

Impact crushing 에 대한 考察

—Quarry Management and Products, 76年 2月號—

R. M. Farahar

朴 永 祥

<雙龍洋灰生產管理部鑛務課>

ABSTRACT

○……岩石 破碎時 최대의 效果를 얻기 위해서는 岩
○……石의 物理的, 化學的 性質 및 size 등을 고려
○……하여 最適의 crusher 를 選擇해야 함을 勘案

하여 crusher 의 一種인 impact crusher 의……○
構造 및 破碎原理, 破碎效果, 經濟性 檢討結……○
果 등을 수록, crusher 의 選擇 및 鑛山 運營……○
에 參考케 하고자 한다.

I. 序 言

Impact crusher 의 開發은 과거 20餘年간의 鑛山 장비의 발전중 가장 두드러진 業績중의 하나다. 壓縮보다는 주로 衝擊에 의해 岩石을 破碎하는 impact crusher 는 最近 jaw crusher 나 gyratory crusher 대신 1次粗碎機(1,000 T/H 급)로 사용되는 傾向이 있으며 給鑛石의 크기가 250 mm 이하인 300 T/H 급 크랏샤는 2次中碎機로 使用된다.

Impact crusher 를 compression crusher (jaw Cr. 나 Cone Cr. 등)와 比較하면 ① 重量이 가볍고 ② 購買設置費가 低廉할 뿐 아니라 ③ 動力 消耗量이 적고 ④ 破碎比가 크다(最大 35:1)는 등의 長點을 갖고 있는 반면 ① abrasive rock 粗碎에는 부적당하며 ② 給鑛石의 均一한 供給을 요하는 등의 短點이 있다.

Impact crusher 를 1次粗碎機로 使用시는 設置 및 運轉에 세심한 주의를 요하며 혹 運營중 過失 發生時는 blade 등 資材의 消耗費가 急騰한다. 또한 impact crusher 는 產物의 크기가 均一하여 jaw Cr. 나 gyratory Cr. 에 비해 2次 crusher 로서 使用率이 높다. 그러나 impact crusher 는 아직도 開發段階에 있으므로 材質 및 構造의 改善과 그 適用範圍가 더욱 擴大될 것으로 豫想된다.

Impact crusher 를 骨材 生産用 1次粗碎機로 使用한 결과는 매우 양호했으며 數次의 試驗結果 rotor 에 crack 이 發生했는데 이는 rotor 자체의 重量과 構造를 보다 堅固히 製作함에 따라 自動적으로 解決되었다. 英國에서는 지난 10年間 道路工事 및 建築事業이 活氣를 띠며 따라 骨材 生産率이 年平均 5.5% 上昇했는데 (<表-1> 參照) impact crusher 가 이 骨材生産에 最適當하여 全國에 걸쳐 無數히 使用되었다. 이로 인

<表-1>

英國의 骨材生産量

(單位: 백만톤)

	limestone	igneous rock	sandstone	sand and gravel	total
1962年	43.7	16.1	4.4	85.3	149.5
1972年	98.7	31.1	10.1	115.4	225.3
年平均 上昇率	8.5%	6.8%	8.6%	3.1%	5.5%

해 impact crushing 部門은 많은 發展을 보았으며 impact crusher의 開發使用이 鑛山運營에 公認한 바는 실로 크다.

II. 作動原理 및 構造

Impact crusher는 <그림-1>에서 보는 바와 같이 대개 1個의 rotor와 上部 casing에 取附되어 있는 impact plate로 構成되는데 rotor에는 blow bar가 附着되어 있으며 impact plate는 任意로 調節 可能케 되어 있다. 粗碎作業은 rotor와 impact plate 사이의 crushing chamber에서 impact plate 및 rotor blow bar의 衝擊과 岩石 相互間의 충돌에 의해 행해지는데, impact plate의 위치를 조절함으로써 product size를 調節할 수 있다.

