

石灰石露天掘工法

許 填*

序 言

우리나라 採石의 大宗을 차지하고 있는 石灰石露天採掘에 있어서 크로라 착암기를 使用하여 Bench에 對한 垂直孔法으로 裝藥 및 爆破를 實施하여 施工 Bench를 漸次下方으로 옮기면서 採石을 進行하는 Bench Cut 工法이 實施되고 있다. 이 工法은 오래전부터 가장 널리 普及되어 있다. 그러나 最近 시멘트工場, 製鐵所, 道路骨材用等 급격한 石灰石 需要增加에 따라 量産단계에 이르러 效果인 工法이 多角的으로 檢討되고 있다. 筆者는 最近 日本 京都大工學部 伊藤一郎教授를 訪問하여 老教授께서 直接實驗한 貴重한 data를 얻어 여기 爆破의 觀點에서 본 Bench Cut 工法이라는 論題를 가지고 解説코자 한다.

爆藥의 폭발효과는 衝擊作用과 生成캐스의 팽창作用으로 나눌 수 있다. 勿論 이들 兩者의 作用은 時間的으로 연속되어 있으므로 서로 明確하게 區別하기 어렵지만 岩盤의 파괴는 우선 충격작용에 依하여 장약실의 주변에 粉碎圈이 생기고 衝擊波의 傳播에 따라서 爆源에서 方射狀으로 균열이 생기고 同時 自由面에서 反射된 衝擊波에 依해 폭원과 자유면과의 投影點을 中心으로 하여 방사상의 균열이 生成한다. 이와같이 生成된 균열은 또 다시 캐스壓의 팽창작용을 받아서 助長되어 破壞를 完成한다. 圖1은 이를 表示한다. 이와같은 생각은 폭발시에 생기는 動的 및 準動的의 應力狀態를 彈性論을 써서 解析한 結果를 基礎로 하여 얻은 것이다.

1. 一自由面爆破에 있어서의 岩盤의 破壞

最近 폭발기술과 計測技術의 發達에 따라 폭파에 따른 岩盤內의 계현상을 定量的으로 解析하려는 傾向이 發展되고 있다. Bench Cut의 問題에 들어가기 前에 우선 基本的인 一自由面 폭파에 依한 파괴에 關係 要約해 보겠다.

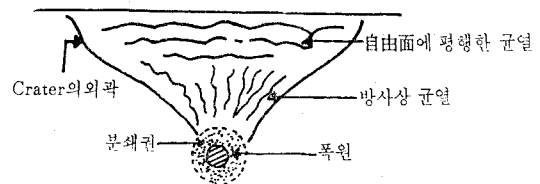


圖 1. 一自由面爆破時의 Crater生成

2. 二自由面 爆破時의 岩盤內의 應力狀態의 특징과 破壞

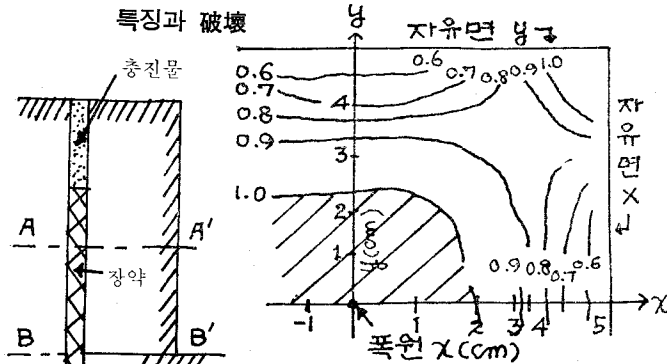


圖 3. 自由面の 존재로 인해 생기는 壓縮應力最高值의 變化 ($\sigma_1 \max/r$ or $dp \max$)

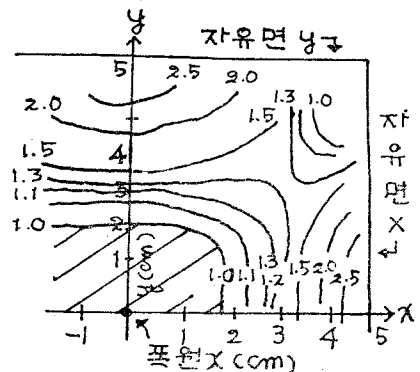


圖 4. 自由面の 존재로 인해 생기는 引張應力最高值의 變化 ($\sigma^2 \max$ or $dp \max$)

圖2에서 表示한바와 같이 Bench Cut의 장약은 보통 Bench의 한 自由面에 따라 裝填하게 되며 Bench의 높이에 따라서는 長裝藥의 경우가 많다. 폭약의 폭속이 대단히 클때를 考慮하여 이러한 長裝藥의 폭발에 依한 應力狀態는 Bench底部 근방과 폭파공의 孔口부

근은 除外하였다. 即 圖의 A-A'에서 表示되는 장약의 直角되는 斷面을 생각할 경우 斷面의 位置에 關係없이 거의 同一한 應力狀態를 나타내게 된다. 이때의 應力상태를 解析하여보면 圖3 및 圖4와 같이 된다. 이 圖表는 岩盤內에 생기는 압축應力최고치와 引張應力최고

