

Cement mill 分級 Liner 및 Cyclone Separator 設置效果

金 松 虎

〈東洋세멘트 三陟工場〉

1. 序 論

粉碎밀에 있어서 밀驅動에 의해 주어진 에너지는 實際粉碎에 10% 以下만이 利用되고 나머지는 주로 熱과 騒音에 의해 消耗된다.

따라서 1970年 以前의 低油價時代에서 이러한 낮은 粉碎效率向上에 많은 研究가 행해져 좋은 結實을 맺고 있다.

cement 粉碎밀의 粉碎效率을 左右하는 가장 큰 要因들로는 clinker 와 石膏條件, 鋼球充填量과 配列, 空氣 및 粉碎物質收支, 시멘트粉碎溫度 등을 들 수 있다. clinker 는 알맞게 燒成되었을 때, 즉 容量이 1.35 程度일 때 粉碎가 잘 되고, 鋼球充填量은 30 - 32%가 좋다고 하나 mill 容量, clinker 粒徑과 粉碎性에 따라 달라진다.

鋼球크기와 配列은 bond 등의 여러 사람이 提案한 理論式이 있으나 그 밀에 알맞는 配列은 實際運轉特性에 따라 決定하는 것이 좋다. 이를 찾는 方法은 밀內部 各地點에서의 cement 粉末度를 調査하는 方法과 밀出粉 粉末度를 調査하는 方法 등 여러 가지가 있다.

밀內空氣流速은 通常 1.0 m/sec 內外를 基準으로 하고 있으며, 循環率도 300% 內外가 알맞다고 보고 있다. cement 粉碎溫度는 100°C 를 넘으면 粉碎性이 크게 低下되는 것으로 나타나고 있다.

이러한 運轉條件以外에도 粉碎效率을 向上시키기 위하여 roller mill, 分級 liner, 高性能 separator 의 開發, 粉碎助劑使用 등에 대한 研究가 행해지고 있다.

Roller mill 의 境遇, 粉末度の 向上은 勿論 電力原單位도 10% 程度 節減되는 것으로 報告되어 있으며, 既存 tube mill 에 分級 liner 를 設置할 境遇에도 이에 맞먹는 效果가 있는 것으로 나타나고 있다.

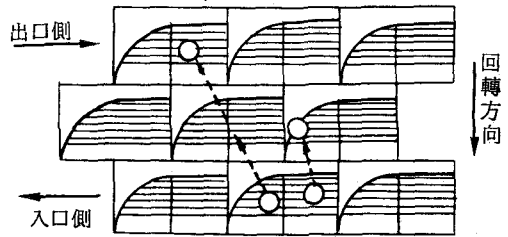


또한 高性能 separator 를 設置함으로써 分級效率을 높여 그만큼 밑에 再投入되는 粗粉中の 微粒子를 줄여 줌으로써 粉碎效率을 向上시키고, cement 品質도 向上시키고 있다.

이러한 觀點에서 當社에서는 粉碎效率과 cement 品質向上을 위해 cement mill 에 分級 liner 및 cyclone separator 를 設置하여 큰 成果를 거두게 되었는데, 여기서는 이에 대한 改善內譯 및 效果에 대한 分析結果를 記述하고자 한다.

2. 分級(classifying) liner 의 原理

粉碎效率向上을 위해서는 밑入口, 즉 clinker 投入口側에 直徑이 큰 鋼球가 出口側으로 갈수록 작은 鋼球가 位置하는 것이 理想의이지만, 實際의으로 在來式 liner 의 境遇는 여러 크기의 鋼球가 mill 内部에 高루 섞여 있게 된다.



