

鑛山裝備 選擇에 대하여

孔 宏 昭

<星信化學丹陽工場採鑛課>

I. 序 言

歐美露天鑛山の 기술자들은 open pit 의 큰 難題인 運鑛作業을 가장 저렴한 비용으로 수행하기 위해서는 어떤 type 으로 어느 정도 크기의 장비가 유리하며 그들 장비를 어떻게 조합하는 것이 안전하고 經濟的이 될 수 있을가에 관하여 부단한 노력을 하고 있다. 더우기 다른 産業部門에 비하여 낙후되었다는 世評을 벗기 위해, 經濟적 이 될 수 있는 모든 data 를 電子計算機를 사용, 가장 합리적인 裝備 및 組合方法을 찾고 있다.

그러므로 裝備製造業者는 사용자들로 하여금 裝備選定에 편리하도록 精確한 data 를 갖는 것을 그들 기업의 생명처럼 여기게 되었다. 하여간 머지 않은 장래에 어떤 조건하에서는 어느 會社 製의 어떤 type 의 장비를 사용하는 것이 가장 이상적인가 하는 答을 얻을 수 있겠다.

근래 새로 개발된 여러 장비와 組合 方法으로 wheel loader 와 scraper 가 power shovel 과 truck 의 아성에 위협을 주고 있으며 truck 은 大型化하여 장거리 운반의 왕자인 기관차와의 경쟁이 가능하여졌다. belt conveyor 는 Great Canadian Oil Sand 社의 경우에서와 같이 운반의 이상적인 형태로서 인식되었으며 복잡한 운반 계통에 있어서는 독점하다시피 되었다.

여기에서는 石灰石鑛山에서 현재 조업 중인 wheel loader 와 power shovel 을 비교하고 truck 의 대형화에 따른 諸問題를 소개한다.

II. wheel loader 와 power shovel 의 비교

5 cu-yd 이상의 wheel loader 의 출현으로 몇

년 전까지만 해도 거의 상상할 수 없었던 power shovel 과의 경쟁이 가능하다는 생각을 갖게 되었으며 그로 말미암아 10 cu-yd 가 넘는 초대형 wheel loader 를 개발하기에 이르렀다. Caterpillar 의 자량인 5 cu-yd 의 wheel loader 988 과 $2\frac{1}{2}$ ~ 5 cu-yd 의 power shovel 을 비교한 결과 wheel loader 가 더욱 우수하다는 data 를 얻었다.

wheel loader 988 은

engine: 325 HP, diesel

weight: 29 ton

bucket capacity: 5 cu-yd

bucket type: V 型 cutting edge

power shift: 前後進 각 3 단

廻轉半徑: 23' 6"

breakout force: 63,500 16

dumping height: 14' 8"

bucket control: automatic

production, tph: 528 (80%)

이며 shovel 은 90° 의 swing 에 작업 조건이 良好한 것으로 밝혀졌는데 이것은 bucket 의 充滿率을 충분히 감안한 PCSA (美 power shovel 協會) 의 평균 기본 data 이다.

	shovel					loader 988
	2½ yd	3	3½	4	5	
生産量, tph	440	512	584	656	800	528

988 loader 의 噸當 積載費는 소유비 (owning cost) 와 작업비 (operating cost) 를 포함한 시간 당 유지비 \$24.12 로부터 산출하였으며 shovel

<表-1>

	power shovel					loader
	2½ yd	3	3½	4	5	5 yd
評 價 價 格	\$ 83,000	93,800	115,000	123,500	174,000	60,000
壽 命, hrs	16,000	20,000	20,000	22,000	24,000	8,000
生 產 量, tph	440	512	584	656	800	528
cost/hr	\$ 22.08	23.90	26.66	27.77	34.52	24.12
cost/ton	\$ 0.050	0.047	0.046	0.043	0.043	0.046

은 PCSA 와 기타 회사들의 실적으로서 比較値는 <表-1>과 같다.

