

Bench Cut 에 依한 大發破法에 關하여

雙龍洋灰寧越工場

鑛山部長 朴 大 基

1. 머리말

近來 各 Cement plant 의 擴張及大單位化에 따라 石灰石 採掘方式도 從來의 人力에 依存한 原始的인 操業에서 脫避 大單位化할 수 있는 作業場의 Bench 化, Rock drill 의 大型能率化, 發破法의 改善及 積載 運搬手段의 機械化로 石灰石의 大量生産이 不可避하게 되었으며 이는 곧 國內石灰石鑛山이 當面하고 있는 主要課題라 할 수 있다.

이러한 추세에 따라 當工場 石灰石鑛山에서는 68년 10월에 日本 Furukawa 社의 crawler drill 3台(Bit gage 80 mm ϕ)를 導入後 從來의 小型 Rock drill 에 依한 slope cut 와 Bench cut 의 兼用 採掘場을 完全 Bench 化를 試圖함과 同時 全採掘工程을 大型化하여 現今에 이르고 있으며 本欄에서는 그 동안의 試驗及研究 檢討 結果에 對하여 記述코자 한다.

2. 大型착암기의 性能

近來 國內에 導入된 大型착암기(large hole rock drill)는 主로 스웨덴, 西獨, 日本製들로서 當鑛山에서는 日本 Furukawa 社에서 3臺를 導入 現今에 이르기까지 使用하고 있으며 이의 性能及試驗結果를 보면 다음과 같다.

① 大型착암기의 諸元

Machine name: CRAWLER DRILL-8

Maker: Furukawa Mining Co. LTD Japan

Drifter: cylinder borexpiston stroke

140 mm \times 95 mm

no f flows (5 kg/cm²)

1200 times/min

air consumption (5 kg/cm²)

13 m³/min (total)

Bit gage: 80 mm (x-design)

Rod length: 3000 mm

Maximum drilling Length: 30 m

Drilling angle: 0°~90° (controllable)

② 穿孔能率

Rock drill 의 穿孔速度를 크게 하자면 먼저 機械의 性能이 좋아야 함은 勿論이나 그 外에 air pressure, drilling length, piston 의 마모 상태 凹凸部穿孔 Bit gage drilling angle, 運轉工의 技能, 岩粉의 排除等이 適切해야 하며 이와 같은 條件이 滿足일 때 穿孔速度는 커지고 能率は 向上된다.

(가) Air pressure

當鑛山 Rock drill 의 動力源인 air compressor 의 吐出壓力은 5.5~6.0 kg/cm²이며 作業場 (working face) 壓力은 5.0~5.5 kg/cm² 程度이다. 이와 같은 壓力의 drop 은 Air pipe line 中 pipe dia 의 大小에서 오는 抵抗과 air leakage 及 coupling 의 接觸不良等으로 因한 損失이라 볼 수 있다. 여기서 作業場의 壓力 即 R. D. 에 供給되는 壓力을 變更시켜 壓力의 增減이 R. D. 의 穿孔速度에 미치는 影響을 比較해 보면 表 1 과 같다.

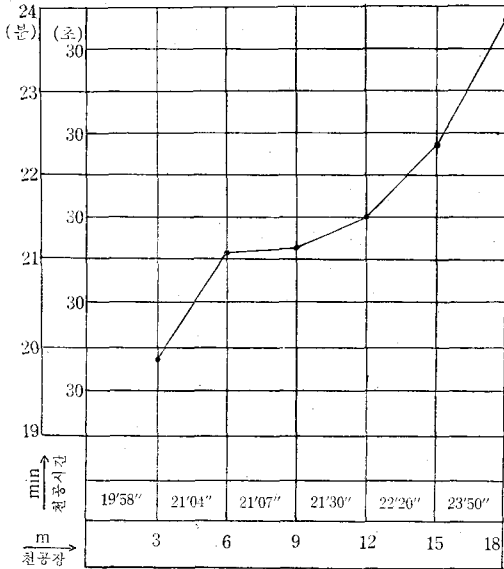
(나) 穿孔長(drilling length)