〈그림-1〉 分級 liner 의 分級原理

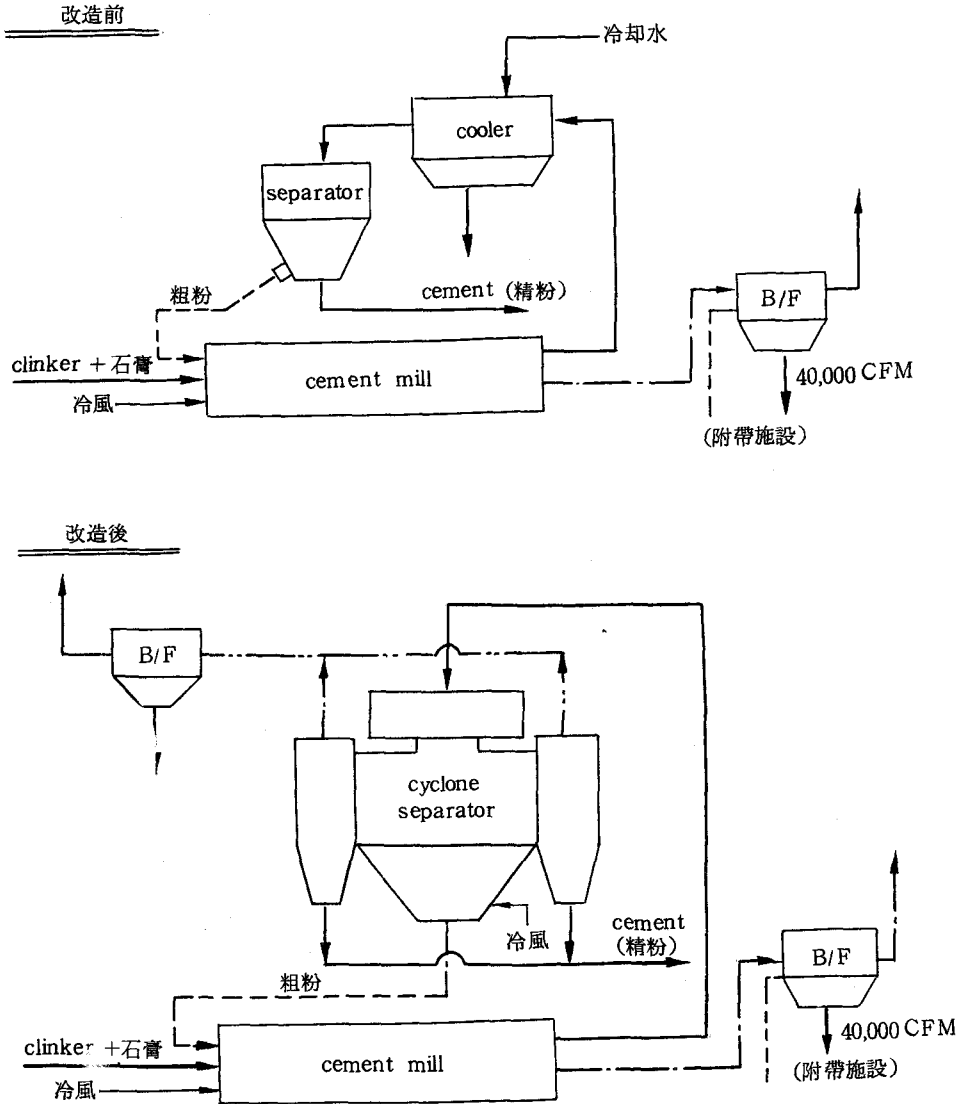
따라서 liner 에 特殊한 傾斜를 줌으로써 鋼球크기에 따라 理想的으로 配列이 되도록 하여 粉碎效率을 높이도록 한 것이 分級 liner 다. 分級 原理는 liner 와 落下된 鋼球사이의 接觸地點에서 liner 의 傾斜面에 依해 鋼球에 軸方向의 推進力이 作用하여 鋼球가 分級되게 된다. (〈그림-4〉)

