

# 시멘트 밀 生産性 向上을 위한 改造結果

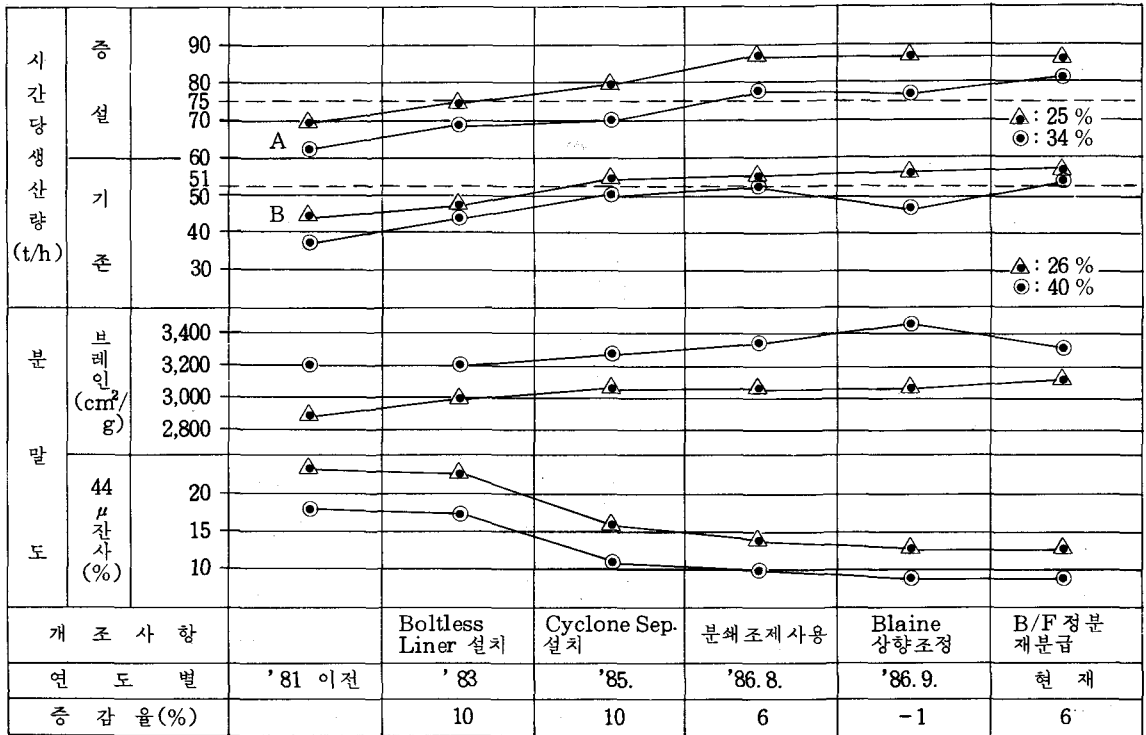
김 무 경  
 〈星信洋灰(株) 丹陽工場〉

## 1. 概 要

當社 시멘트 粉碎設備는 設計容量이 51 t/h (기준), 75 t/h (증설) (Blaine 3200 cm/g 기준) 의 2 종류로서 Polysius 社에서 供給한 Tube mill 이며 Separator 역시 同社의 Turbo 型으로 설치되었으나 性能保證條件에 못미치는 運轉 實績을 나타낸 바 이를 개선하기 위하여 1983 年度에 Mill liner 를 Boltless liner 로 교체

하고 이어 1984 年度에 Turbo Separator 를 分級性能이 우수한 Cyclone separator 로 交替함과 동시에 Bag filter 도 개조하여 生産性 및 시멘트의 품질이 크게 向上되었다(〈그림-1〉 참조)

그러나 시멘트 強度向上을 위하여 粉末度を 向上調整함에 따라 生産량이 감소되었고 이로 인하여 電力原單位가 상승되었으며 원가절감을 위해 使用하고 있는 水滓 Slag 투입량의 증가로 인해 分쇄性能이 저하되는 현상이 발생하였



〈그림-1〉 시간당 생산량 및 분말도의 변천 추이

다.

