

# 건설현장에서 적용되고 있는 암발파 방법 및 일위대가에 대한 고찰

이 호<sup>1)</sup> · 윤영재<sup>2)</sup>

## 1. 서 론

발파작업은 일률적으로 이루어지기보다는 현장 변화 요소에 많은 영향을 받게 된다. 발파대상 암반이 갖는 물리적 성질과 지질구조는 암반자체가 고유적으로 가지고 있어 인위적으로 변경할 수 없으므로 암반의 상황에 따라 가장 적합한 발파가 될 수 있도록 현장상황을 정확히 판단하여 적절히 대응하여야 한다. 또한, 발파 공해는 주변 구조물에 피해를 주거나 불안감으로 인한 인근주민의 민원으로 공기지연과 손해배상 등의 경제적 손실을 초래할 수 있다.

국내의 발파기술이 점차적으로 발전됨에 따라 현장 여건에 부합되는 적절한 조절발파 (사면처리 등의 정밀 제어발파 및 진동제어발파)의 수요가 증가추세에 있고, 또 발파공해가 최근에는 많은 문제점으로 대두되고 있으므로 발파설계시에는 이러한 문제점에 대한 충분한 검토가 선행되어야 한다.

현재 대부분의 발파설계시 발파비용의 단가산출은 건설부 표준품셈을 기준으로 하고 있지만, 적용범위가 너무 일률적이고, 전술한 문제점 등이 충분히 고려되어 있지 않아 불합리한 점이 내포되어 있다고 판단된다. 본 고찰에서는 전술한 문제점들을 파악하기 위하여 장약량 산정에 대한 이론을 제시하고 건설부 표준품셈 및 현장 시공사례 등을 비교·검토하였다.

## 2. 발파의 기초이론

### 2.1 파괴 메커니즘<sup>1)</sup>

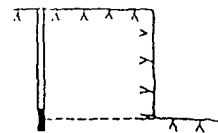
폭약을 구멍 속에 장전하고 점화하여 폭발시키면 구멍 안에서는 10만 기압 이상의 엄청난 압력을 갖는 가스가 발생한다. 암석발파에 있어서 폭약의 역할은 우선 충격파의 작용으로 암석을 파괴하고 그 다음 가스의 팽창에너지로 깨어진 암석을 이동시키는 것이다.

폭약이 폭발하면 그 폭력에 따라서 응력파가 발생하고 이 응력파가 전파되어 자유면에 도달하면 인장파로

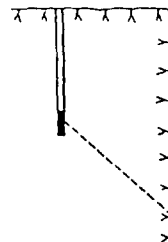
반사되며 암석은 일반적으로 인장강도가 압축강도보다 훨씬 낮으므로 (압축강도의 1/10~1/20) 입사할 때의 압력파에는 그다지 파괴되지 않아도 반사할 때의 인장파에는 보다 많이 파괴된다. 이러한 현상을 흠킨슨 효과라 한다.

벤치발파에서 평균적으로 기대되는 자연파괴각도는 저면의 상태에 따라 달라진다. Fig. 1의 (a), (b)는 고착저면(Fixed Bottom)과 자유저면(Free Bottom)을 나타낸 것이다. 고착저면의 파괴각  $\alpha_b$ 는 약 90° 정도이며 자유저면일 때의 저면각  $\alpha_b$ 는 최대 135°가 된다.

일반적인 벤치에서와 같이 공저부분이 고정되어 있다면 파괴는 어떤 면을 따라서 일어나게 되며 그 때의 파괴각은 장약량과 장약심도에 따라서 90°~135° 사이에 있게 된다. 만일 장약량의 계산이 정확하다면 저면의 파괴각은 90°가 될 것이며 그 보다 작은 각도는 특별한 어떤 조건하에서만 기대될 수가 있다. 벤치발파에 적용되는 이러한 법칙은 터널공사나 노천발파에 대하



(a) Fixation at the bottom



(b) Free burden at the bottom

Fig. 1. Bench blasting type.