3. 改造工事 內譯 및 效果

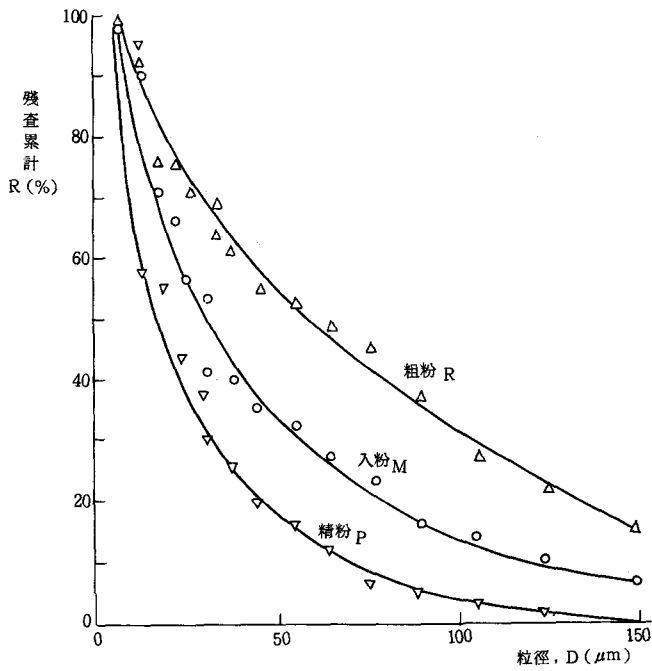
3.1 施設改造內譯

| 項 目 | 改造前 ————— 改造後 | |
|----------------|-----------------|-------------------|
| | Liner | 普通 Liner |
| Separator | Sturtevant type | Cyclone separator |
| Cooling system | Material cooler | (separator 冷風) |
| 排氣處理(B/F) | 40,000 C.F.M | 70,000 C.F.M |

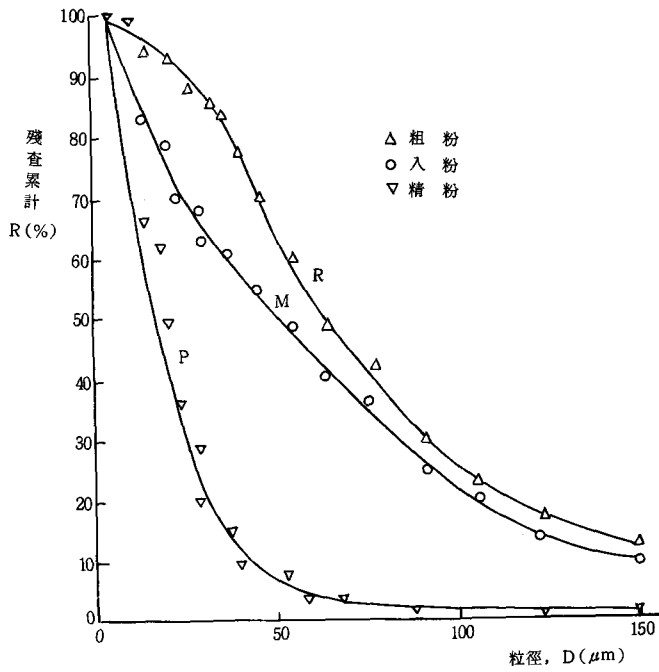
3.2 工程圖 比較



〈 그림-3 〉 改造後 cement mill 粉碎工程圖



〈 그림 - 4 〉 改造前 cement 粒度分布



〈 그림 - 5 〉 改造後 cement 粒度分布

3.3 效果

生産性が平均 15% 増加했으며, 電力原單位가 13% 低下되는 것으로 나타났다. cement 品質面에서도 粉末度の境遇 170 mesh 殘渣가 6~7% 水準에서 1~2%로 向上되었고, 強度의境遇 7日強度 基準으로 約 20~30 kg/cm² 이 向上되는 것으로 나타났다.

4. 分級效率

4.1 粒度分布曲線

改造前後의 separator 入粉, 粗粉, 精粉의 粒度分布는 <그림-4> <그림-5>와 같다. 그림에서 特徵的인 것은 改造前에 비해 改造後가 separator 入粉에 殘渣가 많으면서 直線에 가까워졌고, 粗粉은 아래로 블록해졌던 것이 위로 블록해졌으며, 精粉과 入粉과 의 粉末度 差가 커졌다는 것이다. 여기서 改造前 粒度·分布狀態가 相當히 나쁜 것은 separator 容量이 작아 精粉을 微粉하기 위해 入粉中 微粉의 比를 지나치게 높였기 때문이며, 이에 따라 separator 分級效率은 더욱 나빠진 것으로 보인다.

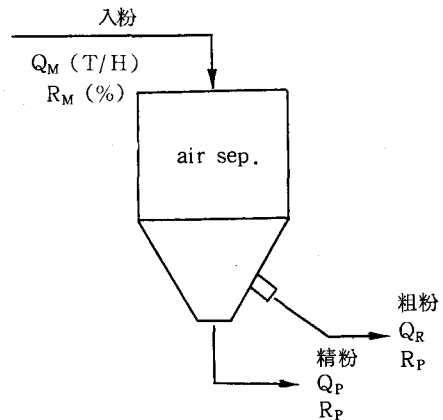
4.2 循環率

mill 循環率을 구하는 方法은 여러가지 있으나 여기서는 material balance 式에 依해 分級平衡粒度를 基準으로 한 循環率 公式을 利用하였다.