시멘트의 品質向上에 따른 原價負擔을 줄이기 위해 Mill 전반에 걸쳐서 運轉狀態를 검토하여 Bag filter의 精粉을 再粉級시킴으로써 강도향상을 위한 粉末度 調整이 可能하게 되었으며 生産性向上 및 電力原單位 節減을 가져왔다.

本文에서는 工程改造 內容, 改善效果, 品質, 運轉結果 分析 等に 대해 기술코자 한다.

2. 工程圖 및 主要 設備仕様<<그림-2>>, <표-1>>

3. 시멘트밀 運轉現況 및 分析

1) 運轉現況

시멘트 분쇄설비는 Boltless Liner, Cyclone Separator, Bag Filter 등의 設備改替로 인하여

生産性 및 品質이 크게 向上되어 정상 作業 中에 있었으나 86년 8월부터 長期強度 向上計劃에 따라 시멘트의 장기강도에 영향을 미치는 시멘트의 분말도(Blaine & Sieve)를 상향 조정하여 운전한 結果는 <그림-3> 및 <표-2>와 같다.

또한 粉末度 上向 調整後 Cement Mill 순환 부문별 品質特性을 시험한 結果는 <표-3>과 같으며 Material Balance는 <그림-4>와 같다.

2) 分析

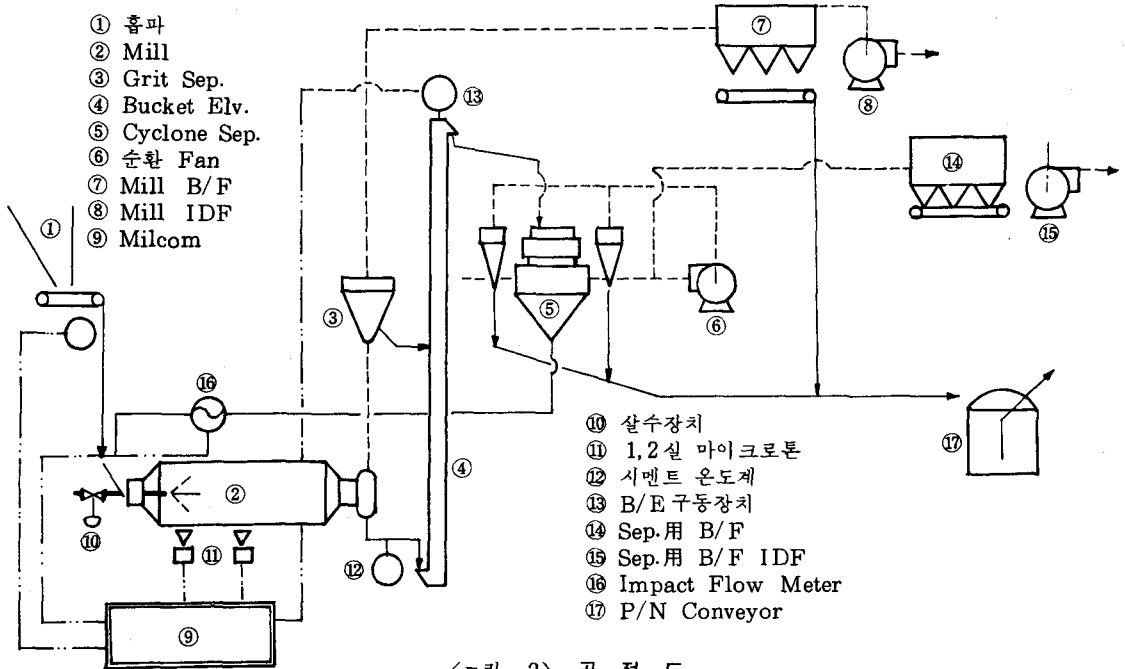
시멘트 長期強度(28日)를 높이기 위해 製品의 Blaine을 3400線으로 上向調整 運轉한 結果 強度는 390~400 kg/cm<sup>2</sup> 정도가 향상된 반면 生産성능이 감소되는 경향을 보였다.