小型 R. D. 에서는 piston 의 重量과 Rod 의 重量이 同一할 때 piston 의 打擊을 가장 有効하게

《表 1》 壓力의 變化에 따른 穿孔能率對比表

區 分 回 數	穿 孔 長 (m)	4.5~5.0(kg/cm ²)	5.0~5.5(kg/cm ²)	5.5~6.0(kg/cm ²)	6.0~6.5(kg/cm ²)
		穿孔速度(cm/min)	穿孔速度(cm/min)	穿孔速度(cm/min)	穿孔速度(cm/min)
1	3	14.0	18.5	23.0	23.0
2	3	15.5	18.5	20.0	23.0
3	3	15.0	20.0	21.5	25.5
平 均	3	14.83	19.0	21.5	23.8

《表 2》 穿孔長에 依한 穿孔能率變化圖



air pressure: 5~kg/cm²
 Bit gage: 80 mm
 角度: 65° 下向

Bit 에 傳達하며 孔底의 岩粉을 排除하는데 支障을 주지 않는 範圍內에서 Rod 의 徑을 크게 하는 것이 Rod 의 진동이나 만곡으로 因한 損失等이 없어 좋다. 그러나 CRD-8 R.D.에서는 機自體가 大口徑, 長孔用이며 Rod 의 長이가 3m/本로 Sleeve 에 依해 連結 穿孔케 되어 있으므로 여기서는 穿孔長 增加에 따른 穿孔能率關係를 살펴 보면 表 2와 같다.

(다) piston 의 마모

piston 이 drive shank 를 打擊時 piston 과 drive shank 間의 clearance 가 適切해야 Bit 가 岩盤에 미치는 打擊效果를 기대할 수 있으며 piston 의 마모가 穿孔能率에 미치는 影響을 調査키 爲하여 新品과 中古 piston 의 能率을 比較結果 表 3 과 같이 나타냈다.

以上 CRD-8 의 穿孔試驗에서 보는 바와 같이 穿孔能率에 미치는 各 Factor 가 滿足될 때 R.D. 의 높은 效率을 기대할 수 있겠다.

그 동안 數次에 걸친 穿孔 Time study 結果를 보면 表 4 와 같고 從來의 小孔徑 R.D. 와 CRD-8 의 能率을 對比해 보면 表 5 과 같다.

《表 3》 piston 의 磨耗에 따른 穿孔能率對比表

區 分	頭 部 外 徑	길 이	能 率 (천공속도)				
			1 回	2 回	3 回	4 回	平 均
新 品 piston	A	B	19.6	19.3	19.5	18.9	cm/min 19.3
中 古 piston	A - $\frac{4''}{1,000}$	B - 0.38 mm	14.4	14.0	13.8	13.5	13.9

《表 4.》 綜合 time study 結果

(0.00=0時 00分)

區 分 回 數	總 稼 動 時 間	正 味 穿 孔 時 間	家 動 內 譯							穿 孔 長 (m)	實 穿 孔 速 度 (cm/min)	正 味 穿 孔 速 度 (cm/min)
			移 動 時 間	孔 座 時 間	Rod 連 結	Rod 分 離	掃 孔 時 間	給 油 時 間	計			
1	6.25	3.19	0.24	0.37	0.23	1.24	0.4	0.14	3.06	43.55	11.3	21.8
2	5.33	3.07	0.46	0.28	0.26	0.28	0.3	0.15	2.26	42.50	12.7	22.7