$$\begin{aligned}
 C. L. &= \frac{QR}{QP} \times 100 \\
 &= \frac{R_P - R_M}{R_M - R_R} \times 100 (\%) \dots\dots\dots ①
 \end{aligned}$$

改造前 ; $C. L. = \frac{50.0 - 32.0}{67.5 - 50.0} = 103 \%$

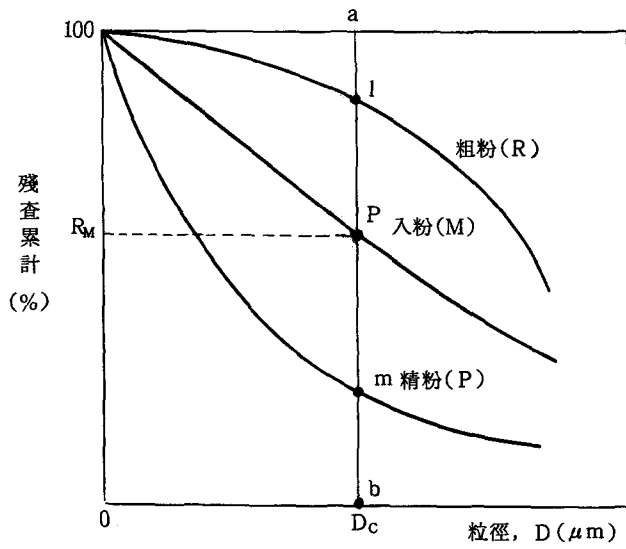
改造後 ; $C. L. = \frac{66.5 - 25.5}{87.0 - 66.5} = 200 \%$



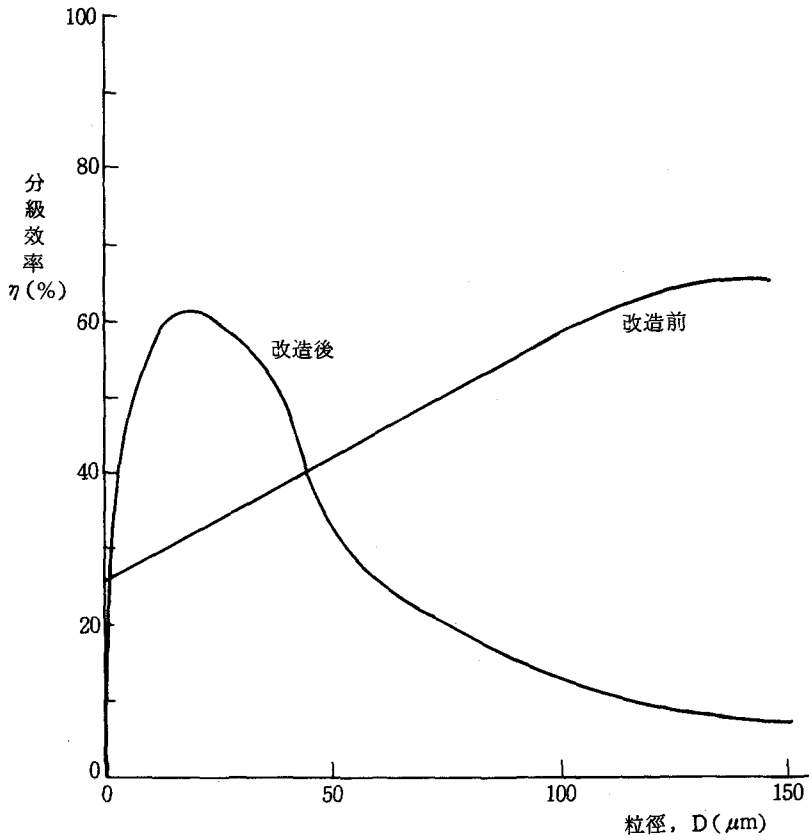
따라서 改造前에는 循環率이 너무 적은 反面, 改造後에는 適正值 300%에 가까워져 效率的인 分級이 되고 있음을 볼 수 있다.