제품은 Separator에서 포집되는 정분과 Bag Filter에서 포집되는 정분이 합쳐서 생산되는 바

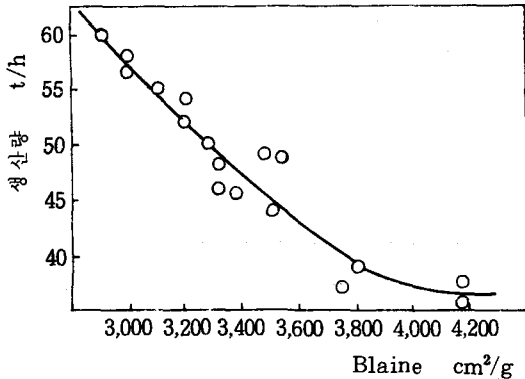
주요 설비 사양

<표-1>

| 설비명               | 항목                        | 기존 C/M(4基)               | 증설 C/M(3基)               |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Mill              | 호칭 용량                     | 51t/h                    | 75t/h                    |
|                   | Dimension                 | 3.6φ × 12.5ml            | 4.0φ × 13.5ml            |
|                   | Rotation Speed            | 15.8 rpm                 | 15.6 rpm                 |
|                   | Mill Motor                | 1,950kw × 1,200 rpm      | 1,500kw × 2基 × 1,200 rpm |
| Mill用 Bag Filter  | IDF Volume                | 50,000 m <sup>3</sup> /h | 55,000 m <sup>3</sup> /h |
|                   | Pressure                  | 418 mm Aq                | 420 mm Aq                |
|                   | Motor Power               | 95kw × 1,800 rpm         | 125kw × 1,800 rpm        |
|                   | Filtering Area            | 671 m <sup>2</sup>       | 1,320 m <sup>2</sup>     |
| Sep.用 Bag Filter  | IDF Volume                | 27,000 m <sup>3</sup> /h | 49,800 m <sup>3</sup> /h |
|                   | Pressure                  | 350 mm Aq                | 350 mm Aq                |
|                   | Motor Power               | 45kw                     | 75kw                     |
|                   | Filtering Area            | 286 m <sup>2</sup>       | 520.32 m <sup>2</sup>    |
| Bucket Elevator   | Type                      | 1.0 m × 26 mH × 185t/h   | 1.25 m × 34 mH × 350t/h  |
|                   | Motor Power               | 37kw × 1,200 rpm         | 75kw × 1,200 rpm         |
| Static Sep.       | Size                      | 2.8 mφ                   | 3.0 mφ                   |
| Cyclone Separator | Separating Cham. Diameter | 3.5 mφ                   | 3.5 mφ                   |
|                   | Cyclone                   | 1.75 mφ × 4 EA           | 1.60 mφ × 8 EA           |
|                   | Motor Rating              | 100 kw × 900~450 rpm     | 160 kw × 900~450 rpm     |
|                   | 순환 Fan 용량                 | 1,750 m <sup>3</sup> /h  | 2,900 m <sup>3</sup> /h  |
|                   | 순환 Fan Motor              | 140 kw × 1,200 rpm       | 240 kw × 1,200 rpm       |
| Pneumex Conveyor  | Capacity                  | 60 t/h                   | 90 t/h                   |



<그림-2> 공 정 도



<그림-3> 분말도(Blaine & Sieve) 조정에 따른 생산량 변화

Blaine 상향 전후 생산량 및 분말도

<표-2>

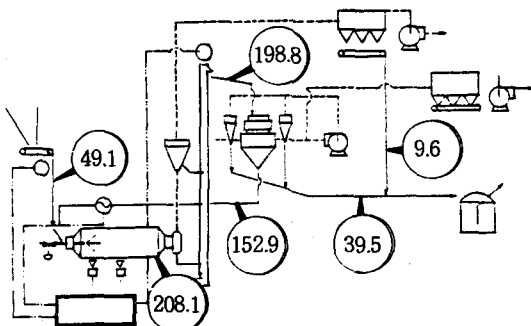
| 항목          | 구분                          | 조정전   | 조정후   | 증감율    |
|-------------|-----------------------------|-------|-------|--------|
| 분말도         | Blaine (cm <sup>2</sup> /g) | 3,269 | 3,424 | ↑ 4.7  |
|             | Sieve(44μ%)                 | 10.2  | 8.6   | ↓ 16.0 |
| 생 산 량 (t/h) |                             | 54.3  | 47.2  | ↓ 13.0 |