1) 정회원, SK건설 SUPEX-Cut 사업팀, 과장  
2) 정회원, SK건설 SUPEX-Cut 사업팀, 부장

여 채택될 수가 있으며 또 90°의 원칙이 이용될 수 있는 이상 이 원칙은 암반을 느슨하게 하기 위하여 가장 적절한 방법이 될 것이다.

2.2 암석계수(Rock constant)

암발파에 대한 장약량의 계산은 암발파 결과에 영향을 주는 모든 변수의 함수로서 다음과 같은 형태로 표시할 수 있다.

$$Q = f_1(V, K, E, h, d, s, \rho, u, c_i) \quad (1)$$

단, Q: 장약량(kg), V: 최소저항선(m)

K: 벤치높이(m), E: 공간격(m)

h: 장약높이(m), d: 천공경(m)

s, ρ, u, ci: 폭약 및 암석에 따른 상수

함수 f<sub>1</sub>을 실험적으로 산정하려면 변수의 수를 줄일 필요가 있다. 만일 일정한 밀도를 갖는 동일한 폭약과 암석에서 동일한 조건으로 단일공에 대하여 발파를 한다면 (1)식은 (2)식으로 된다.

$$Q = f_2(V, K, h, d) \quad (2)$$

한편으로 장약량 Q는 h, d에 의하여 결정되기 때문에 실제로는 단순히 V, K, h의 3개의 독립변수만을 취급하여 (3)식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = f_3(V, K, h) \quad (3)$$

상기 (3)식에서 V, K/V, h/V를 독립변수로 하여 상수로 취하면, (3)식은 (4)식으로 나타낼 수가 있다.

$$Q = f_4(V, K/V, h/V) = f(V) \quad (4)$$

여기에서 함수 f는 V의 양의 함수이며 (5)식으로 변환할 수 있다.

$$f(V) = k_0 + k_1V + k_2V^2 + k_3V^3 + k_4V^4 + \dots \quad (5)$$

(5)식을 좀 더 간단히 하면 (6)식으로 변환할 수 있다.

$$Q = k_2V^2 + k_3V^3 + k_4V^4 \quad (6)$$

여기에서 계수 k<sub>2</sub> 및 k<sub>3</sub>는 암석의 탄성, 조성의 특성에 따라 결정되며 k<sub>4</sub>는 굴착되어야 할 암석의 중량에 따라 결정된다. 최소저항선의 크기를 일정하게 증대함에 따라 암석 1 m<sup>3</sup> 당 장약량이 어떻게 변화하는지를 Table 1에 수록하였다. Table 1에서 보면 V=1.0에서 10 m

Table 1. Connection between burden(V) and a factor(Q/V<sup>3</sup>) proportional to the specific charge (g/m<sup>3</sup>)

V(m)	Q/V <sup>3</sup> =70/V+350+4V (g/m <sup>3</sup> )
0.01	7000+350+0.04=7350.04
0.10	700+350+0.4=1050.40
0.30	233+350+1.20=584.20
1.00	70+350+4.00=424.00
10.00	7+350+40.00=390.00
100.00	0.7+350+400.00=750.70
1000.00	0.07+350+4000.00=4350.70

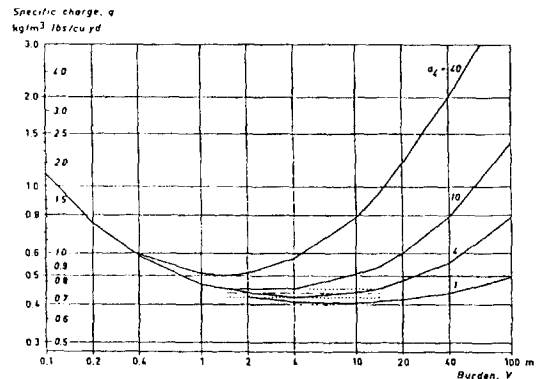


Fig. 2. Charge in kg/m<sup>3</sup>(lb/cu.ft) in conformal sealing with a swell component of a<sub>s</sub>=40, 10, 4 and 1.