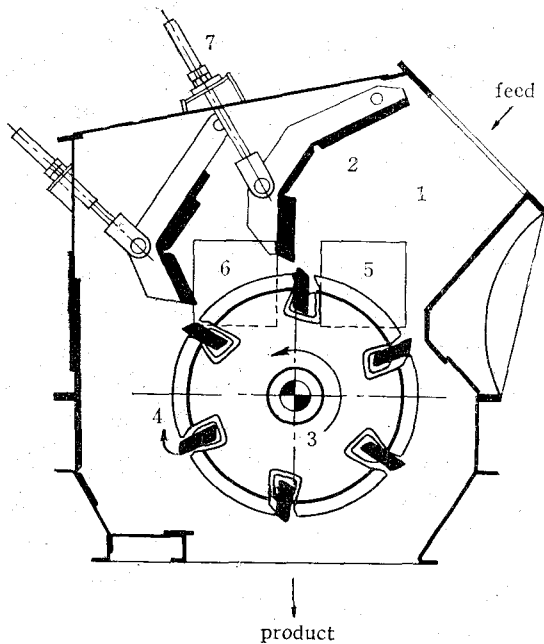
보통 primary impact crusher는 破碎比가 약 15:1 정도이므로, secondary crusher의 設置를 요하는데 特殊 目的用으로는 casing내에 rotor를 1個 더 附着시켜 third crushing chamber를 만들거나 이 secondary rotor의 speed를 向

상시켜 破碎比를 最高 35:1까지 上昇시킬 수도 있다. 이러한 경우 secondary crusher 및 其他 附帶施設은 必要치 않다.

III. operational control

Product size의 調節法으로는 ① rotor speed 調節에 의한 方法 ② rotor와 impact plate간의 간격조절에 의한 方法 ③ 給鑛量 調節에 의한 方法 등이 있는데 이중 rotor와 impact plate간의 간격을 調節하는 方法이 가장 바람직하며 이는 여하한 條件下에서도 잘 適用 될수있다.

經濟的 運營面에서 고찰해 보면 가장 중요한 factor는 rotor blow bar와 impact plate의 磨耗率인데 이는 rotor의 廻轉速度에 比例하며 gap setting(impact plate와 rotor blow bar간의 간격)에 의해서도 좌우된다. 그러므로 rotor의 廻轉速度와 gap setting의 간격을 有效適切히 調整하는 것이 crusher의 壽命을 延長시키는 唯一한 最善의 方法이 된다.



- 1: feed chamber
- 2: impact plate
- 3: rotor
- 4: rotor blow bar
- 5: 1st crushing chamber
- 6: 2nd crushing chamber
- 7: impact plate adjuster

<그림-1> Section through a Hazemag impact crusher

IV. 理論的 考察

Impact crushing의 原理와 crusher 및 岩石에 발생하는 應力에 대한 知識은 crusher를 新設할 경우뿐만 아니라 實際運營時에도 매우 必要하다. 實驗(結果)에 의하면 impact force가 岩石 내 破碎作用에 미치는 期間은 0.002 秒로 극히 짧으므로 岩石破碎에 必要한 힘은 破碎強度보다 일층 커야 한다. 岩石에 衝擊이 가해지면 壓縮波를 발생시켜 岩石의 형태를 變形 破壞시킨다.

岩石에 미치는 impact force는 衝擊의 存續期間 및 岩石의 運動量에 의해 決定되는데 이에 관한 關係式은 다음과 같다.

$$\begin{cases} u: \text{給鑛石의 速度 (blow bar 方向)} \\ v: \text{blow bar 速度} \end{cases}$$

이상과 같다면 approach velocity는 「 $u+v$ 」가 될 것이며 衝擊後의 岩石의 速度는 「 $(u+v) \cdot e$ 」가 될 것이므로 岩石의 運動量은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(u+v)m + (u+v)e \cdot m$$

$$\text{이때 } \begin{cases} e: \text{岩石의 彈性係數} \\ m: \text{岩石의 質量이다.} \end{cases}$$

上記式에 m 대신 w 를 代置시키고 분자 분모를 t 로 나누면,

$$\begin{aligned} \text{impact force} &= \\ &= \frac{(u+v)w + (u+v)e \cdot m}{g \cdot t} \\ &= \frac{w(1+e)(u+v)}{g \cdot t} \text{ 이 된다.} \end{aligned}$$

$$\text{이때 } \begin{cases} w: \text{岩石의 무게 } (w=mg) \\ t: \text{衝擊의 存續期間} \\ g: \text{重力加速度이다.} \end{cases}$$

u 는 v 에 비해 극히 작아 무시할 수 있는 고로 $\text{impact force} = \frac{w \cdot v(1+e)}{g \cdot t}$ 로 요약할 수도 있다.