*東海産業 技術 研究所長, 工博

치가 자유面이 있는 경우와 없는 경우 어떻게 變化되는가를 表示한것이다. 卽 자유面이 있으면 자유面이 없는 경우에 비해 자유面부근에서는 압축응력최고치가 4~5割가량 감소하며 인장응력최고치는 반대로 2.5배나 증가함을 볼 수 있다. 일반적으로 岩石은 壓縮보다는 引張에 대해서는 약한 것을 감안할때 이러한 인장력이 자유면부근에서 대단히 큰역활을 하게 되는 것이다. 圖4에서와 같이 最少抵抗線上에서는 인장응력의 증가가 가장 뚜렷하며 시간적으로도 가장 빠르다는 것도 명백해 진다. 따라서 균열은 最初로 최소저항선을 따라 發生하며 수반하여 최소저항선과 45~50°의 방향으로도 균열이 생긴다. 또한 각장약공의 중심선을 잇는 선상에도 별도로 우세한 균열이 생기게 되는바 結局 平面的으로 보면 圖5와 같은 파괴균열이 上下方向으로도 생기며 중첩되어 主要部の 파괴를 구성하게 되는 것이 Bench Cut의 양상인 것이다. 다시 말해서 Bench Cut는 폭약의 폭발시에 유발되는 충격파에 의하여 암반내에 생기는 引張應力이 岩盤 자체의 인장강도를 능가하도록 하는 原理라고 할 수 있다.

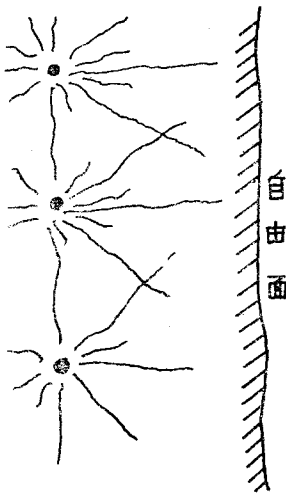


圖 5. Bench Cut時 파괴균열 平面圖

그러나 Bench底部的 應力상태는 이상과 같이 간단하지는 않으며 아직까지 정확한 해석이 나오지 않고 있다. 다만 그곳에는 자유面이 없으므로 충격파의 反射도 생각할 수 없고 인장응력의 증가도 Bencher의 上部와 같이 뚜렷하지도 않다.

卽 圖2의 B-B'面을 따라 폭발에 의하여 강력한 전단력이 작용하게되며 B-B'面을 따라 剪斷파괴가 일어나게 된다. 이와같이 Bench Cut의 파괴주요소는 Bench底部는 剪斷應力 Bench의 主要部는 引張應力에 의하여 파괴된다고 생각할 수 있다.

4. 從來의 Bench Cut 設計法

Bench Cut設計로는 과거부터 Hauser의 式과 Langefors의 式을 利用한 2가지가 있다.

3-1. Hauser의 式에 依한 경우

圖6의 경우 폭발에 의하여 Bench 주요부의 암반에는 인장응력 Bench底部 BC를 따라서는 전단응력이 발생하여 ABCD의 암반부가 떨어져 나가면서 同時に 파쇄된다. 이때 ABCD의 암반부가 떨어져 나갈때는 BC面に 따른 摩擦抵抗을 받게되므로 Bench Cut의 경우는 이와같은 인장 전단력과 마찰저항을 이겨낼만큼의 충분한 에너지가 폭약의 폭발에서 얻어져야 하는 것이다.

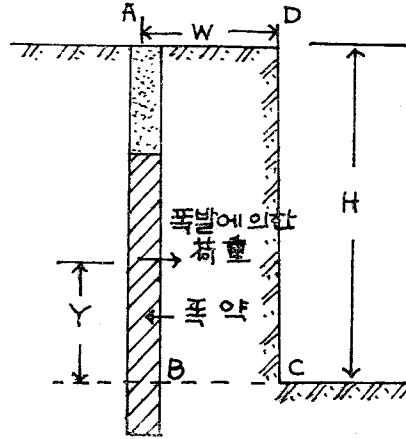


圖 6. Bench Cut 設計圖

一般的으로 이러한 3가지 抵抗을 이겨내기 위하여 폭발에 의해 얻는 荷重의 中心을 荷重中心이라고 하며 圖6에서 表示한바와 같이 裝藥의 中心과 一致하지만 底面 BC로부터 Y만큼 上部에 있고 또 이 Y는 다음 (1)式을 滿足시켜야 한다.

이 式을 보면 荷重中心의 位置는 岩石의 강도, 孔深, 최소저항선의 길이 등에 의하여 영향을 받게된다.

$$Y = \frac{H}{2} \times \frac{StH}{StH + SsW + S\mu WH} \dots \dots (1)$$

但 Y : BC面에서 荷重中心까지의 높이(cm)

H : Bench의 높이(cm)

St : 岩盤의 引張強度(kg/cm²)

Ss : " 剪斷強度(kg/cm²)

W : 最少抵抗線의 길이(cm)

ρ : 岩盤의 密度(kg/cm³)

μ : BC面上的의 摩擦係數(一般的으로 0.65)

一例를 들어 石灰石(ρ=2.7g/cm³, St=40kg/cm², Ss=90kg/cm²)의 경우에 있어서 H=10m, W=5m와 2m인

荷重中心을 구하여 보면

$$Y_5 = \frac{1,000}{2} \times \frac{40 \times 1,000}{40 \times 1,000 + 90 \times 500 + 0.0027 \times 0.65 \times 500 \times 1,000} = 213\text{cm}$$

$$Y_2 = \frac{1,000}{2} \times \frac{40 \times 1,000}{40 \times 1,000 + 90 \times 200 + 0.0027 \times 200 \times 1,000} = 343\text{cm}$$

위에서 명백한 바와같이 Bench의 높이가 同一하더라도 저항선이 5m와 같이 크게 되면 폭과공중 2.1m사이에 소요 폭약량의 半量장진하지 않으면 안되므로 더욱 究孔을 크게하여 또 위력이 큰 비중이 큰 폭약을 장진하지 않으면 안된다. 그러나 荷重中心보다 上部의 剪斷抗力과 剝離抵抗은 생각하지 말고 또한 殘孔長이 기니까 比重이 작고 威力도 그다지 세지 않은 폭약을 가법계 장진하는 便이 좋을 것이다. 그리하여 이러한 경우의 Bench Cut에 必要한 裝藥量은 Hauser의 式을 變形한 (2)式에 依하여 구할 수 있다.

