)

- ① 가장 일반적인 암반굴착방법이다.
- ② 발파굴착은 경제성과 시공성은 양호하나 진동과 소음 등이 수반되기 때문에 지반 조건 또는 주변 여건에 따라서 적용 여부를 결정하여야 한다.
- ③ 발파설계는 지반 조건을 고려하여 발파진동으로 인한 터널주변 지반의 이완영역을 최소화하며 평활한 굴착면이 형성되어야 한다.
- ④ 버력의 크기는 적재 및 운반에 적합하도록 수행되어야 한다.
- ⑤ 발파설계시 포함되어야 할 사항
 - 가. 굴착단면의 크기 및 형상

- 나. 굴진장
- 다. 심발형식
- 라. 심발공, 발파공 및 주변공의 직경, 배치, 각도 및 천공깊이
- 마. 화약의 종류와 공당 · 지발당 장약량
- 바. 뇌관의 형식
- 사. 점화 및 기폭 순서
- 아. 현장 시험발파계획

(4) 파쇄굴착

- ① 파쇄굴착은 암을 파쇄굴착하는 방법을 말한다.
- ② 파쇄굴착의 적용
 - 가. 인력굴착방법을 적용할 수 없는 견고한 암반에서 기계 또는 저진동 발파굴착을 채택하기 어려운 경우
 - 나. 진동과 소음을 최소화할 필요가 있는 경우에 적용하여야 한다.

4.2 굴착공법

4.2.1 굴착공법의 분류

(1) 전단면굴착

- ① 지반의 자립성과 지보능력이 충분한 경우에 적용하여야 한다.
- ② 주로 지반 상태가 양호한 중소단면의 터널에서 적용한다.

(2) 수평분할굴착

- ① 주로 지반 상태가 양호하고 단면적이 큰 경우에 시공성을 높이기 위하여 적용하거나,
- ② 지반 상태가 다소 불량한 경우에 굴진면의 자립성을 높이기 위하여 적용할 수 있다.

(3) 연직분할굴착

- ① 주로 지반 상태가 불량하거나 단면적이 큰 경우에 적용하여야 한다.
- ② 안정성 측면에서 임시 지보재 설치를 검토하여야 한다.

(4) 선진도갱굴착

- ① 주로 단면적이 크거나 하저 및 해저 통과 등 특수한 조건하에서 굴진면 전방의 지반 및 지하수 상태를 확인할 목적으로 굴착하여야 하는 경우에 적용한다.
- ② 기계굴착공법을 적용하여 선진도갱하고, 발파공법으로 확장하여 굴착하는 경우에 적용할 수 있다.

(5) 지반이 연약하여, 굴착단면의 변형을 억제하거나 벤치의 길이를 길게 할 필요가 있을 경우에 가인버트 설치를 검토하여야 한다.

(6) 암질별 굴착 공법의 적용에는 다음의 [표 4.2.1]과 같으며 굴착공법의 적용은 현지 암반의 여건과 지보량 결정시 고려된 굴진장 등 여러 요소를 종합적으로 판단하여 결정한다.

[표 4.2.1] 암질별 굴착 공법(예시)

표준단면	암분류	2차로 기준		비 고
		굴착공법	1회 굴진장(m)	
표준단면-I	경 암	전단면 굴착	3.5	
표준단면-II	보통암	전단면 굴착	3.5	
표준단면-III	연 암	전단면 굴착	2.0	
표준단면-IV	풍화암	상·하반 분할굴착	1.5/3.0	상부/하부
표준단면-V	풍화암(토)	상·하반 분할굴착	1.2/1.2	상부/하부
표준단면-VI	강구보강용	상·하반 분할굴착	1.0/1.0	상부/하부

4.2.2 2-Arch 터널의 굴착¹⁾²⁾

(1) 2-Arch 터널의 적용

- ① 2-Arch 터널 적용시에는 병설터널과 경제성, 환경훼손의 정도, 편입용지, 지장물 등을 종합적으로 비교 검토하여 적용한다.
- ② 선형 분리구간 최소화를 위해 가급적 직선형 중앙기둥 형식을 적용하되 지질 및 지형여건 등을 고려하여 아치형 중앙기둥 형식의 적용도 가능하다.
- ③ 중앙 벽체의 규격은 상부 하중을 고려하여 별도로 검토한다.
- ④ 중앙벽체 시공방법에 대해서는 현장여건, 시공효율성 등을 고려하여 조정 적용한다.
- ⑤ 터널 내장재는 [터널내장재 설치기준 검토] 내용에 준하여 변경한다.

(2) 터널 지보 패턴 설계방안³⁾

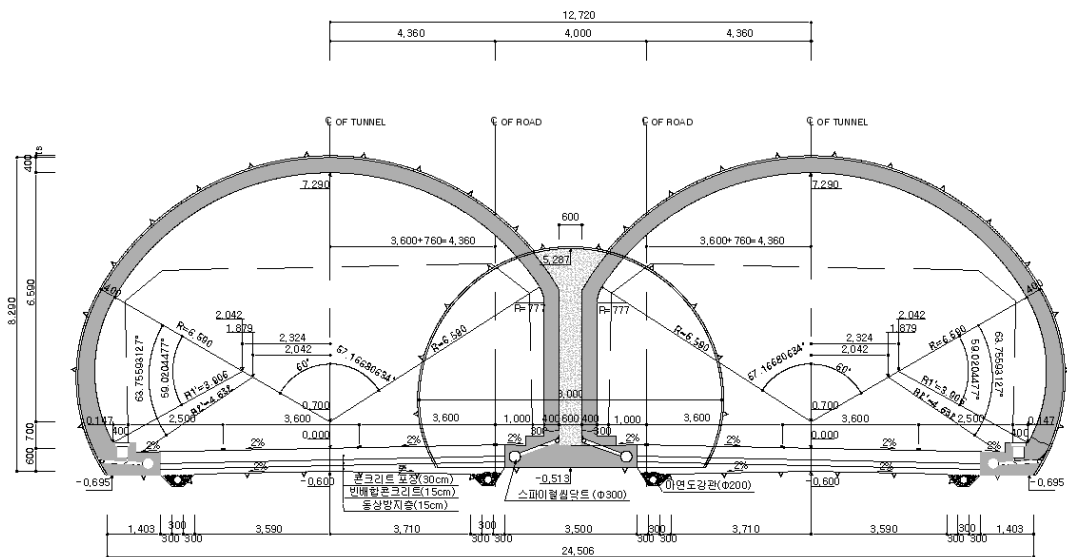
- ① 2-Arch 터널 개선방안(설계구 10201-30626, 2003.6.3)에서 제시한 지보패턴은 특정 지형 및 암질에 대해 별도의 발파설계와 해석을 통해 선정된 것으로 이를 표준적으로 적용하지는 않는다.
- ② 2-Arch 터널은 대상 터널의 지형조건, 토질조건, 시공조건 등을 종합적으로 고려하고 3차원해석방법 등을 적용하여 현장상황을 고려한 별도의 설계를 하도록 한다.