사이의 최소저항선에 대한 비장약량은 대략 q=0.4 kg/m<sup>3</sup>이다. 이것은 Fig. 2의 k<sub>4</sub>=4의 곡선이 V=1.0에서 10 m의 구간에서 최소치를 갖는다는 사실에 따른 것이다.

최소저항선이 1.0 m에서 20 m인 단일구멍을 발파하는 경우와 다른 보통 암석에 있어 두 개의 서로 다른 상수 k<sub>2</sub>와 k<sub>4</sub>는 전체 붓의 약 20% 정도 영향을 미칠 수 있다.

설계 계산에서는 k<sub>2</sub>=0.07 kg/m<sup>2</sup>, k<sub>4</sub>=0.004 kg/m<sup>4</sup>를 사용하지만 이 둘 수치가 최종장약량에 미치는 오차는 근소하다. 이는 처음부터 C=0.4 kg/m<sup>3</sup>로 계획하고 있으며 이 값으로 산출한 폭약량으로 만족한 결과를 얻고, 세계 도처에서 적용되고 있다.

2.3 장약량의 계산

효과적인 발파를 위해서는 발파공 내에 장약배분이 적절하게 이루어져야 한다. 일반적인 벤치의 형태에서 적절한 장약패턴은 Fig. 3과 같다. K=2 V인 경우 바닥에서 약 1.3 V 까지의 장약(Bottom charge, (a))은 암석을 저면위 2 V의 높이까지 느슨하게 하는데 충분하다고 추정할 수 있다. 즉, 이 때의 바닥 장약량은 K=2

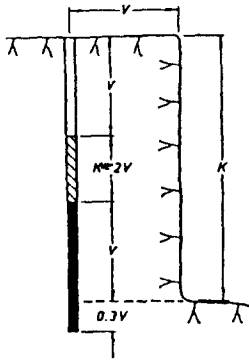


Fig. 3. Bottom charge and column charge.

V인 벤치에 해당하는 양이기 때문에 벤치높이가 2V를 초과하는 경우에는 추가장약이 필요하게 된다. 이 때 필요한 추가장약은 주상장약(Column charge, (b))으로 정의되며, 장약장은 K-2V에 해당된다. 만약 벤치의 높이가 2V 보다 적으면 주상장약량은 (-) 값으로 되는데, 이와 같은 경우에 바닥장약량은 감소시킬 수 없기 때문에 과장약이 되고, 비산이 발생하게 된다.

바닥장약의 장약밀도(degree of packing)는 (6)식으로 구할 수 있으며, 장약량은 (7)식과 같다.

$$l_b = d^2 / 1,000 \tag{6}$$

$$Q_b = l_b \times h_b \text{ (단, } h_b \text{는 바닥 장약장)} \tag{7}$$

(6)식은 폭약의 비중 1.27인 경우를 기준으로 구한 것이다. 그러므로, 폭약의 비중이 다르게 되면 장약밀도 값도 변하게 되므로 (6)식도 수정 보완되어야 한다. 그러나, 일반적으로 폭약의 비중 차이가 크지 않으므로 (6)식을 그대로 적용하는 경우가 많다.

주상장약 부분은 구속이 적으므로 바닥장약 밀도의 40~60% 정도로 하며 (8)식과 같고, 주상장약부분의 장약량은 (9)식과 같다.<sup>2)</sup>

$$l_c = (0.4 \sim 0.6)(d^2 / 1,000) \tag{8}$$

$$Q_c = l_c \times h_c \text{ (단, } h_c \text{는 주상장약 높이)} \tag{9}$$

결과적으로 전체 공당장약량은 (10)식과 같으며, 비장약량(q)는 다음 (11)식으로 구한다.

$$Q_t = Q_b + Q_c \tag{10}$$

$$q = (nQ_t) / (W \times B \times K) \tag{11}$$

(단, W : 벤치 폭, B : 최저저항선, n : 열 수, K : 벤치

높이,  $Q_t$  : 전체장약량)