$L = CWDH \dots (2)$ 但 L: 裝藥量(kg)
 C: Bench Cut에 있어서의 폭과계수
 W: 最少抵抗線의 길이(cm)
 D: 硯공간격(m)
 H: Bench의 높이(m)

여기에서 C=g. e. d. f (n) 但 g: 岩石의 抗力係數
 e: 爆藥의 威力係數
 d: 充填係數 (보통 1보다 작으며 d=1은 完全充填)
 (n): 스킵, 에프에크트의 修正係數

「清水」氏는 이들을 종합한 C의 値를 表1과 같이 나타내고 있다.

表 1. Bench Cut에서의 폭과계수 C의 値(爆藥은 新桐 dynamite 使用)

岩種別	W(m)									
	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	0.7	8.0	10.0
花崗岩	0.85	0.58	0.45	0.39	0.35	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25
片麻岩	0.68	0.46	0.36	0.31	0.27	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20
砂 岩	0.43	0.29	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.13	0.12
石灰石	0.34	0.23	0.18	0.14	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09

한편 폭과孔의 Bench底에서의 餘掘量(Subgrade)은 0.3W程度, 또 孔間隔D는 1.0~1.5W의 범위로 잡는

것이 좋다.

3-2. Langefors의 式에 依한 경우

Langefors는 많은 실험결과 다음과 같이 裝藥量에 關한 式을 구했다.

$$L = k_0 + k_1 w + k_2 w^2 + k_3 w^3 + \dots + k_n w^n \dots (3)$$

但 W: 最少抵抗線, $k_i (i=0, 1, 2 \dots n)$ 는 使用하는 폭약, 암석의 不同정수, 지금 Bench의 높이 硯폭과孔長을 H라하고 孔長 1m의 裝藥量을 L, 또 $H/W = n$ 라고 하면

$$L = \frac{L}{H} = \frac{1}{n} \left(\frac{k_0}{W} + k_1 + k_2 W + k_3 W^2 + \dots + k_n W^{n-1} \right) \dots (4)$$

여기서 n의 固定値에 對하여 만약 W가 0에 가까워지면 l도 0에 가까와지므로 $k_0 = k_1 = 0$ 가 되지 않으면 안된다. 또 實驗에 依하면 (4)式의 W^3 項以上의 値는 아주 작아 무시하여도 무방하므로 結局 (3)式은 다음과 같이 된다.

$$L = k_2 W^2 + k_3 W^3 \dots (5)$$

Bench Cut의 경우에는 Bench底 附近은 앞서 기술한 바와 같이 荷重이 대단히 크므로 裝藥量의 分布를 底部와 上部로 나누어서 생각하기로 한다. 우선 底部裝藥(Bottom Charge)의 計算은 圖7에서 처럼 $H/W = 1$ 로 底部切取線의 部分이 制限되어 있다고 생각한다. 이런 경우에 對應하는 係數 k_2, k_3 를 各各 a_2, a_3 로 表示하면 Bottom Charge Lb에 對해서는 (6)式으로 表示된다.

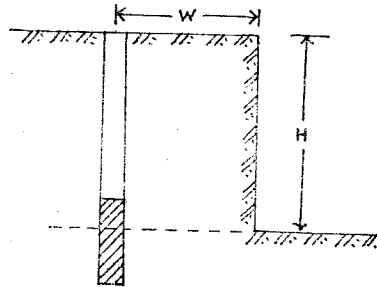


圖 7. 底部裝藥의 計算

$$Lb = a_2 W^2 + a_3 W^3 \dots (6)$$

다음에 上部裝藥(Column Charge)에 關하여 생각하기로 한다. 지금 만약 底部가 完全히 떨어져 나갔다고 하면 上部 Bench의 外에 必要한 裝藥量은 孔長에 比例하게 되므로 이때 孔長 1m에 對한 裝藥量 L_c 는

$$L_c = b_2 W + b_3 W^2 \dots (7)$$

가 됨을 알 수 있다. 但 b_2, b_3 는 k_2, k_3 에 對應하는 係數인.

많은 시험폭과의 결과 係數 a, b間에는 다음의 관계가 있음이 確認되었다.

$$b_2=0.4a_2, b_3=0.4a_3 \dots (8)$$

다음에 a_2 의 値는 Sweden에서 주로 쓰이는 L. F. B dynamite (Nitroglycerine 35%, 火藥力 $f=10230 \text{ l-kg/cm}^2$)을 사용한 경우 一定値의 $a_2=0.07\text{kg/m}^2$ 의 値를 갖는다. 또 a_3 는 Hauser의 式에 의한 爆破係數 C에 相當하는 岩石의 抗力係數로 생각되지만은 Sweden의 많은 岩石의 경우에 $a_3(0.4 \pm 0.06) \text{ kg/m}^2$ 의 値를 갖는 것으로 알려져 있다. 지금 a_3 를 單純히 a 로 表示하면 (6), (7)式은 各各 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Lb=(0.07W^2+aW^2)=2.5l_c W \dots (9)$$

$$l_c=0.4(0.07W+aW^2) \dots (10)$$

그러나 Bench Cut의 경우에는 Bottom Charge에 의하여 底面에서 最少抵抗線 W 와 같은 높이까지 岩石이 끊기어서 殘孔長 $H-W$ 의 岩石部는 Column Charge으로 파쇄시킨다고 하면, 全裝藥 L 는 다음의 式으로 부터 얻을 수, 있다.