1) 2-Arch터널 시공방안 검토(건설정 10308-121, 2002.10.14)

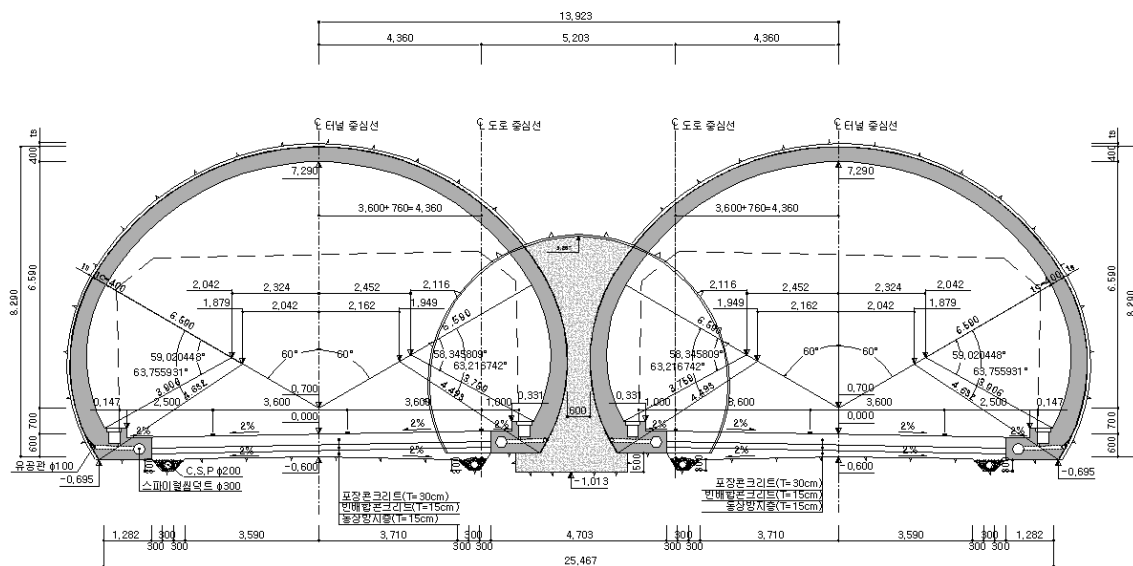
2) 2-Arch터널 시공방안 검토(설계구 10201-150, 2003.05.30)

3) 2-Arch 터널 지보패턴 설계방안(설계구 10201-209, 2004.07.16)

6-4-4 | 제6편 터널공



<그림 4.2.1> 2-Arch터널 시공방법(직선형 중앙기둥 형식)



<그림 4.2.2> 2-Arch터널 시공방법(아치형 중앙기둥 형식)

4.3 발파공법⁴⁾

4.3.1 터널 발파 일반

(1) 발파의 목적

- ① 터널의 용도에 맞는 공간을 확보하기 위하여 암반의 안정성을 유지시키면서 경제적이고 효율성 있게 굴착하기 위하여 발파를 이용한다.
- ② 화약을 이용하여 발파하는 것을 말한다.

(2) 터널 발파 기술의 기술적 주요 요인

- ① 심발공의 배치 : 심발공은 자유면을 확보하는 발파형태로 터널발파의 성패를 결정하는 중요한 요소이다.
- ② 장약량 : 터널발파는 1자유면 형태 발파이므로 약장약 혹은 과장약시 발파실패율이 높아서 적정량의 장약량 산출은 중요한 요소이다.
- ③ 기폭시스템 : 터널발파는 심발공부터 충분한 자유면을 확보하기 위해서는 전열의 발파공이 파쇄되어 공간이 확보될 수 있는 충분한 지연시차를 갖는 것이 중요하다.
- ④ 폭약의 선택 : 암반의 강도와 특성에 부합되는 폭약의 선택은 매우 중요하다. 폭약의 선택이 적합하지 않을 때 발파 효율저하 및 진동증가 요인이 된다.
- ⑤ 모암손상 및 여굴방지를 위한 조절발파 기술
- ⑥ 정밀한 천공을 위한 장비선택 및 천공기술
- ⑦ 발파진동 및 폭음을 저감시킬 수 있는 방지기술
- ⑧ 터널발파시 사고방지를 위한 안전대책 확보

(3) 터널 발파공의 명칭

① 심발공(cut holes)

- 가. 자유면을 형성하기 위해 가장 먼저 발파되는 부분을 말한다.
- 나. 암석을 압축하고 깨어 표면에 퍼냄으로 자유면을 형성시킨다.
- 다. 일반적으로 심발공의 면적은 약 2m^2 를 기준으로 한다.
- 라. 심발공의 형태는 수평천공 방법과 경사천공 방법 외 양자를 혼합한 방법으로 구분한다.
- 마. 심발공에서는 천공밀도가 높고, 장약량은 약 $5\sim 7\text{kg/m}^3$ 이 소비된다.

② 확대공(stoping holes)

- 가. 심발공에서 자유면이 형성되어 2자유면 발파형태로 장약량에서도 계단발파와 같은 원리이다.
- 나. 터널에서 장약량을 증가시키는 이유는 계단발파에 비하여 천공오차가 크고 좋은 파쇄입도를 얻기 위함이다.
- 다. 확대공은 수평, 하향, 상향으로 발파공 위치에 따라 세분된다.
- 라. 하향 확대공은 수평, 상향확대공에 비하여 적은 장약량으로 장약한다.
- 마. 확대공의 평균 장약량은 $0.7\sim 0.9\text{kg/m}^3$ 정도이다.

4) 발파작업 안전관리 지침(도연건 18702-3157 2000.9.18)

6-4-6 | 제6편 터널공

③ 외곽공(roof, wall holes)

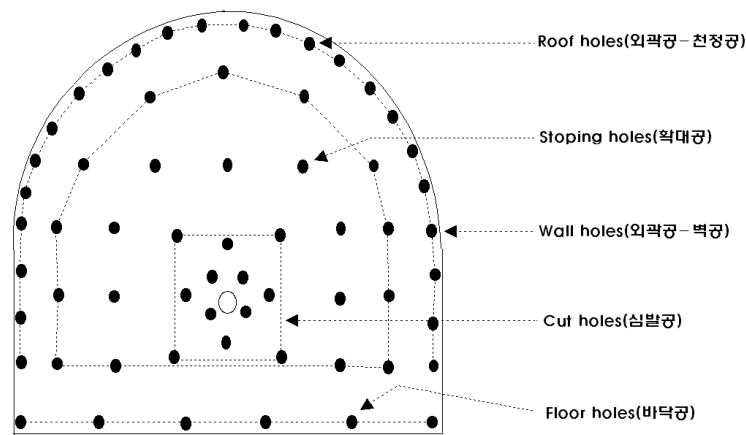
가. 주변 암반을 최대한 손상시키지 않고 정확하게 파쇄하기 위하여 Smooth Blasting을 적용하고 있다.

나. 외곽공에서는 천공각도, 방향, 천공간격은 여굴과 암반의 손상등의 영향을 주기 때문에 신중한 장약이 요구된다.

④ 바닥공(floor holes)

가. 발파형태가 상향으로 발파되므로 다른 공들에 비하여 많은 장약량 필요하다.

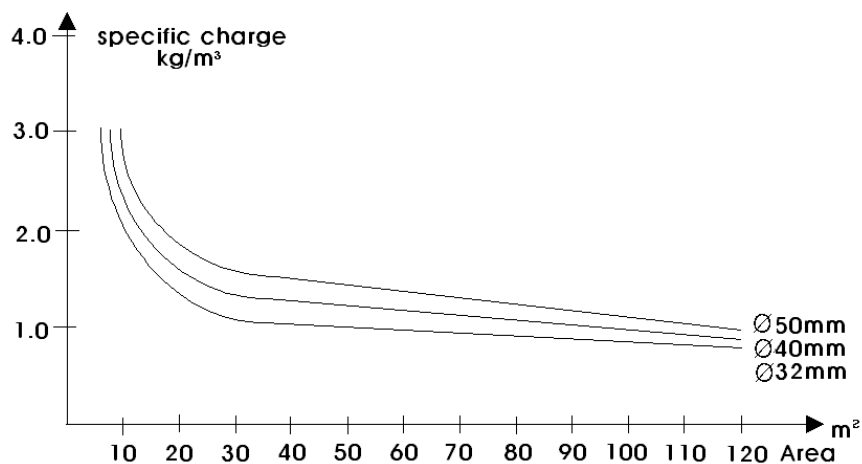
나. 바닥공의 천공간격과 장약량은 바닥의 평탄성에 관계되므로 굴착장비의 운행 등에 영향을 미친다.