3	6.24	4.15	0.20	0.24	0.30	0.39	0.3	0.13	2.09	55.75	14.5	21.8
4	6.17	3.21	0.37	0.30	0.36	0.54	0.5	0.14	2.56	49.60	13.1	24.8
5	6.24	3.55	0.15	0.44	0.16	0.30	0.9	0.35	2.29	48.10	12.5	20.4
6	5.42	3.11	0.15	0.13	0.24	1.05	0.9	0.25	2.31	40.15	11.7	21.0
7	5.46	3.20	0.16	0.15	0.20	0.56	0.7	0.32	2.26	43.55	12.5	21.6
計	42.31	24.28	2.53	3.11	2.55	5.56	0.4	2.28	18.03	323.00	88.3	154.1
平均	6.04	3.29	0.24	0.27	0.25	0.50	0.5	0.21	2.34	46.14	12.6	22.0

(平均値計算은 slide rule에 의한 計算임)

◀表 5▶ 大小型 Rock drill 能率對比表

機 種	小型 41 mm ϕ Furukawa 325 D	大型 80 mm ϕ CRD~8
Air consumption	100 CFM/臺	460 CFM/臺
Air drilling speed	10 cm/min	20~25 cm/min
最大穿孔長	4.8 m	30 m
drilling length	26 m/shift	40~50 m/shift
m當生產量	4.8 ㉔	30~40 ㉔
臺當生產量	127 ㉔/shift	1000~1500 ㉔/shift
火藥量	70~80 gr/㉔	105~115 gr/㉔
火藥消費率 %	60%	95~97%
	30%	
	10%	3~5%

3. Bench cut

Rock drill의 大型化와 積載 運搬裝備의 機械化에 따라 作業場의 Bench化는 不可避하게 되며 探掘作業場이 Bench化된 後에야 探掘裝備의 機械化及 大型化의 目的을 達成할 수 있겠다.

Bench cut와 slope cut를 對比해 보면

(가) slope cut

- ① 降雨, 降雪時 作業不能
- ② 保安上危險
- ③ 工當生產量의 低下
- ④ 機械化不可
- ⑤ 品位調節不可
- ⑥ 管理復雜
- ⑦ 多數人員必要

(나) Bench cut

- ① 降雨, 降雪時, 作業可能
- ② 保安上 安全
- ③ 工當生產量增大
- ④ 機械化可能
- ⑤ 品位調節容易

⑥ 管理容易

Bench 高

Bench cut에 있어서 Bench 高의 決定은 무엇보다도 重要하다.

Bench 高를 決定하는 重要한 Factor 로서는

1. 地形
2. Rock drill의 Bit gage
3. Rock drill의 穿孔能率
4. Rock drill의 確保臺數
5. Bench 化의 難易性
6. 保安문제
7. 積載裝備
8. 勞動力의 確保
9. 使用火藥類 等

以上 諸要素를 考慮하여 當鑛山에서는 適定 Bench 高를 12 m로 定하였으며 12 m Bench 高 設定理由는 下記와 같다.

Bench 高 12 m 設定理由

1. 穿孔試驗結果 12 m 以上에서는 全般的으로 穿孔速度가 低下한다. (表 2 參照)

2. 穿孔長이 길어지면 大型 R.D. 固定及 穿孔途中 發生하는 穿孔角度的 編差(declination)로 規定된 抵抗線及孔間隔(W와 S)의 維持가 困難하다. (試驗結果 drilling length 20 m에서 declination으로 因하여 規定穿孔間距離의 二倍로 되는 現象도 있으며 穿孔長 12 m時 1°의 編差로 인한 距離編差는 20 m 程度인) 또한 Rod 延長이 많으면 Rod 屈曲線現象及 岩質의 硬軟에 依하여 軟岩部及 節理尺으로 穿孔方向이 移動된다.

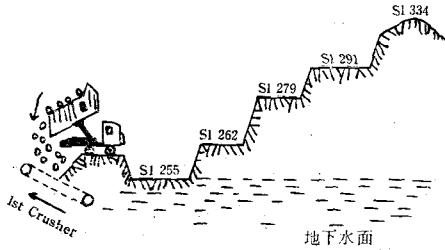
3. 穿孔長이 延長되면 空洞 joint crack 發生이 많아져 AN-FO charging時 AN-FO의 누출을 가져온다.