$$L=Lb+l_c(H-W)=(25W+H-W)l_c$$

$$=(1.5W+H)l_c=0.4(1.5+\frac{H}{W})(0.07W^2+aW^2) \dots (11)$$

이 裝藥量의 算定에는 L. F. B. dynamite(日本の 桐 Dynamite와 同類品)의 威力係數를 1.0로하여 求한 것이므로 威力係數가 틀린 炸药를 使用하였을 경우에는 威力係數로 나눈 値가 裝藥量이 된다. 各종 炸药의 威力계수의 値는 表 2와 같다.

表 2. 炸药의 威力關係

炸 药	比 重	爆 速 (m/sec)	比에너지 (f)	威 力 係 數
松 Dynamite	1.60	7,500	12,800	0.73
桜 (NG 60%) "	1.50	7,000	8,600	1.00
特桐 "	1.45	7,000	10,600	0.80
新桐 "	1.42	6,700	9,700	0.85
竹 3號 "	1.46	6,200	9,500	0.85
新竹 "	1.10	4,900	9,880	0.87
一號特硝	0.93	3,300	7,700	1.10
甲 硝 爆	0.96	3,500	7,200	1.10
500號硝爆	1.00	2,500	4,600	1.70
一特白梅	1.57	5,700	6,850	1.18

以上은 單發의 경우이지만 數孔以上을 齊發할 경우에는 1孔에 있어서의 裝藥量 Q 는 다음 (12)式으로 구한다.

$$Q=\frac{\alpha}{\beta} \times \frac{D}{W} \times 0.8 \times L \dots (12)$$

但 α : 孔底의 抵抗狀態와 炸药공의 傾斜度에 關係하는 係數(表 3 參照)

β : 炸药의 威力係數(表 2 參照)

D : 炸药공간격 (m)

W : 최구 초저항선의 길이(m)

L : 單發경우 (11)式에 의하여 하여진 裝藥量 (kg/m^3)

實際로 裝藥量을 계산할 경우에는 Bench의 높이와 最少抵抗線과의 比에 의하여 Column Charge를 增加시킬 必要가 있으며 그 追加量은 表 4에 보인다.

表 3. 係數 α 의 値

炸药孔의 경사도	$\infty:1$	3:1	2:1	free bottom
一例에설치한炸药공	1.00	0.90	0.65	0.75
天 盤 落 孔	0.80	0.70	0.65	0.60

表 4. H/W의 比에 따른 增加%

H/W	2	3	4	5	6
增加 %	0	35	55	70	80

4. Livingston crater theory에 의한 Bench Cut

4-1. Livingston Crater theory

Livingston Crater theory는 1956年 7月 美國에서 열린 第一回 岩石力學에 關한 Symposium에서 C. W. Livingston이 發表한 以來 주목된 것으로서 實際應用은 1960年 頃부터였다. 이 發破論은 炸药를 암반내에서 폭발시켰을 때 발생하는 動的 및 靜的 Energy는 암반에 대하여 어떠한 狀態로 전달시키느냐에 따라서 파괴의 樣式이 결정된다는 것이 基本的인 思考로 어려운 수식을 거의 쓰지않고 實際的인 面에 重點을 둔 發破에 關한 考察이다.

그 要點을 說明하면 다음과 같다.

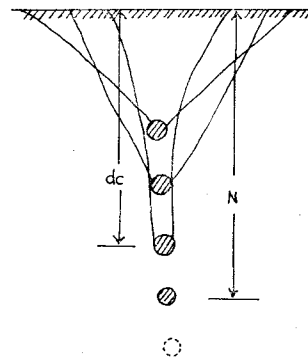


圖 8. Livingston 理論의 說明圖

圖8에서와 같이 어느 一定量의 폭약을 어느 일정한 암반중에서 폭발시킨다고 하자 물론 폭약은 완폭하는 경우이다.

장약위치가 너무 길어지면 암반표면에는 어떠한 폭발효과도 나타나지 않지만은 여기에서 장약을 암반表面쪽으로 점점 가까이 옮기면 암반表面에는 처음으로 균열이 발생하기 始作하는 一定한 장약의 길이가 얻어지게 마련이다. 이때의 깊이를 臨界深度(Critical depth)라하며 N 로 表示한다.

또 다시 장약의 깊이를 알게하면 Crater가 생성하게 된다. 이와같이 심도를 변화시키면서 많은 實驗을 하면 Crater의 最大體積이 生成되는 장약의 깊이 卽 最適深度(optimum depth)를 求할 수 있다.

이 理論에서는 장약위치를 深度比(Depth ratio) Δ 로 表示하는데 이는 裝藥中心의 깊이 dc 를 N 로 나눈 值다. 또 最適深度에 對한 Δ 는 Δ_0 로 나타낸다. 종합해서 말하면 最適심도에 장약을 하여 발파하면 폭약이 갖는 Energy를 암반의 파쇄에 最大限으로 利用할 수 있게 된다. 따라서 암반은 가장 적당한 크기로 파쇄될 뿐 아니라 암편의 發散도 적으며 폭음등 기타 허비되

는 Energy의 loss가 最少로 되어 가장 理想的인 發破를 할 수 있게 된다.

이와같은 파생상황과 Δ 와의 關係는 圖9와 같다.

