

## 제8장 기타발파

### 8.1 연약지반 발파(Soft Bed Treatment Blasting)

폭약의 폭발력을 이용하여 연약지반(기초)을 처리하는 것은 매우 새로운 공법이다. 부두시설, 수로의 수문, 독크 같은 대부분의 중력식 수리구조물을 건설하는데는 구조물의 부등침하를 막기 위해서 견고한 지반이 필요하다. 발파에 의하여 연약지반을 처리한 방법에는

- ① 수중발파에 의한 연약 지반의 압밀과 다짐(Explosive Tamping)
- ② 발파에 의하여 진흙을 제거하고 채석 돌무더기를 치환하는 방법(Silt Removing and Rock Back-Filling) 등이 있다.

종전에는 견고한 지반을 만드는데 필수적인 사전 침하를 막기 위해 주로 말뚝을 설치하거나 해머다짐방법을 사용하였다. 그러나 최근에는 지반다짐발파(Explosive Tamping) 방법이 개발되면서, 공기의 단축은 물론이고 해머 다짐으로 인하여 발생하는 지표면 파괴현상과 공극증가도 막을 수 있게 되었다. 또한 다짐에너지가 넓고 깊은 지반을 다지는데 충분하지 않기 때문에 발생했던 부분적인 다짐현상을 다지는데 충분하지 않기 때문에 발생했던 부분적인 다짐 현상도 개선할 수 있게 되었다. 발파에 의하여 진동을 주면서 압축작용으로 지반을 다지는 것이 단순한 해머 압축보다 효과적이다.

발파치환방법을 진흙 위에 채석 돌무더기를 쌓아놓고 진흙 위에 화약을 장전하여 폭발시켜서 진흙이 밀려나가고, 돌무더기가 진흙을 차단하게 하는 방법이다. 이와 같은 작업을 반복하여 방파제나 항만 독크, 해안구조물 등을 건설하게 된다. 이 연약지반 처리공법은 중국과 학원에서 1980년대 개발하여 청도항과 황해연안 항만공사에서 많이 사용되었다.

### 8.2 Trim Blasting

- ① 주 발파부분을 점화한 후에 점화하는 것이다. 발파공의 장약밀도는 다음과 같이 Pre-Splitting 발파와 유사한 방법으로 설계한다.

$$L = \frac{Dh^2}{0.12} \quad (8.1)$$

여기서,  $L$  : 장약밀도( $g/m$ ),  $Dh$  : 장약공의 직경( $cm$ )

- ② 천공간격( $S$ )은 Pre-Splitting에서 보다 길게 하는데 대략적인 천공간격은 다음과 같은 식을 사용하여 결정할 수 있다.

$$S = 16Dh \quad (8.2)$$

- ③ Trim Blasting과 Pre-Splitting을 실시할 때 구속조건에 차이가 있는데 Pre-Splitting은 주 발파부분이 아직 점화되지 않은 상태에서 먼저 실시되기 때문에 저항선이 무한한 반면, Trim Blasting에서는 주 발파부분이 발파된 후에 점화되기 때문에 저항선은 정상적으로 적당한 거리를 가진다. 그러므로 Trim Blasting에서 저항선을 설계할 때는 숙고해야 한다.

- ④ Trim Blasting은 저항선을 향해 우선적으로 이동시키는 것이라기보다는 오히려 발파공들 사이에 적절하게 연결시킬 수 있는 파괴가 일어날 수 있도록 저항선을 공간격 보다 조금 길게 계획한다. 일반적으로 저항선( $B$ )은 다음과 같은 관계로 결정한다.

$$B = 1.3S$$

(8.3)

⑤ Trim Blasting에서 발파공 내의 전색과 장약은 Pre-Splitting의 것과 같으며, 일반적으로 Sub-Drilling은 필요하지 않지만, 파괴균열 Grade Line으로 발생할 수 있도록 공저에 집중장약을 실시한다. 공저의 집중 장약은 장약 밀도(g/m)의 2~3배 정도로 할 수 있다.

### 8.3 도심지 발파

시가지에서는 발파상 고려해야 할 요인이 많으므로 특히 주의를 기울여 계획을 진행할 필요가 있다. 계획은 발파공법을 경제성이나 시공 능률 등을 고려하고 비교하는 것이다. 건물 밀집 지역에서의 발파작업은 인간뿐만 아니라 구조물에도 위험을 준다. 따라서 이들 환경에 대해 충분한 책임을 갖고 계획하여 시공해야 하는 것이다. 시공 단계에서의 발파작업은 관계있는 건물이 아무런 영향을 받지 않도록 충분히 시공 전에 조사해 둘 필요가 있다. 시공상 문제가 발생하고 시공업자와 주민들 사이에서 협의해야만 할 때에는 이 조사의 결과가 효과가 있다. 건물을 조사하여 **균열계이지**, **진동계측기** 등을 설치하고 계측하는 것이 필요하며, 더욱이 허용 진동치를 정하여 지속적인 계측 관리로 초과하지 않도록 하는 것이 중요하다.

#### 1) 선행이완 발파

암반을 완전히 파쇄 시키지 않고 주위에 균열을 발달시킬 정도의 적은 양의 폭약을 사용하여 발파한 후 기계적인 Ripping방법으로 굴착하는 방법이다. 적용 사례를 보면, 폭약의 양을 비장약량  $0.12 \sim 0.06 \text{ kg/m}^3$ 의 적은 양을 사용하여 암반에 균열을 형성시킨 후 불도저로 Ripping한 경우가 있다.

#### 2) 콘크리트 파쇄기

콘크리트 파쇄기는 미진동 파쇄기라고도 하며, 이것은 발파될 때 가스가 발생하지 않고 단열 팽창으로 암석의 균열을 생성하게 한다. 폭발 반응이 느리고 파괴력이 약하여 심한 진동이나 비산을 거의 발생시키지 않는 방법이다.