일반적으로 impact crusher의 rotor speed는 약 400 rpm (≈ 300 m/sec - blow bar)이다. 만약 彈性係數가 0.6인 石灰石 5cm 짜리 岩片의 무게가 약 0.3 kg 이라면 이때의

$$\text{impact force} = \frac{0.3 \times 30 \times 1.6}{9.81 \times 0.002} = 734 \text{ kg 이}$$

된다.

上記式에서 보는 바와 같이 impact force는 주로 岩石의 質量에 比例함을 알 수 있다. 무게가 40 kg인 25 cm 짜리 岩片은 98 톤의 blow (打擊)를 받으며 1 m³ 짜리 岩片에 미치는 衝擊力은 약 5,000 톤 이상이 되는데 이렇게 큰 힘은 암석뿐만 아니라 rotor도 破壞시킬 수 있다.

一般的으로 rotor는 數百톤 이상의 衝擊에도 견딜 수 있게 設計되어 있으며 大塊의 岩石은 rotor 주위에서 連續的인 打擊을 받아 서서히 破碎된다. 연속적인 衝擊에 의해 累增된 壓縮波는 累積效果를 나타내어 岩石內에 강한 應力을 발생시켜 岩石의 節理나 劈開面을 따라 岩石을 破碎하는 것이다.

rotor는 일반적으로 重負荷에 견디내기 위해 大塊의 강철을 鍛造시켜 製造된다. rotor 重量은 rotor에 貫性 및 廻轉速度를 累增시켜 kinetic energy를 增大시킨다. 大型 crusher의 rotor는 보통 무게가 약 30 톤이며 廻轉速度는 약 400 rpm으로 500,000 mkg의 힘을 내는데 이러한 大型 crusher는 보통 600~700 HP motor를 必要로 하며 時間當 500~700 톤의 原石을 破碎한다. 일반적으로 impact crusher는 fine reduction에는 과히 適合치 않으며 이러한 細粒의 粉碎에 適合한 crusher로는 hammer mill type crusher가 있는데 이의 impact force는 岩石의 質量과는 無關하며 hammer의 무게와 速度에 의해 決定된다.

Bond의 第3 粉碎法則은 crushing에 必要한 實所要 energy의 크기에 관한 것으로 關係式은 다음과 같다.

$$\text{HP/tonne/h} = 15WI \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)$$

WI: 破碎岩石의 work index

P: 産物의 80%가 通過可能한 screen mesh (單位: micron)

F: 給鑛物의 80%가 通過可能한 screen mesh (單位: micron)

크기가 1.5 m³인 岩石이 20 cm 이하로 破碎될 때의 \sqrt{P} , \sqrt{F} 値는 각각 390, 1,000이며 典型的인 石灰石의 work index는 12이다.

일반적으로 時間當 700 톤을 破碎하는 crusher

<表-2>

各種 岩石의 物理的 特性(英國)

quarry	stone type	specific gravity	crushing strength (kg/cm ²)	aggregate abrasion value	aggregate abrasion value	aggregate impact value
1	sandy limestone	2.6	1,400	16.6	28	26
2	carboniferous limestone	2.7	2,200	12.4	20	19
3	" "	2.72	2,040	10.7	21	21
4	basalt	2.83	2,095	6.0	14	14
5	granite	2.85	2,210	6.3	17	15
6	"	2.64	2,460	5.4	17	16
7	porphyry	2.72	3,080	4.0	15	14
8	flint gravel	2.58	—	1.5	17	18

에는 약 200 IP의 動力이 所要되는데 實設備 動力은 機械效率 및 crusher 內部에서의 騒音, 熱 및 磨耗에 의한 energy loss를 勘案해서 결정되어야 할 것이다. 또한 energy 소요면에서 比較해 보면 產物 size가 中粒인 50 T/H 급 crusher와 產物의 size가 細粒인 32 T/H 급 crusher의 소요 energy는 거의 근사하며 特殊裝置가 取附되어 있지 않는 한 second chamber에서의 grinding 量이 많게 되면 crusher 效率은 不良해진다.

