

발파소음진동 저감기술

On the reducing method of Vibration and Noise in Blasting

安 明 碩*

M. S. Ahn

1. 발파 소음진동의 특성

1-1. 發破異論과 騒音 · 振動 發生 메카니즘

1) 누구동 이론(Crater Theory) : 균질한 암반에 적당량의 폭약을 적당한 깊이에 장전하여 발파하면 원뿔모양의 파쇄공 즉 누구동이 생기는데 이누구동의 모양과 크기는 암반의 종류와 폭약의 위력 및 메지의 정도에 따라 달라지며 약실의 위치와 자유면의 거리에 따라서도 달라진다.

* 누구지수(漏斗指數, n)

$$n = \frac{R}{W} \quad \begin{array}{l} W : \text{최소저항선} \\ R : \text{누구동의 반지름} \end{array}$$

** 누구동 시험발파에서 누구지수가 1인 경우를 標準裝藥이라 한다.

$$\left(n = \frac{R}{W} > 1 \text{ 過裝藥}, n = \frac{R}{W} < 1 \text{ 弱裝藥} \right)$$

2) 발파 기본식(Hauser의 공식) : 표준발파의 장약량은 누구공의 부피에 비례한다.(n=1일때만 적용)

$$L = CW^3 = CV$$

C : 비례상수(암석성질, 폭약성능, 전색상태 등에 의해 결정)

L : 장약량(kg)

W : 최소저항선(m)

V : 누구공의 부피($V \approx W^3$)

* 장약량 보정식

$$L = f(n)CW^3 \quad \begin{array}{l} f(n) : \text{누구지수의 함수} \\ g : \text{암석계수} \\ e : \text{폭약계수} \\ d : \text{전색계수} \end{array}$$
$$= f(n)g \cdot e \cdot d \cdot W^3$$

** 장약량 계산 例

$$L = f(n) \cdot g \cdot e \cdot d \cdot W^3$$
$$= 1 \times 2.09 \times 1.6 \times 1 \approx 3.34 \text{kg}$$

(GD25mm사용시 : $3.34 \div 0.125 = 26.72 \approx 27$ 개)

L : 1m³를 발파하는데 필요한 폭약량(kg)
누구지수함수 f(n) =
1(최소저항선 1m 누구인 경우)
화강암 암반 → g=2.09
NG30%스트레스 다이어마이트 → e=1.6
점토로 완전전색 → d=1
최소저항선 1m → W=1

3) 암반의 인장파괴와 소음진동 발생메카니즘

발파작업에서 폭약의 폭굉압은 기폭후 수 μsec에서 최고값에 이르고 압력은 10만 기압 이상으로 추정되며 온도는 3,000℃ 이상으로 추정되는데 이러한 고온으로 인해 폭원에서 수십mm이내의 암석은 용융되고 동적응력의 개방으로 미세한 입자로 분쇄된다(분쇄대는 장약실의 약2배 정도).

* (株)한화 釜山支店 發破技術部長

그리고 폭원근처에서 옆방향의 전단응력이 커서 폭원을 중심으로 반지름방향으로 균열이 생기게 되어 폭원근처에는 분쇄대(粉碎帶)에 이어 잔균열이 많이 생기게 되어 세쇄대(細碎帶)를 형성하게 된다.

폭원에서 발생한 충격파는 자유면 근처에서 입사되는 입사응력파와 반사응력파(인장응력파)가 겹쳐 복합응력상태가 되는데 암석은 압축강도에 의해 인장도가 훨씬 약하므로($\frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$ 정도)인장파에서 보다 많이 파괴된다.(Hopkinson effect)

* 이와같이 암석파괴에 소요된 후 잔여 충격파는 탄성파(彈性波)로 변환되어 발파진동으로 소비되며(총에너지 중 0.5~20%)일부는 파쇄되는 암괴를 통하여 소음 및 폭풍압(공중충격파)으로 대기중으로 방출(또는 비석발생)하게 된다.

2-2. 발파 소음진동의 특징

1) 발파진동의 전파특성

화약 폭발시 발생하는 충격압과 가스압을 암반을 매체로 하여 지반내를 파동하면서 탄성파 형태로 전파되어 지반진동을 유발하게 된다.