<그림 4.3.1> 발파공의 명칭

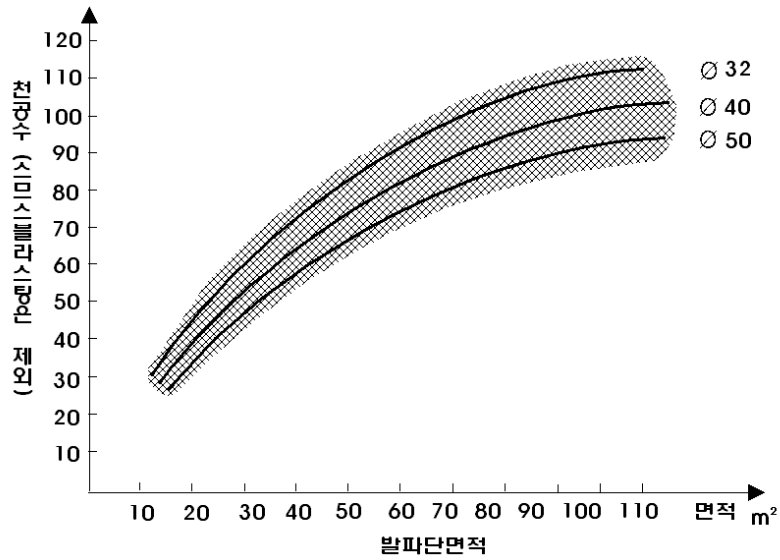
(4) 일반적인 기준

① 터널면적에 따른 m³당 장약량



<그림 4.3.2> 터널 면적에 따른 비장약량

② 터널면적에 따른 천공수



<그림 4.3.3> 터널 면적에 따른 천공수

③ 터널의 여굴량

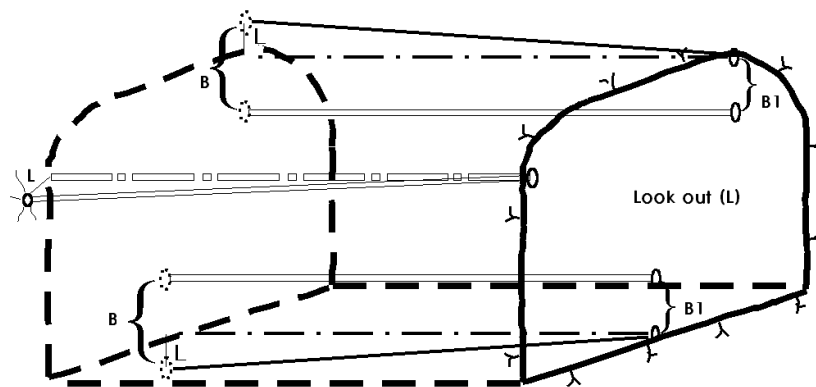
가. 터널의 설계단면이 좁아지는 것을 방지하기 위하여 외곽공을 약 4° 경사지게 천공하여 발생되는 것을 말한다.

나. 천공장의 길이와 Steel Rib의 설치여부에 따라 다르게 적용되어야 한다.

다. 여굴량의 기준

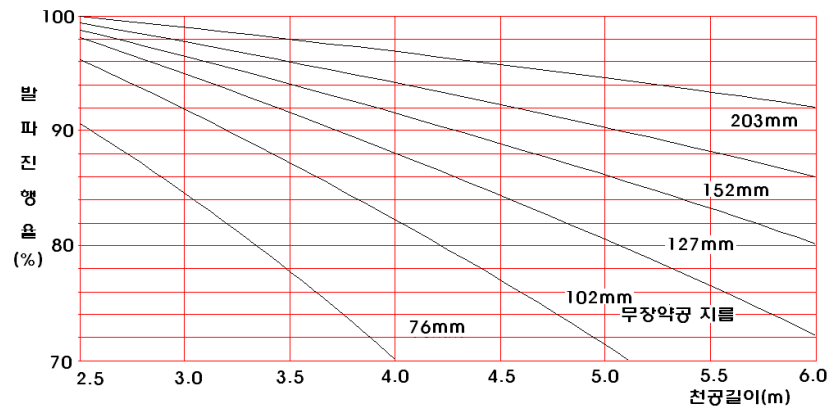
(가) 강지보 없는 경우 : $100\text{mm} + \text{천공장} \times 40\text{mm/m}$

(나) 강지보 설치시 : $100\text{mm} + \text{Rib의 두께} + \text{천공장} \times 40\text{mm/m}$



<그림 4.3.4> 외향각 천공(Look Out)

④ 천공장과 굴진장의 비율



<그림 4.3.5> 천공깊이,백분율의 굴진률과 무장약공과의 관계

가. 건설표준품셈의 기준에서는 굴진장에서 천공장의 길이를 일률적으로 100mm를 가산길이로 산정하였다.

나. 일반적으로 천공장 3.5m이내에서 굴진률은 85~95%정도이므로, 굴진장에서 천공장 가산길이는 10~15%을 적용하는 것이 바람직하다.

4.3.2 심발공법

(1) 심발공의 일반사항

- ① 임반이 공기와 같은 외부에 노출된 면을 자유면이라 하는데, 발파효과는 자유면의 수에 따라 크게 달라진다.
- ② 터널굴착시 전단면 발파와 상부반단면 발파는 자유면이 1개가 된다.
- ③ 인위적으로 자유면을 형성시키기 위한 심배기발파는 터널발파의 성패를 좌우할 정도로 중요한 부분이므로 많은 실험과 경험에 의거 여러가지의 공법을 제시하고 있다.
- ④ 심발공은 1자유면 발파이므로 구속력이 커서 발파진동이 제일 크게 발생하는 부분이므로 진동저감을 위해서도 가장 심도 있게 다루어 져야 한다.

(2) 심발공의 분류

- ① 경사천공 방법
- ② 평행천공 방법
- ③ 평행천공과 경사천공을 혼용한 방법으로 구분
- ④ 각 천공방법에서 원리는 비슷하나, 발파공의 배치방법에 따라 여러가지의 공법으로 분류되고 있는 실정이다.

[표 4.3.1] 심발공법의 종류

대분류	중분류	소분류	
경사공 심발 (Angel cut)	V-cut	Horizontal V cut, Vertical V cut, Double V cut, Prism-cut	
	Pyramid-cut	Diamond-cut, Three, Four-holes Pyramid-cut	
	Fan-cut	Double fan-cut, Floor fan-cut	
	Draw-cut	Top-cut, Toe-cut, Step-cut	
	Swing-cut	Sumping-cut, Bench-round, Vertical swing-cut	
평행공 심발 (Paralled cut)	Burn-cut	Spiral-cut	Single spiral-cut, Double spiral-cut
		Finger cut	Coromant-cut, Double finger-cut Three finger-cut, Five finger-cut
		Clover leaf-cut	Double clover leaf-cut
		Cylinder-cut, Circle-cut, Michigan-cut, Shatter-cut, Cornish-cut, Seam cut, Box cut, Boring cut	
	No-cut round		
경사공+ 평행공심발	Supex-cut	Supex-cut	

(3) V-cut 방법

① 개요

- 가. 터널의 경사천공법중에서 가장 일반적인 심배기 발파 공법이다.
 나. 경사천공을 위해서는 어느 정도의 터널폭이 필요하다.

② 설계방법

- 가. 터널의 최대 굴진장으로 터널폭의 50%이내
 나. 심발공의 각도는 60° 이상
 다. 심발공은 충분한 자유면 확보를 위해 3조이상
 라. 천공각도는 수렴점을 기준
 마. 저항선은 1.5m이하로 하며 1.5m이상일 경우는 보조 심발공 배치
 바. 장약량 계산방법

(가) 전색장(무장약량) : $H_o = 0.3 \times B$ (최소저항선)

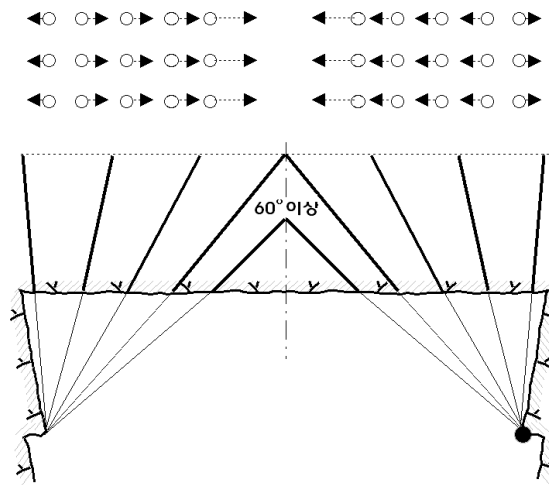
(나) 장약량산출

- 천공경 ϕ 38mm이하(Leg Drill)경우 : 0.5~0.7kg/m
- 천공경 ϕ 45mm이상(Jumbo Drill)경우 : 0.8~1.2kg/m

- 사. 발파공의 대칭되는 심발공은 똑같은 단수의 뇌관을 배치
 아. 기폭시차는 발파 암석의 이동과 팽창시간을 고려하여 50m/s 이상

③ 적용성

- 가. 국내에서 가장 널리 적용되고 있으며, 천공밀도가 약간 떨어져도 발파효율에 영향이 적어서 현장에서 가장 선호하는 공법이다.
 나. Leg Drill 이용한 작업장이나 굴진장이 2m 이하의 장소에서 효과적이다.