Δ 의 值가 크면 폭발에 依하여 단지 암반표면에 들러올라가며 일부의 암반에는 균열이 생기어 암반모체로부터 어느 정도의 분리작용이 일어나지만 有效한 파쇄작용은 일어나지 않는다.

Δ 의 值를 적당히 잡을 때만이 Crater의 體積이 最大가 된다. 따라서 이런 경우에 Crater의 높이와 半徑도 最大値를 나타내며 岩片의 飛散度나 騒音, 爆音같은 것도 抑制시키게 된다. 또한 Δ 가 너무 작아지면 騒音, 爆音が 強하게 되어 有效한 破碎는 일어나지 않는다.

이 理論에서 裝藥量 $L(l)$ 와 $N(f)$ 와의 關係는 다음의 (13)式으로 表示된다.

$$N = E \cdot L \frac{1}{3} \dots (13)$$

여기서 E 는 引張 Energy係數(Strain Energy factor)라하며 岩盤과 使用하는 爆音과의 組合에 따라 定해지는 一定 值다.

한편 深度比의 定義로부터

$$dc = \Delta \cdot N \text{ 또는 } dc = \Delta \cdot E \cdot L \frac{1}{3} \dots (14)$$

가 얻어진다. 一般적으로 岩石의 경우는 E 의 值가 크며 4.0~5.0의 值를 갖는다.

이런 경우 Δ_0 의 值 0.45~0.55의 範圍에 들어가는 것이 많지만은 材料가 塑性이 많아짐에 따라 E 의 値는 작아져서 이에 따라 Δ_0 의 値는 크게 되는 것이다.

또 發破設計에 必要한 穿孔間隔 D 나 各孔의 最少抵抗線의 길이 W 에 對하여서다 다음의 式 (15) (16)과의 關係가 表示되어 있다.

$$D = \Delta_s \cdot N \dots (15)$$

$$W \Delta_p \cdot N \dots (16)$$

但 Δ_s, Δ_p 는 Δ_0 에 對應하며 各各 最適의 穿孔間隔比 및 抵抗線比를 意味하는 것이다. 實際적으로 이 式을 使用하여 發破設計를 하지만은 이때 對象岩盤 및 使用할 爆藥의 組合에 對하여 우선 Crater試驗. 其他의 方法에 依하여 $E, \Delta_0, \Delta_s, \Delta_p$ 等의 值를 求하여 놓을 必要가 있다.

4-2 Bench Cut의 設計例

지금 Bench發破를 例로 들어서 此理論을 써서 發破設計의 方法을 說明하겠다.

(1) 우선 使用할 爆藥을 定하고 Bench發破를 하려고 하는 岩盤을 對象으로 E 의 值를 決定한다. 이 實驗은 5~10Lb(2.3~4.5kg)程度의 폭약을 可能한한 球裝藥에 가까운 狀態로 發破가 되도록 穿孔徑을 잡는다. 一般적으로 穿孔長과 穿孔徑과의 比가 16程度가

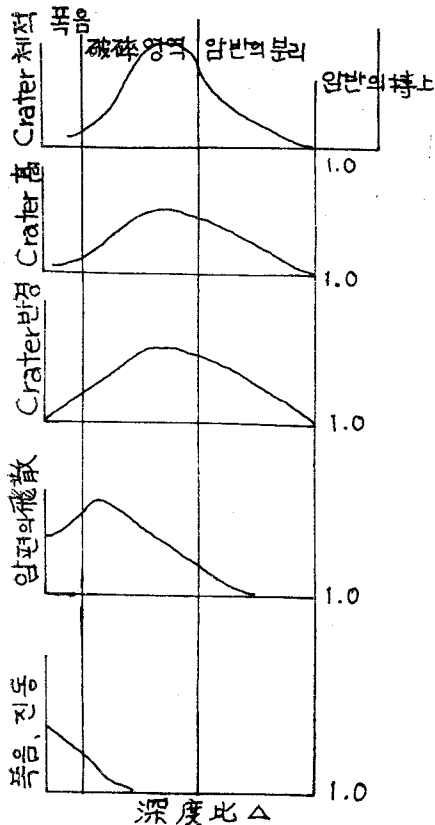


圖 9. 岩盤의 破碎狀況과 Δ 와의 關係

지 있으면 球狀裝藥에 가까운 狀態라고 생각한다. 또 前述한바 如히 普通의 岩盤일 경우 E의 値는 4.0~5.0의 범위에 들어감으로서 우선 E의 値를 가령 4.0, 4.2, 4.4 등으로 假定하여 식(13)에다 각각 E 對한 N의 値를 차례로 求하여 裝藥位置를 決定하여 實驗을 行하는 것이 容易하다. 지금 이렇게하여 얻어진 E의 치가 이 岩盤과 爆藥과 組合시킬때 4.4였다고 하자.

(2) 다음에 Crater 實驗을 實施하며 Δ_0 를 決定한다. 이를 위하여 N보다 淺은 位置에 裝藥을 하여 數回의 Crater試驗을 行하여 各各 裝藥中心位置에 對應하여 생긴 Crater의 體積을 測定한다. 이를 圖10과 같이 圖示하면 Δ_0 의 値를 求할 수 있다.