#### 3) 비폭성 팽창제

규산염 또는 석회 무기 화합물을 주제로 하는 분말로서, 천공을 하고 팽창제를 넣고 물을 혼합하면 시간이 경과하면서 높은 열과 체적 팽창으로 암석에 균열을 발생시킨다. 팽창성 파쇄제의 주성분은 산화칼슘으로서, 물과 반응하여 미세한 콜로이드상의 수산화칼슘을 생성하면서 체적이 팽창한다. 팽창제가 주위에 벽으로 둘러싸여 있으면 주벽에 팽창압을 발생시킨다. 팽창제를 이용한 설계에서 공 지름과 공 간격의 결정은 식 (8.4)을 이용할 수 있다.

$$S = Kd$$

(8.4)

여기서,  $S$  : 공 간격(cm),  $d$  : 공 지름(cm),  $K$  : 파쇄 계수

파쇄계수  $K$ 는 암석의 특성과 자유면 조건에 따라 다르며, 팽창제 종류와 반응에 영향을 주는 외부 온도에 따라서도 달라지므로, 팽창제 종류와 암반 조건에 따라 시험을 통하여 결정

할 필요가 있다. 표 8.1은 국내에서 제작되는 팽창제의 종류로서, 외부 기온 조건에 따라 서로 다른 규격이 생산되고 있다. 파쇄 대상별 체적당 사용량은 표 8.2와 같다.

표 8.1 비폭성 팽창제의 종류

온 도	공 지름	표준 공 지름	적용 온도 범위
겨울용	소구경	40mm	10℃ 이하
봄·가을용			10~20℃
여름용			20℃ 이상
겨울용	대구경	65mm	10℃ 이하
봄·가을용			10~20℃
여름용			20℃ 이상

표 8.2 파쇄대상별 체적당 사용량

파쇄 대상	재 료	공 간격/공 지름( mm )	체적당 사용량( kg/ m <sup>3</sup> )
암 석	풍화암	14~15	6~8
	연 암	11~13	8~11
	보통암	10~11	11~14
	경 암	9~10	14~17
콘크리트	무 근	12~15	6~10
	철 근	7~12	10~30

#### 4) 유압식 활석기

유압식 활석기의 형태는 크게 두 가지로, 공 안에 삽입하는 Splitter에 힘을 가하는 방식에 따라 기계식과 팽창식으로 분류할 수 있다. Splitter는 췌기에 의해 공안의 접촉부에서부터 작업면의 자유면까지 전파되는 균열을 발생시키기 위해 힘을 발생시킨다. 이러한 작업을 수행하기 위해서 이 장비는 일반적으로 유압 실린더 및 피스톤, 유압 실린더에 의해 작동되어 힘을 전달하는 췌기와 이 힘을 공벽에 작용시켜 주는 날개부로 구성된다. 이와 같은 형태의 유압식 Splitter는 췌기에 힘을 가하는 방법에 따라 두 가지 형태로 분류할 수 있다. 첫째, 췌기를 공 하부 쪽으로 밀어 날개에 힘을 전달하는 형태로서, 작업할 때에 췌기가 공 하부에 닿아서 손상을 입는 경우가 종종 있다. 이러한 단점을 없애기 위해 췌기를 장비 쪽으로 당김으로써 날개에 힘을 전달하는 형태를 고려할 수 있다. 이것은 췌기가 날개 안쪽으로 철수될 때에 상대적으로 작은 인장 응력과 날개와 접촉되는 부분에서 더 큰 압축 응력을 췌기에서 받게 된다.

장비를 구성하는 주요 요소는 다음과 같다.

- ① 피스톤을 포함하는 유압 실린더부
- ② 피스톤과 실린더에 연결된 공 내 작동부
- ③ 동력부인 유압 펌프
- ④ 동력부와 작동부를 연결하는 고압 호스

## 5) 기타 방법

일반적인 발파 방법을 그대로 적용하면서 Pre-Splitting과 같은 방법을 병행하여 진동을 감쇄시키고, 비산이나 소음은 Blasting Mat를 이용하여 제어하는 방법이 있다.

### 8.3.1 무진동 파쇄제에 의한 파쇄

#### 1) 팽창성 파쇄제공법

요즘 증가하고 있는 시가지 또는 중요한 구조물, 시설물 가까이에서 암반 또는 콘크리트 등을 파쇄 해야 할 경우 제어발파공법 및 기계적 파쇄공법 등이 사용되고 있으나 소음, 비석, 진동 등의 공해에 대처하지 못하게 되는 경우가 있다. 이와 같은 경우에 주변 환경에 악영향을 미치지 않고 정적으로 파쇄를 실시할 수 있는 것이 팽창성 파쇄제에 의한 방법이다.

#### (1) 정적파쇄제의 반응과 파쇄기구

파쇄제는 **석회계 규산염 화합물**로 되어 있으며, 주성분인 산화칼슘(생석회)이 물과 반응하여 수화합으로써 산화칼슘 입자를 둘러싸듯이 미세한 Colloid상의 수산화칼슘(소석회)을 생성한다. 이 수산화칼슘의 수화층이 시간이 경과할수록 CaO입자 주위에 2중, 3중의 이방성 육각 판상으로 성장하여 **2.0~2.3배의 부피 팽창**으로 **결정압을 발생**시킨다. 이 결과 결정압은 장약공 벽에 팽창압으로 작용하는 파쇄에너지로 이용된다.

그림 8.1에 파쇄 원리를 제시한 바와 같이 이 장약공을 중심으로 한 압축응력의 발생과 함께 이에 직각방향으로 인장응력이 작용하여 주로 장약공과 장약공 사이를 연결하는 방향의 균열이 발생한다. 통상 암반은 팽창성 파쇄제에 의한 발생한 균열을 Breaker 등을 사용하여 성장, 발달시켜 모암으로부터 분리시키는 2차 파쇄를 실시하여 암반의 파쇄가 완료된다.