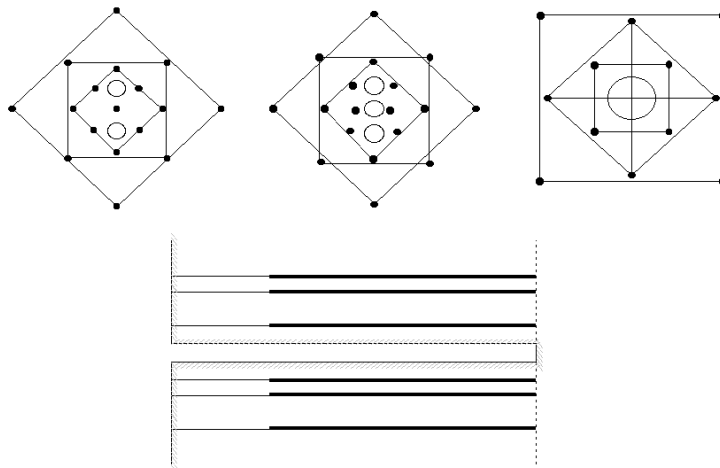


<그림 4.3.6> V-cut 공법

(4) Burn-cut

① 개요

- 가. Jumbo Drill을 이용한 작업장에서 널리 시행하는 방법을 말한다.
- 나. $\phi 102\text{mm}$ 대구경의 무장약공을 1~3공을 천공하고 무장약공을 중심으로 장약공을 평행하게 천공하여 일정한 시차로 발파시킨다.
- 다. 무장약공을 중심으로 자유면을 확대시키는 공법이다.



<그림 4.3.7> Burn-cut 공법

② 설계조건

가. 무장약공의 지름

(가) 무장약공의 지름이 크면 클수록 굴착효율은 좋다.

(나) 천공장비등의 여건으로 대구경의 무장약공 천공이 곤란한 경우

- 점보드릴에서 천공이 가능한 $\phi 102\text{mm}$ 무장약공을 2개이상 천공하여 실시하는 경우에는 다음과 같은 환산직경 공식으로 계산된다.

$$D = d\sqrt{n} \quad [\text{식 4.3.1}]$$

여기서, D : 무장약공의 환산직경(mm)

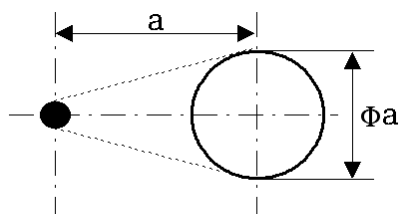
d : 실제 천공하는 무장약공의 직경(mm)

n : 무장약공의 천공수

나. 저항선

(가) 너무 큰 저항선은 심발공에 균열이 생기고, 너무 짧은 저항선은 무장 약공으로 연결되어 터널발파의 전체가 공발이 되어 실패 확률이 높다.

(나) 무장약공과 발파공의 간격은 $a=1.5D$ 가 유지되어야 한다.



$a > 2.1\psi$: 균열

$a = 1.5\psi$: 파쇄

$a < 1.5\psi$: 완전

다. 장약집중도

(가) 무장약공 가까이 있는 구멍은 조심스럽게 장전해야 한다.

(나) 구멍내 장약밀도가 너무 낮으면 암석을 파괴시키지 못하는 반면, 너무 높으면 소결현상이 발생된다.

(다) 소결현상 : 대구경 반대편 벽을 향하여 암석이 분출하여 다시 암석이 굳어지는 현상

라. 천공의 정밀도

(가) 무장약공과 발파공 사이에는 일정한 간격으로 평행이 유지되어야 한다.

(나) 만일 평행이 유지되지 않고 편차가 발생할 경우에는 소결 및 Rifle 현상으로 발파가 실패하게 된다.

③ 실패 현상

가. 소결현상(recementation)

(가) 심발공에서 폭굉압이 세면 팽창율이 커지게 된다.

(나) 이때 파괴된 암반들이 무장약공을 메우면서 세립된 암이 다시 굳는 것을 말한다.

나. Bridge현상

- (가) 장악장이 짧은 경우 주로 발생되며 활처럼 휘어지면서 파괴가 일어나게 된다.
- (나) 궁저에서 발파된 화약이 메지길이 부분의 암을 밖으로 밀어내지 못하는 것이 원인이다.

다. Rifle현상

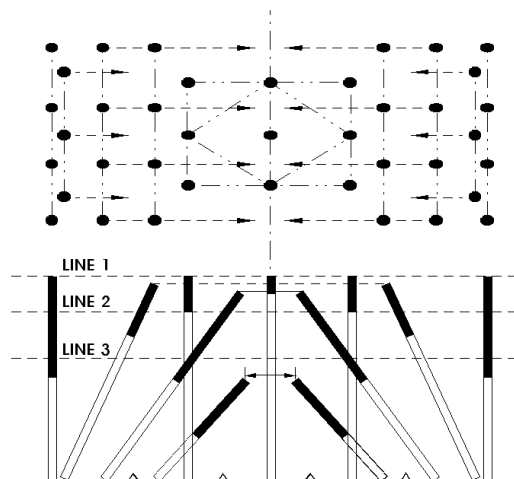
- (가) 화약이 암석을 파괴하지 못하고 충을 소듯이 유출되는 것을 말한다.
- (나) 제1심발궁에서 무장약간의 거리가 너무 멀거나 장악밀도가 작을 때, 메지가 부적절할 때 발생되며, 적절한 거리와 메지를 하여야 한다.

라. 감응폭발(influenced explosion)

- (가) 장악궁이 발파시 인접궁에 충격을 가하여 폭발을 야기시키는 현상을 말한다.
- (나) 절리, 층리 Crack이 발달된 암층에서는 멀리 있는 인접궁에서도 감응 폭발이 일어나 기폭순서가 역으로 되어 발파효율을 감소시킬 수 있다.

(5) Supex-Cut(경사+평행천공법)

- ① 천공순서는 심배기 수평궁, 외곽궁, 바닥궁, 확장궁, 심배기 각도궁순으로 실시하도록 한다.
- ② 각도궁보다 수평궁을 먼저 천공하는 것이 보다 효율적이다.
- ③ 각도궁쌍의 갯수와 간격, 각도궁의 경사각은 터널의 규격과 암반조건에 따라 정한다.
- ④ 각도궁의 궁저간격은 300~500mm가 되도록 한다.
- ⑤ 가능한 각도궁쌍의 중앙부분에 심배기수평궁이 위치하도록 하며 심배기수평궁의 공간격은 최대 600mm를 넘지 않도록 한다.
- ⑥ 심배기궁 이외의 궁은 기존의 통상거리를 적용하거나 100~200mm를 넓게 할 수 있다.