3½ cu-yd 의 shovel 수명이 988 loader 壽命의 3 배가 된다 하여도 비용면에서 볼 때 \$ 115,000 에 비해 \$ 180,000 (\$ 60,000 × 3) 로서 年平均投資金 (average investment, AI) 는

$$AI = \left(\frac{N+1}{2N} \right) \times C$$

N; 裝備壽命 (年)

C; 投資金

3½ cu-yd shovel 은

$$AI = \left(\frac{10+1}{20} \right) \times \$ 115,000$$

$$\therefore AI = \$ 63,250$$

988 loader 는

$$AI = \left(\frac{4+1}{8} \right) \times \$ 60,000$$

$$\therefore AI = \$ 37,500$$

위와 같이 3½ cu-yd shovel 은 988 loader 보 다 70% 정도의 年投資金이 더 추가되므로 3½ shovel 에 비해 988 loader 의 裝備確保가 용이할 뿐 아니라 더우기 投資利潤率 (return on investment rate, ROI rate = $\frac{\text{利益金}}{\text{投資額}}$) 을 비교해 보면 <表-2>에서 보듯이 988 loader 가 39.3%임에 반해 3½ shovel 은 25.8%밖에 미치지 못함을 알 수 있다.

이와 같이 wheel loader 가 경제적으로 유리하 여지므로 rope 에 의해 작동하던 재래의 power shovel 은 이제 그 전성기가 지났다고 보겠다. 그리하여 power shovel 제조업자는 wheel loader 와의 경쟁을 위하여 NCK-RAPIER 505 skooter 나 The OKRH 6과 같은 hydraulic shovel 을

<表-2>

	3½ cu-yd shovel	988 loader
壽 命, hrs	20,000	8,000
噸當評價積載費	\$ 0.06	\$ 0.06
實 ton 當積載費	\$ 0.046	\$ 0.046
噸當利益金	\$ 0.014	\$ 0.014
生 產 量, tph	584	528
年生產量, 2000hrs	1,168,000 ton	1,056,000 ton
年總利益金	\$ 16,352	\$ 14,784
年投資額	\$ 63,250	\$ 37,500
投資利潤率	25.8%	39.3%

(但, 噸當評價積載費 \$ 0.06 은 PCSA 의 '70年 度時勢임)

개발하고 있으나, 가격이 저렴하고 작업장을 따라 쉽게 이동할 수 있는 起動性은 사용자들로 하여 금 wheel loader 의 선택을 불가피하게 할 것 이다.

1970년 Caterpillar 에서 다목적용으로 개발한 앞뒤에 bucket 를 가진 988 carry loader 는 비 교적 단거리에서의 운반 작업도 가능하게 하였다. 실제로 往復 700 m 이고 8% 傾斜 140 m 되는 조 건하에서 250 hr 라는 놀라운 운광 실적을 보임으 로써 wheel loader 의 적용 범위는 증가 일로에 있다.

III. truck 의 대형화와 경제성

高速運搬이 아닌 鑛石運搬用 dump truck 製 造業者는 격돌한 경쟁 속에서 초초해 하고 있다. truck 의 크기를 어느 정도로 해야 경제적이 될 수 있는지 단안을 내리지 못하고 있으며 100 톤 이 넘는 truck 이 경제적인 면에서 유리한가 연 구가 계속되고 있다. Milton Nuel 氏는 truck 이 大型化함으로써 다음과 같은 利點이 있다고

“Mining Engineering, March, 1966”에서 언급하였다.

① 整備所要 시간은 크기에 별차이 없이 비슷하다.

② 運搬距離가 멀지 않을 때는 특히 shovel의 능률이 향상된다. 즉 shovel 밑에서 操車하는데 소형이면 회수가 많아 shovel의 實作業時間이 감소한다.

③ 工當 運搬量이 증가하므로 노무비가 감소한다.

④ 운행되는 차량수가 적어도 되므로 운행이 혼잡하지 않다.

⑤ 走行, 停止, 操車, 積荷時間이 소형 truck보다 많이 걸린다 하여도 臺當 運搬量은 많다.