### 3. 발파공법의 분류<sup>3)</sup>

일반 벤치발파공법은 주 발파방향을 상부자유면(수평자유면) 또는 수직자유면(경사자유면)의 한쪽방향으로 일괄되게 천공하여 2 자유면에서 시행하는 발파공법이며 미진동 발파공법은 일반 벤치발파 공법에 비하여 천공간격과 천공길이를 짧게 하고 장약량을 작게 하여 발파하는 방법이다. 발파 메커니즘은 처음 발파가 시작될 때에는 2 자유면에서 발파가 시작되나 발파과정에서 3 자유면이 형성되면서 발파 진행방향인 다음 발파공으로 발파가 이루어지고 있으나 최근에는 기존의 발파 메커니즘을 보완하여 개발한 4 자유면 발파가 시행되는 새로운 개념의 발파공법(이분위 발파공법)이 개발되어 현재 현장에서 적용되고 있다. 벤치발파공법을 분류하면 다음과 같다.

#### 3.1 일반채석형 벤치발파공법

일반채석형 벤치발파공법은 Fig. 4와 같이 2 자유면의 노천발파에서 가장 많이 활용하고 있는 방법으로서 주 천공방향은 지상에서 하부방향인 수직 또는 경사방향이며 이 방법은 장비를 최대한 활용하여 대량발파를 실시할 수 있으므로 채석장이나 부지정리, 터파기 등에 활용하고 있다.

또한 수평천공형 계단식발파는 Fig. 5와 같이 작업여건상 하부에서 상부방향으로 발파하여야 하는 터널 및

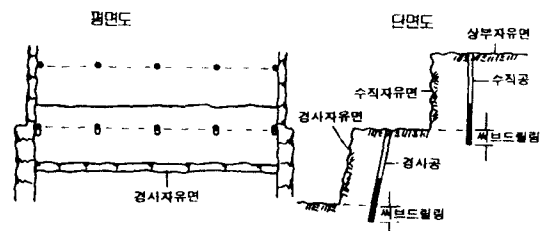


Fig. 4. Downward drilling pattern.

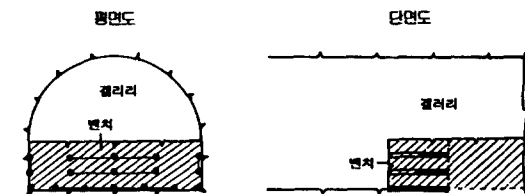


Fig. 5. Horizontal drilling pattern.

지하동굴의 벤치발파에 주로 이용되므로 작업장에 많은 제한을 받게 되어 하향천공 형태보다 생산성이 떨어져 특별한 경우가 아니면 별로 사용하지 않는 방법이다.

3.1.1 하향천공 벤치발파공법

본 공법은 암반에 형성된 계단의 지표면인 상부자유면에서 Fig. 4와 같이 수직 내지 경사자유면과 평행하게 하향 천공하여 발파하는 공법으로서 공저부분에서 잔류공이 부분적으로 남으므로 지상의 발파면이 일정하지 않게 된다.

그러므로 천공작업에 어려움이 있고 장비의 이동이 곤란하며 구조물의 신축시 바닥기초 등에 부적합 하는 등 단점이 있으나 대량의 발파가 가능하므로 생산성이 높아 대단위 채석장에서 가장 많이 활용되고있는 공법이다. 그러나 지상의 발파면을 고르게 하기 위하여 서브드릴링을 추가로 천공하여 발파하는 경우도 있으나 이 경우 장약량이 많아지고 천공길어도 크게 늘어나게 된다.

3.1.2 수평천공 벤치발파

이 방법은 계단의 수직 내지 경사 자유면에서 Fig. 5와 같이 상부자유면과 평행하게 수평 천공하여 발파하는 방법으로서 하향식 천공방법과 같이 공저부분이 일정하게 발파되지 않는 단점이 있으며 터널이나 지하동굴의 벤치발파에 많이 이용되고 있는 공법이다.