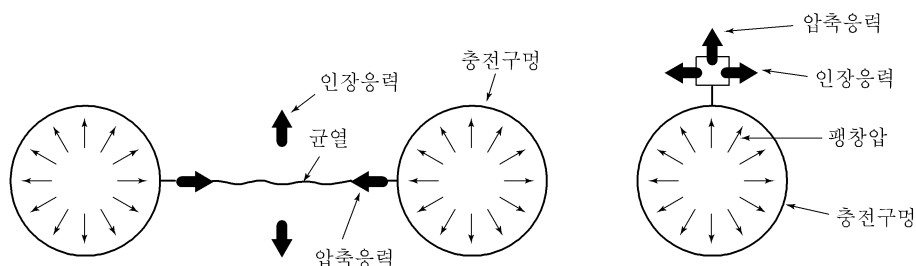


그림 8.1 팽창성 파쇄제에 의한 파쇄원리

#### (2) 파쇄제의 종류와 성능

파쇄제는 수화반응에 의해 2.0~2.3배 체적이 팽창하며, 그 팽창압에 의해 발생하는 인장응력이 피파괴체의 인장응력 이상이 되어 피파괴체에 잔금이가서 파쇄되는 것을 이용한 것이다. 이 방법에 의한 **일반적인 암석파쇄에서는 팽창압이  $300 \text{ kgf/cm}^2$  이상이 되면 파쇄**된다. 파쇄제에는 Capsule Type과 Bulk Type이 있으며, 사용조건에 따라 선택하여 사용되고 있다. 일반적인 비교를 표 8.3에 제시하였다. 파쇄제는 함수 후의 경과시간에 따라 발생 팽창압이 일정한 압력 수준까지 증가하게 된다. 표 8.4로 제시된 파쇄제 종류는 각 사용온도 범위에서 가장 효과가 있는 것들을 나타낸 것이다.

표 8.3 파쇄제의 Type과 적용범위

항목 \ 형태	Capsule	Bulk
적용 공경 (mm)	30~40	30~50
시공의 간편성	◎	△
대 량 시 공	△	◎
수 중 시 공	◎	△
수평 또는 상향공	◎	△
장 공	△	◎

주) ◎ : 우수, △ : 보통

표 8.4 정적파쇄제 종류와 적정온도

품명	종류 (파쇄제의 적용온도)	적용공경	사용물의 온도범위	사용방법	균열발생 기간의 기준
S-마이트	B(15~35℃) A( 5~20℃) S(-5~10℃) 기타 대공경용	34~40mm 55~65mm	20℃이하	분말제를 물로 섞어 갠 후 구멍에 부어 충전한다.(섞어 갠 후 5분 이내에 충전 할 것)	12~24시간
브라이스터	100(15~35℃) 150(10~20℃) 200( 5~10℃) 300(-5~ 5℃) 기타 대공경용	38~50mm 50~80mm	30℃이하 15℃이하 10℃이하 5℃이하		
스프리티어 (Splitter)	청색(20~35℃) 녹색(10~25℃) 오렌지색(15℃ 이하) 기타 대공경용	34~48mm 50~65mm	25℃이하	분말제를 물로 섞어 갠 후 구멍에 부어 충전한다.(섞어 갠 후 10분 이내에 충 전할 것)	
캄마이트	S형(20~35℃) M형(10~20℃) W형( 0~10℃) L형(-5~ 5℃) 기타 대공경용	30~50mm 50~70mm	25℃이하 20℃이하 10℃이하 5℃이하		
슈퍼 브라이스터	1000( 0~35℃)	42~67mm	5~25℃	구멍에 물을 붓는다. 다음에 가늘고 긴 고 름봉을 사용하면서 과립을 직접 구멍에 충전한다.	30~60분
S-마이트 슈퍼	B형(20~35℃) A형(10~20℃) S형( 0~10℃)	38~42mm	20℃이하	제료를 물에 담가 충 전한다.	30~60분
슈퍼 스프리티어	S <sub>1</sub> : 공경 40, 50mm는 20~35℃ 65mm는 0~10℃ S <sub>2</sub> : 공경 40mm는 0~10℃ 50mm는 5~20℃ 65mm는 0~10℃	40~65mm 40~65mm	25℃이하	제 포를 물에 담가 넣 어서 충전하거나, 기 계로 타격, 충전한 다.	

	$S_3$ : 공경 40mm는 0~10℃ 50mm는 0~ 5℃	40~50mm			
하이 컴마이트	S형(20~35℃) W형( 0~20℃)	38~42mm	30℃이하 20℃이하	제 포를 물에 담가, 꽃아서 충전한다.	30~120분

한편, 파쇄체의 팽창압은 물-팽창제 비(Water Ratio) 및 분위기 온도에 의해 영향을 받는다. 물-팽창제 비와의 관계를 그림 8.2에, 공경과의 관계를 그림 8.3에 제시하였다. 즉, 물비가 적을수록 팽창압은 크지만 한계가 있으며, 물비가 과소하면 팽창압이 발생하지 않는 경우도 있다. 파쇄체의 사용온도가 높을수록 팽창압력발생이 신속하고 외견상의 압력이 높아진다. 또 공경이 크거나 충전밀도가 높을수록 팽창압이 높게 된다. 일반적으로 물비는 27~30%에서 사용되며, 공경은 30~50mm 사이에서 사용되나 때로는 70~80mm의 공경을 이용하는 경우도 있다.

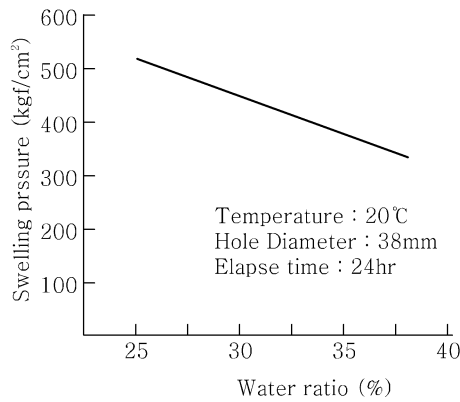


그림 8.2 팽창성 파쇄체의 수비와 팽창압의 관계

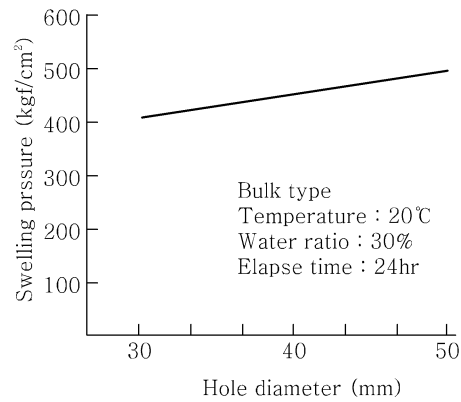


그림 8.3 공경과 팽창압의 관계

### (3) 파쇄설계

팽창제 사용에 의한 파쇄에서는 시험파쇄를 포함하는 설계로부터 팽창제에 의한 1차 파쇄, 중기 등에 의한 2차 파쇄까지 실시된다. 파쇄를 위한 시공 조건, 주변 환경에 따라 파쇄능률에 영향을 미치므로 다음 항목에 대하여 검토되어야 한다.