- LINE 1 : 전체 예상 굴진장
- LINE 2 : Main V 발파후 예상 굴진장 (전체 굴진장의 85%)
- LINE 3 : Main V 발파후 심배기 수평보조궁의 절단 부분

<그림 4.3.8> Supex-cut 공법

(6) 심발공의 비교

[표 4.3.2] 심발공의 비교

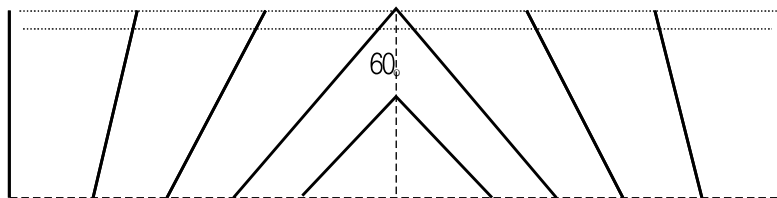
심발공법	특 징
V-Cut	• 단공발파나 연암발파에서 효율적이다. • 번컷공법에 비해 천공이 쉽고 천공시간이 짧다. • 발파진동에 따른 주변암반 손상 및 여굴량이 증가한다. • 각도천공을 하므로 실 천공장이 짧아지고 발파효율이 낮다. • 파쇄암석이 크게 나와 소할 발파하는 경우가 많다. • 심발의 집중발파로 발파진동이 커서 정밀발파에 부적합 • 대파의 버력이 나오므로 버력의 비산거리가 짧다.
Burn-Cut	• 장공발파나 경암발파에 이용된다. • 수평천공을 하므로 1발파당 굴진장을 크게 할 수 있다. • 터널단면 크기에 제약을 받지 않는다. • 고도의 천공기술과 정밀 천공장비가 필요하다. • 최초 버력의 비산거리가 길다. • 심발공의 채석용적이 적으므로 폭약사용량이 많다. • 막장면과 주변 암반의 손상이 많다
Supex-Cut	• 암종과 막장의 단면적 또는 천공장과 관계없이 적용이 가능 • 수평천공을 하므로 1발파당 굴진장을 가장 크게 할 수 있으며 지발당 장약량은 최소화 할 수 있다. • 천공이 쉽고 천공시간이 단축된다. • 비 장약량이 적고 발파효율이 높다. • 막장면과 주변암반의 손상이 적어 보강작업이 용이하며 터널의 안정성이 확보된다. • 부석발생량이 줄어든다. • 버력의 비산거리가 짧고 버력의 크기가 운반에 적당하다. • 천공장과 관계없이 적용가능하다. • 총체적인 굴진작업이 개선되고 굴진시간이 줄어 경제적이다.

(7) 심빼기 공법의 개선

① V-cut 발파방법

가. V-cut의 경우 심발공에서 발파 진동치가 최대로 발생되는데 이는 1자유면 상태에서 구속력이 커서 발생하는 결과이다.

나. 심발공의 구속력 저감 방안으로 심발보조공(baby cut)을 적용하면 효과적이다.



<그림 4.3.9> Double V-cut

② Burn-cut 발파방법

가. 심발공의 무장약공이 클수록 자유면의 역할이 충분하여 발파효율 증대와 진동저감 효과가 증대된다.

나. 국내에서 ϕ 350mm 대구경으로 무장약공을 활용한 결과에 의하면 심발공에서 25% 이상의 진동저감 효과가 있다.

4.3.3 제어발파 공법

(1) 제어발파의 목적

- ① 폭약 장전량을 줄이고 보다 더 잘 배분함으로써 계획된 굴착선 이상으로는 여굴을 최소화하는 것이 주목적이다.
- ② 많은 제어발파공법이 여굴을 줄이는데 이용되고 있다.

(2) 라인 드릴링

- ① 간격을 좁게 천공하여 발파시 파괴될 수 있는 굴착면을 따라 작은 직경의 구멍들을 천공하여 약한 면을 만드는 것을 말한다.
- ② 대부분 노천발파에 이용된다.

(3) 쿠션 블라스팅(cushion blasting)

- ① 주로 노천발파에 사용된다.
- ② 한열을 절취면을 따라 1열로 천공하고 장약을 적게, 완전히 전색된 공에 잘 배분하여, 주요 발파공을 발파 후에 점화시킨다.
- ③ 소음이나 폭풍의 문제가 없는 곳에서는 도폭선에 의한 발파가 가장 좋다.
- ④ 장약의 균질한 폭발력에 의해 공간을 균질하게 절단하여 깨끗한 절단면을 형성한다.
- ⑤ 저항선과 공간격은 주변공의 공경에 따라 변화한다.
- ⑥ 쿠션발파가 90도 각으로 사용할 경우 프리스프리팅과 결합시키면 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

(4) 스무스 블라스팅(smooth blasting)

- ① 노천 및 지하굴착에 이용된다.
- ② 원리는 쿠션발파와 거의 같지만, 스무스 블라스팅의 공은 나머지 공과 함께 점화되는 점이 다르다.
- ③ 발파부분을 미리 굴착할 필요가 없다.
- ④ 스무스 발파를 위한 낮은 폭속을 가지고 가스 함유량이 적고 작은 직경 새로운 약들이 개발되어 좋은 결과를 얻고 있다.

(5) 프리스프리팅(presplitting)

- ① 프리스프리팅 발파는 발파공이 주발파공보다 먼저 점화되는 것이 스무스발파와 쿠션발파와는 다르다.
- ② 선균열발파는 주발파물과 함께 발파한 경우에는 가장 낮은 단수로 점화된다.
- ③ 프리스프리팅 발파의 이론은 인접한 발파공내의 폭약이 동시에 폭발하여 발생하여 발생하는 충격파가 충돌할 때, 암석에 팽창이 일어나고 구멍 사이에 균열을 형성하는 것이다.
- ④ 그러므로 장약이 동시에 폭발되거나 가능한 한 초시차가 비슷하게 폭발되는 것이 중요하다.
- ⑤ 가장 좋은 결과를 얻기 위하여 도폭선이나 순발되는 것이 중요하다.
- ⑥ 프리스프리팅 발파는 차후의 주발파물이 파괴시키는 한계선을 따라 스무스한 벽을 만들어 낸다.

- ⑦ 좋지 못한 암반에서는 계획된 면을 따라, 절취면을 얻기 위해 장전된 공 사이에 guide hole을 천공함으로써 개선될 수도 있다.
- ⑧ 장약공들 사이에 장전하지 않은 guide hole들은 모든 암질에서 좋은 최종결과를 내지만 천공비용이 많이 들어서 거의 이용되지 않는다.
- ⑨ 프리스프리티팅 공들은 스무스 블라스팅에서 보다 간격이 더 좁다.

(6) 제어발파의 공법 비교

[표 4.3.3] 제어발파 공법의 특징

심발 공법	장 점	단 점
Line Drilling	• 적은 장약으로 굴착선 이상으로 손실을 일으킬 때 이용할 수 있다.	• 균질한 암석외에는 결과 예상 불가 • 공 간격이 좁아서 천공비용이 높다. • 천공수가 많아서 시간이 많이 소비된다. • 천공시 작은 편향도 나쁜 결과 초래
Cushion Blasting	• 공간격이 넓어서 천공은 줄어든다. • 좋은 암질이 아니더라도 좋은 결과를 얻을 수 있다.	• 쿠션 발파공을 점화하기 전에 주발파를 마칠 필요가 있다.
Smooth Blasting	• 공간격이 늘어 천공비용 감소 • 부정합 암반구조에서 결과가 좋다. • 스무스 블라스팅이 전 채굴이 필요없음 • 특수장약이 주변공장약을 잘 배분시킴	• 타 조절발파와 비교시 특별한 단점 없음
Pre Splitting	• 균일한 암질에서 결과가 좋음 • 불균일한 암질에서 guide hole을 천공한다 면 다른 방법보다 좋은 결과를 낸다.	• 스무스 블라스팅에서 보다 천공수가 더 많아 소음과 진동문제가 발생한다.

4.3.4 폭약

(1) 작업조건과 사용목적에 맞는 폭약을 선택하기 위해서는 이용할 폭약의 기본적인 성능을 고려해야 한다.