3.2 토우형 벤치발파공법

토우형 벤치컷 발파공법은 Fig. 6과 같이 하향식 천공 방법에서 발생하는 공저부분을 비교적 일정하게 하기 위하여 주 천공방향의 끝 부분인 공저부분에 천공방향과 교차하는 토우 공을 천공하여 발파한다. 이 공법은 발파의 마무리 면을 고르게 할 수 있으나 천공수가 많아지고 작업시간이 늘어나므로 비용이 많이 드는 단점이 있다

3.3 정밀 벤치발파공법(소발파 공법)

벤치에서 실시할 수 있는 정밀발파는 일반적인 벤치 발파에서 공간격과 공심의 길이를 짧게 하여 소량의 폭

약을 사용하는 소발파 개념으로서 발파공해를 줄일 수 있으나 굴착비가 많이 드는 단점이 있으며 현재 제한적이긴 하지만 많은 현장에서 소발파공법을 활용하고 있는 실정이다.

3.4 조절(벤치)발파 공법

조절 벤치컷 발파공법은 Open-cut 발파에서 법면의 마무리나 잔존암반이 오랫동안 유지되고 낙석이나 암반이 미끄러지는 것을 방지하기 위하여 폭약량을 가감하여 이론적인 굴착예정선으로 암석이 파괴되도록 함으로써 과굴을 줄일 수 있도록 제어 발파하는 방법이다.

노천에서 많이 활용되고 있는 조절발파공법으로는 Line-drilling, Pre-splitting, Cushion blasting 등이 있으며 터널에서는 Smooth blasting 등이 있다.

3.5 미진동 벤치발파공법

미진동 벤치발파공법은 Fig. 7과 같이 제한적으로 암반을 절취할 때 사용되는 벤치발파공법으로서 예민한 구조물 주위의 암반발파나 석재채취에 주로 활용되고 있으나 발파비용이 많이 소요되므로 일반적인 암반발파에는 대부분 사용되고 있지 않으며 특수한 경우에 제한적으로 사용되고 있다. 미진동으로 암반을 파쇄할 수 있는 발파공법은 저폭속의 화약류(화공품)를 사용한 미진동파쇄기(CCR)가 있다.<sup>4)</sup>

3.6 무진동 굴착공법

이 방법은 화약을 이용한 발파공법은 아니지만 일반 벤치형의 패턴으로 굴착작업이 이루어 진다는 관점에서 일반 벤치발파와 같이 검토하였다. 무진동 굴착방법으로는 분말의 규산염 또는 석회 무기화합물을 물에 타서 반죽을 만든 다음 천공된 공내에 충전하여 서서히 팽창하는 압력으로 암반을 균열시키는 비폭성 파쇄제<sup>5)</sup>와 천공된 구멍에 유압식 팽창장비를 사용하는 할암공법(유압식 잭),<sup>6)</sup> 플라즈마 반응을 이용한 플라즈마 파암

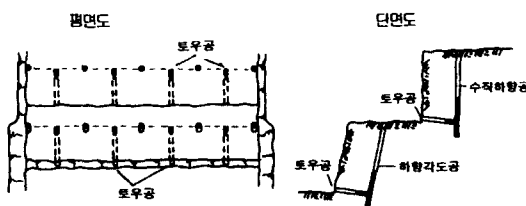


Fig. 6. Toe type drilling pattern.