- ① 시공조건 : 처리수량, 공사기간, 시공위치
- ② 파쇄대상 : 암반 또는 해체하는 구조물 인장강도 및 정수
- ③ 파쇄체 형상 : 1자유면, 2자유면, 많은 자유면
- ④ 파쇄정도 : 완전 파쇄, 느슨한 파쇄

한편, 파쇄 패턴 설계는 다음 순서로 실시한다. 우선, 상기 각종 조건 및 준비할 수 있는 착암기 기종, 사용하는 파쇄제 형태 등에 의해 천공경을 선정한다. 이 경우 표준치는 표 8.6와 같다. 또한 천공 길이는 파쇄하는 대상별로 파쇄 높이에 대한 비율로 천공 길이를 취한다. 이 값은 표 8.7과 같다. 천공간격은 다음과 같은 식으로 산출할 수 있다.

$$S = \alpha \cdot \beta \cdot D \sqrt{2\gamma \cdot P / \sigma_t} \quad (8.5)$$

여기서,  $S$  : 공간격(cm),  $\alpha$  : 자유면 수에 따른 정수,  $\beta$  : 파쇄체 종류별 정수

$\gamma$  : 파쇄체 분류별 정수,  $P$  : 팽창압( $kg/cm^2$ ),  $\sigma_t$  : 파쇄체 인장강도( $kg/cm^2$ )

$D$  : 천공경(cm)

각 조건에 따른 정수값은 표 8.5와 같다.

표 8.5  $\alpha$ 와  $\beta$ 에 따른 정수값

구분	정수	비고	구분	정수	비고
$\alpha$	1.7	자유면 6개	$\gamma$	7.0	연 암
	1.5	자유면 3개		6.0	보통암
	1.2	자유면 1개		5.0	경 암
				3.0	철근콘크리트
$\beta$	1.0	암석, 콘크리트	$P$	300	표준치
	0.9	철근 1			
	0.8	철근 2			
	0.7	철근 3			

일반적으로 천공 간격은 조건에 따라 천공경의 6~14배의 값을 취하고, 장약량은 파쇄체 1  $m^3$ 당 5~30  $kg$  이하의 장약량으로 계획하여 시험파쇄를 실시한 다음 최종적으로 천공간격 및 적정 장약량을 결정한다. 파쇄제 사용량은 식 (8.3)으로 구할 수 있다.

$$M = \frac{m \cdot (1 + \delta)}{L \cdot S^2 \cdot \sin \theta \cdot R} \quad (8.6)$$

여기서,  $M$ : 파쇄제 사용량( $kg/m^3$ ),  $m$ : 1 $m$ 당 사용량( $kg/m$ ),  $\delta$ : 손실률(약 4%),  
 $L$ : 천공장( $m$ ),  $S$ : 천공간격( $m$ ),  $\theta$ : 천공각( $^\circ$ ),  $R$ : 굴착율(약 95%)

파쇄제는 혼합완료 후 5~10분 이내에 천공된 구멍에 신속히 주입하되 공이 넘치거나 부족하지 않게 한다. 오랜 시간 방치해 두면 유동성과 작업 성능을 잃게 된다.

표 8.6 파쇄제의 적용공경

형태	천공경( $mm$ )
capsule	34~40
bulk	30~50

표 8.7 파쇄제에 의한 파쇄시 천공길이

파쇄대상	천공장
전석	0.7~0.9 H
암반(2자유면)	1.1 H
무근콘크리트	0.7~0.9 H
철근콘크리트	0.8~0.9 H

표 8.8는 시험파쇄 설계를 실시할 때 참고하기 위해 제시한 것이다.

표 8.8 천공간격과 장약량

파쇄대상	천공간격	파쇄제량( $kg/m^3$ )
전 석	8~10 $d$	5~10
암반(2자유면)	8~14 $d$	7~15
무근콘크리트	9~14 $d$	7~15
철근콘크리트	6~9 $d$	15~30

#### (4) 보안상의 주의

어떤 원인에 의해 파쇄제의 온도 상승으로 장약공 내에 있던 자유수가 급격히 수증기화 된 압력으로 파쇄제가 심하게 분출할 때가 있다. 또한 파쇄제의 주성분인 산화칼슘은 강알칼리 성으로 눈에 들어가면 실명할 수도 있으므로 보안경을 착용해야 하며, 피부에 부착되면 피부가 거칠게 되는 경우가 있으므로 고무장갑 또는 보호면 등을 착용해야 한다. 또한 2차 파쇄작업 중에서도 보호안경을 착용하고 부근에 출입을 금지하며 충전 후에도 되도록 빠르게 시트 등으로 방호해야 한다.

#### 2) H.R.S 공법

유압을 이용한 파쇄공법의 하나로서, 암석의 인장강도가 압축강도에 비해 현저히 낮은 원리를 이용하여 주로 노천 암반 굴착에 많이 적용되는 무진동 굴착공법으로 암반내에 천공을 한 후, 유압장비를 사용하여 각 공들 사이로 유압을 작용시켜 암반에 균열을 발생시키는 공법이다.

##### (1) 파쇄원리

천공 Hole에 원형 할암봉을 삽입한 후 내부의 고무 튜브에 유압을 발생시켜 할암봉의 팽창으로 암반에 균열을 주는 공법이다.

##### (2) 시공순서

- ① 유압드릴로 암반이나 철근콘크리트 구조물에 절단하고자 하는 일정한 선을 따라 특정한 규격 및 간격으로 천공한다.
- ② 천공된 5개의 홀에 원통형 지향성 확장장치 5개를 특정한 방향과 깊이로 동시에 장착한다.
- ③ 컴퓨터로 제어되는 유압공급원을 조작하여 압력을 가한다.
- ④ 일정한 선을 따라 20mm 정도의 Stroke로 대상물을 절개한다.
- ⑤ 브레이커를 이용하여 절개된 암반을 모암에서 분리시킨다.