실제로 Milton Nuel 氏의 시험 결과 6 cu-yd shovel과 組合作業時 35톤 truck이 8.4¢/t의 운반비가 든 반면 65톤 truck은 7.45¢/t밖에 들지 않았으며 12 cu-yd shovel과 組合作業時 6.75¢/t으로 격감되었다고 한다.

1962년에 65톤 truck이 개발되었을 때 高額의 비용을 들여 鐵道運搬을 하던 Kenecott's Chino 광산은 運搬方法을 바꿔 보려고 연구중이었다. 1964년 4월의 Mining Congress Journal에서 R. W. Shilling 氏에 의해 Kenecott 鑛山이 65톤 truck으로 운반 방법을 바꾸었으며 그로부터 12.4%의 採鑛費의 절감을 가져왔다는 보고가 있었다. 처음에는 belt conveyor로 해 보려고 하였으나 施設費가 많이 들고 아직 bench에서 shovel을 따라 이동하는 portable crusher가 별로 좋은 성과를 못보고 있던 때이라 truck으로 바꾸기로 한 것인데 그 실적이 우수하여 truck의 대형화 경향에 하나의 促進劑가 되었다.

이렇게 truck을 대형화함으로써 噸當 cost가 줄어든다는 것은 사실이지만 장비가 대형화할수록 계획한 稼働率을 유지하는 것이 중요하다. 왜냐하면 계획한 가동율보다 떨어지면 대형 truck일수록 目標 생산량에 미달하게 되고 따라서 噸當 cost는 급진적으로 상승하기 때문에 高價의 자본을 투자하여 장비를 대형화한 의의가 없어지기 때문이다.

<表-3>에서 알 수 있듯이 50톤 truck과 100톤 truck이 각 1대씩 運休함으로써 噸當 cost

<表-3>

	50 ton truck	100 ton truck	50 ton truck	100 ton truck
稼働臺數	10	5	9	4
生産量	2,000ton	2,000ton	1,800ton	1,600ton
維持費/時間	\$ 166.30	\$ 130.00	①\$ 154.93	②\$ 113.00
cost / ton	8.30¢	6.50¢	8.63¢	7.52¢
增加率			3.75%	13.50%

(但, ①: 稼働 9臺 @ \$16.33, 運休 1臺 @ \$5.26)
②: 稼働 4臺 @ \$26.00, 運休 1臺 @ \$9.00)

가 50톤 truck은 3.75% 상승하고 100톤 truck은 13.5% 상승한다고 한다.

한편 truck을 대형화하고 稼働率을 높일 수 있는 우수한 장비를 개발함과 동시에 truck 자체의 重量인 死荷重을 줄여 單位重量當 牽引力을 증가시키는데 역점을 두고 있다. 알루미늄이 車體의 재료로서 쓰이게 된 것은 약 13년 전이 되겠지만 그 분야의 투자는 괄목할 만하다. Athey 氏에 의하면 <表-4>에서 알 수 있듯이 알루미늄으로 된 車體를 사용함으로써 50톤 truck에서는 약 10% 이상을 재래의 truck보다 더 積載運搬할 수 있다고 하였으며 50톤 이상의 truck에서도 最少 8% 정도는 더 積載 가능하다고 하였다.