발파진동은 진폭과 주기를 갖는 진동이며 그 크기는 진동을 전달하는 매질(岩盤)의 변위(particle displacement, u), 진동속도(particle velocity, v), 진동가속도(particle acceleration, a)로 다음과 같이 표시할 수 있으며 이들은 서로 상호관계를 가진다.(표-1)

$$u = \int v dt, v = \int a dt, a = v, v = u$$

(표-1) 진동의 단위표시

성분	표시단위
변위	cm, mm, μ , inch
속도	cm/sec(Kine), mm/sec, inch/sec
가속도	cm/sec ² (gal), G(1G=1000gal)
주파수	cycle/sec(C.P.S), Hz

발파진동은 지진진동에 비하여 지속시간이 짧고 주파수범위도 수십에서 수백Hz인 고주파인 관계로 감쇄가 쉽게 일어나며 파형이 비교적 단순하다. 그리고 지진진동피해의 경우는 보통 가속도로 표시하고 있으나 발파진동에서 구조물의 피해정도는 진동속도에 비례하기 때문에 세계각국에서는 대부분 발파진동의 규제기준을 진동속도로 정하고 있다.(표-2)

(표-2) 발파진동과 지진과의 비교

	발파진동	자연지진
전원의 깊이	지표 또는 지표 가까운 내부	지하 10km이상
진동주파수	수10~수100Hz	1Hz정도 또는 그 이하
자동계속시간	1sec이내	10sec 이상
진동파형	비교적 단순	복잡

* 발파진동속도와 지발당 장약량및 거리와의 관계식

발파진동은 입지조건과 발파조건에 관계가 있지만 특히 압축강도, 총리 절리등의 불연속면의 상태 즉 암반의 상태가 더욱 중요한 영향을 미친다. 여러학자들의 연구결과 구조물의 피해 척도가되는 지반의 진동속도를 지발당 최대 장약량과 거리를 매개변수로 하여 다음과 같은 관계식을 도출하였다.

$$V = K \left(\frac{D^{-n}}{W^b} \right)$$

V : 진동의 입자속도(cm/sec)
 K : 상수
 D : 폭원으로 부터의 거리(m)
 W : 지발당 장약량(kg)
 b : 1/2 또는 1/3
 n : 감쇄지수
 D/W^b : 환산거리(Scaled Distance, SD)

일반적으로 근거리에서는 삼승근($b=1/3=삼승근환산거리$)이, 원거리에서는 자승근($b=1/2=$

자승근환산거리)이 안전율이 더 높다. 기준거리는 시험발파 데이터를 분석한 그래프에 의해 판단할 수 있다.

2) 발파풍압(폭풍압, 소음)의 전파특성)

폭풍압은 폭발에너지가 파쇄되는 압력을 통하여 대기중으로 방출되는 몇가지 유형의 공중충격파(압축파)에 의해 발생하는데 압반의 변위로 인한 공기압력파에 의한 발파풍압이 대부분이다. 발파풍압의 세기는 압력의 단위나 데시벨(dB)단위로 표현할 수 있으며 두단위 사이에는 다음의 관계가 성립된다.

$$dB = 20 \log 10 \left[\frac{P}{P^0} \right]$$

P : over pressure in psi
 P° : 기준치로서 사람이 인 지할 수 있는 최저의 음압
 (2.9 × 10⁻⁹ psi
 = 2 × 10⁻⁷ 5Pa)

이때 공중에서 생기는 파동은 폭원근방에서는 충격파의 형태를 취하며 공기중을 음속보다 빠른속도로 전파한다. 폭원에서 어느정도 떨어진데에는 음파로 전파하게 되며 소음의 대상은 주로 음파로서의 폭발음(발파소음)이다. 발파소음은 지속시간이 대단히 짧고 주파는 50~2,000Hz범위내에 분포되

며 주된 주파수는 50~150Hz정도이다.

2. 소음 진동의 영향요소

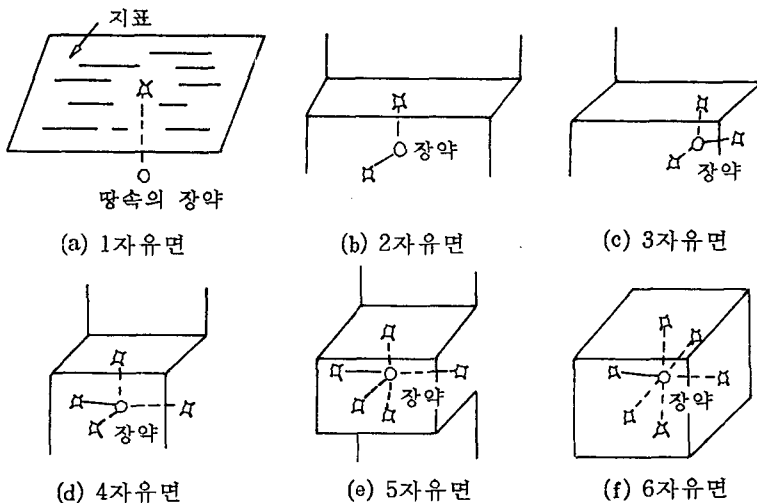
2-1. 발파방법에 따른 영향

1) 자유면의 영향

암반발파에서 자유면쪽은 저항이 없어서 폭발에너지가 암반에 미치는 응력이 다른면보다 더 많이 적용하므로 발파효과는 자유면의 수에 따라 증가한다. 즉, 자유면이 많을수록 장약량은 적어지므로 소음진동의 발생경향도 적어진다.(그림 4)

