

# 最近 海外 露天採鑛 技術의 趨勢

金 俊 滿

<星信洋灰丹陽工場 理事部長>

## 1. 序 言

露天採掘은 그 生産性 實收率, 粗鑛品位의 조절, 操業의 柔軟性, 作業環境과 安全性 등에 관한 優秀性을 감안하여 世界各國에서 重用해 왔으며 금일 세계의 鑛物生産量의 75%를 露天掘이 점유하고 있다.

최근 世界經濟發展에 수반하여 鑛物需要가 급격히 증대하고 있음에 비해 鑛物資源은 高品位 혹은 好條件의 優良鑛山이 점점 枯竭되어 세계는 資源時代로 옮겨지고 있다. 따라서 低品位鑛床으로 表土가 두껍고 都市로부터 遠隔壁地에 있어 稼行對象으로 넣지 않았던 鑛床의 개발도 필요하게 되었다. 이러한 조건하에서는 大型化, 高能率化에 가능한 露天採掘의 역할이 일층 浮彫된다고 하겠다. 그러나 최근 다음과 같은 이유로 露天鑛山의 개발에 대해 큰 장애가 생기고 있다.

- ① 에고이스트에 의한 情緒的 反對運動과 環境對策費의 激增
- ② 世界的인 인플레이션
- ③ project의 超大型化
- ④ 資源保有國의 nationalism과 에고이즘
- ⑤ 諸設備費用의 증대
- ⑥ 資源保有國의 政治的, 經濟的 不安定 등이 라 하겠다.

지금까지 露天掘은 賃金上昇과 인플레이션의 進行下에서 採鑛技術의 개선과 生産性向上에 의해 cost down해 오고 있다. 그러나 금후는 上述한 요인이 최종적으로 總鑛物의 cost에 반영되어 資源不足의 상황과 相俟케 되므로 鑛物價

格的 상승을 초래할 것이다. 또한 低品位鑛床을 대상으로 하는 大型露天掘鑛山開發傾向이 최근의 國에서 점점 현저해지고 있으며 여기에는 多額의 開發資金을 요하게 된다. 그래서 個人資本으로는 도저히 감당할 수 없으므로 外部 또는 國家資金에 의지하게 되므로 鑛山의 財政的 負擔이 증대되고 있다.

長期安定이 불확정한 外國의 資源에 의존하게 되는 危險性을 피하기 위하여 미국 등 富유선진 國에서는 國內鑛山擴張과 新鑛床開發에 많은 熱意를 나타내고 있다.

## 2. 穿 孔

외국에서는 勞動力 부족을 감안하여 大口徑穿孔傾向이 繼續되고 있으며 이에 따라 繼續 發破, 積込, 運搬 등 諸分野가 대형화되고 있다. 採掘 Bench 高도 35ft 程度에서 40ft 혹은 50ft로 증대되고 있다. 主發破의 穿孔徑은 9~17"이나 9~12"가 제일 많이 채용되고 있다.

穿孔機는 rotary drill이 주이나 대형 rotary drill은 crawler mount이고, tire 取付인 것은 孔徑 9" 以下인 孔에 사용하고 있다. 또 rotary drill의 자동화도 진전되어 岩盤에 대한 回轉速度의 순간적인 대응도 가능해졌다고 한다. 또한 大低孔에 대해 single both穿孔이 가능해지고, master는 높아져, 이 구조는 組立式 格子構造로부터 熔接鐵板으로된 筒型構造로 변화되고 있다.

이 master는 60ft의 rod를 single beth로 사용한다. 한편 대형 穿孔裝置를 사용함에 있어 特殊擴孔 裝置를 사용하여 擴大孔을 행하고 低抗

線, 孔間隔을 크게 하는 것도 있다. 즉 9"~12" 1/4φ의 pilst hole 을 12" 1/4~17" 1/2φ로 孔을 확대한다.

영국의 Mindeca 에서는 超音波穿孔機의 개발을 진행하고 있으며 이것은 每分 1萬回의 高周波打撃을 rod 에 加하여 穿孔速度가 비약적으로 향상될 것을 기대하고 있다.

### 3. 發破

火藥으로는 AN-FO 가 많이 사용되고 있으며 發破孔의 大口徑化傾向은 AN-FO 사용에 대해 차츰 好條件을 이루고 있다. AN-FO 의 耐水性을 증가시켜 高價인 slurry 爆藥 사용을 줄이고 있다.

최근 Canada 에서 개발된 「파워맥스」는 一種의 slurry 爆藥이나 nitro glycerin 을 함유하여 耐水性이 좋고, 裝填, 貯藏도 안전하고 雷管으로도 起爆이 되어 小口徑發破孔에도 사용되고 있다.

Aluminium 은 AN-FO, slurry 양쪽에 첨가되지만 粒狀 Aluminium 을 현장에서 AN-FO 에 혼합하여 孔底에 裝藥하기도 한다.

發破孔으로는 일반적으로 垂直孔이 표준적으로 사용되지만 傾斜孔에 利點이 많다. 즉 toe 部の 發破가 잘되고 toe 部の 岩盤損傷이 적어지고 傾斜面 安全을 기하며 back break 을 감소한다.