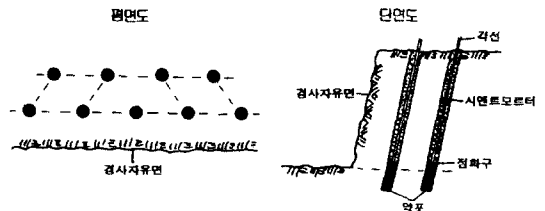


Fig. 7. Bench blasting by CCR.<sup>4)</sup>

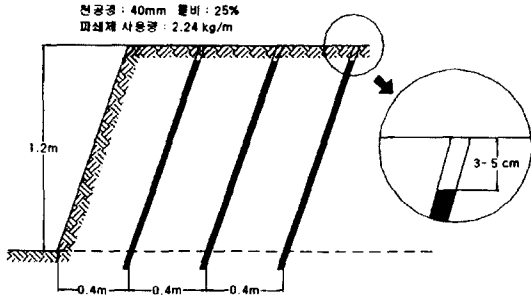


Fig. 8. Silient non-explosive demolition agent.<sup>5)</sup>

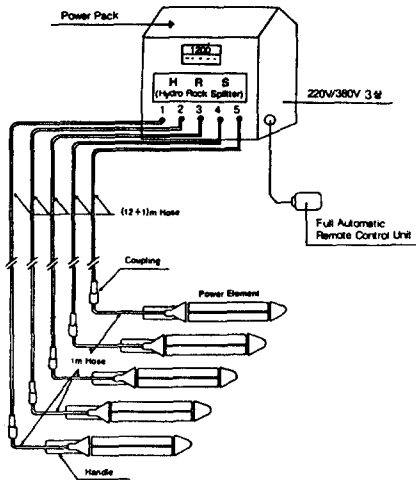


Fig. 9. Hidro rock splitter system.<sup>6)</sup>

공법 등이 있다.

Fig. 8, 9는 비폭성 파쇄제의 천공패턴과 유압식 할압의 System 도면을 보여주고 있다.

#### 4. 건설부 표준품셈의 검토

현재 국내 토목공사에서 적용되고 있는 발파관련 표

준품셈은 크게 5가지로 구분되며, 이 중에서 폭약 및 뇌관의 수량을 살펴보면 Table 2와 같다. (단, 이 경우에 터널발파는 제외하고 노천발파에 국한되어 있다.)

각 발파법마다 3~4개의 암종으로 구분하여 수량이 산출되어 있으며, 폭약량을 뇌관수로 나누면 공당장약량을 구할 수 있는데, 계산 결과 모든 품셈의 폭약의 적용수량이 0.2kg/공을 기준으로 산출되어 있음을 알 수 있다.

다음으로 비장약량을 살펴보면 전술한 바와 같이 일반적인 벤치발파에서 비장약량은 0.4 kg/m<sup>3</sup> 이고, 현재 국내에서도 암석의 연경도에 따라 0.3~0.6 kg/m<sup>3</sup> 이 일반적으로 많이 적용되고 있다.

Table 2를 살펴보면 수중발파를 제외하고 비장약량의 분포가 0.08~0.3 kg/m<sup>3</sup>의 범주에 포함되어 실제 현장 실무적인 관점에서 다소 약량이 적은 경향을 보이고 있다.

기계사용 터파기 및 편절형, 리퍼병행, 크롤라드릴의 경우 경암에서 0.15~0.3 kg/m<sup>3</sup>으로 되어 있으나, 0.25 kg/m<sup>3</sup> 이상이 현실적이다.<sup>7)</sup>

Fig. 10~12는 실제 현장에서 적용되고 있는 일반적인 발파패턴이다. Fig. 10은 38 mm 소구경발파시의

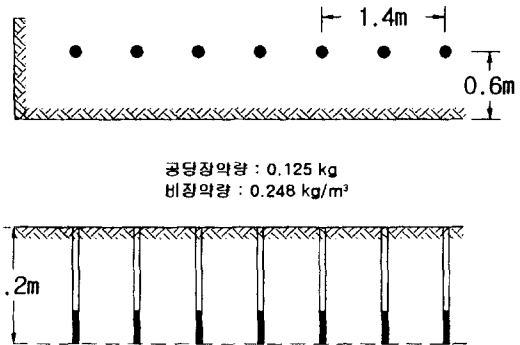


Fig. 10. Blasting pattern design(φ38 mm, 연암).

Table 2. Detailed breakdown of work cost for blasting(m<sup>3</sup>).<sup>8)</sup>

구분		기계사용 터파기	암석절취 (편절형)	암석절취 (리퍼병행)	암석절취 (크롤라드릴)	암석절취 (수중)
폭약 (kg)	풍화암	0.12	0.08	-	-	0.41
	연암	0.18	0.12	0.078	0.12	0.62
	보통암	0.24	0.16	0.112	0.16	0.7
	경암	0.30	0.20	0.150	0.2	1.2
뇌관 (개)	풍화암	0.6	0.4	-	-	0.85
	연암	0.9	0.6	0.39	0.06	1.27
	보통암	1.2	0.8	0.56	0.08	1.4
	경암	1.5	1.0	0.75	0.1	2.5