시멘트밀 순환부문별 品質특성 및 강도시험

<표-3>

| Sam-pling Point | 구 분 | 粒度分析値           |       | 압축 강도 |     |      |
|-----------------|-----|-----------------|-------|-------|-----|------|
|                 |     | Blaine          | Sieve | 3 일   | 7 일 | 28 일 |
| Mill 出 口        |     | 1,423           | 51.0  | 82    | 146 | 240  |
| Cyclone Sep.    | 入粉  | 1,423           | 53.9  | 82    | 146 | 240  |
|                 | 粗粉  | 822             | 66.4  |       |     |      |
|                 | 精粉  | 3,931           | 3.5   | 204   | 290 | 420  |
| Bag Filter      | 精粉  | 2,232           | 29.2  | 114   | 190 | 305  |
| Grit Sep.       | 精粉  | 1,394           | 50.4  |       |     |      |
| 製 品 (P/N)       |     | 3,382           | 8.5   | 200   | 285 | 390  |
| Sep. 순환율 : 403% |     | Sep. 효율 : 41.6% |       |       |     |      |

순환부문별 品質特性 및 強度試驗 結果를 분석 해 보면 Bag Filter에서 포집되는 精粉시멘트의 粉末度(Blaine & Sieve)가 상당히 낮음을 알



<그림-4> Mill全般에 걸친 Material Balance

수 있다.

따라서 製品의 粉末度를 기준으로 調整하기 위해 상대적으로 Cyclone Separator에서 포집되는 시멘트의 粉末度を 높여 주었음을 알 수 있으며 이로 인해 Separator의 순환율이 증가하여 생산량이 저하된 것으로 분석된다.

그러므로 Bag Filter에서 포집되는 시멘트의 粉末度を 향상시키면 시간당 생산량(t/h)은 증가되지만 Bag Filter 정분의 분말도를 높이기 위해서는 Grit Sep. 조정 및 Mill 통풍량을 조정해야 되기 때문에 의미가 없으며 Mill全般에 걸친 Material Balance를 보면 Bag Filter에서 포집되는 시멘트의 量은 순환량의 4.8%에 지나지 않음을 알 수 있다. 그러므로 Bag Filter 정분을 Cyclone Separator에서 재분급시켜도 가능할 것으로 판단된다.

4. 改造内譯

1) Mill B/F 精粉 再分級을 위한 Chute 설치

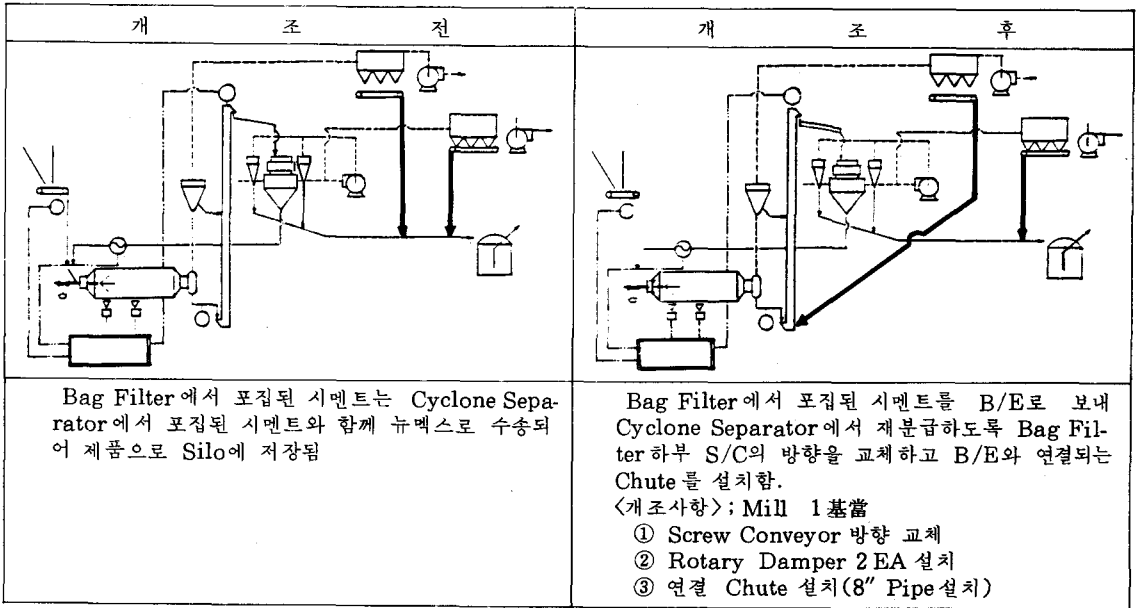
Cyclone Separator 交替後 粉級性能이 향상됨에 따라 Mill의 분급효율도 향상되었으나 改造