### 4. 掘削及積込

#### 1) power shovel

power shovel 이 대형인 것은 bucket capacity 가 20~26 yd<sup>3</sup> 이나 일반적으로 12~16 yd<sup>3</sup> 인 것이 많이 사용되고 있다. shovel boom 의 길이는 50 ft 정도가 많으며 電氣 shovel 쪽이 압도적으로 많으나 電氣-油壓方式인 대형 shovel 에도 최근 사용되고 있다.

front end loader 의 急速한 進歩에 對항하여 power shovel 도 많이 改良하여 進歩되고 있다.

#### 2) front end loader

front end loader or wheel loader 는 選擇採掘, 貯鑽回收, 移動性, 柔軟性 등의 요구에 따

라 많이 사용되고 있으며, 大型 front end loader or wheel loader 가 小型 power shovel 을 대체하고 있다. 그런데 이 大型化傾向도 bucket capacity 20yd<sup>3</sup> 가 한도로 생각해 왔으나 이 이상의 것도 현재 製作되고 있다 한다.

### 5. 運搬

運搬機械設備는 해마다 mammoth 化되고 있다. 현재 外國先進國에서 200 ton 급의 大型 truck 을 製作使用하고 있다. 대형 truck 에서는 tire cost 가 經濟性에 큰 영향을 미친다. 200 ton 급 truck engine 은 低速, 高出力의 鐵道用 dissel engine 이 많이 사용되고 있다 한다. 이것은 燃料消費가 적고, 壽命이 긴 이점이 있다.

200 ton 級 truck 의 tire 取替費用은 truck 維持費의 25~50% 를 접하고 있다.

tire 磨耗의 主原因은 荷重過大에 기인되므로 三軸構造로 하면 소형 tire 使用이 가능하고 壽命도 길어져 initiative cost 도 down 된다고 한다.

최근 20~25 yd<sup>3</sup> power shovel 과 150~200 t truck 組合이 잘 사용되고 있으며, shovel 과 truck 조합에 있어 truck 1臺에 dipper 4~6 杯로 滿載할 수 있는 크기가 良好한 편이므로 bucket capacity 15yd<sup>3</sup> 의 shovel 에는 100~120 ton 급 truck 이 最適이다. 그러나 200 ton 級 truck 은 일반적으로는 사용하는 power shovel 크기에 비해 多小 큰 것 즉 200 ton 級을 사용하는 경향이 많다.

運搬에 있어 최근 belt conveyor 의 進歩는 truck 運搬 및 列車 運搬의 露天掘에 있어서 優位를 나타내고 있다. 특수한 高速 長距離 conveyor 의 進歩가 현저하다.

pit 低, 其他 적당한 위치에 crushing plant 를 設置하여 pit 에서 直接 belt 로 鑛石을 搬出하는 crusher-conveyor system 採用이 증가되고 있다. 그러나 이것은 power shovel-truck system 을 없애는 것이 아니고 truck 運搬距離를 단축하여 cycle time 을 감소함에 있다.

### 6. 機械設備의 보수 管理

drill, shovel, loader, truck 등의 大型化에 수반되는 巨額의 投資는 P.M program 을 最重要

事項으로 한다. 또한 大型化, 高度機械化의 진전에 따라 많은 鑛山에서는 運轉員, 修理工 등의 訓練에 많은 노력을 경주하고 있다. 대형기계의 潤滑方式은 태반이 自動給油方式으로 되어 있으며 crank case 油의 sample을 分光分析에 넣어 燃料水, 구리골 등의 汚物을 측정하여 기계의 異常磨耗, 機械的 缺陷, 油의 汚物 등을 발견하는 방법도 開發 實施하고 있다고 한다.

특히 대형 truck의普及에 따라 道路 보수에 일층 노력해야 할 것이다. 이것의 良否가 tire cost 減少 및 故障率減少와 裝備壽命延長에 큰 역할을 하게 된다.

### 7. 發破振動

최근 rotary drill의 進歩와 대형화에 따라 大口徑發破의 경향이 세계적으로 현저하며 이것은 發破의 대형화 즉 使用火藥量의 증대에 의한 發破振動의 문제를 야기시키고 있다. 그래서 소위 騒音及 振動公害의 原因으로는 地域住民間에 마찰을 초래하는 결과가 되고 있다.

發破에 의한 媒體中을 傳하는 彈性波의 粒子速度(振動速度)는 다음 관계식과 같다.

$$V = K \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^x$$

但 V; 粒子速度(in/sec)

D; 爆源으로부터의 距離(ft)

W; 爆藥量(lb)

x; 媒體의 種類, 彈性波의 垂直, 水平, 切線의 各成分에 의한 다른 指數 (-1.5~-1.9, 平均 -1.7)

K; 裝藥配置와 媒體에 따른 常數(45~450)

建物 其他에 대한 發破 振動의 영향은 古來 Energy 比, 最大粒子速度, 最大振中, 最大振中과 周波數 등에 의해서 관계되었다. 현재 완전한 振動限界는 주로 粒子速度에 의해서 규제되고 있다. 예로서 發破振動에 의한 損害度는 다음 式으로 표시된다.

$$S = \frac{K A f}{C} = \frac{K V}{2\pi C}$$

但 S=發破振動에 의한 損害度

K; 常數

V; 最大粒子速度

C; 彈性縱波의 傳播速度

A; 最大振中

f; 周波數

Sweden에서는 V의 規格值를 70mm/sec, 美國에서는 50mm/sec로 규정하여 實測하고 있다.