2) 발파공법의 영향

터널 발파에서는 일반적으로 심빼기에서 소음진동의 영향이 가장 크다. 심빼기중 Parallel cut 보다는 Angle cut가 소음진동 발생경향이 적다고하며 그중 V-cut (Double 혹은 Baby V-cut 포함)가 대체로 발생경향이 적다. 주변공 발파시에는 Decoupling Effect 이론을 응용한 제어발파(Smooth Blasting)공법을 적용시 여굴의 방지와 함께 진동을 현저히 줄일 수 있다.(그림 5)



[그림 4] 여러 가지 자유면수

도로개착 등 노천발파에서는 진동저감방법으로 Pre-splitting, Cushion Blasting, Line Drilling 을 들 수 있다. Line Drilling의 경우 터널, 도로 등의 공사에서 광범위하게 적용할 수 있고 효과도 매우 좋은 편이나 공사비가 많이 든다는 단점이 있다.

3) 작업방향의 영향

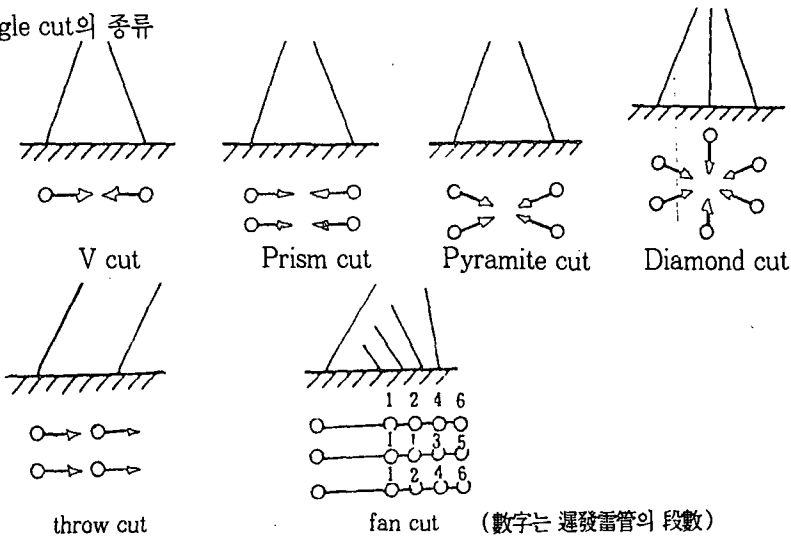
절리나 편리 등이 많은 경우 진동은 감소하나 소음 및 비산의 우려가 높다. 이 경우 천공장이 깊을 수록 메지가 확실할수록 소음의 영향은 줄어든다.

2-2. 폭약종류와 사용량에 따른 영향

1) 폭약의 영향

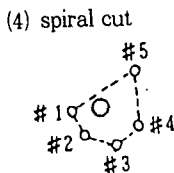
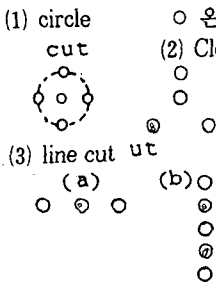
다이ना이트등 고퍽속화약일 수록 동적효과가 크므로 소음·진동의 우려는 커지고 함수폭약, 미진동파쇄기등 저폭속의 정적효과를 이용한 화약일 수록 소음·진동의 발생은 적어지나 발파효과가 나빠지는 경향이 있다.

1) Angle cut의 종류



2) Parallel cut의 종류

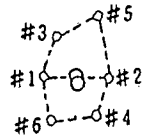
1. Burn cut



(5) cylinder cut



2. Coromant cut



3. No cut



[그림 5] 심뎀기의 이 있다. 종류

2-3. 작업 조건에 따른 영향

1) 대체로 장공 및 대구경발파의 경우 소음진동의 영향은 커진다.(소형착암기<점보드릴<크로라드릴)

2) 함수율이 높은 지형 혹은 비온후, 개울 근처 등에서의 발파는 소음진동이 커진다.

3) 흐린날, 저기압등 기후조건이 좋지않을때는 소음진동의 영향을 커진다.