4. 孔內部點檢을 어렵게 하고 傳爆藥包에서부터 兩端裝藥部까지 爆速傳達이 길어지므로 爆

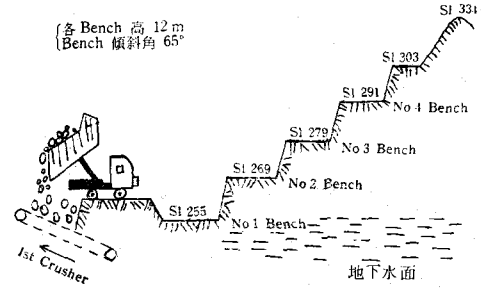
破効果가 低下됨.

5. 爆落量의 쌓인 높이가 높으면 shovel 積載時 落石에 依한 危險度가 增加된다.

以上과 같은 理由에서 適定 Bench 高를 12 m 로 決定하였으며 12 m 高로 4段 Bench 를 造成中에 있다(表 6, 7 參照).



《表 6》 現在作業場模型圖



《表 7》 Bench 形成計劃圖

4. 大發破

1) 發破規格設計

當鑛山의 小孔徑發破試驗에서 孔徑 41 mm 의 日製 Furukawa 325 D 를 使用 $w=1.5\text{ m}$, $s=1.8\text{ m}$, $l=4.5\text{ m}$ 規格으로 孔當裝藥量 2.66 kg (ANFO 2.55 kg + 硝安 0.1125 kg) 을 使用 했을 時 標準發破가 되었다.

이때의 裝藥係數 C_v 를 算出해 보면

$$L = C_v \cdot B \cdot S \cdot W \dots\dots\dots (1)$$

단 L = 장약량 (kg)

B = 천공장 (m)

S = 공간 거리 (m)

W = 저항선 (m)

小孔徑 標準發破時의 Factor 를 代用하여

$$2.66 = C_v \times 4.5 \times 1.8 \times 1.5$$

$$C_v = 0.22$$

即 當鑛山의 limestone 裝藥係數 $C_v=0.22$ 임 을 알 수 있다.

① S 와 W

먼저 W 를 決定함에 있어 W 는 孔徑 d 에 比例하므로

$$\frac{w}{w_1} = \frac{d}{d_1} \dots\dots\dots (2) \text{에서}$$

$$w_1 = 3\text{ m}$$

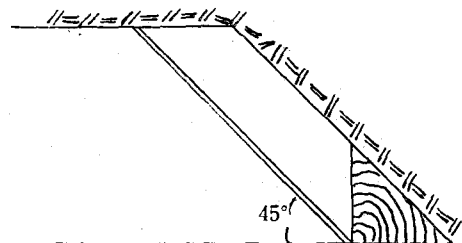
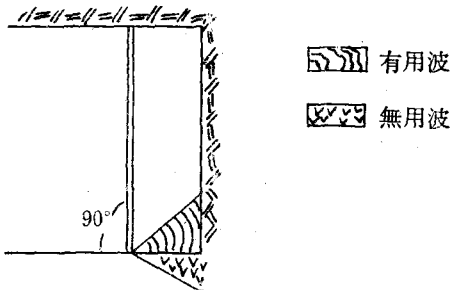
또한 W 와 S 의 關係에서 $S=(1\sim2)w$ 로 함이 보통이나 여기서는 $S=1.3W$ 로 하여

$$S = 1.3 \times 3$$

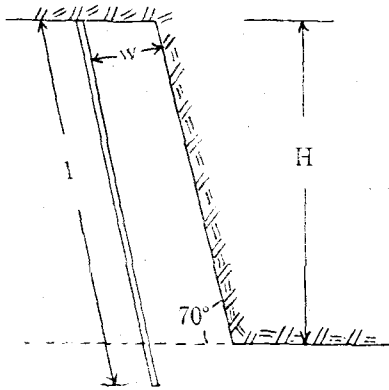
$$= 4\text{ m}$$

② 穿孔角度

發破理論的으로 볼 때 아래 그림에서와 같이 45° 일 때 無用의 爆發力이 없으므로 發破効果가 좋으나 穿孔能率이 低下되고 shovel 作業이 不振하게 되므로 65° 와 70° 로 區分 試驗 하였다.