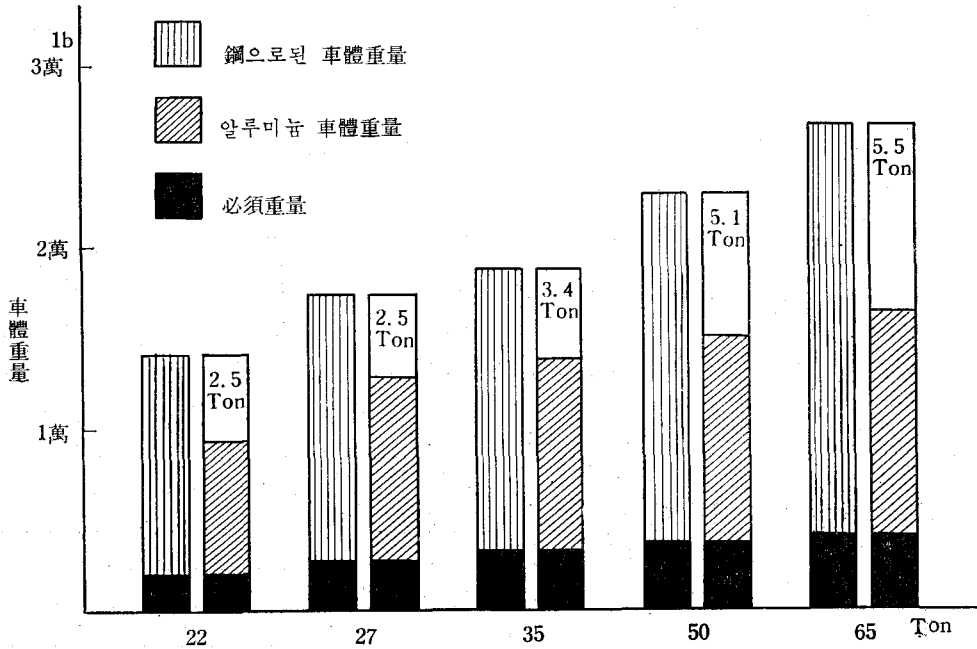
이와 같이 규정된 量보다 초과 적재가 가능해짐으로써 시간당 維持費 및 噸當 cost가 떨어지게 됨은 물론이다.

<表-4> 알루미늄 車體로서 절약되는 金額

在來 truck의 維持費/時間	50톤 truck 이하	50톤 truck 이상
\$ 10.00	\$ 0.91減少	\$ 0.75減少
12.00	1.10 "	0.90 "
14.00	1.30 "	1.00 "
15.00	1.40 "	1.10 "
18.00	1.70 "	1.40 "
20.00	1.80 "	1.50 "

<表-5>는 알루미늄으로 된 車體를 사용함으로써 절약되는 시간당 維持費를 나타내고 있다.

이렇듯 절약할 수 있는 車體重量의 1파운드 가 어떠한 利得을 가져 온다는 것을 숫자상으로 나타내기에는 어렵지만 1년에 1弗이 문제가 아닌 것이다. 이 1파운드의 진실한 가치를 알게 됨으로써 truck의 제조 및 운영면에서 극적인



<그림-1>鋼과 알루미늄으로 된 車體의 積載量 비교

변혁을 가져올 수 있다고 Western Trucking Co.의 특별 보고서는 말하고 있다.

<表-5>는 現保有裝備의 유지비를 줄이기 위해서는 一交代보다 二交代 작업을 함으로써 減價償却費 또는 税金 등의 減少로 이득이 된다는 것을 보여 준다.

<表-5>

交代 ton 別 費目	1 交代 作業時			2 交代 作業時		
	15	22.5	30	15	22.5	30
勞 賃	\$ 3.05	\$ 3.40	\$ 3.85	\$ 3.05	\$ 3.40	\$ 3.85
減價償却費	3.00	4.70	6.37	2.41	4.26	6.37
材 料 費	1.24	2.15	3.02	1.24	2.15	3.02
燃 料 費	1.12	1.37	1.87	1.12	1.37	1.87
税金 및 雜費	0.17	0.25	0.35	0.08	0.12	0.17
計	8.58	11.87	15.46	7.90	11.30	15.28

(但, 時間當 所要費用임)

이상과 같이 truck의 대형화와 경제적인 운영에만 truck의 製造業者와 사용자는 血眼이 되고 있지만 런던 심포지움에서 Ford社의 Mr. Alan Selman이 지적했듯이 머지않은 장래에 소음, 배연 등의 公害問題와 운전의 안전을 기하고 운전

공의 피로를 줄일 수 있는 조치를 취하지 않으면 가동할 수 없도록 하는 어떤 법적인 규제가 생기게 될 것이라 하였으며 70년대말에는 현재의 보통 diesel engine은 자취를 감출 것이며 출력이 좋고 소음, 배연이 적은 高性能 turbocharged engine으로 전부 대체되고 truck을 위한 gas turbine의 개발이 결실을 맺음으로써 truck의 구조나 성능은 놀랄 만한 발전이 있을 것이라고 하였다.