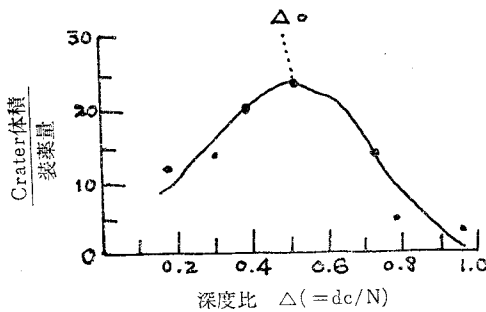


圖 10. Δ_0 의 決定

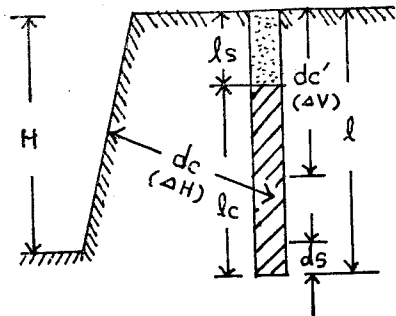


圖 11. Bench發破의 設計 說明도

(3) Bench Cut의 경우는 圖11에 나타난바와 같이 -- 自由面이므로 Δ 로서는 ΔH 와 Δr 의 兩者가 생각되지만 一般적으로 ΔH 가 Δ_0 가 되도록 설계한다.

그리하여 먼저 구해진 E 및 $\Delta_0 (= \Delta H)$ 의 値를 써서 식(14)에 依하여 여러 종류의 最少 抵抗線의 길이 dc에 對한 藥量 L의 値를 求한다.

이 計算 및 以下에 나타내는 各項의 計算의 結果는 表 5와 같다.

(4) 穿孔徑 및 爆藥比重的 値를 사용하여 (3)에서 얻은 각각의 藥量 L에 對한 裝藥長 l_c 를 구한다. 表 5에서는 穿孔徑을 4in, 裝藥比重大을 1.5로 할 경우의

計算 結果를 나타낸 것이다.

表 5. 計算例(E=4.4 $\Delta_0=0.52$ 穿孔徑=4φ, 爆發比重=1.5, ΔS)

dc (ft)	L $\frac{1}{3}$ (Lb)	lc (ft)	$\frac{lc}{2}$ (ft)	dc' (ft)	l (ft)	ls (ft)	ds (ft)	H (ft)	N (ft)	D (ft)
156.55	281	11.2	5.6	18.7	24.3	13.1	4	20.3	28.8	29
166.99	341	13.6	6.8	20.0	26.8	13.2	4	22.8	30.7	31
177.43	410	16.4	8.2	21.2	29.4	13.0	4	25.4	32.7	33
187.86	485	19.4	9.7	22.2	32.1	12.7	4	21.1	34.5	35
198.30	571	22.8	11.4	23.7	35.1	12.3	4	31.1	36.5	37
208.74	667	26.3	13.2	25.0	38.3	11.7	4	34.3	38.4	38

(5) ΔH 보다 小은 Δr 의 値를 정하고 각각의 藥量 L에 對한 N의 値와 Δr 의 値를 써서 Bench 平坦面으로부터 裝藥中心깊이 dc'를 計算한다. 表 5에서 나타낸 dc'의 値는 $\Delta r=0.65$ 로 하여 얻어진 値이다.

(6) (4)(5)의 資料로부터 穿孔長 l을 구할 수가 있다.

(7) Bench 下底面에서의 穿孔餘掘量 (subgrade) ds의 値를 適當히 定하면 穿孔長 l에서 ds를 빼므로써 각각의 경우에 대응하는 Bench의 높이 H를 구할 수 있다. 一般적으로 ds는 最少抵抗線의 長이의 0.1~0.3倍의 범위에서 택하지만 表 5에서 나타낸 H는 ds의 値를 一定值 4ft로 하여 얻어진 値이다.

(8) 穿孔間隔은 式 (15)에서 決定하지만 이때 必要한 Δs 의 値를 우선 먼저 實驗의 結果로 決定해 놓아야 할 것이다. 普通의 岩盤에 對해서는 $\Delta s=1.0$ 程度가 適當한 것으로 알려져 있다.

以上에서 記述한 方法에 依하여 Bench Cut에 對한 設計는 가능하지만 이와 같이 하여 얻어진 値를 다루어 가면서 現地의 條件에 가장 적합한 穿을 정하여 實施해야 할 것이다.

5. Bench Cut의 實施

5-1 Bench의 높이

Bench Cut에 있어서 Bench의 높이를 얼마로 하느냐는 現地의 地形, 地質等 穿孔에 쓰이는 착암기의 性能, Bit徑 使用爆藥의 性能 爆破産物의 積하 운반기계의 종류와 性能等 여러가지 條件을 考慮하여 決定하지 않으면 안된다. 또 Bench Cut의 경우 荷重中心은 폭발에 의하여 암반에 가해지는 荷重이 集中的으로 어느 位置에 加해져야 할 必要가 있는가를 나타내는 値지만 (1) 式에서 나타난바와 같이 이는 岩石의 張度, Bench의 (即孔深), 最少抵抗線의 길이와 많은 關係가 있다. 따라서 이 兩者關係를 적당히 調整하여 荷重中心이 너무 Bench底部에 치우치지 않도록 記計해야 한다.

穿孔機의 입장에서 생각할때 一般的으로 널리 使用되고 있는 3inch 크로라 dill은 穿孔속도가 빠르며 가장 경제적인 Bench의 높이는 7~8m정도로 알려져 있고 Bench의 높이가 더욱 높아지면 穿孔時 생기는 粉의 배제가 잘안되어 穿孔時間이 많이 걸려서 能率이 低下된다. 또 7~8m높이의 Bench에 對해서는 Shovel의 용량이 1.2m³의 것이 적당하다. 때로는 高性能 착암기를 사용하여 15~20m의 Bench高로 施工하는 경우도 있지만은 이런 경우에는 積込用 Shovel을 2m³ 이상의 것을 使用하여야 한다.