③ 穿孔長



$$l = (H \div \sin 70^\circ) + (0.3 - 0.4 \times w)$$

$$= H \operatorname{Cosec} 70^\circ + 0.3 W$$

$$= 1.064 H + 0.3 W$$

H=12 m W=3 m 일때

$$l = 1.064 \times 12 + 0.3 \times 3$$

$$= 13.668 \text{ m}$$

④ 裝藥量

式 (1)에서

$$L = 0.22 \times 13.66 \times 3 \times 4$$

$$= 36.0624 \text{ kg}$$

以上の規格으로 試驗發破結果 Toe는 半破되었고 Back Breaking이 不良하였다.

《表 8》 發破試驗結果表

回數	W	S	l	L	角	sub drilling	Tamping 長	結 果		
								Toe	玉 石	Back Breaking
1	3	4	13.7	36	70°	0.9	5.7	半 破	1/150	不 良
2	3	4	14.1	36	65°	0.9	6.1	完 破	1/180	不 良
3	3	4	13.7	46.45	65°	0.5	3.5	完 破	1/300	良 好
4	3.2	4.2	13.7	46.45	65°	0.5	3.5	完 破	1/190	良 好
5	3.5	4.5	13.7	46.45	65°	0.5	3.5	殘 餘	1/150	不 良

發破規格을 各各 變更시켜 試驗 하였으며 그 結果를 보면 表8과 같다.

以上에서 보는 바와 같이 W=3.2, S=4.2의 規格發破時가 能率적이고 經濟的임을 알 수 있고 W와 S를 縮少하면 玉石發生은 減少하여 二次 發破量及 drop Ball作業量은 減少하나 反面 穿孔數增加와 더불어 穿孔時間이 延長되며 m當 生産量의 低下를 가져와 非經濟的이다.

2) 裝藥方法

장약시의 문제점으로는

- ① 孔壁에 凹凸이 甚하거나 空洞에 接觸할 時
- ② 孔壁에 濕氣나 孔底에 물이 있을 時
- ③ 裝藥時 작은 돌이나 粘土 덩이가 들어갈 時
- ④ 孔中の 脚線部가 충격에 의해 切斷될 時

上記 要因中 ①과 ③이 가장 흔히 發生하는 경우로 AN-FO가 完全히 接觸치 못하고 clearance를 形成 순록이 되지 않아 部分發破의 結果가 되며 ②는 降雨時 또는 降雪時에 發生 AN-FO에 濕氣를 차게 하여 또한 누전의 結果를 가져온다. ④는 泥관과 補助母線連結點에서 장약시 화약의 무게나 충격에 의해 分離되어 切斷케 되

는 것이다.

上記 要因을 除去키 爲한 方案으로

- ① 穿孔時 孔 sketch
- ② 장약전 發破孔의 flushing
- ③ AN-FO袋는 줄에 매달아 서서히 進入시키고
- ④ 空洞 存在時 空洞을 Tamping 或은 多段裝藥
- ⑤ 補助母線連結時 primer에 連結한 전기泥관 脚線을 10 cm 남기고 切斷한 후 여기에 補助母線을 連結하여 連結部를 primer內에 插入시켜 견고히 한다.