前과는 달리 Mill Bag Filter에서 포집되는 精粉의 분말도가 고르지 못해 시멘트의 분말도유지를 위해 Cyclone Sep. 정분의 분말도를 높이기 되었으며 시멘트의 장기강도를 400 kg/cm<sup>2</sup> 까지 증가시키기 위해서 제품의 분말도 기준을 상향 조정하여 운전할 경우에는 粒度調整이 어려워 생산량이 저하되므로 이를 개선코자 Bag Filter에서 포집된 粉末도가 낮은 시멘트를 Cyclone Separator에서 再分級하여 제품의 분말도를 向上시키코자 하였다. 그 설치 내역은 <표-4> 및 <그림-5>와 같다.

改造期間 및 所要金額

<표-4>

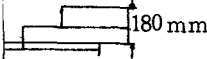

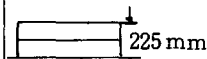
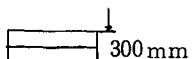
| 區分     | 號別 | 改造日字       | 所 要 金 額(만원)                 |
|--------|----|------------|-----------------------------|
| 기<br>존 | 1  | 87. 3. 3   | 인건비 : 200                   |
|        | 2  | 86. 10. 22 | 자재비 :                       |
|        | 3  | 87. 2. 20  | • Shaft : 28                |
|        | 4  | 87. 1. 27  | • 가공비(공작) : 70              |
| 증<br>설 | 5  | 86. 11. 15 | • Rotary Air Rock (전기) : 84 |
|        | 6  | 87. 1. 17  |                             |
|        | 7  | 87. 1. 20  | • Pipe (8") : 49            |
| 計      |    |            | 431                         |



<그림-5> 改造内譯

2) Separator Blade 改造

기존 Cyclone Separator는 Blade 단면적이 넓어 rpm의 소폭 조정에도 분말도의 변동이 심하여 최저 rpm으로 운전되고 있어 효율적인 운전이 되지 못하고 있으며 분말도 상향 조정시에는 생산량이 급격히 저하되고 이와 반대로 증설 Cyclone Separator의 경우에는 단면적이 적어 최고 범위의 rpm으로 운전되고 있으므로 비효율적이었던 바 이를 보완키 위해 단계적으로 시험하여 적정 Blade 규격을 도출코자 하였다. 그 내역은 <그림-6>과 같다.

| 구분 |          | 개 조 전   | 개 조 후   |
|----|----------|---|---|
| 기  | rpm      | 450 ~ 460   | 650 ~ 700   |
|    | Blade 규격 |  |  |
| 증  | rpm      | 825 ~ 900   | 800 ~ 830   |
|    | Blade 규격 |  |  |
|    |          | 최저 : 450 rpm<br>최고 : 1,125 rpm  |   |
|    |          | 최저 : 320 rpm<br>최고 : 1,125 rpm  |   |

<그림-6> Separator Blade의 改造內譯

5. 改造前後 運轉 結果 比較

1) 기존 시멘트밀

| 항목                         | 구분  | A     |       | B     |       |
|----------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
|                            |     | 개조전   | 개조후   | 개조전   | 개조후   |
| 생산량(t/h)                   |     | 55.2  | 56.2  | 47.2  | 53.3  |
| Blaine(cm <sup>2</sup> /g) |     | 3,046 | 3,050 | 3,424 | 3,233 |
| 44 μR (%)                  |     | 13.3  | 13.0  | 8.6   | 8.1   |
| 압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )  | 3일  | 172   | 177   | 200   | 190   |
|                            | 7일  | 252   | 253   | 286   | 280   |
|                            | 28일 | 348   | 356   | 388   | 390   |
| 분쇄조제 (%)                   |     | 0.02  | 0.02  | 0.01  | 0.02  |
| 슬래그 (%)                    |     | 2.0   | 5.0   | 0.0   | 5.0   |

- 주 : 1. A 분쇄시는 생산량이 대동소이 하지만 B 분쇄시 생산량이 13% 증가하였음.  
 2. B 분쇄시 개조전에 비하여 Blaine은 떨어졌으나 44 μ 잔사량이 6% 감소되었음.  
 3. 28일 강도는 A, B 공히 대동소이함.  
 4. Slag 투입량은 A, B 모두 5%임.