5-2 穿孔間隔과 裝藥長과의 關係

(1)式에서 表示한 荷重中心의 計算式에서처럼 一定한 높이의 Bench에 對하여는 最少抵抗線의 길이가 크게 됨에 따라 荷重中心이 깊어져서 Bench 底部에 가까워진다. 한편 필요한 裝藥量도 最少抵抗線이 길어짐에 따라 增加하므로 荷重中心을 考慮하며 爆藥을 有效하게 장약하기 위해서는 最少抵抗線의 增加에 따라서 爆破孔徑도 크게 할 必要가 있고 이때 장약은 Bench 底部에 集中하게 된다.

이런 경우에는 예를 들면 Deck Charge에 依하여 爆藥을 분산시켜서 均一한 파쇄도를 갖도록 해야하며 동시에 荷重中心이 크게 變하지 않도록 研究할 必要가 있다. 穿孔徑가 穿孔長과의 關係를 表示한 圖12를 참조하기 바란다.

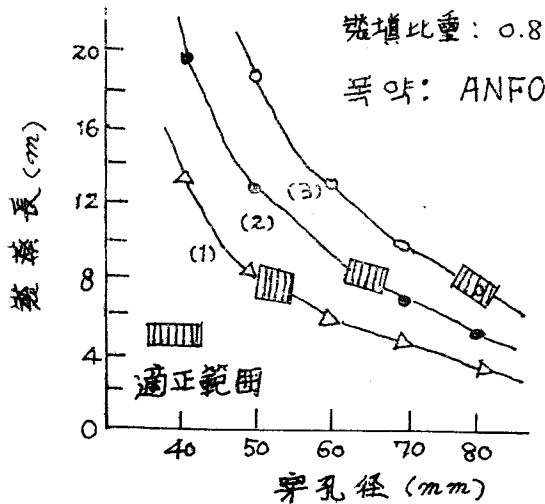


圖 12. 穿孔徑과 穿孔長과의 關係

- ① W=2.0m, D=2.5m, H=10m
C=0.4 L=20kg
- ② W=1.7m, D=2.0m, H=10m
C=0.4, L=13.6kg
- ③ W=2.5m, D=3.0m, H=10m
C=0.4, L=30kg

5-3 垂直穿孔과 傾斜穿孔

垂直穿孔은 傾斜穿孔보다 穿孔은 容易하지만 폭파후에 底部에 殘留部分이 생기기 쉽다. 多數制의 Bench Cut의 경우 이것은 特別한 장애가 된다. 이에 대하여 傾斜孔의 경우에는 第1例의 폭파로서 혹은 底部에 잔류부분이 생긴대 해도 後例의 폭파에 의하여 떨어져 나갈 수도 있다. 또 Bench의 造成에 있어서도 保安上으로 Bench面에 대하여 얼마의 傾斜를 가질 必要가 있다. 또 Back blake나 Cut off의 防止上 경사공이 좋다.

5-4 穿孔間隔과 列數

최소저항선 길이의 1.0~1.5배의 범위에서 穿孔間隔을 定하는 것이 통례이다.穿孔列數에 있어서는 列數가 많아지면 同一裝藥量에서는 後例로 같수록 폭파효과가 나빠지고 裝藥을 많게하면 地上의 背面에 Back blake가 생겨 다음回的 폭파공의 穿孔이 곤란하게 되므로 特別한 경우를 除外하고는 2-3列이 가장 경제적으로 알려져 있다.

5-5 Bench Cut用 爆藥과 裝藥方法

Bench Cut는 대개 10m나되는 長孔으로 行하여지는 것이 많으므로 폭약도 당연히 長裝藥이된다. 이러한 長裝藥은 孔徑이 작으면 폭약의 藥徑效果에 依하여 塗中에 爆力이 低下된다. 따라서 小孔徑의 Bench cut는 絢爆度를 좋게하기 위해서는 爆速, 猛도가 큰 爆藥을 택할 必要가 있다.

爆藥의 猛도는 $B=4fDe \dots (17)$

로 表示된다. 但, B: 猛도 f: 裝藥比重, De: 火藥의 爆速이다. 爆速이 큰 爆藥일수록 猛도가 크다. 그러나 一般的으로 Bench Cut는 2-4 inch徑의 폭파공으로 實施되고 있으므로 孔徑에 依한 폭력저하는 거의 없다. 裝藥은 岩質, 斷層, 岩目の 多少등을 考慮하여 장진方法을 달리하지만 보통 쓰이는 것은 Deck change or Column Charge中的 하나이다.

前者는 湧水, 斷層이나 岩目の 發達, 粘土層과 같은 弱線이 있을때 適用되며 폭약과 폭약사이에 填塞物을 넣어 爆藥을 分散하여 裝藥하는 方法이다. 이 경우에는 주로 高性能의 폭약을 使用한다. 後者는 普通행해지고 있는 바와같이 連續裝藥을 하여 最後에 填塞物을 넣은 裝藥法으로 低比重의 폭약이 使用되고 있다. 또 爆破孔內에 湧水가 있거나 여러가지 理由로 孔內가 詰혀질 경우에는 耐用水 爆藥이나 혹은 粒狀으로 成形된 爆藥이 쓰인다. Bench Cut用 폭약으로서는 目的에 맞는 폭약이 市販되며 또 最近에는 軟岩, 中硬岩에 對하여 ANFO 폭약이 많이 使用하게 되었으며 硬岩의 一部에 對해서는 Slurry 폭약도 使用하고 있다.