(AN-FO를 넣는 비닐袋 :

(0.1 mm × 63 mm φ × 1000 mm)

補助母線 : 單心 P.V.C 피복전선 0.8 mm φ

接觸部 : P.V.C tape로 감아 누전방지

3) 發破規格檢討

①項에서 實施한 發破規格을 구성하는 各要素에 對하여 試驗을 通해 綜合檢討 해보면

가) W와 S

시험 결과 W와 S를 縮少시키면 玉石數는 減

少하나 穿孔孔數가 많아져 臺皮生産量이 減少하므로 Bench 高 12 m 에서 $W=3.2$, $S=4.2$ 로 定하였다.

나) 穿孔角度

70°와 65°로 區分 試驗하였으나 65°가 Toe 處理에 良好하였다.

다) sub drilling length

sub drilling 을 하지 않을경우 Toe 는 必히 殘餘하였으며 length 를 延長 하면 Toe 의 效果는 良好할 것으로 豫想되나 floor 維持를 考慮하여 12 m Bench 高時 0.5 m 로 하였다.

또한 Toe 處理를 爲하여 Toe hole 을 穿孔하면 Toe 의 效果는 大端히 良好하였으나 作業能率의 低下를 가져오므로 sub drilling 만을 하는 것이 經濟的이다.

라) primer 位置及爆藥選擇

primer 의 位置는 下部에 가까울 수록 Toe 處理에는 良好하나 下部에 너무 接近시키면 上部 AN-FO 가 순폭되지 않는 結果를 가져 오므로 Toe 處理及 순폭효과를 고려하여 孔底로부터 3.1 m 上部로 定하였다. 또한 primer 로 使用하는 傳爆藥包는 猛度나 爆速이 큰 爆藥이 알맞으며 硝安보다는 gel dy 가 良好하였다.

마) Toe 處理

大發破에서 가장 重要한 問題 중의 하나는 Toe 處理이며 Toe 處理의 良否如否는 發破에 作用하는 要素하나에 依해 決定되는 것이 아니고 여러 要素들의 復合作用에 依하여 解決될 수 있을 것이다. 要素中 特別히 重要한 것은 sub drilling

length, 穿孔角度 primer 位置等으로 볼 수 있으며 上記 가)나)다)項을 결정 解決할 수 있었으나 理想的인 Toe 處理에 對하여는 앞으로도 계속 研究課題가 될 것이다.

바) Back Breaking

Back Breaking 現象은 上部 自由面에 가까울 수록 甚하게 나타났으며 特別히 tamping 部에서 현저한 Breaking 現象을 볼 수 있었다. 시험결과 tamping length 가 길면 길수록 Breaking 은 크고 또한 發破孔間距離가 클때도 Breaking 은 크다.

Tamping length 를 적게 하고 孔間距離를 좁히면 Breaking 은 防止할 수 있으나 Tamping length 를 적게 하면 장약장을 연장하게 되어 장약량이 증가하게 되고 공간 거리를 좁히면 孔數增加及 m 當生産量의 減少를 가져 오므로 그 적정치를 3.5 m 로 하였다.

사) Secondary Blasting

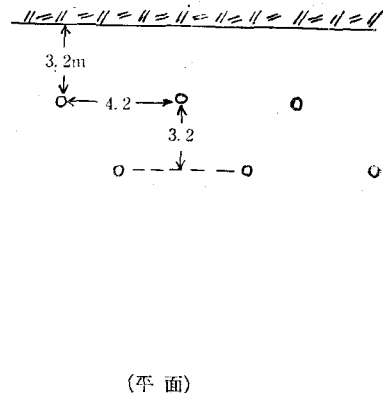
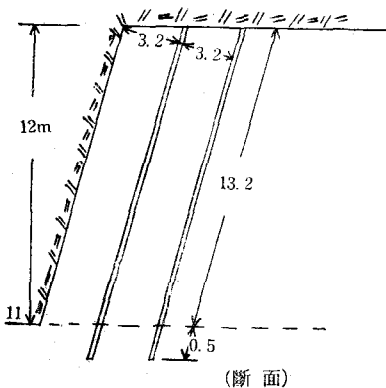
玉石發生數를 減少시키는 問題는 發破 技術上 지극히 重要한 問題이다.