장점은 협소한 작업장에서 유리하고, 이동 및 현장 적응이 용이하다는 점이고, 단점은 파쇄비용이 발파비용보다 많이 들며, 2차 파쇄비용이 많으며, 부속장비가 고가이고 소모가 많고 교체시간이 길다는 점이다.

#### 3) DARDA

작은 천공 구멍에 썰기 덮개 날을 삽입한 후 유압 펌프를 작동시켜 썰기형식의 Wedge-Liner를 확대시키므로 천공열을 따라 암반에 균열을 발생시키는 공법으로 파쇄방법은 유압 크롤러 드릴로 암석을 천공 후 실린더를 구멍에 삽입하여 유압작을 작동하면 2~4초 후 피스톤을 밀고 나오며 피스톤 압(출력 365~500ton)으로 암석을 파쇄 한다.

장점은 협소한 작업장에서 유리하며, 이동 및 현장적응이 용이하며, 좁은 터파기(도로 측면) 등에 유리하고, 천공시 자재소모가 적으며, 계획 시공 가능, 여굴 최소화시행이 가능하다는 점이다. 단점은 Wedge가격이 고가품이고 소모가 많아 원가 상승요인이며, 파쇄비용이 발파비용보다 많이 들며, 2차 파쇄비용이 많으며, 부속장비가 고가이고 소모가 많고 교체시간이 길다.

#### 4) PRS-80공법



#### (1) 파쇄원리

천공된 구멍에 유압으로 작동되는 소형 피스톤이 다수 박힌 활암봉을 넣은 후 유압을 작동시켜 피스톤을 위로 밀어 돌을 강제로 파쇄 시키는 공법이다.

PRS-80의 장점은 파괴력과 활암력이 다른 장비에 비교하여 크기 때문에 1일 작업량이 많으며, 천공구경이 다양하여 현장의 상황에 맞추어 장비를 선택할 수 있으며, 구경이 작은 천공구를 사용할 때는 1일 천공수량이 타사보다 2배 이상 작업할 수 있다는 것이다.

그러나 단점은 파쇄비용이 발파비용보다 많이 들며, 2차 파쇄비용이 많다는 것이다.

#### (2) 작업순서

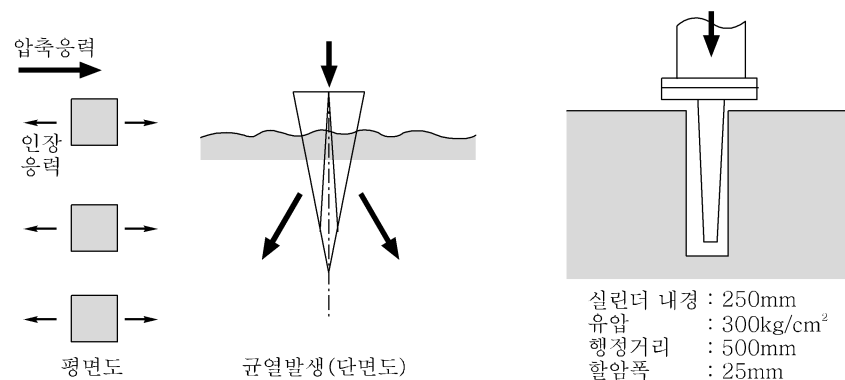
PRS-80공법의 일반적인 작업순서는 천공 → P.R.S봉 삽입 → 유압펌프작용 → 모암균열확인 → 균열 확인 후 P.R.S 제거 → 브레이커 2차 파쇄이다.

#### 5) BRS공법

천공 구멍에 쇠기 덮개 날을 삽입 후 굴삭기의 유압력을 이용하여 쇠기 덮개 날을 확대시킴으로써 암반파쇄를 유도하는 파쇄공법으로 연속적인 작업이 가능하며 현장시공 시 다음과 같은 단계로 진행된다.

#### (1) 파쇄원리

암반 등 대상물의 인장강도가 압축강도에 반비례함을 이용하여 파쇄 함으로써 압축강도가 높을수록(경암, 극경암 등) 쉽게 파쇄가 가능하다.



#### (2) 특징

##### ① 공사비 절감

BRS 공법은 기존 무진동 장비의 공법에 비하여 월등한 물량을 소화하며 장비 작동은 포클레인에 장착포클레인 유압을 그대로 사용하므로 간편하고 작동시간도 짧다.

##### ② 무공해 공법

완벽한 집진시설을 갖춘 유압드릴을 사용하여 천공하므로 분진이 없으며 1차 파쇄시에도 소음과 진동이 전혀 없다.

##### ③ 안정성

인력에 의존하여 장비를 조작하지 않고 포클레인에 장착 사용하므로써 작업높이 7m 파쇄도 가능하여 안전사고의 우려도 없다.

##### ④ 천공

89mm 천공으로 102~105mm의 천공보다 시간당 공수가 많다.

(3) 작업순서

- ① 천공 : 유압드릴로 89mm 깊이 2.5~3m
- ② 유압잭 : BRS로 1차 파쇄
- ③ 2차 파쇄 : 6~10급 브레이커로 2차 파쇄
- ④ 정리작업 : 파쇄된 암을 집토 상차

(4) 작업범위

- ① 터널공사 : 일반터널, T.B.M공 확장공사, 터널 철거작업
- ② 터파기 작업 : 수직, 수평, 사선 등
- ③ 수직구 작업 : 지하철 통신구 등 터파기 작업
- ④ 통신구, 전선구 터널작업

#### 8.4 트렌치 발파(Trench Blasting)

트렌치 발파는 오늘날 활발한 발파의 일부분으로 중요하다. 파이프라인 트렌치 발파는 기름과 가스 보급을 위한 육로를 횡단하기 위한 발파이다. 더구나 도시의 발달은 케이블, 하수도, 물 공급 등을 위해 트렌치 발파 증가를 필요로 한다. **트렌치 발파는 벤치발파의 형식이지만 벤치가 좁다.** 보통 벤치의 폭이 4m보다 적으면 트렌치 발파라 부른다. 트렌치 발파의 특징은 벤치의 높이에 비교하여 벤치의 폭이 작고 암석을 정상적인 벤치 발파 시 보다 더 압축시키기 위해서 높은 장약비와 천공비가 요구된다.