(2) 폭약의 장단점을 특징짓는 중요 성질

- 폭광속도 (velocity of detonation)
- 강도 (strength)
- 순폭도
- 밀도(density)
- 내수성(water resistance)
- 예민성(sensitivity)
- 동결에 대한 내한성
- 산소 균형(oxygen balance)
- 내용 년수(life time)

(3) 폭 속(velocity of detonation)

- ① 폭약이 폭광하는 속도를 말한다.
- ② 일반적으로 폭속이 빠른 폭약은 폭력이 크고 동일 폭약일지라도 여러 가지 요인에 따라 변화한다.
- ③ 보통은 내경 35mm 철관의 밀폐상태에서 측정된 수치를 나타내며, 약경이 작으면 폭속이 저하되는 현상을 볼 수 있다.

(4) 강도(strength)

- ① 폭약의 위력을 표시하는 방법은 여러 가지가 있으나 보통은 strength로 비교한다.
- ② Strength는 weight strength와 bulk strength의 두 가지의 종류가 있으며 주로 weight strength가 현장에서 쓰인다.
- ③ Weight strength란 blasting gelatine(nitroglycerine 92%, nitrocellulose 8%)의 단위 중량의 위력과 비교한 수치(%)로 나타낸다.

(5) 기타 성질

위 두 가지 이외에도 폭약 선정시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 비중
- 방수
- 동결
- 폭력
- 저장 및 취급의 안전도
- 유독 가스 발생량

$$\bullet \text{ 순폭도} = \frac{L}{d} = \frac{\text{최대 순폭거리(mm)}}{\text{시험약포의 지름(mm)}} \quad [\text{식 4.3.2}]$$

(6) 폭약의 종류

[표 4.3.4] 폭약의 종류 및 특성

구 분	다이내마이트	함수폭약	에멀전폭약	ANFO 폭약	정밀폭약	도폭선
폭속(m/s)	5,500~6,700	4,500~4,800	4,500~5,500	2,800	3,900~4,400	7,000
가비중(g/cc)	1.3~1.6	1.1~1.2	1.1~1.3	0.9	1.0	-
내수성	우수	최우수	최우수	취약	보통	우수
위 력	최우수	우수	우수	보통	보통	우수
내한성(°C)	-20	-5	-20	-30	-20	-
후가스(ℓ/kg)	880~900	680~760	810~890	970	640~740	-

4.3.5 뇌관⁵⁾

(1) 개요

- ① 뇌관의 종류에는 공업뇌관, 전기뇌관, 비전기식 뇌관 등이 있다.
- ② 공업뇌관은 관체를 둥으로 제조한 것과 알루미늄으로 제조한 것이 있다.
- ③ 전기뇌관 중에는 순발용과 1/10초단위를 단차로 하는 DS전기뇌관 및 1/1000초 단위를 단차로 하는 MS뇌관 등이 있으며, 이들 뇌관은 기폭역할을 한다.

(2) 뇌관의 종류 : 전기뇌관, 비전기식뇌관, 전자뇌관 등이 있으며 [표4.3.5]는 뇌관의 특징을 비교한 것이다.

5) 발파작업 안전관리 지침(도연건 18702-3157 2000.9.18)

[표 4.3.5] 뇌관의 특징

구분	전기뇌관	비전기뇌관
장점	• 가격이 저렴 • 소할발파에 간편 • 결선후 확인이 용이 • 보관 및 취급이 용이 • 대중화되어 있어 취급이 용이	• 무한 단차대이며 정확한 초시정밀도 확보 • 진동 및 소음이 적어 도심발파에 적합 • 결선이 쉽다(사용이 안전하고 다양) • 시공시간 절감 • 정전기, 낙뢰, 미주전류, 누설전류에 안전 • 순폭거리가 짧아 안전하다(20mm미만)
단점	• 대발파에 사용 곤란 • 발파단차가 한정됨 • 도심발파(미진동발파)에 부적합 • 전기적이 위험이 있다. • 중파(AM방송)에 위험 • 발파기 테스터 등 검사기기 필요	• 고가이며, 전기발파에 비해 뇌관수 증가 • 결선여부를 육안 확인만 가능
용도	소발파	대발파, 소발파, 소할발파

4.3.6 발파소음진동⁶⁾

(1) 발파소음진동 일반사항

- ① 발파를 통한 굴착은 화약의 폭발시 발생하는 충격압과 가스압을 이용하여 굴착단면의 암석을 제거하게 된다.
- ② 이 충격압과 가스압은 암반 깊숙이 탄성파의 형태로 전파되어 지반의 진동을 유발하게 된다.
- ③ 즉, 폭약이 장약공 내에서 폭발하면 강력한 폭굉충격과 함께 에너지가 주위의 암반에 전달된다.
- ④ 이러한 충격과 에너지는 여러형태의 암반의 파괴를 일으키게 되며, 발파에 의한 에너지의 5~20%는 탄성파의 형태로 암반중에 전파되어 지반의 진동을 발생시키게 되는 데 이를 발파진동이라 한다.
- ⑤ 발파설계시에는 발파소음이나 진동이 주변환경에 미치는 영향을 고려하여 대책을 수립하여야 한다. 엄격한 진동규제를 필요로 할 때에는 방진대책을 제시하거나 미진동 굴착공법, 정밀진동 제어발파 등을 검토하여 소음진동 허용기준을 만족시켜야 한다.

(2) 발파소음진동에 영향을 주는 요인

- ① 지질조건(암의 종류, 암의 물리적 특성)
 - ② 벤치의 높이
 - ③ 자유면의 수
 - ④ 구조물을 향한 자유면의 각도
 - ⑤ 최소저항선 및 공간격
 - ⑥ Sub-drilling
 - ⑦ 전색물의 종류 및 전색장
 - ⑧ 한열에 천공된 공수 및 열(row)의 개수
 - ⑨ 화약의 종류에 따른 특성
- 가. 화약의 에너지 및 실제 작용하는 에너지

6) 발파작업 안전관리 지침(도연건 18702-3157 2000.9.18)

나. 기폭약의 조성 및 종류

다. 전폭약의 조성 및 종류

- ⑩ 지발당 장약량
- ⑪ 천공내의 장약의 단수(number of decks)
- ⑫ 장전의 기하 형태(장전밀도)
- ⑬ 장약의 길이
- ⑭ 기폭방법(정기폭, 역기폭) 및 기폭시차의 정확성
- ⑮ 열~열간의 지발시간
- ⑯ 동일공내의 지발시간
- ⑰ 폭원과 측정간의 거리(구조물과의 거리)

(3) 허용 소음진동 기준치

- ① 터널 갱구부에서 발파소음으로 인한 환경영향이 우려되는 경우 방음시설(방음문, 방음둑, 방음벽 등)을 설치하는 등 적극적인 대책을 마련
- ② 소음·진동 규제법
 - 가. 생활소음 규제기준(공사장 소음기준)

[단위 : dB(V)]

대상지역	조식 (05:00~08:00, 18:00~22:00)	주간 (08:00~18:00)	심야 (22:00~ 05:00)	비고
주거지역, 녹지지역 등	60이하	65이하(75이하)	50이하	(발파소음)
기타지역	65이하	70이하(80이하)	50이하	

나. 진동관련 규제기준

[단위 : dB(V)]

대상지역	주간 (06:00~22:00)	심야 (22:00~06:00)	비고
주거지역, 녹지지역 등	65이하(75이하)	60이하	(발파진동)
기타지역	70이하(80이하)	65이하	

[단위 : cm/sec]

구분	가축류 등	문화재 및 진동 예민 구조물	가옥 (조적)	가옥 (RC조)	공업용 건물	철골 구조
발파 진동 속도	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0

④ 지하구조물에 대한 영향 및 허용한계

가. 라이닝을 하지 않은 지하터널의 발파진동의 허용치(A.J, Hendron(1997))

(가) 피해의 범위를 완전붕락, 붕락, 부분붕락 또는 낙반 그리고 소규모 낙석발생 구역의 4개 범위로 나눈다.

(나) 각 영역에서는 환산거리, 변형률, 진동속도 등을 구함.

(다) 여기서 구해진 낙석이 발생할 수 있는 진동속도 허용치는 90cm/sec 이며 안전율을 고려할 경우 진동허용치는 46cm/sec이다.