玉石發生率이 크면 二次發破의 數가 增加됨과 同時 重機及粉碎機에 無理가 加해 진다. (當鑛山에서는 1 m³ 以上の 塊石을 玉石으로 定意하고 있고 jaw crusher 의 feeding size 는 1.2m×1.5m 이다.)

特別히 후술하는 M.S.發破器가 成功함으로써 玉石發生率의 減少는 第一 큰 效果라 하겠다.

아) 爆音及振動

當鑛山은 發破地域에서 150 m 側面에 鑛山施

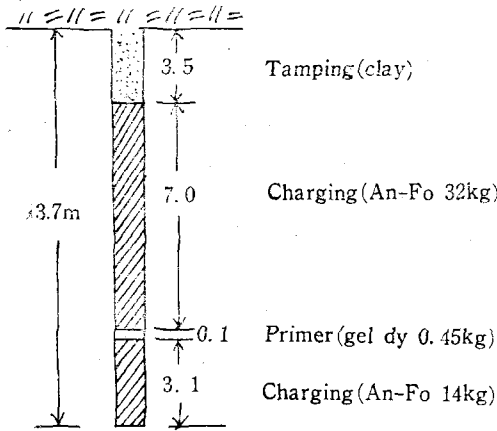


穿孔規格圖

設物及重機가 있어 M.S.發破前에는 飛石으로 인한 施設物의 피해가 있었으나 M.S.發破 시행 후 飛石及爆音이 현저히 減少되었다.

4) 發破規格策定

表 8 에서 보는 바와 같이 4回試驗時가 第一良好하였으며 그때의 規格을 發破規格으로 策定하였다.



裝藥規格圖

5) 發破法

發破器: M.S. Blaster(當鑛山製作,

$$\text{時差} \frac{13}{1000} \text{ (sec)}$$

電源: D.C. 15 V

너관: 國產순발진기너관

연결方法: 直列結線, 二段發破

1回當平均發破孔數: 70孔

1回當爆落量: 30,000 mit

(本 M.S. Blaster는 當鑛山製作品으로서 Magnet Switch의 contact 動作時差를 利用한

것이며 時差는 $\frac{13}{1000}$ sec이며 空洞이 存在치 않는 發破場所에서는 높은 效果를 얻을 수 있으나 空洞이 存在하는 場所에서는 效果를 걸우지 못함이 缺點이다.)

5. 結 論

① CRD-8 R.D.의 臺當生産能率은 從來小孔徑 R.D.의 約 10倍이다.

② CRD-8에 供給되는 Air pressure는 最少 5.0 kg/cm² 以上은 維持해 줘야 하며 6.0-6.5 kg/cm² 時에 效率이 좋다.

③ drilling length 12 m까지는 穿孔 能率에 별 영향이 없으나 12 m 以上에서는 能率이 低下되며 15 m 초과시는 급격한 저하를 가져 온다.

④ Bench cut에서 Bench 高의 決定은 가장 重要한 문제이며 當鑛山의 條件으로서는 12 m가 적정치이다.

⑤ 當鑛山에는 3個의 Bench가 造成되어 있으며 72年末에는 總 4個의 Bench가 造成完了 될 것이다.

⑥ 數次에 걸친 發破試驗結果 12 m Bench 高 에서의 發破規格은 다음과 같이 定하였다.

$$W=3.2 \text{ m}$$

$$S=4.2 \text{ m}$$

$$\text{穿孔長}=13.7 \text{ m}$$

$$\text{장약량}=46.45 \text{ kg}$$

$$\text{穿孔각도}=\text{下向 } 65^\circ$$

$$\text{sub drilling length}=0.5 \text{ m}$$

$$\text{Tamping length}=3.5 \text{ m}$$

⑦ 當鑛山에서 自家製作한 M.S. Blaster의 時差는 13 M.S.로서 空洞部를 除外한 發破에서 큰 效果를 거둘 수 있다. (끝)