V. Practical consideration

(1) crusher의 選擇

Impact crusher의 選擇決定은 소요비용을 면밀히 査定한후 定해야하며 crusher 新設時는 所要資本 및 所要動力 등을 compression crusher 對比 정확히 검토해야 한다. 또한 產物의 質 및 等級을 정하기 위해서는 類似裝備에 대한 실질적이며 전면적인 試驗을 행할 필요가 있다. 만약 impact crusher를 一定費用 限度額내에서 설치코자 할때의 最終選擇(基準)은 blade, liner 등 資材磨耗費에 의해 결정할 수도 있다.

<表-2>는 英國내 가장 典型的인 岩石들에 대한 物理的 特性의 試驗 結果表이다. 試驗結果 abrasion value, crushing value, impact value가 각각 10, 19, 19인 岩石의 silica 含量이 15% 이하이면 impact crushing엔 最適인 것으로 나타났다.

(2) 資材磨耗

Impact crusher의 資材磨耗는 대부분 blow bar, rotor body, impact plate, liner 등에서 發生하는데 이중 blow bar의 磨耗率이 가장 크다. blow bar의 交替(혹 育成)費는 crusher 運營費 중 가장 큰 項目이며 abrasion rock 破碎時는 일층 그 比重이 크다. <表-3>은 數種의 impact crusher에 대한 噸當 blow bar의 交替費(혹은 育成費)인데 blow bar의 磨耗率은 破碎岩石의 silica 含量에 의해 좌우되며 rotor speed 및 rotor와 impact plate간의 gap setting에 의해 변하기도 한다. rotor speed는 破碎岩石의 材質에 의해 決定되는데 硬岩일수록 rotor의 廻轉速度는 빨라야 한다.

rotor의 材質에 관해서 考察해 보면, 보통 secondary crusher의 blow bar 材質은 nickel molybdenum steel인데 이는 primary crusher의 blow bar 材質인 manganese steel보다는 brittle하여 큰 충격을 이겨 낼 수는 없지만 耐磨耗性이 훨씬 強하다. impact crusher의 資材費를 좌우하는 blow bar를 交替할 것인가, 育成할 것인가의 決定은 가끔 論爭의 對象(原因)이 되는데 이때 rotor의 交替는 非經濟인 것처럼 보이거나 實經驗에 의하면 rotor의 育成은 努力도 상당할 뿐 아니라 費用도 高價여서 blow bar를 交替하는 것이 한결 바람직스럽다.

또한 blow bar의 育成은 rotor balance를 유지하기 위해 高度의 技術을 요하며 bar 育成時는

<表-3>

Blow-bar 의 磨齒 交替費(或 磨損率)