나. 숏크리트 라이닝시 지하구조물의 진동허용치

(가) 발파진동에 의해 영향을 받는데, 숏크리트에 미세균열이 발생하기 시작하는 진동속도가 90cm/sec로 측정한 바 있다.

(나) 또한 지하매설 파이프의 경우 23.0cm/sec, 지하의 콘크리트의 경우는 25.4cm/sec의 균열과 파괴가 일어나지 않는 진동속도 허용치가 제시된 바 있다.

⑤ 양생 콘크리트, 기계류 등에 대한 영향 및 허용한계

가. 양생중인 콘크리트

(가) 대개 진동에 대한 콘크리트의 저항력은 그강도에 비례한다고 본다.

(나) 그러나 양생중인 콘크리트 타설 또는 양생중인 콘크리트에서는 진동에 대한 민감한 시기가 있다.(10~20시간 사이)

(다) 이때 균열이 발생하는 최저 진동속도는 15.9cm/sec 이었다.

나. 기계류에 대한 영향 및 허용한계

(가) 터빈과 같이 크고 비싼 회전장비 근처에서 발파가 행해질 때, 베어링에 미치는 발파 진동의 피해문제가 대두된다.

(나) 발파진동의 허용수준에 대한 평가는 기계 자체에 의해서 일어나는 지 속적인 축진동의 표준 허용한계로부터 구할 수 있으며, 단일 발파에서 발파진동의 한계는 최소한 자체 진동에 대한 제작 허용치이내로 한다.

다. 전기장비에 대한 영향 및 허용한계

(가) 전기장비에 대한 미해군의 환경진동한계를 살펴보면 Computer에서 가장 민감한 디스크드라이브의 경우 그 한계는 6.0cm/sec 정도이다.

(나) 전화교환설비의 경우 1.7cm/sec이다.

(4) 발파진동 저감 대책)

① 발파원으로부터 진동을 억제하는 방법

가. 장약량의 제한

(가) 발파진동에 있어서 지발당장약량은 가장 중요한 변수이다.

(나) 지발당장약량을 감소시키기 위해서는 터널발파의 경우에 먼저 LP뇌관을 사용하여 제발약량을 감소시킨다.

(다) 진동을 감소시킬 필요가 있을 때는 한 발파당 굴진장을 감소시키거나 단면을 분할해

서 발파하는 것이 효과적이다.

(라) 또한 최소저항선과 공간격을 축소시킴으로서 장약량을 감소시킬 수 있으며, 약경을 천궁지름에 비해 작게 하여 디커플링 효과를 이용하는 것도 유용한 방법이다.

(마) 터널발파에서는 심배기 점화에서 일어나는 진동이 크므로 MS뇌관을 사용하여 진동의 상호간섭을 이용하여 경감시키거나, 이중 심배기를 하는 방법이 있다.

(바) 벤치발파의 경우에는 벤치높이를 감소해야 한다.

나. 점화 방법의 분할

(가) 발파를 몇 개의 구역으로 분할하여 별도로 점화하는 방법과 LP지발뇌관을 사용하는 방법이 있다.

(나) 그러나 지발시간이 너무 짧은 경우에는 발파진동의 경감효과가 감소하므로 유의해야 한다.

다. 저폭속 폭약의 사용

(가) 발파진동은 폭약에너지의 충격파에 의한 동적파괴의 경우에 더욱 커지게 된다.

(나) 발파진동을 경감시키기 위해서는 동적 파괴효과의 비율이 적은 폭약, 즉 저폭속폭약을 사용하는 것이 효과적이다.

라. MS뇌관의 사용

(가) 지발당장약량을 다시 MS뇌관을 사용하여 점화하면 제발발파에 비하여 진동의 상호간섭에 의하여 진동을 경감시킨다.

(나) 제발발파와 같은 효과를 거둘수 있어 벤치발파에 주로 이용된다.

② 전파하는 진동을 차단하는 방법

가. 적당한 발파설계를 하여야 한다.

(가) 자유면이 많으면 진동은 흡수되므로 내부에서 발생한 압축파가 인접한 보어홀(Bore Hole)에 의해 감소 될 수 있도록 설계를 하여야 한다.

(나) 지연시간을 조절하는 방법이 필요한데 주로 DS뇌관을 이용한 단발발파를 하여야 한다.

(다) MS뇌관을 사용하는 것이 효과적이라고 주장하는 사람도 있으나 너무 지연시간이 짧은 MS뇌관은 별로 효과가 없다고 한다.

(라) 미국에서는 MS뇌관의 시차가 8ms(milli-second)이내의 것은 동일 단발로 간주하여 단발의 개념은 8ms이상으로 규정짓고 있다.

나. 적당한 비장약(Specific charge)을 사용하여야 한다.

(가) 과도한 비장약은 발파진동과 폭풍을 증가시키고 지나친 파쇄와 암석의 비산을 유발시킨다.

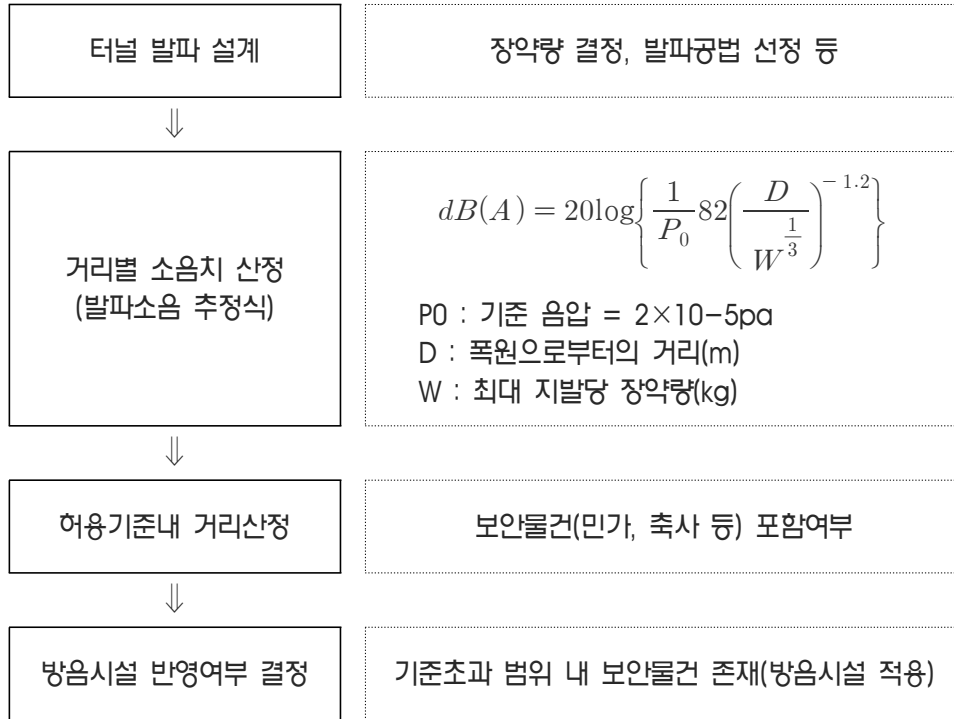
(나) 반대로 과소한 비장약은 자유면에서 반사되는 충격파의 효과를 감소시켜 발파효과를 감소시키고 발파진동을 증가시키는 경향이 있다.

다. 계단발파에서 공간격(spacing) 대 최소저항선(burden)의 비는 같게 하거나 가능하면 1보다 크게 한다. 그러나 연약한 암반에서는 그 비율을 1보다 작게 해서 사용한다.

라. 가능한 외주공의 간격을 짧게 하여 천공을 하며 방진공의 천공을 한다.

마. 방진공은 발파공의 깊이 보다 최소한 1.5배 정도를 실시할 경우 효과적이라고 보고되어 있다.