3. 소음진동 규제기준

3-1. 외국의 규제기준

1) 구조물에 대한 진동규제기준

발파로인한 구조물의 피해는 대상구조물에 따라 나라에 따라 다양하며 여러 실험결과와 보고 및 기준을 소개하면 스웨덴의 Langefors는 7cm/sec이하에서는 건물에 피해가 없다고 보고하였으며 캐나다의 Edwards와 Northwood는 5cm/sec를 허용한계로 제시했고 미광무국은 5cm/sec를 제시했었다. 또한 Esteves는 지반조건이 좋지 못한 경우 0.25cm/sec, 내진구조물의 경우 6cm/sec를 허용진동치로 보고하였다. Siskind는 진동속도에 대한 주파수의 영향을 고려하여 주파수 40Hz이상은 5cm/sec로 적용할 수 있으나 40Hz이하는 1.2cm/sec로 허용치를 낮추어 적용할 것을 보고하였다. 또한 독일에서는 1986년에 기존의 안전기준을 완화하면서 주파수별로 세분하여 허용진동치를 재설정하였다. <표-3>

<표 3-1> 독일의 진동규제기준(개정전)

구분	건물의 종류	진동기준(cm/sec)
I	문화재	0.2
II	실금있는 빌딩	0.4
III	좋은상태의 빌딩	0.8
IV	공장, 무근콘크리트	1.0~4.0

<표 3-2> 독일의 진동규제기준(1986개정)

건물종류	진동기준 (cm/sec)		
	주진동주파수		
	<10Hz	10~50Hz	50~100Hz
민감지역	0.3	0.3~0.8	0.8~2.0
주택지역	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0
공업지역	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0

2) 발파풍압(소음)에 대한 규제기준

발파진동에 의한 영향에 비하면 발파풍압이 구조물에 미치는 영향은 크지 않다. 그러나 구조물보다 감수성이 예민한 인체의 경우 불쾌감을 느끼고 심하면 이명(귀울림), 난청, 고막 파손을 일으키기도 한다. 미광무국의 연구결과에 의하면 시설물에 영향을 미치지 않는 발파풍압은 129~134dB이라고 한다(유리창파손 : 160dB)인체에 대한 영향으로는 일본의 연구결과에 의하면 120dB에서 고통을 받기 시작하고, 150dB에서 고막이 손상된다고 한다.

Du Pont사에서 제안한 인체에 영향을 미치지 않는 음압수준은 115dB이다.

3-2. 우리나라의 적용(설정)에

1) 진동안전기준

우리나라의 경우는 발파진동에 대한 규제기준은 설정되어 있지 않다. 서울·부산의 지하철 건설시 자체기준을 설정하였으며 일반적으로 0.5cm/sec를 적용하였을 때 양호한 결과를 얻을 수 있었다. <표-4> 서울대학교 공학연구소 이정인교수의 연구결과보고서에 의하면 정상적인 지상구조물의 경우 2.5cm/sec를 한계허용진동속도치로 설정하였을 때 충분하다는 결론을 얻었다. 또한 그는 주파수의 영향을 고려하여 10~35Hz에서는 1~2cm/sec, 35Hz이상에서는 5cm/sec를 허용기준으로 제시한 바 있다.

(표-4)

서울·부산 지하철공사시 발파진동 허용치

구	분	I	II	III	IV
건물분류	문화재		주택, 아파트(실금이 나타나 있는 정도)	상가(금이 없는 상태)	무근콘크리트 빌딩 및 공장
건물기초에서의 허용진동치 (cm/sec)		0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

* 주파수는 100Hz이하에서 통용.

2) 소음안전기준

우리나라의 경우 소음진동규제법에 의하면 생활 소음규제기준의 경우 45~80dB(A)로 설정되어 있고 공사장의 경우 55~70dB(A)로 되어있다. 발파소음의 경우 규제기준이 명시 되어있지 않으나 발생이 유사한 운행자동차의 배기소음기준을 소개 하면 경자동차의 경우 105dB(A)이하, 중량자동차 110dB(A)이하, 이륜자동차 115dB(A)이하, 경적소음 115dB(A)이하로 규제되었으므로 자체통제기준을 115dB(A)이하로 함이 적절할 것이다.

8) 암반중에 천공이나 균열을 주어 발생·전달 되는 지반진동을 흡수·차단시킨다.(Pre-Splitting, Line Drilling)

9) 기폭방법은 가능한 정기폭 보다는 역기폭 을 사용한다.

10) 풍화암, 절리등이 있는 불량한 암반에는 폭발가스가 분출될 우려가 있으므로 천공 및 전색 에 주의해야 하며 전색효과가 우수한 전색물을 사 용한다.

4. 소음진동 저감 기술

4-1. 발파기술상 저감방안

1) 장약량을 안전발파한계 이내로 감소시킨 다.(지발전기뇌관 및 다단식 발파기 사용)

2) 한발파당 굴진장을 감소시키거나 단면을 분할 발파한다.(그림 6)

3) 최소저항선과 공간격을 축소시킨다.

4) 측면발파는 약경을 천공지름에 비해 작게 하는 디커플링효과를 이용한다.

5) 심폐기발파는 MS뇌관을 사용하여 진동의 상호간섭을 이용하거나 이중심폐기를 한다.

6) 벤치발파에서는 벤치의 높이를 줄이거나 천공지름을 작게하여 지발당 장약량을 감소시킨다.

7) 진동의 전파경로에 절리, 층리를 두거나 인공적인 균열이나 도랑을 설치하여 전파되는 탄성 파를 흡수 감소시킨다.

