

階段式 採掘法에 관하여

星信化學株式會社 丹陽시멘트工場

理事·鑛業部長 金 俊 滿

1. 概 說

Bench cut method(階段採掘法)는 鑛床의 규모가 크고, 地形·地質 등 자연조건이 적합하고 많은 出鑛을 해야 할 경우에 채택케 되며, 특히 鑿岩機의 大型化가능과 低廉한 AN-FO와 같은 爆藥의 발명에 의하여 연구개발된 방법으로 非金屬鑛床 뿐만 아니라 地表에서 그리 깊지 않은 大金屬鑛床에도 채택되고 있다.

Bench cut method를 채택함으로써 Glory hole method(露天坑井法)나 Slope cut method(傾斜面採掘法)에 비해 얻어지는 장점은 다음과 같다.

- 가. 大型 rock drill을 이용할 수 있어 driller 1工當 능률이 비약적으로 상승되므로 人件費가 절감된다.
- 나. 전작업이 水平面에서 이루어지므로 保安上 극히 안전하다.
- 다. 規格採掘이 가능하므로 發破効率が 양호하다. 選擇採掘이 가능하므로 品質관리가 용이하다. 作業管理가 용이하다.
- 라. 雨天·降雪·夜間작업이 가능하다.
- 사. 壓氣管理가 용이하다.
- 아. 단기간에 增産態勢를 갖출 수 있다. 특히 산업발전에 따라 勞動力 부족으로 高度의 기술이 요구되고 教育程度가 높아져 肉體勞働者의 격감이 초래될 때 鑛山勞務者의 확보가 곤란해질 것이다. 이의 대책으로 作業環境의 개선, 作業안전설계를 감안할 때 Bench cut method를 채택함이 유리하다고 본다.

2. 採掘作業

1) Bench 高, 孔徑, 抵抗線, 孔間隔

Bench cut method에 있어서 bench 高를 어느 정도로 하느냐 하는 것은 무엇보다 중요하다.

美國의 露天採掘 전문가들은 bench 高가 낮은 것이 유리하다는 반면, 유럽 專門家들은 bench 高가 높은 것이 유리하다는 견해 차이를 보이고 있다. 이런 견해차이는 쉽게 풀이할 수 있다.

bench 하부의 岩石抵抗이 상부에 비해 岩石 톤당 2.5~4 배 크기 때문에 같은 抵抗線을 두고 穿孔한다면 bench 高가 크면 클수록 톤당 화약이 적어진다. 고로 유럽의 광산에서는 孔徑이 작으므로 美國에서보다 抵抗線이 짧아져 여기에 따른 抵抗線 W, bench 高 H의 比 H/W 가 높으므로 화약이 적게 든다. 그래서 유럽에서는 인건비에 비해 화약비가 비싸므로 火藥費를 최소로 하는 Bench 高, 抵抗線, 孔徑을 선택하게 되었다고 본다. 그러나 해마다 人件費는 增加되고, 거기에 비해 火藥費는 비교적 增減이 없으므로 이 函數關係는 변화되어 근래 「유럽」에서도 bench 高를 낮게 하는 경향이 있다고 한다.

Bench 高는 5~30 m 범위이나 power shovel의 安全과 能率向上 및 破岩積載中の 塊石, 轉落, 破石用 drop ball의 효과적 이용 등을 감안할 때 bench 高를 9~10 m로 하는 것이 最適하다고 생각된다. 보통 bench 高가 높으면 抵抗線은 커진다. 그러나 이보다 孔徑과 抵抗線과의 관계는 더욱 밀접한 관계가 있다. 岩石 톤당 火藥費가 抵抗線이 增加함에 따라 급격히 증가하는데 塊石이 많이 생기게 된다. 그래서 一般적으로 小孔徑으로 큰 抵抗線을 택하려면 孔間隔을 적게 하고 toe-hole를 穿孔하기도 한다. 또한 火

藥係數(powder factor)를 일정하게 하는 경우에도 抵抗線과 孔間隔을 크게 하면 大塊가 생기고 積込·運搬·粗碎에 장애가 되므로 破壞粒度에 대한 문제점이 야기된다. 孔徑이 작으면 작을수록 單位孔長當 화약이 적게 든다.

화약을 棒狀으로 裝填한다면 爆藥의 폭발속도가 느려지고 孔內의 餘分이 많아진다(Fig. 1 參照). 그리하여 孔徑이 작은 곳에서는 裝填密度(loading density)와 孔의 單位面積當爆壓; 岩石에 미치는 發破力 등이 약해진다(Fig. 1, 2 參照).