##### 1) 천공경

공경은 트렌치 발파의 계획에 따라 신중히 고려하여야 한다. 보통 크기의 공경 50~75mm는 Overbreak, 비석의 위험을 증가시키고, 높은 장약비로 지반진동도 증가한다.

$$d = \frac{W}{60} \quad (8.7)$$

여기서,  $d$  : 공경(mm),  $W$  : 트렌치 폭(mm)

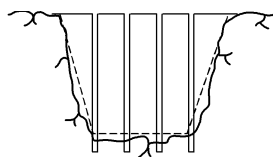


그림 8.5 작은 크기의 발파공경

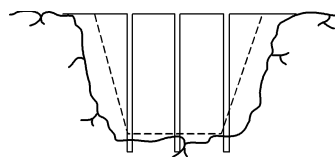


그림 8.6 보통 크기의 발파공경

##### 2) 발파방법

트렌치 발파 방법은 전통적 트렌치(Traditional Trench) 발파, 스무스월 트렌치(Smoothwall Trench) 발파를 사용한다.

###### (1) 전통적 트렌치 발파

전통적 트렌치 발파 방법은 가운데(중앙)공은 앞에 측벽(주변)공은 뒤에 위치한다(천조형).

모든 공의 장약량은 같고 중간 장약밀도는 정상적인 벤치발파보다 적다(하부장약 밀도는 증가). **장점**으로는 모든 공의 장약량이 동일하고, 지반진동이 적다는 것이고, **단점**은 천공패턴이 불균형하며, Overbreak가 발생한다는 것이다.

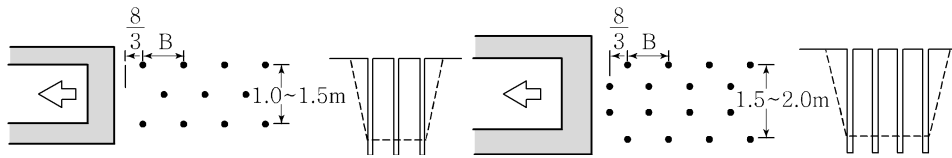


그림 8.7 Traditional Trench 발파 천공도

## (2) 스무스월 트렌치 발파

Smoothwall Trench 발파는 발파공을 1열에 한 줄로 있도록 하여 Overbreak를 감소시킨다. 측벽(주변)공은 모서리 파쇄를 증가시키므로 양쪽 측벽공의 장약밀도를 감소시켜야 하며, 가운데(중앙)공은 장약밀도를 증가시킨다. 측벽(주변)공의 장약밀도를 낮추면 Overbreak를 감소시킬 수 있다. 장약비는 Traditional Trench 발파와 같고 한 Round당 폭약의 분배는 정확하여야 한다. 측벽(주변)공의 낮은 장약비는 매지 길이를 감소시키고, Overbreak를 감소시켜 주변을 미려하게 하지만 짧은 매지는 비석의 위험을 증가시킨다.

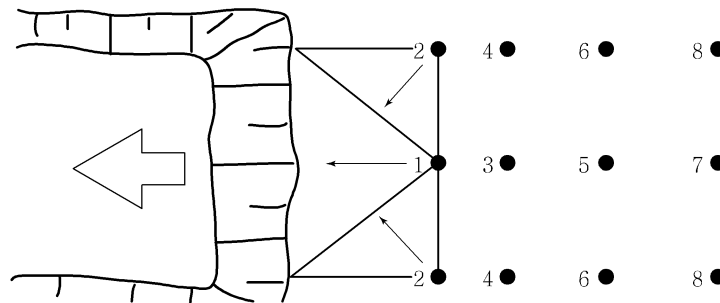


그림 8.8 Smoothwall Trench 발파

**장점**은 천공패턴이 일정하고, Overbreak 감소시킨다는 것이며, **단점**은 가운데(중앙)공과 측벽(주변)공과의 폭약량이 다르며, 가운데(중앙)공에 폭약량이 많기 때문에 지반진동이 크다는 것이다.

## 8.5 개간발파(농경발파)

폭약을 농경지에 응용할 경우에는 지나치게 깊게 굴착할 필요는 없으며 폭약으로는 강력한 폭약을 쓰는 것 보다 농지 용도상으로 보아 저비중 폭약을 사용하는 것이 효과적이다. 폭약에 의한 농경은 지중에 있는 해충을 구제한다는 이점도 있다. 농경 발파는 깊이 30~50cm로 하며 전후좌우 각 2m 간격으로 발파공을 천공한 후 1공당 장약량을 50~100g으로 하여 전기 뇌관이나 비전기식 뇌관을 사용하여 발파를 하는데 전기발파의 경우에는 제발발파에 의하지 말 것이며, 지발발파를 시행하는 것이 효과적이다. 과수목에 있어서 식목 후 30~40년이 경과되면 뿌리 부분의 점토나 이토가 경화되어 뿌리의 기능을 상실케 하므로 수목의 줄기에서

부터 2m정도 거리를 두고 50cm정도의 수직공을 천공하여 약 50g 폭약을 장전하여 폭파시키면 뿌리의 성장에 도움이 된다. 발 경작, 도랑파기, 나무뿌리 뽑기, 전주 또는 식수용 천공을 위한 발파를 개간발파 혹은 농경발파라고 한다.