4-2. 화약 사용에 의한 저감방안

1) 저폭속, 저비중의 에멀전폭약이나 함수폭 약, 초안폭약, 미진동파쇄기(진동경감에는 유효하 나 발파효과는 나빠진다)등을 사용한다.

2) 1회 발파량이 많은 대발파에는 MSD뇌관 이나 DSD뇌관을 사용하여 발파소음 진동을 분산 한다.(MSD사용시 동수, 동약량의 제발발파에 비 해 진동을 1/3이하로 줄일수도 있다)

3) 발파공수가 적거나 약 70~100공의 부분 발파일때는 MSD와 DSD를 조합한 전기식뇌관을 사용하고 약 100공이상으로 발파공수가 많거나 전 단면 발파일때는 비전기식뇌관(HINEL, EXEL, NONEL)을 사용한 발파패턴을 설계한다.(그림 7)

4) 약장약은 발파효과가 감소되고 과장약은 진동과 폭풍이 증가하면서 파쇄와 비산을 일으키 므로 소음진동을 경감하기 위해서 적당한 비장약을 한다.

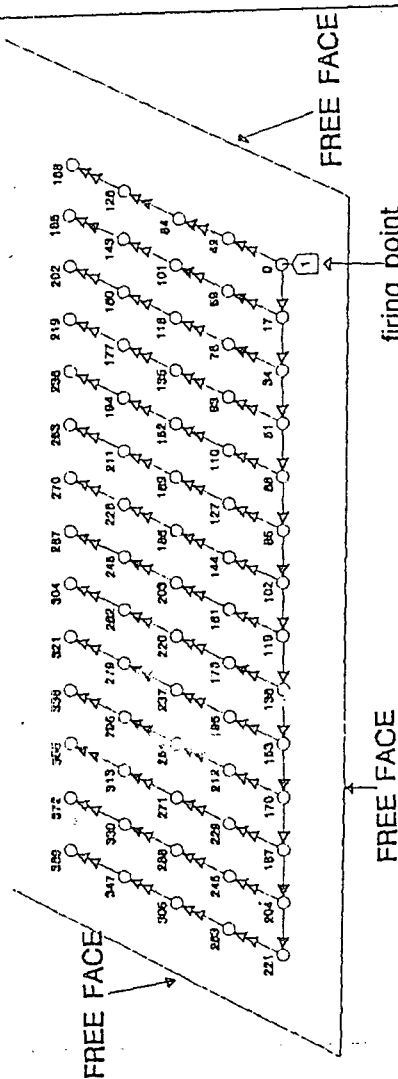
5) 가능한 도폭선사용을 피한다.

Legend
 ↑ TLD 17
 ↑ TLD 42

Surface
 ○ Nominal
 — Bench
 □ Not Def.

Inhole MS #8

* SITE : IN-CHON L.N.G CONT.(BENCH BLASTING)



#DESIGNER : HANWHA CORP.(BLAST ENG. TEAM) '94.01.06

[그림 7] 노천발파의 설계 예(비전기식뇌관 사용)

4-3. 작업조건에 의한 저감방안

1) 발파대상암반의 종류, 강도, 규모등의 특성을 파악하고 주변지형과 지질, 보안물건과의 거리, 풍속, 풍향 등을 고려하여 발파설계를 한 후 시험발파를 하고 그 결과를 참고하여 설계를 재조정한다.

2) 착암작업시 발생하는 소음의 외부 유출감을 위해 방진카바사용 그라스울, 스펀지, 담요, 스티로폴 등 구하기 쉽고 설치가 간단한 흡음재를 사용한다.(그림 8)

3) 착암작업시는 작업자에게 귀마개, 귀덮개 등의 방음보호구를 꼭 착용토록 하고 장시간 작업시 작업시간조정이나 휴식시간을 두도록 한다.

4) 소음발생이 심하거나 병원, 학교등 주요 보안물건이 있을때는 방음울타리나 방음벽을 설치하고 흡음재를 부착하는 등 특별한 대책을 세우고 필요시에는 전문소음방지 시설업체를 통한 전문차음시설을 하고 작업시간을 조절한다.

5) 착암작업과 발파작업 중에도 작업소음을 정기, 비정기적으로 측정하고 주기적인 청력검사 등을 한다.

6) 발파음은 기압, 풍향등과 밀접한 관계가 있으며 10~20dB정도 증감된다는 보고가 있으므로 발파작업시에는 일기관계도 충분히 고려해야겠다.