4.3 平衡粒度

平衡粒度는 分級結果, 걸보기에 이 粒度보다 큰 粒子들이 全量 粗粉으로 나가는 것



〈그림-7〉 Separator cement 粒度分布



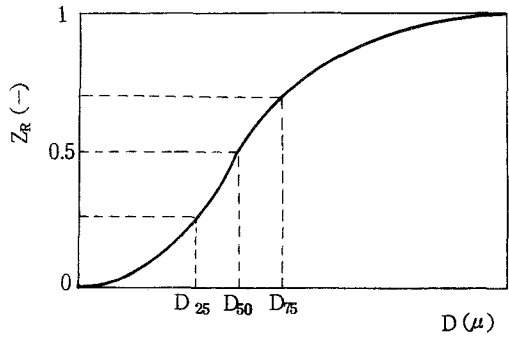
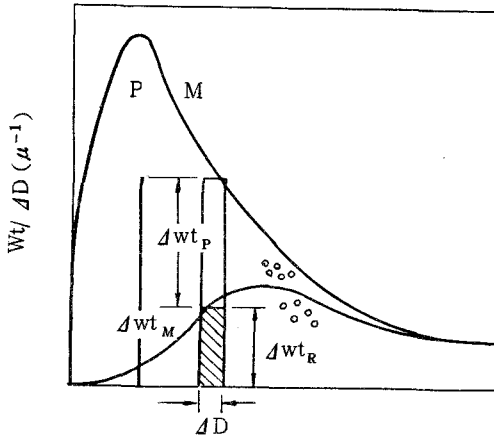
〈그림-8〉 Newton 의 分級效率曲線

으로 보이는 粒度를 말한다.

즉, $R_M Q_M = Q_R$

$$\therefore R_M = \lambda = \frac{Q_R}{Q_M} = \frac{R_M - R_P}{R_R - R_P} \dots\dots\dots (2)$$

$$= \frac{Q_R \Delta R_R / \Delta D}{Q_M \Delta R_R / \Delta D} = \lambda \frac{\Delta R_R / \Delta D}{\Delta R_M / \Delta D} \dots\dots\dots (3)$$



이를 그림으로 나타내면 <그림-9>와 같다. 여기서는 Z_R 曲線의 기울기가 클수록 分級이 잘되는 것을 나타낸다.

4.5.2 分級程度 (terra 指數, 不完全度)

$$\text{terra 指數 } E_P = \frac{1}{2} (D_{75} - D_{25}) \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{不完全度 } I = \frac{E_P}{D_{50}} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 E_P 와 I 가 작을수록 分級效率이 좋은 것을 나타낸다.

4.5.3 計算結果

改造前後 tromp 分配率曲線은 <그림-10>에 나타냈다. terra 指數와 不完全度를 計算해 보면,

改造前

$$E_P = \frac{88.0 - 0 (\text{假定})}{2} = 44.0$$

$$I = \frac{44.0}{71} = 0.62$$

改造前 ; $D_c = 30 \mu\text{m}$ 일 때

$$\lambda = \frac{50.0 - 32.0}{67.5 - 32.0} = 50.7 \cong R_M$$

改造後 ; $D_c = 30 \mu\text{m}$ 일 때

$$\lambda = \frac{66.5 - 25.5}{87.0 - 25.5} = 66.7 \cong R_M$$

따라서 改造前後 平衡粒度는 모두 $30 \mu\text{m}$ 으로 나타났다.

4.4 Newton 의 效率

$$\begin{aligned} \eta &= (\text{精粉回收率}) - (\text{粗粉殘留率}) \\ &= \frac{Q_P (1 - R_P)}{Q_M (1 - R_M)} - \frac{Q_P R_P}{Q_M R_M} \\ &= \frac{(R_M - R_P) (R_R - R_M)}{R_M (1 - R_M) (R_R - R_P)} \end{aligned}$$

改造前後 Newton 의 分級效率 曲線은 <그림-8>에 나타낸 바와 같다. 이 曲線의 特徵인 것은, 改造前에는 시멘트 粒徑이 커짐에 따라 漸次 分級效率이 增加되는 反面, 改造後에는 시멘트 特性에 가장 좋은 影響을 미치는 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度의 中間粒子에 對한 分級效率이 좋아 훨씬 效果의 임을 알 수 있다.