③ 갱구부 방음시설 설계적용 절차



④ 방음시설 적용방안

구분	방음문	방음커텐	가설방음벽(판넬)
개요	 - 터널 갱구 전면부 설치	 - 터널갱구내부 또는 전면부 설치	 - 환경영향평가 등에 의거 터널외부설치
단가	22,400천원/개소 (2차로 기준)	3,610천원/개소 (2차로 기준)	210천원/m (H=4.0m 기준)
기능	- 터널내부 발파소음 차단	- 소음저감 보완적 기능 - 방음문 병행 설치시 환기, 통행 등 일부 장애 요인	- 터널외부 발파 소음 및 비산 차단 효과

가. 터널내부 발파소음 저감 필요시 : 방음문 적용

(가) 발파소음 추정식을 이용한 소음영향검토 결과 기준치를 초과하는 경우

(나) 축사의 경우는 환경영향평가(환경분쟁조정 사례) 등을 참고하여 별도 검토 필요

나. 발파소음 저감을 위한 보완적 기능 필요시 : 방음커텐 적용

(가) 소음기준치를 만족하여 방음문을 미 설치한 경우라도 발파소음으로 인해 민원(생활불편 등)이 우려되는 경우 : 갱구 전면부 설치 ➡ 방음문 설치시 방음커텐 미적용

- 다. 터널외부(갱구입구, 절토부 등) 발파시 소음·진동저감
 (가) 환경영향평가에 의한 가설방음벽(방음판넬) 등 적용
 (나) 육상부 암발파 설계 및 계측 적용기준에 의한 발파설계

4.3.7 발파충압 경감⁸⁾

(1) 발파충압의 경감의 개요

- ① 발파충압의 경감대책은 발파진동의 경감대책과 유사한 점이 많다.
- ② 돌 다 전파의 매질만 다를 뿐, 파동의 형태라는 것에는 차이가 없기 때문이다.
- ③ 다만 발파충압의 경우 바람이나 온도의 영향을 많이 받기 때문에 이러한 점을 고려해야 한다.
- ④ 터널갱구부에서 발파소음으로 인한 환경영향이 우려되는 경우 방음시설(방음문, 방음둑, 방음벽 등)을 설치하는 등 적극적인 대책을 마련하여야 한다.

(2) 발파충압 경감대책

- ① 각각의 발파공으로부터 발생하는 충압이 중첩되어 강화되는 것을 피하기 위하여 연속되는 발파의 시간간격을 다음과 같이 하여야 한다.

$$T \geq 2 (S / V) \quad \text{[식 4.3.4]}$$

여기서, T : Time between hole detonation(sec)

S : Spacing between holes(in)

V : 온도에 따른 음파속도(m/sec)

- ② 벤치높이를 줄이거나 천공지름을 작게하는 등의 방법을 통해 지발당 장약량을 감소시켜, 최소한의 필요 화약량을 사용한다.(지발당 장약량)
- ③ 온도나 바람 등의 기후조건이 인근 구조물에 발파충압의 집중을 초래할 가능성이 있는 장소에서는 발파를 연기하거나 피해야 한다.
- ④ 기폭방법에서는 정기폭보다는 역기폭을 사용한다.
 (공저기폭에 의해 전색부분에서의 가스분출이 감소한다.)
- ⑤ 방음벽을 설치함으로써 소리의 전파를 차단한다.
- ⑥ 불량한 암질, 풍화암 등 폭발가스가 새어 발파충압이 되는 원인에 주의하고 전색효과가 좋은 전색물을 사용하며, 완전전색이 이루어지도록 한다.
 (암분보다는 4~9mm의 입도 쇄석쪽이 보다 훌륭한 전색효과를 가져온다)
- ⑦ 주택가에서의 소할발파에 불이기발파를 하지말 것과 짧은 천공발파를 하는 경우 모래주머니 등으로 덮는다. 그리고 도폭선 사용을 피한다.
- ⑧ 불량한 암질부분, 여굴부분, 토층 부근에서는 가스의 분출에 유의.
 (전기기폭이 허용되지 않을 경우에는 비전기식기폭을 사용하고 부득이 도폭선의 사용시 최저 60cm이상의 모래를 피복하여 흡수체를 만든다.)

8) 발파작업 안전관리 지침(도연건 18702-3157 2000.9.18)

- ⑨ 계획된 발파패턴을 유지하기위해 천공의 정밀도를 높인다.
(하중이 너무 무거울 경우 구멍의 collar에서 가스분출의 경향이 있다.)
- ⑩ 발파규모를 적게하면 폭풍압이 감소하는 경향이 있다.
- ⑪ 벤치발파에서는 가능하면 자유면의 방향이 보안물건으로 향하지 않게 한다.
- ⑫ 균열이나 틈새에 과장약할 위험을 최소한으로 하기 위해 폭약높이의 상승을 체크한다.
- ⑬ 저항선이 너무 짧지 않게 한다.
- ⑭ 발파시 방호매트를 덮으면 비석을 억제하고 폭풍을 약화시킨다.
- ⑮ 바람의 속도와 방향은 폭풍강도에 큰 영향을 미치므로 가능하면 문제가 있는 방향으로 바람이 불고 있는 경우에는 발파를 극력 피한다.
- ⑯ 온도역전이 일어나기 쉬운 조조 또는 오후 늦게나 밤에는 발파를 피한다.
- ⑰ 주변의 소음레벨이 가장 클 때, 주변의 주민이 바쁠 때, 주변의 주민이발파가 있다고 생각할 때에 발파를 하도록 한다.
- ⑱ 각 발파직전에 경보를 한다.
- ⑲ 주민과의 관계를 좋게 유지한다.

4.3.8 여 굴

(1) 여굴의 발생 원인

- ① 사용장비에 의한 원인
- ② 천공위치 및 천공기능에 의한 원인
- ③ 천공 로드의 힘에 의한 원인
- ④ 사용 발파법에 의한 원인
- ⑤ 지질구조적인 원인

(2) 과다 여굴방지를 위한 고려사항

- ① 스무스 블라스팅공법 채택
- ② 매 공종별 발파후 가능한 한 조속히 초기 보강(숏크리트 타설) 실시
- ③ 적정 사용장비의 선정
- ④ 숙련된 작업원 활용 및 기능교육 실시
- ⑤ 정밀폭약 사용 및 적정량의 폭약량 사용
- ⑥ 예상되는 연약지반에는 선진그라우팅 실시

(3) 여굴에 관한 규정 및 허용기준

- ① 여굴에 관한 기준(건교부 표준품셈)

[표 4.3.7] 암뚫기 여굴량의 표준

구 분	아치부	측벽부	바닥 및 인버트	비 고
여굴두께 (mm)	150~200	100~150	100~150	

② 여굴의 설계 반영

- 가. 통상 터널 굴착공사 설계시에는 건교부 표준품셈에 명시된 수치를 적용하고는 있으나, 실제 시공에 있어서는 전술한 각종 원인이 복합적으로 작용하여 상당한 차이를 보이고 있다.

4.3.9 발파 패턴의 결정⁹⁾

- (1) 발파 패턴을 결정할 때는 암질, 굴착면, 천공 비용, 시공성 등 전술한 비교 항목들을 충족하는 방법으로 단독 선정하거나 조합하여 결정한다.
- (2) 굴착 공법과 발파 공법에 대한 보다 상세한 내용은 관련 기술서를 참조하여 설계에 반영할 수 있다.
- (3) [표 4.3.8]는 터널 굴착 발파공법 표준안의 설정으로 현지암반의 특성과 사용 폭약의 특성을 면밀히 검토하여 별도의 발파패턴을 결정할 수 있다.

[표 4.3.8] 터널굴착 발파공법 표준 예

구분	암종	심발법	굴진장	화약	기폭시스템
TYPE-1	경암	Cylinder Cut	3.5m	ANFO	비전기식
TYPE-2	보통암	Cylinder Cut	3.5m	ANFO	비전기식
TYPE-3	연암	Cylinder Cut	2.0m	ANFO	비전기식
TYPE-4	중화암	V - Cut	상반:1.5m/하반:3.0m	에멀전	비전기식
TYPE-5	중화토	V - Cut	1.2m	에멀전	비전기식
TYPE-6	강구부	V - Cut	1.2m	에멀전	비전기식

9) 터널굴착공법 개선방안(설계개 16210-159, 1996.05.31)