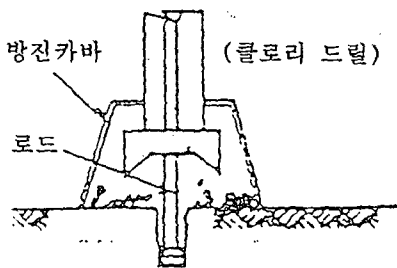
4-4. 굴삭장비에 의한 저감방법

1) 유압 착암기는 소형 착암기에 비해 소음이 약 10~20dB(A)정도가 감소되므로 장시간 작업이나 까다로운 작업장에는 가능한 유압 착암기를 사용한다.(캐빈식 유압 착암기 → 소음 및 먼지피해 현저히 감소)

2) 절리, 풍화등이 적은 중경암이상의 강도 암석은 브레이카작업을 금하고 로드 헤더등 특수 굴삭장비를 사용한다.

3) 균질 암반 2km이상 터널 작업시에는 TBM사용을 고려해본다.(구경 8.5m 이상은 TBE로 확장)

4) 도심지 주택 인접지역과 같이 민원우려지역은 다루다(DARDA)등 할석기를 이용한 파쇄법을 적용한다.(경제성은 화약발파의 약 10배, 팽창성 파쇄제의 1/2정도임)

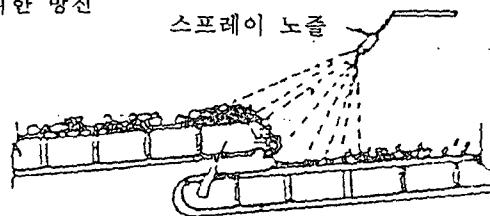


a) 방진카바에 의한 방진



b) 벽에 의한 방진

(벨트 콘베이어)



c) 스프레이에 의한 방진

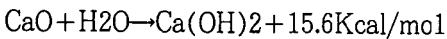
[그림 8] 공사장비의 방진 예

4-5. 무소음 무진동 파쇄법(팽창성 파쇄제공법)

(표-5) 암석 종류별 소요 팽창력

1) 팽창성 파쇄제의 원리

팽창성 파쇄제는 규산염 무기화합물을 주성분으로 하여 생석회와 물이 반응하여 소석회를 생성한다. 생성한 수산화칼슘은 시간경과와 함께 CaO입자주위에 이중, 삼중으로 이방성 육각판상으로 성장하여 서로 합치되어 밀기 때문에 결정압 즉 팽창압이 생긴다.[그림 9]



1 0.32 : 1.32 <중량비>

1 : 1.99 <용적비>

2) 파쇄 공법의 원리

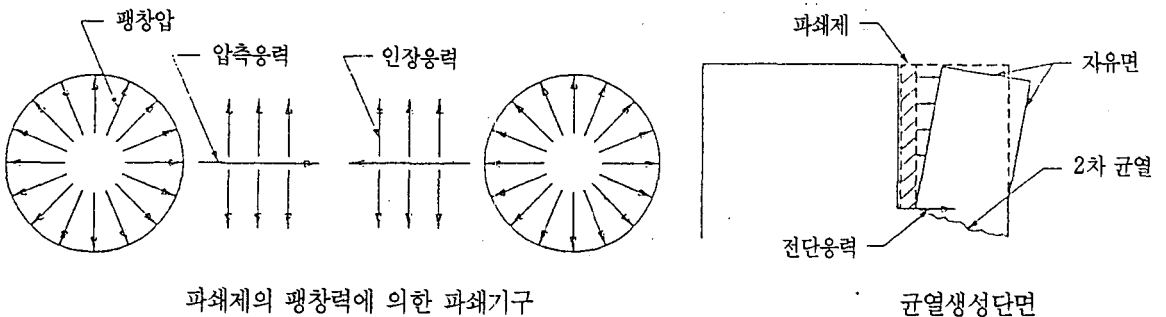
암석은 일반적으로 압축강도는 크지만 인장강도는 압축강도의 10% 정도 밖에 되지 않으므로 인장방향에 수직인 단면에서는 파쇄되기 쉬운 성질을 가지고 있다. 그러므로 천공된 구멍에 물과 혼합한 파쇄제를 주입하면 약 300kg/cm²의 팽창압력을 발생하여 공주벽으로 압축응력 발생과 함께 직각방향에 인장응력이 작용하여 균열을 발생시키고 확대되어 파쇄가 일어난다.(표-5) 참조

3) 파쇄방법

파쇄설계는 지질, 지형에 대한 사전조사와 공정, 공사조건을 고려하여 검토한다. 파쇄제의 파쇄력을 최대한으로 높이기 위해서는 층리, 절리등의 지질특성을 충분히 고려하여 현장파쇄시험을 거쳐 시공할 것을 권장한다.(표-6)

(표-6) 파쇄물의 종류별 천공경과 천공간격(2자유면이상 : 경험치)

파쇄물의 종류	공간격/공경	천공간격의 표준거리	
		40mm	50mm
연 암	12~15	480~600	600~750
중 경 암	10~13	400~520	500~650
경 암	7~11	280~440	350~550
무근 콘크리트	10~15	400~600	500~750
철근 콘크리트	6~8	240~320	300~400



[그림 9] 파쇄제의 파쇄원리

4) 안전(주의)사항

① 파쇄제 혼합은 20kg기준으로 약 1분이내로 하고 혼합 완료후 5분이내에 천공된 구멍에 신속히 주입한다.