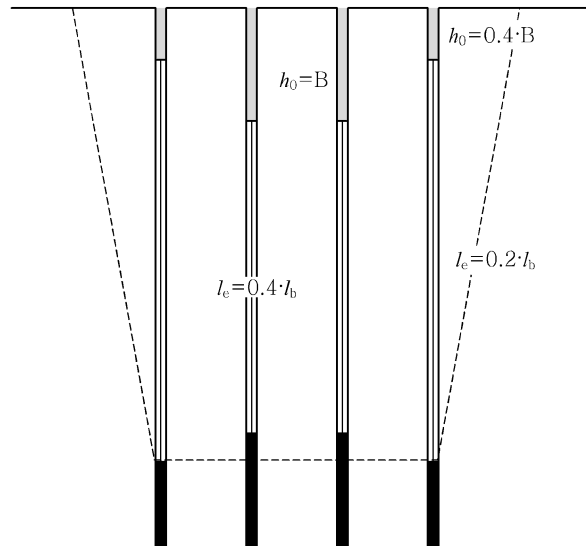


그림 8.9 발파공 하부, 중간장약 밀도

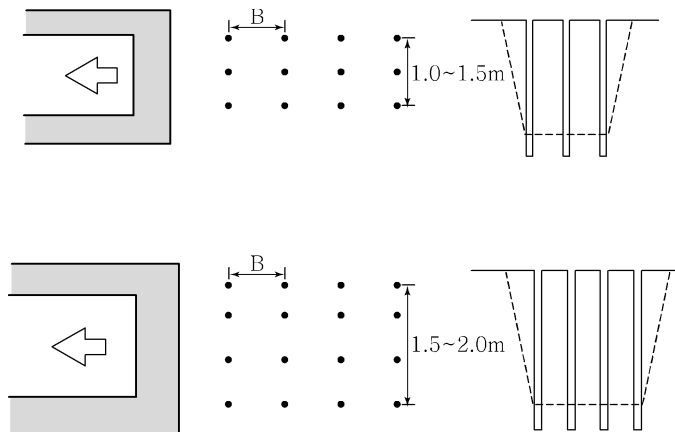


그림 8.10 Smoothwall Trench 발파 천공도

#### 1) 벌근발파

발파 방법은 45~60°의 각도로 천공하여 장약 발파한다. 보통의 경우는 주지름 5~10cm당 Dynamite 1개(112.5g)를 사용한다.

#### 2) 벌재발파

30cm 이하의 수목은 외부 장약이나 복토법을 사용하고 그 이상의 지름은 천공 장약을 사용한다.

$$L = C \cdot D^2 \quad (8.8)$$

여기서,  $D$  : 목재지름( $cm$ ),  $L$  : 장약량( $g$ ),  $C$  : 발파계수  
발파계수  $C$ 의 값은 다음과 같다.

장약형태	발파계수( $C$ )
외부장약	0.60~0.75
복토장약	0.35~0.45
천공장약	0.05~0.07

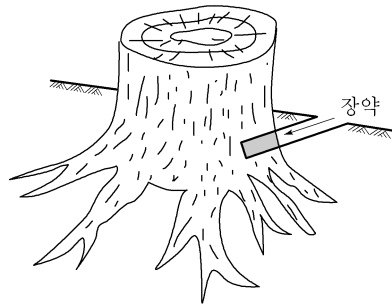


그림 8.11 벌근발파

### 3) 농경발파

폭파를 농경지의 농경에 응용할 경우에는 지나치게 깊게 굴착할 필요는 없으며, 폭약으로는 강력한 폭약을 쓰는 것보다 농지 용도상으로 보아 완만한 화약류로서 Carlit를 사용하는 것이 효과적이다. 또 폭약에 의한 농경은 지중에 있는 해충을 구제한다는 이점도 있다. 농경 폭파의 요령은 그림 8.12에서와 같이 깊이 30~50cm로 하여, 전후, 좌우 각 2m 간격으로 발파공을 천공한 다음 1공당의 장약량을 50~100g으로 하여 전기뇌관이나 도화선 발파에 의한 발파를 하는데 전기발파의 경우에는 제발발파에 의하지 말 것이며, 되도록이면 도화선 발파에 의한 지발발파를 시행하는 것이 심부토양이 표면으로 출현할 기회를 많이 갖게 하므로 이에 의하는 것이 효과적이다.

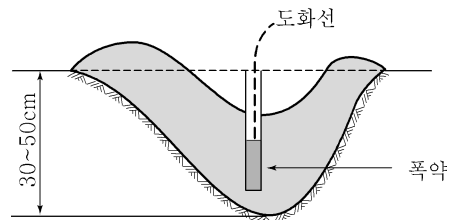


그림 8.12 농경발파

### 8.6 콘크리트 발파

개보수 공사에서 어려운 작업 중의 하나는 콘크리트의 제거 작업이다. 다이아몬드 와이어나 고압수를 이용한 방법도 적용되고 있으나, 발파방법을 이용하면 매우 경제적으로 단시간 내

에 제거할 수 있다는 장점이 있다. 천공 패턴을 설계하는 기본 요령은 다음과 같다.

#### 1) 최소저항선

최소저항선(W)은 발파 설계에 있어서 중요한 변수이다. 최소저항선은 다음과 같은 요소들에 영향을 끼친다.

- ① 파쇄된 물체의 비산 방향
- ② 장약량
- ③ 파괴되는 양
- ④ 천공 작업량

파쇄되는 물체의 비산은 최소저항선의 반대 방향으로 주로 발생한다. 최소저항선이 클수록 장약량이 많아지며, 천공 작업량은 적어지고, 물체의 파쇄되는 체적이 증가한다. 최소저항선이 적정값보다 크면 장약량이 상대적으로 집중이 되어 발파 진동의 영향이 크게 나타날 수 있고, 파쇄된 물체의 덩어리 체적도 크게 된다. 최소저항선이 적정값보다 작으면 많은 장약공이 필요하여 천공 작업량이 많아지고, 일반적으로 체적당 폭약 소모량도 증가한다. 따라서 최소저항선은 콘크리트의 재질, 크기와 구조 중의 철근 분포, 요구되는 파쇄도 조건, 파쇄물 운반 조건 등을 종합적으로 검토하여 결정하여야 한다. 체적이 큰 콘크리트 구조물에 대해 파쇄 후 인력으로 운반하려고 할 경우, 최소저항선은 다음의 범위를 취한다.

무근콘크리트 구조물 :  $W=0.4\sim0.6m$

철근콘크리트 구조물 :  $W=0.3\sim0.5m$

기계식 운반일 경우에는 파쇄도는 증가하여도 무방하므로 최소저항선을 적당히 증가시킬 수 있다. 콘크리트 벽체 장약량 계산은 다음과 같다.