그리하여 가장 경제적인 孔徑이 어느 정도이어야 하는가에 의견이 구구하다. 구멍의 면적이 2배 되었다면 抵抗線과 孔間隔을 조정하여 單位長當 發破량이 2배가 되도록 해야 한다. 單位長當 孔徑이 클수록 穿孔費가 적어지므로 原石噸當 穿孔費는 孔徑이 커짐에 따라 급격히 감소한다. 單位長當 發破량을 2배로 하는 대신에

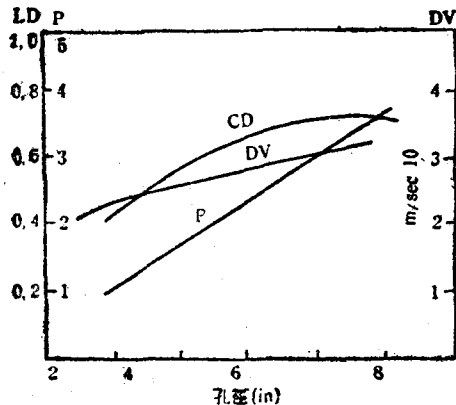


Fig. 1. LD: 裝填密度 (Loading density)
DV: 爆通速度 (AN-FO 基準)
P: 週邊長, 單位面積當 相關爆藥量

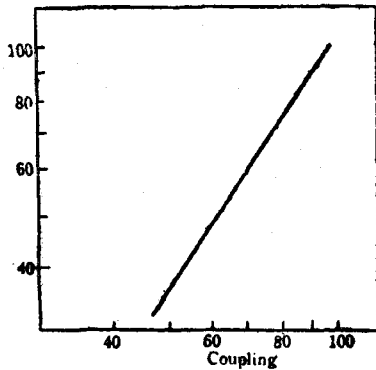


Fig. 2. 裝藥에 依하여 岩石에 미치는 應力은 孔徑과 裝藥徑의 比, 即 coupling에 依하여 1.5 倍로 된다.

發破량을 적게 책정하고 孔徑을 그대로 유지한다면 原石噸當 穿孔費는 增加하지만 發破는 잘 되어 塊石이 감소한다.

그러므로 孔徑을 크게 할 때 單位長當 發破량을 최적량으로 책정함으로써 全費用이 줄어들게 된다. 孔間隔과 抵抗線과의 비는 조건이 좋은 상태에서는 1.8:1로 보통 1.2~1.5:1 정도로 합이 무난하다. 裂隙이 Bench 면에 垂直方向이든지 이 裂隙들에 모래나 粘土가 많이 끼어 있다면 孔間隔과 抵抗線과의 비를 작게 하지 않으면 空發이 될 수도 있다.

2) 長孔穿孔方法

Bach cut method에 있어서 垂直穿孔보다 傾斜穿孔法이 유리하다. 그 이유로는 다음과 같은 이점이 있기 때문이다.

- (1) 작업이 더욱 安全하다.
- (2) 破石粒度가 상당히 작아지고, 二次發破의 비용이 激減한다.
- (3) 작업상 가장 큰 문제인 toe-hole을 무시할 수 있다.
- (4) Banck break가 없다. 즉 bench face가 편편하다.
- (5) 火藥이 傾斜角에 비례하여 감소한다. 즉 수직으로부터 1° 기우는데 약 1%씩 비용이 감소한다.
- (6) 孔間隔이 넓어지고 抵抗線은 커지는 반면 二次穿孔이 적어져 噸當 穿孔費가 적어진다.
- (7) 發破時 진동이 적다.
- (8) 穿孔·發破·破碎를 포함하는 전비용이 약 5~10%까지 줄어든다.

垂直穿孔을 하면 bench 상부의 암석들을 불규칙하게 떨어뜨리므로 요망되는 抵抗線을 택하는 것이 곤란할 뿐 아니라 發破효과가 나쁜 것과 toe hole 穿孔問題, 뒷面破壞現象이 問題視된다. 傾斜穿孔은 모든 이런 문제를 완전히 제거하고 작업이 안전하고 비용을 절감시킨다.

傾斜穿孔에 대한 이론과 실제면에서 세가지 큰 분야, 즉 爆發力의 應用, 岩石의 抵抗, 破壞角 度로 나눌 수 있다.

가) 岩石은 自由面으로부터 衝擊波에 의해 破壞된다고 일반적으로 생각하고 있다. Fig. 3에서와 같이 垂直穿孔을 하였을 때 衝擊波의 다만

25%만이 有用하게 나타난다. 傾斜穿孔을 함으로써 bench 面에 衝擊波의 많은 양을 有用하게 한다. Fig. 3 과 4 에서 L 지점을 垂直穿孔과 비교해 보면 45°, 穿孔時에는 2 倍의 衝擊波가 작용한다.

나) bench 의 傾斜가 커지면 커질수록 岩石의 저항은 작아진다.

다) 破壞角度가 커진다.

3) 通破(Blasting)

穿孔長 · 抵抗線 · 孔間隔을 아무리 이상적으로 하였다 하더라도 採鑛作業의 成敗는 發破에 의

해 좌우된다.