4.5 部分分級效率 (Tromp 分配率 曲線)

4.5.1 Tromp 分配率 曲線의 概念

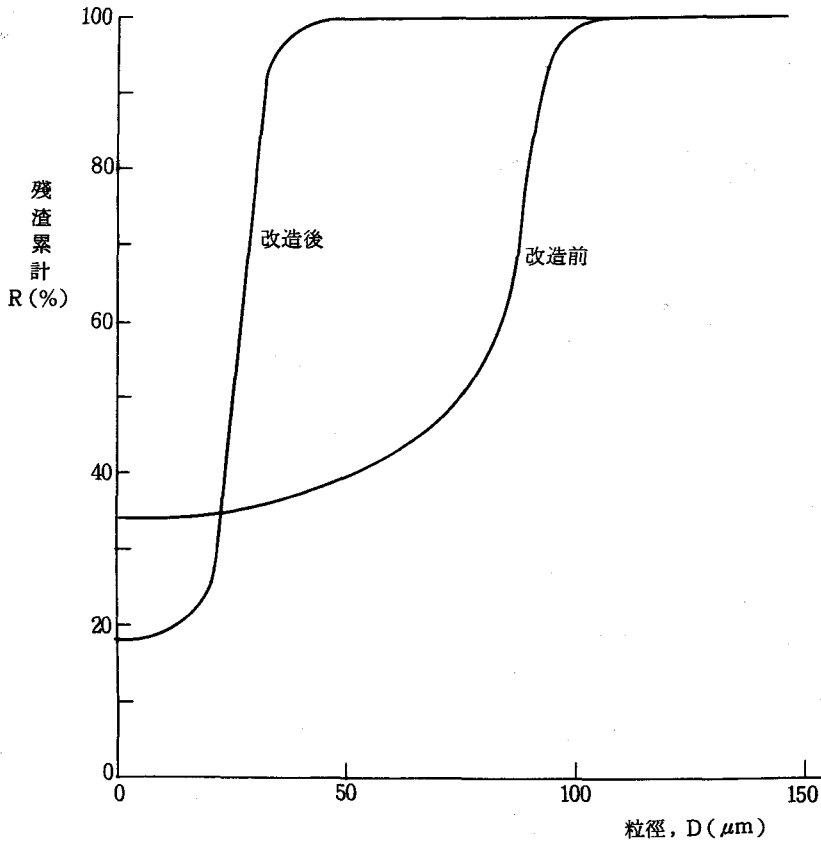
$$\begin{aligned} Z_R &= \frac{\text{어떤 粒徑範圍內的 粗粉量}}{\text{어떤 粒徑範圍內的 入粉量}} \\ &= \frac{\Delta Wt_R / \Delta D}{\Delta Wt_M / \Delta D} \end{aligned}$$

改造後

$$E_P = \frac{31 - 21}{2} = 5.0$$

$$I = \frac{5.0}{27} = 0.19$$

따라서 改造後 分級效率이 急激히 向上되었음을 알 수 있다. 또한 微粒側에서 分



〈그림-10〉 Tromp 分配率 曲線

離와 分割이 같이 일어나는 程度로 改造前의 34%에서 17%로 줄어들어 分級效率에 좋은 效果를 나타내고 있다.

5. 結 論

分級 liner 및 cyclone separator 設置效果를 綜合해 보면,

(1) 生産性이 15%, 電力原單位가 13% 節減되는 것으로 나타나 큰 效果를 내고 있으며,

(2) 循環率이 100%에서 200%로 크게 增加되어 精粉 즉, cement 製品粉末度가 크게 向上되었으며,

(3) 施設改造後 separator 入粉의 粒度分布가 分級에 알맞도록 直線에 가까운 形이 되었는데, 이는 循環率의 增加, 鋼球配列變更 및 分級 liner 의 設置에 의한 效果로

생각되며,

(4) Newton 의 分級效率을 보면 Sturtevant air separator 의 境遇는 시멘트 粒徑이 커짐에 따라 漸次 分級效率이 增加되는 反面, cyclone separator 의 境遇는 시멘트 特性에 가장 좋은 影響을 주는 5 - 50 μm 사이의 直徑中間 粒子에 대한 分級效率이 좋아 훨씬 效率的이며,

(5) Tromp 曲線을 보더라도 不完全度(I)가 0.62 에서 0.19 로 줄어들어 分級效率이 크게 向上되었음을 보여주고 있다.

그러나 Separator 入粉의 粒度分布와 Separator 運轉條件을 좀더 改善하면 粉碎 및 分級效率을 좀더 향상시킬 수 있을 것으로 보인다. 다시 말해 中間 크기의 鋼球投入比를 줄여 入粉의 粒度分布를 좀더 가깝게 하고, 精粉量을 좀더 높이도록 Separator 分散權을 調整하면 生産性 및 電力原單位를 더욱 向上시킬 수 있을 것으로 보인다.