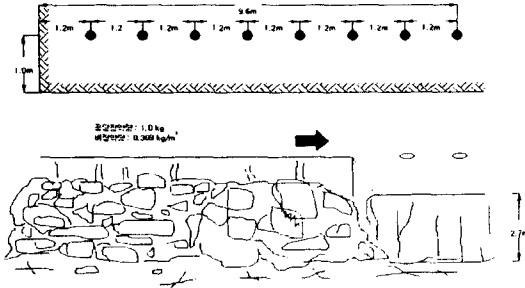


Fig. 11. Blasting pattern design(φ75 mm, 연암).

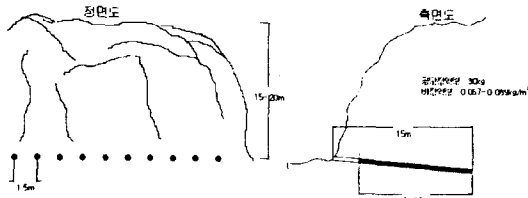


Fig. 12. Blasting pattern design(φ75 mm, 연암).

설계패턴이고, Fig. 11은 75 mm 대구경발파시의 설계 패턴이다.

Fig. 12는 일반 석산에서 대규모 채석발파시의 발파 패턴이다. 그림에서 살펴본 바와 같이 일반적인 벤치발파에서 연암 기준인 경우 비장약량은 0.248~0.309 kg/m<sup>3</sup> 이지만, 대규모 채석발파에서는 0.067~0.089 kg/m<sup>3</sup>의 비장약량을 보이고 있다.

결과적으로 비장약량이 작을수록 발파의 규모는 커져야 한다. 환언하면, 건설부 표준품셈의 규정대로 적용한다면 Fig. 12와 같은 대규모 채석장의 발파에서만 가능한 발파가 된다. Fig. 12와 같은 발파패턴에서는 지발발파에 의한 효과는 전혀 볼 수 없기 때문에 전체 발파공을 단발뇌관을 이용하여 기폭하게 된다. 이로 인하여 발파공해가 많이 발생하게 된다.

암석절취 리퍼병행의 경우에도 화약발파에 의해 리핑작업이 가능한 정도의 균열권이 생성되어야 한다. 이 경우에도 보통암 내지는 경암층에서 비장약량은 0.25~0.37 kg/m<sup>3</sup> 범위가 일반적이다.

Figs. 13, 14는 발파방법에 따른 적용품셈의 구분방법을 보여주고 있다. 여기에서 편의상 암석 절취량이 25,000 m<sup>3</sup> 이상인 경우에는 크롤라드릴 사용품을 적용하게 된다.

리핑작업의 경우 자연상태에서의 탄성과 속도가 1,800 m/sec 이하의 암석은 발파 없이 리핑작업으로 할 수 있고, 탄성과 속도가 1,800 m/sec를 초과하는 암석은 발파와 리

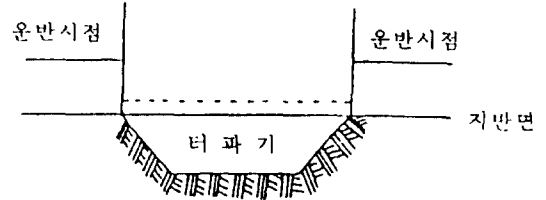


Fig. 13. Breakdown of digging.

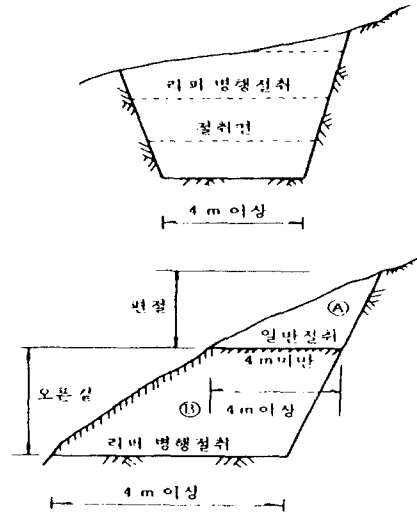


Fig. 14. Breakdown of ripping.