IV. 結 言

현재 한국의 露天鑛山은 歐美의 광산에 비하여 小規模이고 火藥製造 및 發破 기술의 낙후와 광산 도로의 개발 상태 등 歐美의 광산에서와 같이 大型裝備의 조업 조건이 구비되지 못하였을 뿐 아니라 附屬品의 국내 조달이 어렵고 대형 장비를 修理·정비할 수 있는 附帶施設이 되어 있지 않다.

더우기 시멘트의 주원료인 石灰石의 공급을 담당하고 있는 시멘트 공장의 石灰石 광산에 대해서는 아직까지도 시멘트 製造 원가에서 차지하는 비중이 적다는 것 때문에 他分野에 비하여 경시

되었고 그로 인해 기술상 운영상의 낙후를 벗지 못하고 있는 실정이다.

현 한국의 실정으로는 運轉賃이 타비용에 비하여 저렴하므로 장비를 무조건 대형화시키는 것보다는 그 광산의 생산 규모에 적합하며 mechanism이 간단하여 故障排除가 용이하고 대치 附屬品의 확보가 용이한 장비를 선택하는 것이 이상적이라고 보겠다.

참고로 15톤 truck으로 2交代 작업을 하고 있는 歐美鑛山과 星信鑛山の 유지비 구성 百分率을 비교해 본다.

그렇지만 앞으로의 産業構造의 변화와 경제성장에 따라 勞賃은 계속 증가할 것이며 대형 장비가 취업할 수 있도록 모든 與件도 개선되어질 것으로 현재에 낙관만 하지 말고 歐美諸國과 경쟁할 수 있도록 斯界에 종사하는 기술자들은 加

一層 노력과 연구가 있어야 할 줄 믿는다.

<表-7>

	歐美鑛山	星信鑛山
勞賃	38.6	21.2
減價償却費	30.5	23.2
材料費	15.7	34.9
燃料費	14.2	18.0
税金 및 雜費	1.0	2.7
計	100.0%	100.0%

<參考文獻>

- 1) E/MJ—September, 1967
- 2) Cement Lime and Gravel—October, 1970
- 3) cement Lime and Gravel—November, 1968

》 近 着 外 國 圖 書 《

- CEMENT LIME AND GRAVEL, February 1972
 - * A review of recent concrete paving in the UK
 - * Natural rubber sidewalls for high-calacity conveying
 - * Accidents at quarries
 - * SAGA restoration plaque awards
 - * US ready-mix plant certification
 - * Dust control and air cleaning
 - * Report of HM Chief Inspector of Mines and Quarries
- CEMENT LIME AND GRAVEL, March 1972
 - * Opening the oyster of concrete quality-Part 1
 - * Review of housing and construction activity
 - * Institute of Quarrying-Seventeenth Course programme
 - * Cement and Concrete Association-new publications on concrete
 - * Italian cement production declines in 1971
 - * New cement material for construction industry
 - * BRMCA annual meeting and dinner
 - * Accident statistics 1971
- CEMENT LIME AND GRAVEL, April 1972
 - * Opening the oyster of concrete quality-Part 2
 - * Concrete breakwaters for man-made harbour
 - * SAGA-new tree-planting scheme announced
 - * Industrial project management
 - * Italian cement industry facing problems
- CEMENT LIME AND GRAVEL, May 1972
 - * 2nd European study day on quarrying activities
 - * New sand and gravel plant at Chard
 - * Cement and Concrete Federation annual luncheon
 - * Blue Circle spend £3 million on pollution control
 - * Bulk cement movements in the British Isles