단면적 :  $A = \text{두께} \times \text{길이}$

$$\text{장약량} : L = \frac{3A}{9}$$

발파공수 : 예) 21공

공의 깊이 : 벽 두께( $1/2 \sim 3/4$ )

1공당 장약량 :  $L = \text{전체장약량} \div \text{공수}$

장약량은 외부장약일 때는  $L = (2.5 \sim 5)A$  천공장약일 때는  $L = \frac{(2.5 \sim 5)}{(8 \sim 10)}A$

#### 2) 공간거리

공간거리(S)는 천공할 때에 인접하는 장약공과 장약공 사이의 거리를 말한다. 장약공 사이의 거리에 영향을 끼치는 요소는 다음과 같다.

- ① 대상 물체의 종류 및 재질
- ② 기폭 방법
- ③ 폭약의 종류와 파쇄도 요구 조건

공간거리가 너무 크면 장약공 수는 감소하는 반면, 장약량이 상대적으로 집중되어 발파 진동의 영향이 커진다. 또, 각각의 장약공이 폭파할 때 인접한 공의 영향을 받지 않게 되어 개개의 공이 누두공 실험시와 같은 결과를 가져올 수 있다. 따라서 큰 파쇄물이 발생하기

어려우며 운반 작업이 어려워진다. 공간거리가 너무 작게 되면, 천공 작업량이 증가하여 공정에 영향을 끼치며, 폭발 에너지가 중복되어 단위 체적당 폭약 소모량이 증가한다. 또, 기폭할 때에 사압으로 인하여 일부의 공이 발파되지 않는 현상이 발생할 수 있다. 일반적인 경우의 공간거리 설계는 다음의 범위를 취한다.

무근콘크리트 구조물 :  $S = 1.0 \sim 1.5 W$

철근콘크리트 구조물 :  $S = 1.3 \sim 1.8 W$

### 3) 열과 열 사이의 거리

파쇄할 콘크리트가 클 경우, 장약공을 여러 열로 배치할 필요가 있다. 두 열의 장약공 사이의 간격(B)는 대상 물체의 종류와 기폭 방법 및 최소저항선에 따라 결정된다. 여러 열을 열과 열 사이에 밀리초간의 시차로 기폭 할 경우에는 보통  $B = 1.0 \sim 1.2 S$ 를 취한다. 각 열을 동시에 기폭 할 경우에는 보통  $B = 0.5 \sim 1.0 S$ 를 취하고 벽체와 같은 형상에 대해서는  $B = a$ 를 취한다.

### 4) 장약공 깊이

장약공 깊이(L)는 대상 물체의 재질, 형상, 시공 장소(실내 또는 실외), 경계조건에 따라 좌우된다. 대상 콘크리트의 하부가 자유면으로 되어 있으면 공 밑 부분에서 자유면까지의 거리가 최소저항선  $w$ 보다 커야 한다. 하부면 경계 조건에 따라 장약공의 깊이는 다음과 같이 결정한다.

$$L = cH \quad (8.9)$$

여기서,  $H$ : 발파 해체할 부분의 높이(두께),

$c$ : 경계 조건에 따른 상수(상수 범위 : 0.6~1.0)

### 5) 천공방향

천공방향(각도)은 지표면에 대하여 수직, 수평, 경사의 세 가지 방향을 취할 수 있다. 수직 천공은 천공작업, 장약작업, 전색이 용이하다. 수평 천공은 수직 천공보다 작업이 어렵다. 그러나 힘이 파쇄물을 위로 들어 올리는 방향으로 작용하므로 같은 장약량 조건하에서 수직 천공보다 비산거리가 작다. 또, 장약공 하부의 파쇄 시키지 않는 부분이 있을 경우, 수직 천공보다 평평한 파쇄면을 얻을 수 있다. 경사 천공은 정확한 경사로 천공하는 작업이 가장 어렵다. 천공 깊이를 증가시킬 수 있어 장약량을 크게 할 수 있으므로 특수한 폭파 효과가 필요할 때 적용한다.

### 6) 장약량 계산

공당 장약량이 많으면 비산, 진동이 커지는 반면에 공당 장약량이 적으면 큰 덩어리가 발생하거나 또는 파쇄 되지 않고 공 주위에 균열만 형성시킨다. 적정 장약량은 대상 콘크리트의 형상, 재질, 폭약 종류, 기폭 방법, 발파 효과 요구 조건에 따라 달라진다. 비장약량은 대략  $1.0 \sim 3.0 \text{ kg/m}^3$ 의 범위를 가지며, 시험발파를 통하여 적정한 장약량을 구하는 것이 바람직하다. 인구가 밀집한 지역에서는 발파시 콘크리트의 파쇄물이 비산되지 않도록 하는 것이 매우 중요하다.

## 단원정리

### 1. 팽창성 파쇄제

$$S = \alpha \cdot \beta \cdot D \sqrt{2\gamma \cdot P / \sigma_t}$$

$S$  : 공간격(  $cm$  )

$\alpha$  : 자유면 수에 따른 정수

$\beta$  : 파쇄제 종류별 정수

$\gamma$  : 파쇄제 분류별 정수

$P$  : 팽창압(  $kg/cm^2$  )

$\sigma_t$  : 파쇄제 인장강도(  $kg/cm^2$  )

$D$  : 천공경(  $cm$  )

$$M = \frac{m \cdot (1 + \delta)}{L \cdot S^2 \cdot \sin \Theta \cdot R}$$

$M$  : 파쇄제 사용량(  $kg/m^3$  )

$m$  : 1m당 사용량(  $kg/m$  )

$\delta$  : 손실률(약 4%)

$L$  : 천공장(  $m$  )

$S$  : 천공간격(  $m$  )

$\Theta$  : 천공각도(  $^\circ$  )

$R$  : 굴착율(약 95%)

### 2. Trench blasting

$$d = \frac{W}{60}$$

$d$  : 공경(  $mm$  ),  $W$  : 트렌치 폭 (  $mm$  )

### 3. 별재발파

$$L = C \cdot D^2$$

$D$  : 목재지름(  $cm$  ),  $L$  : 장약량(  $g$  ),  $C$  : 발파계수

※  $C$ 의 값

외부 장약의 경우 0.60~0.75

복토 장약의 경우 0.35~0.45

천공 장약의 경우 0.05~0.07