핑작업을 병행 시공할 수 있다.<sup>8)</sup>

이상과 같이 표준품셈에서는 발파공해, 특히 발파진동에 대한 영향을 고려하지 않고 암석의 연경도 및 현장의 작업여건에 따른 장비운용의 가능여부에 따라 발파방법이 구분되어 있으나, 발파진동에 대한 문제가 발생하게 되면 허용진동치 이내의 범위 내에서 발파작업을 수행하기 위해서는 거리별 작업구역의 설정이 불가피하다.

현행 품셈규정에는 “현장여건상 특수발파공법을 적용하는 경우에는 발파 품을 별도로 계상할 수 있다”라고 언급되어 있으나, 이 규정의 범위가 너무 광범위하고 적절한 적용 항목이 별도로 만들어져 있지 않기 때문에 많은 일선 설계담당자들에게 혼선을 초래하게 된다.

이와 같은 사실을 고려해 볼 때 현재 적용되고 있는 표준품셈의 적용 폭약량이 다소 수정·보완되어야 하고 최근에 대두되고 있는 발파공해에 대한 영향을 고려하여 별도의 적용항목이 필요하다고 판단된다. 사용 폭약량의 변화는 표준품셈 전체항목에 영향을 미치게 되므로 이 부분에 대해서 추후 많은 연구가 있어야 할 것

으로 판단된다. 또한, 일반 벤치발파의 경우 별도의 도면이 없이 [원/m<sup>3</sup>]으로 공사비용이 책정되어 있기 때문에 현장에서의 실제 시공단가는 설계단가의 40~50% 수준에서 공사가 이루어진다. 설계 단가에 비해 상당한 저가수준의 공사비로 작업이 이루어지기 때문에 정상적인 발파작업이 어렵고, 많은 민원발생의 소지가 될 수도 있다. 따라서, 일반 벤치발파의 경우에도 터널발파와 같이 암종 및 현장 여건의 특수성에 적합한 발파 패턴도면이 필요하다고 판단된다.

## 5. 결 론

지금까지 현장에서 적용되고 있는 암발파 방법 및 발파관련 일위대가에 대해 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 일반 벤치발파에서 적절한 비장약량은 여러 문헌을 검토한 결과 0.4 kg/m<sup>3</sup> 내외가 일반적이고 현재 국내에서도 암석의 연경도에 따라 0.3~0.6 kg/m<sup>3</sup>이 일반적으로 많이 적용되고 있다. 현행 표준품셈의 경우 적용 폭약량이 0.08~0.3 kg/m<sup>3</sup>로서 다소 작게 설정되어 있으므로 적절한 보완이 필요하다고 판단된다.

2) 현행 표준품셈의 경우 발파 방법을 5가지로 구분하고 있으나, 최근에 많이 대두되고 있는 바 발파공해의 영향 및 현장조건에 부합되는 조절발파 등을 고려하여 더 세분화 하는 것이 바람직하다.

3) 민원발생을 최소화하고 적절한 시공단가로 작업이 원활히 이루어 질 수 있도록 일반 벤치발파의 경우에도 터널발파와 같이 암종 및 현장 여건의 특수성에 적합한 발파 패턴도면이 필요하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Langefors, U. and B. Kihlström, 1979, Rock Blasting, pp. 18-35, 39, 69-70.
2. Oloffson, S.O., 1991, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, APPLE, p.81.
3. T & RB Consultant, 1997, 신벤치발파공법, pp. 5-8.
4. (주)한화, 미진동 파쇄기 Manual.
5. (주)쌍용양회, 비폭성 파쇄제 Manual.
6. (주)호상테크노베이션, HRS 공법 Manual.
7. 대우건설기술연구소, 1988, 건설진동의 영향평가 및 대책에 관한 연구, pp. 279.
8. 한국전산연구소, 1996, 건설부 표준품셈, pp. 75-86.