② 성분은 무기질로써 PH12~13의 강알칼리이므로 작업시 필수 헬멧, 보호 안경, 고무장갑을 착용한다.

③ 정해진 적용온도 범위(고온용 : 30도 이상, 중온용 : 15~30도, 저온용 : 5~15도)와 공경과 공장의 한계범위 초과사용은 금한다.

④ 충전후 구열발생이나 5시간 경과할 때까지 절대로 다가서지 않는다.

⑤ 작업중 실수로 눈에 들어가면 절대로 비비지 말고 즉시 세안하고 안과의의 진단을 받는다.(안과 의사에게는 생석회가 주성분임을 설명한다.)

⑥ 파이프, 병등의 용기에는 토출현상을 일으키므로 충전하지 않는다.

⑦ 배합은 깨끗한 물로 속결성은 20%, 일반은 30%로 배합하고 배합량도 속결성은 5kg에 1ℓ, 일반은 10kg에 3ℓ로 규정이상 하지 않는다.

⑧ 충진이 끝난후 절대로 들여다 보지않고 보호시트를 꼭 덮고 분출현상이 있더라도 들어가지 않는다.

5) 무진동 굴착공법의 경제성<표-7>

<표-7>

무진동(미진동)굴착공법

구분	미진동기	팽창성제	가스압법	급속유압법
제품종류	CCR : (주)한화	① 비폭성파쇄제 : 쌍용양회 ② BENTONITE : KUBATEC (스위스) ③ BRISTAR : 오노다시멘트(일본)	CARDOX : PIKROSE CO (영국)	① DARADA : H. DARADA CO.(독일) ② BURSTING SYSTEM : HYDROSTRES CO(스위스)
파쇄원리	고열·고압에 의한 팽창력 이용	석회계규산염주체무기화합물의 경화팽창력 이용	액화CO ₂ 가스 기화시 발생하는 급속 가스압력이용	급속유압을 이용한 JACK원리
공해정도	소음·진동 약간발생	무진동 무소음	소음·진동 약간발생	무진동 무소음
작업허가조건	총포화약류 단속법적용	자격·허가 불필요	자격·허가 불필요	자격·허가 불필요
파쇄시간	3시간 이내	12시간 이내	즉시	즉시
천공조건:(천공경) (천공깊이) (천공간격)	40mm이내 2m이내 양호 천공 경의 30배 이내	35~75mm 통상 1.5m이내 천공 경의 14배 이내	45~65mm 통상 2m이내 1.5이내	46~48mm 1.0m이내 0.6m이내
시공성	주변환경과 허용진동속도에 따른 변수가 많다. 2차파쇄가 필요함	현장작업조건에 따라 작업효율의 변수가 많음. 2차파쇄가 필요함	TUBE사용량에 따라 작업량 좌우 연암:2m ² /TUBE 경암:1~1.5m ² /TUBE 2차파쇄가 필요함	연암:30m ² 일/대 경암:20m ² 일/대 2차파쇄가 필요함
경제성(원/m ² ,개략단가)	28,000	70,000	45,000	55,000

5. 기타 환경안전대책

5-1. 분진(DUST)방지대책

1) 지형과 기후, 풍향, 풍속등을 고려하여 분진대책을 세우고 설계시공한다. 기온차가 적은날을 택하고 피해우려지역에 반대되도록 풍향을 고려하며 흐린날이나 비온후가 분진공해 측면에서는 유리함을 감안한다.

2) 착암작업자의 건강관리를 위해 방진마스크 등의 보호장비 착용의 습관화와 작업시간을 조정하고 습식착암기의 사용을 권장한다.

3) 분진발생시 심할때는 작업장의 내외부와 인근에 살수하는 방법이 가장쉽고 좋은 방법이다. 분진이 특히 심할 때는 강제통풍이나 이동식 집진기의 설치도 고려해 볼 수 있다.

4) 분진피해 예상 주변지역에 대해 세탁물, 음식물 등의 관리요령을 홍보하고 발파 완료후 주변에 대해 대청소를 실시하는등 작업후의 청소대책도 세운다.

5-2. 비석(FLY ROCK)방지대책

1) 암반의 상황, 단층, 균열, 지질 등을 미리 잘 조사하여 천공위치, 약량등을 정확히 산출하고 표준암반에 대해 시험발파를 하여 적정장약량을 정하는등 발파계획을 철저히 수립한다.

2) 발파계획시의 최소저항선과 실제천공한 최소저항선이 꼭 같도록 채굴면과 천공방향과의 각도가 틀리지 않도록 주의한다.