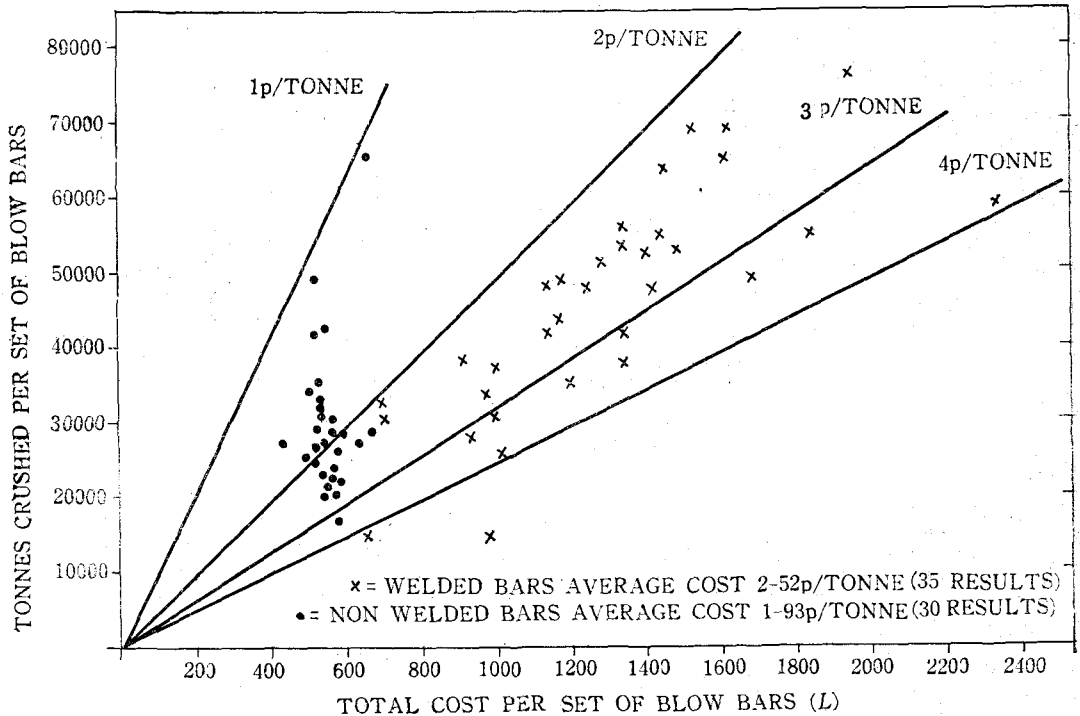
quarry	stone type	silica (%)	crusher type	throughput tonnes/h	repair cost (p/tonnes)	blow-bar life (tonnes)
1	sandy limestone	30	primary	150	0.58	70,000
1	"	30	secondary	60	0.97	40,000
9	"	30	primary	100	1.60	rewelded
2	limestone	5	"	500	0.28	45,000
2	"	5	secondary	300	0.55	rewelded
4	basalt	55	primary	300	3.02	24,000
10	gritstone	63	secondary	170	—	85,000
8	flint gravel	100	"	25	8.50	5,000

overheating 에 의해 base metal 을 損傷시킬 憂慮도 있다. <그림-2> 는 blow bar 費用에 대한 交替와 育成의 比較表인데 blow bar 가 약 25% 정도 磨耗時 즉각 交替함이 가장 經濟的임을 알 수 있다. 1個 blow bar 의 完全磨耗率은 18,000 ton/ea~49,000 ton/ea 로 변화폭이 상당히 큰데 이는 鑛山 原石의 硬度差 發破에 따른 fragmentation 의 差 및 blow bar 의 熱處理 程度 및 材

質差 등 때문인데 이중 blow bar 의 材質 및 熱處理 程度에 의해 가장 큰 변화를 초래한다.

(3) 經濟性 檢討

年產 500,000 ㎏ 규모 광산의 impact crusher 의 年間 總修理費는 약 £ 22,000 인데 이중 70% 인 £ 15,000 가 blow bar 交替費이다. impact crusher 는 compression crusher 에 비해 ① 年間補修費가 약 £ 15,000의 高價이며 ② 設



<그림-2> Tonnes crushed versus total cost of blow-bars at a basalt quarry

置費는 약 £100,000 정도의 高價이지만 ㄱ) 設置 공간이 節約되며 ㄴ) 각종 要望品質 및 規格의 產物을 생산하기에 적합하며 ㄷ) 税金 및 減價 償却率을 고려하고 耐用年數를 15年으로 가정한다면 設置時 £60,000의 資本的 追加支出은 諸 稅控除後 수익금의 15%에 해당하는 이익을 환 불할 수 있는 등의 장점이 있다.

crusher 新設 計劃時엔 稅費 및 財政狀況을

參酌해야 하므로 basalt 와 같은 abrasion rock 鑛山에 impact crusher 를 設置할 것인가는 考 慮의 여지가 있다. 그러나 최근엔 Impact crush- er 의 需要가 增加하고 있는데 이는 blow bar 를 使用後 용융 처리하여 再製作 使用함으로써 實質的으론 bar 의 使用年數를 연장시키기 때문 이다(上記 各 費用의 貨幣價値는 1973年度 基 準價임).

祝

韓 一, 丹陽工場 第3次擴張工事(4號 키른) 完工

亞細亞, 堤川工場 第2次擴張工事(3號 키른) 完工