### 8. 斜面安定과 岩石力學

1960年頃부터 美國斑岩 銅鑛床의 노천굴에 있어서 斜面崩壞가 作業에 대해서 증대한 장애가 되기 시작하였다. 이에 대하여 岩石斜面의 崩壞構造가 해소되어 斜面內의 應力解析, 斜面安定에 대한 地質構造 및 地下水 혹은 發破의 影響 등에 대해서도 많은 연구가 進行되었다. 그래서 斜面安定에 관한 各種의 計劃, 技術이 병립해서 斜面安定工法 등이 개발되었다.

1970年 11월에는 露天掘斜面 安定에 관한 第1回 國際會議가 개최되어 本問題에 대한 관심이 국제적으로 高揚되었다.

露天掘에 있어서는 斜面崩壞가 일어나지 않고 최소의 剝土로 鑛體를 최대한 採掘될 수 있는 斜面傾斜를 고려하게 된다. 그래서 露天掘稼行時의 안정과 終掘後의 最終殘壁의 안정이 포함된 다. 岩石力學의 斜面安定에 第一關係가 깊다.

그래서 層理, 節理, 石目, 弱面, 斷層, 不連, 續面, 地下水 등의 地質要素가 岩石及岩盤強度와 함께 중요한 요소가 되고 있다. 특히 地下水의 영향은 매우 중요한 것이다.

發破設計에 있어 back break이 없고 最終殘壁의 안정을 보장하는 cushion blasting 등의 發破技術이 널리 적용되어 큰 효과를 올리고 있다.

### 9. 露天掘鑛山の 經營

세계의 金屬, 非金屬 及 石炭鑛山을 평균해서 露天掘의 採鑛 cost는 剝土比 1.32, 4.5의 범 위로서 資本費, 固定費 등을 함유하여 材料費 56%, 人件費 44%로 되어 있다. 또한 cost의 作業別비율을 보면 다음 표와 같다.

穿孔	10%
發破	10.5%
剝土 및 積込	16.5%

運搬	31%
1次粗碎	22%
一般	10%
計	100%

세계의 평균적 수치로서 露天掘의 全人員 1工當 현재 生産性은 鑛石과 硯의 合計量으로서 小規模鑛山 및 非鐵金屬鑛山...100 t/工 大規模石炭 및 非金屬鑛山...500~1000t/工 한편 剝土比(重量比로는 金屬鑛山이 2:1, 非金屬鑛山이 0.4:1, 石炭鑛山이 50:1로 稼行 가능하다고 한다.

多額의 開發費 負擔에 忍耐하며 低品位 鑛床을 稼行해 가는데는 대량 生産에 의한 능률의 大폭 向上, 장래 金屬價格의 高騰, 長期的 安定操業 등을 前提로 하여 최소의 cost로 최대의 生産을 하는데 노력해야 할 것이다.

### 10. 結 言

國家建設分野에 중추적 역할을 담당하고 있는 우리나라 시멘트 업계의 石灰石 鑛山은 露天掘로서 그 규모도 크고 外國露天掘에 뒤떨어지지 않는다고 본다. 그러나 重裝備의 대형화는 기하지

못한 中型化의 중장비로 갖추어져 있으며 특히 諸重裝備가 外國産으로 spare parts를 外注에 의존하고 있는 실정이고 spare parts 適期供給이 어려우므로 適正 spare를 보유하고 있어야 하기 때문에 資金負擔이 외국에 비해 크다고 하겠다. 이런 애로점을 감안할 때 귀중한 재산인 중장비 운영에 있어 運轉 및 修理工의 훈련을 철저히 하여 技能度를 향상시키는 물론이고 기계보수처리 의 良否가 生産能力을 좌우하는 중요함을 명지 해야겠다.

특히 우리나라 實情으로는 운전올저하로 유지 비가 커져 기계화에 대한 採算이 맞지 않는 결과가 될 것이다. 그러므로 監督者와 作業者가 일체가 되어 日常의 補修點檢에 기본적 사항을 충실히 이행하여 豫防保全에 노력함으로써만 좋은 成果를 올릴 수 있다고 본다.

또한 앞으로 우리나라의 重化學工業發展에 따른 人力不足을 감안하여 露天掘의 重裝備도 차츰 대형화로 대체하여 生産性向上을 기하고 cost down으로 國際的 경쟁에 대처해 나가야 될 것으로 생각된다.

隔月刊 시멘트技術情報

第3卷 第4號 (77年 8月號)

特輯·시멘트 紙袋와 出荷裝備

韓國洋灰工業協會 發行