3) 적정약량을 장약하더라도 장약위치가 알개 되면 과장약이 되고 깊게되면 약장약이 되므로 계획된 위치에 장약의 중심을 잡을 수 있도록 한다.

4) 과장약이나 자유면에 부석이 있는 경우 최

소저항선의 방향으로 비석발생이 우려되므로 방호구는 가능한 무겁고 질긴 것으로 겹치거나 엮어낸다.

5) 약장약, 메지재질불량, 전색불충분, 연한 암반 천공시 구멍주변에 절리가 있는 경우 등에는 천공한 방향으로 비석이 생길 수 있으므로 주의한다.

6) 천공후 구멍속을 깨끗이하고 작은돌이나 토사유입을 방지하기 위해 마개를 잘하여야 하며 장약시에는 구멍입구로 유입되는 토사나 천공속의 절리 등으로 인해 떨어지는 작은돌의 걸림에 유의하여 장약하도록 한다.

7) 비석을 방지하기 위해서는 발파대상 암석 부위에 방호구를 직접 씌우는 방법이 가장 유효하다. 방호구로는 보통 다다미나 헨가마니, 헨타이어, 매트 및 고무판등으로 덮어주며 브라스팅 매트(Blasting mat), 그로스 매트(Gros mat), 링 매트(Ring mat)등의 사용도 권장한다.

8) 절리암체의 경우 천공작업시에는 절리면에서 최소 3~5cm정도 떨어진 위치에 장약실을 선정한다.

9) 착암시 장약실시 층리면에 위치하지 않도록 천공장을 연장하거나 공저를 점토로 충전한다. (층리암체여부는 Bit충격반응으로 확인가능)

10) 절리층리가 발달한 암반굴착시는 경험이 많고 유능한 착암공을 채용하여 천공위치 선정에 더욱 정확을 기한다.

5-3. 정전기 안전대책

1) AN-FO를 장전할때는 급격한 장전을 금하고, 튜브사용시에는 대전방지용 비닐을 사용하여야 하며 장진시는 제전(除電)한후에 전폭약을 장

입 할 것.

2) 전기뇌관은 약 50mj에 견디는 내정뇌관 (耐靜雷管)을 사용할 것.

3) 대전한 분진, 매연, 눈이 부유할때나 천둥이 있을때는 산수(散水)하고 작업자를 그곳으로 피신시킨다.

4) 전기뇌관 각선은 장갑등을 끼고 강하게 반복해서 신장시키지 않는다.

5) 작업시에는 정전기대전방지용 가죽제안전 작업구두를 착용하고 대전방지 가공작업복을 착용한다.

6) 정전기에 의한 뇌관폭발해사례 및 방지 대책 등의 안전교육을 시킨다.

5-4. 낙뢰 안전대책

1) 지역에 따라 낙뢰빈도와 정도가 다르므로 기상청통계나 지역측우소데이터 및 일기예보를 참고하여 발파일시 설정에 참고한다.

2) 주위의 지형과 건물등을 충분히 조사하여 송전선, 수맥, 울타리, 하천의 흐름등 발파장소 주변 도체에 대해 주의하고 안전대피장소를 선정해 놓는다.

3) 뇌명, 번개가 없어도 대기위험상태를 경고

할 수 있는 천둥경보기를 설치하고 휴대용 라디오를 준비하는등 뇌운발생과 접근에 주의한다.

4) 천둥경보기가 위험상태에 있거나 뇌광과 뇌명의 간격이 24초정도(24초×340m/s=8,160m=천둥과의 거리)로 되었을 때는 전폭약과 전기뇌관의 취급 및 장전작업을 중지하고 안전장소로 대피한다.

5) 도체의 접지(갱내)통풍관, air pipe, 수도관등의 접지는 갱구부터 충분한 거리를 취하고 갱외에 설치할 것. 갱도내에 양전도성 지대가 있는 경우 금속도체 등을 그곳에 접지시켜 놓을 것.

6) 발파모선은 금속도체로부터 50cm이상 떼어 놓을 것, 모선은 통상 점화까지 단말을 단락시켜 놓은 것으로 되고 있지만 천둥 때문에 대피 할 때는 단말을 개방해 놓는 쪽이 유도에 의한 사고에 대해서는 안전한 쪽으로 된다. 발파 회로결선은 될 수록 짧게, LOOP면적을 작게 할 것.

7) 중기류운전자도 대피지시가 나오면 미리 정해진 안전한 장소로 대피할 것. 도체로 둘러싸인 운전대에 있으면 낙뢰에 대해서는 안전하지만 발파 회로의 폭발에 의한 2차적 재해로부터 몸을 지키기 위해서이다.

장인혼을 현장에 한국혼을 세계에

新 韓 國 創 造

깨 끓 한 政 府
튼 튼 한 經 濟
건 강 한 社 會
통 일 된 祖 國