Bench cut 에서 發破가 잘 되었다는 것은 무엇보다 二次發破를 할 필요가 없고, back break 가 생기지 않아 다음 發破自由面이 균일할뿐 아니라 均렬도 없고 岩石의 飛散이 적어 回收率이 높아야 한다. 또한 路面整理發破가 별도로 필요 없이 積載作業이 용이해야 한다. bench 에서의 裝藥方法은 크게 두 가지로 구분하여 생각할 수 있다. 裝藥중간에 填塞(stemming)부분을 두는 multiple deck charge(分散裝藥)와 상부만을 stemming 하는 column charge(棒狀裝藥)로 나눈다. 또 다른 형식으로는 孔徑을 爆藥으로 완전히 채우는 coupling 式과 孔徑보다 작은 비닐 봉을 사용하는 decoupling 式으로 구분할 수 있다.

裝藥하기 전에 每孔마다 斷面實測을 행하여 發破設計圖를 작성 最小抵抗線, 孔間隔, 孔深은 물론 各孔의 岩質, 自由面, 石目의 關係, 隣接孔과의 關係를 감안해서 1孔當 裝藥量 및 裝藥長을 결정해야 함은 중요한 일이다.

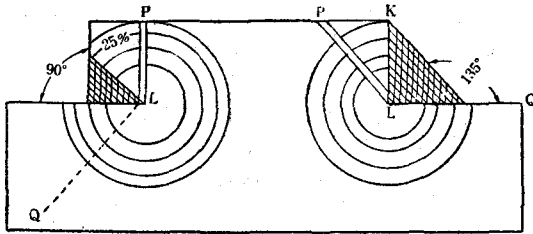


Fig. 3. L 地點에서의 衝擊波
有用衝擊波; 垂直 25%, 傾斜 37.5%
無用衝擊波; 垂直 75%, 傾斜 62.5%

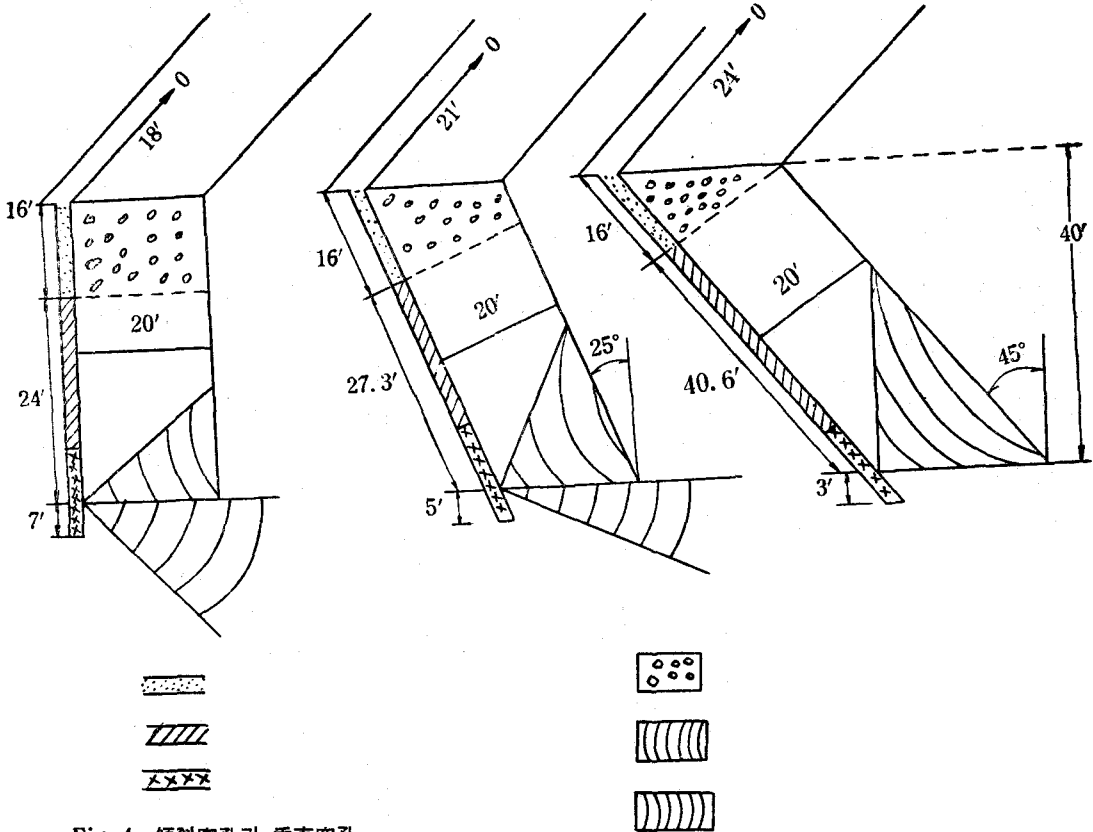


Fig. 4. 傾斜穿孔과 垂直穿孔

Bench cut에서의 裝藥量 算出公式

$$\Delta = C_v B S W \quad \Delta ; \text{裝藥量 (kg)}$$

B: bench 高의 斜距離 (m)
 S: 孔間隔 (m)
 W: 抵抗線 (m)
 C_v: 發破係數 (kg/m³)
 보통 石灰石; 0.22~0.24