5-6 點火方法

Bench Cut에 있어서 裝藥의 點火에는 最近 例外없

이 電氣點火法이 쓰이고 있다. 이 경우 多數의 폭파공을 齊發시키느냐 段發시키느냐의 問題가 있다. 最近에는 段發이 널리 쓰이고 있으며 特히 2例以上の 폭파공을 설치할 경우에는 當然히 段發에 依하지 않으면 안된다. 例를들면 Langefors에 依하면 Sweden의 어느 石灰石鑛山에서 Bench의 높이 15~20m, 抵抗線이 5m, 孔間隔 6m의 Bench Cut를 行할때 齊發의 경우와 時差가 20~25ms의 MS段發의 兩者에 關하여 1年間의 實績을 比較한 결과 폭약소비량은 表 6에 表示한바와 같이 MS段發을 하였을 경우가 齊發의 경우보다 10%작다는 것을 알았다.

段發의 時差에 關해 破碎物의 크기에 대한 같은 Sweden의 石灰石鑛山의 實驗결과로는 表 7과 같다

表 6. Sweden에서의 齊發과 段發의 比較

區 分	폭파회수	평균폭파소비량 (g/t)		
		1 次	小 割	計
齊 發	23	95.5	29.0	124.5
MS 段 發	48	100.0	12.4	112.5

表 7. MS 段發에서의 時差와 破碎物의 크기

時差(段間隔)(MS)	10	20	30	100
40cm이상 大塊의 數	10	26	37	25

또 以上の 實驗에서 40cm보다 작은 파쇄물의 分布를 조사한결과 時差 10ms에서는 파쇄물의 크기가 均一하고 20ms에서는 不均一하였으며 30ms에서는 또다시 시켰다. 한편 其他의 鑛山의 例에서도 15~300ms의 段發폭파를 實施한 경우에는 秒時간격이 짧을수록 양호한 파괴도를 나타냈다고 한다. 日本 Cement 勝峰鑛山에서도 石灰石 階段掘막장에서 最少抵抗線길이 가 約 1m 폭파引張 4m인 조건으로 MS폭파의 여러가지 時差를 가지고 實驗한 결과 3ms時차의 경우가 가장 良好한 파쇄효과가 있었다고 한다.

Langefors는 最少抵抗線 길이 가 0.5~0.8m인것을 여러가지 MS폭파를 Bench Cut에 對하여 行한결과 가장 좋은 破碎도를 나타내는 폭파에서는 最少抵抗線과 秒時 間격사이에는 直線의인 관계가 있음을 다음식으로 確認하고 있다.

$$T = k, w \dots (18)$$

但 τ : 時差(ms), w : 最少抵抗線의 길이(m)

k : 定數로써 石灰石에 대해서는 $k=3\sim 5$ ms/m이다.

岩石이 달라지면 k 의 值도 물론 多少補正할 必要가 있지만은 (18)式에서 나타내고 있는 것은 MS폭파의 파괴기구에 대한 우리들의 思考方式과 一致하고 있다.

이方式에 따르면 例를 들어서 3m以內의 最小抵抗線으로 實施할 경우 지금쓰고 있는 MS전기뇌관의 시차로서는 최량의 파쇄도가 얻어지지 않는다.

美國에서는 MS connector가 시판되고 있으며 5.9.17ms의 短時差로도 MS폭파가 가능하다.

다음에 段發을 行할 경우에 各孔의 點火順序에 있어 孔數와 쓰이는 段數와의 關係로부터 여러가지 方法이 擇해지고 있다.

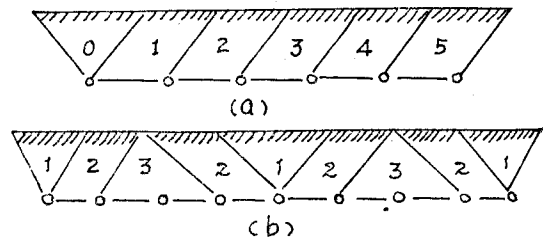


圖 13. 일렬로 설치된 폭파공의 경우 點火순서

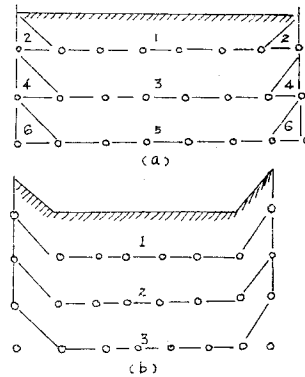


圖 14. 數列로 설치된 폭파공의 경우 點火순서

圖 13 및 14는 一列 및 數列로 설치한 폭파공에 대하여 흔히 쓰이는 點火순서를 예시한 것이다. 特히 다수열의 경우 파쇄물의 비산을 줄이기 위해서는 兪공간의 寸시의차를 충분히 작게하고 次列이 기폭되었을 적에 別列의 기폭에 의한 파쇄암석은 最小 저항선의 10~30% 정도 밖에 이동하지 않는 상태가 좋다. 단 단발폭파의 경우에는 Cut off에 의한 不發이 생기지 않도록 穿孔配置에 주의하지 않으면 안된다. 또 各區의 폭파공에 대하여 日本에서는 孔口起爆(正起爆)法이 널리 쓰이고 있지만은 歐美에서는 孔抵起爆(逆起爆)法이 쓰이고 있다.

以上 Bench Cut에 관해서는 주로 폭파의 見地에서 主要사항을 검토중합하였다. 또한 Bench Cut의 종합 능을 생각할 때 隣接적으로 착암기술이나 移込운반 등의 諸문제를 고려하지 않을수 없다. 이런 關連을 충분히 고려하여 더욱더 능률이 높은 効果적인 폭파법을 실시하시기 바랍니다.