2列發破에 있어서는 2番列은 1番列보다 裝藥率을 높히고 起爆劑를 더 사용하는 것이 좋다. 현재 發破技術의 進歩를 噸당 火藥費가 얼마나 드느냐로 速斷하는 경우가 있으나 bench cut에서 火藥費를 20% 증가시켰을 때 積載能率의 향상은 물론, 기계에 무리가 적어 수명을 연장하고 crusher의 시간당 處理量의 上昇은 물론 기계에 무리가 적어 壽命延長 및 補修費 감소가 된다. 고로 전체적인 經비를 비교할 때 火藥費를 20% 상승시켰을 때가 유리하다.

塊石發生은 소형착암기로 穿孔發破하든가 또는 drop ball로 처리하는 것이 유리하다. Drop ball의 時間當 處理能力은 30~40 개이다.

3. 積込과 運搬

1) 積込, 運搬의 形態

Bench cut method에 있어서의 積込·運搬 形態는 自然條件, 經濟的·技術的 要素, 可採鑛量 등과 crushing plant의 위치가 相通되도록 결정해야 된다.

Bench cut method에서의 積込, 運搬을 할 수 있는 경우는 다음의 5가지로 분류할 수 있다.

- ㄱ) Bench face에서 crusher까지 도로일 경우.
- ㄴ) 專用入坑을 개설하여 여기에 鑛石을 投入해서 Crushing plant level까지 내리는 경우
- ㄷ) 既設 glory hole採掘跡을 利用, 이 주변에 小型 bench를 만드는 경우
- ㄹ) 山頂에 大型 bench를 만들어 鑛石을 既設 glory hole에 投入하는 경우
- ㅁ) Open chute를 설치하여 鑛石을 crushing plant level까지 落下하는 경우 등이 있다.

2) 運搬距離

Bench에서 crushing plant까지 道路일 경우에는 850~1,200 m까지이며, 專用入坑을 開設했을 경우엔 300~400 m, open chute를 이용할 경우에는 800~1,200 m이며, 이상 범위를 초과하는 truck 운반을 피하는 것이 좋다.

3) 積込, 運搬기계의 능력

power shovel의 能力은 發破後의 破石大小, 粒度, truck의 關係, 機種, crusher feeding size, 기타 이유로 변동이 있어 dipper capacity에 따라 能率을 결정하는 것은 힘들다.

Dipper capacity 별 시간당 積込量을 예시하면	dipper capacity	0.6 yd ³ 時	50~90 T/h
"	1.2 "	"	120~140 "
"	1.6 "	"	130~170 "
"	2 "	"	170~190 "

Bench cut method에 있어서의 大型機械組合 時長短點으로는 다음과 같다.

ㄱ) 장 점

- ① 大型 機械가 能率적이므로 비약적 증산에 대처할 수 있다.
- ② 기계의 附屬設備가 단순화된다.
- ③ 人員이 감소되므로 勞務管理, 保安管理가 용이하다.
- ④ 기계의 補修管理가 잘 된다.

ㄴ) 단 점

- ① 고장, 事故發生의 경우 生産에 크게 영향을 미친다.
- ② 修理시간과 勞力이 많이 소요된다.
- ③ 기계 부분품의 보유가 높다.
- ④ 기계가 高價이므로 豫備機를 충분하게 보유함이 곤란하다.

이상과 같이 一長一短이 있지만, 장점이 최대로 이루어지게 하고, 단점을 豫防, 保全과 補修의 절저를 기함으로써 소기의 목적을 달할 수 있다.

4. 結 言

Bench cut method는 다른 open cut mining에 비해 유리하나 특히 기계화에 의한 積込運搬에 있어서는 機械補修管理의 良否가 채굴 能力을 좌우하는 중요한 요소라 하겠다. 大型기계에 있어서는 能力이 크고, 豫備機械 보유가 어려우므로 고장 또는 破損 등이 생기면 全機能이 마비되어 운전율의 低下를 가져와 維持費가 커져 기계화에 대한 成算이 맞지 않는 결과가 될 것이다. 고로 監督者와 作業者가 일체가 되어 日常의 補修點檢에 기본적 사항을 충실히 이행해 豫防保全에 노력함으로써만이 좋은 성과를 올릴 수 있다고 본다.