2) 증설 시멘트밀

| 항목                         | 구분  | A     |       | B     |       |
|----------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
|                            |     | 개조전   | 개조후   | 개조전   | 개조후   |
| 생산량(t/h)                   |     | 87.8  | 89.9  | 77.2  | 83.8  |
| Blaine(cm <sup>2</sup> /g) |     | 3,050 | 3,104 | 8,422 | 3,357 |
| 44 μR (%)                  |     | 14.2  | 13.5  | 8.7   | 9.0   |
| 압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )  | 3일  | 173   | 174   | 199   | 190   |
|                            | 7일  | 252   | 254   | 287   | 280   |
|                            | 28일 | 348   | 356   | 390   | 390   |
| 분쇄조제 (%)                   |     | 0.02  | 0.02  | 0.01  | 0.02  |
| 슬래그 (%)                    |     | 2.0   | 5.0   | 0.0   | 5.0   |

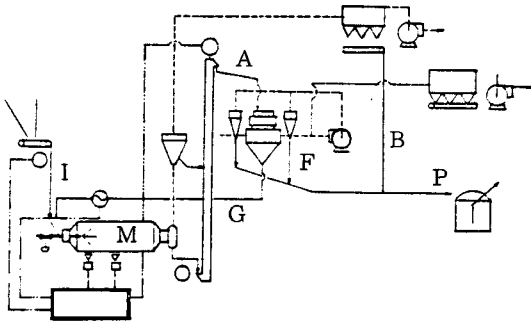
- 주 : 1. 생산량 증가(A: 2%, B: 9%).  
 2. Slag 5% 사용에 따라 초기강도가 약간 떨어지나 28일 강도는 차이가 없음.

3) 分級, 品質特性 및 Material Balance 비교

(1) 分級 및 品質特性 비교

| Sampling Point | 구분       | 개조전                       |              | 개조후                       |              |
|----------------|----------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
|                |          | Blaine cm <sup>2</sup> /g | Sieve 44 μ % | Blaine cm <sup>2</sup> /g | Sieve 44 μ % |
| Mill 出         |          | 1,423                     | 51.0         | 1,269                     | 52.0         |
| Sep.           | 入 粉      | 1,423                     | 53.9         | 1,298                     | 51.6         |
|                | 粗 粉      | 822                       | 66.4         | 794                       | 66.1         |
|                | 精 粉      | 3,931                     | 3.5          | 3,208                     | 6.6          |
|                | C. L (%) | 403                       |              | 308                       |              |
|                | S. E (%) | 41.6                      |              | 47.3                      |              |
| Bag Filter 精粉  |          | 2,232                     | 29.2         | 2,104                     | 23.4         |
| Grit Sep. 粗粉   |          | 1,394                     | 50.4         | 1,215                     | 53.9         |
| 製 品(P/N)       |          | 3,382                     | 8.5          | 3,208                     | 6.6          |

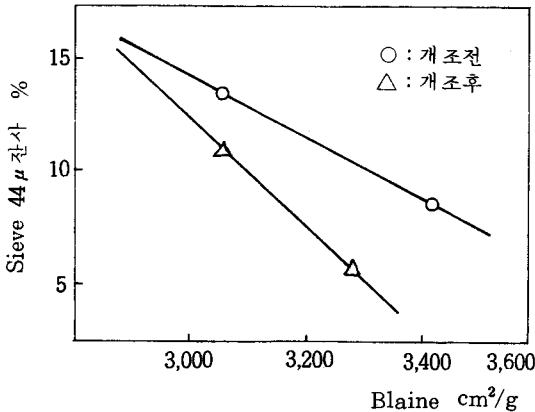
(2) Material Balance 비교



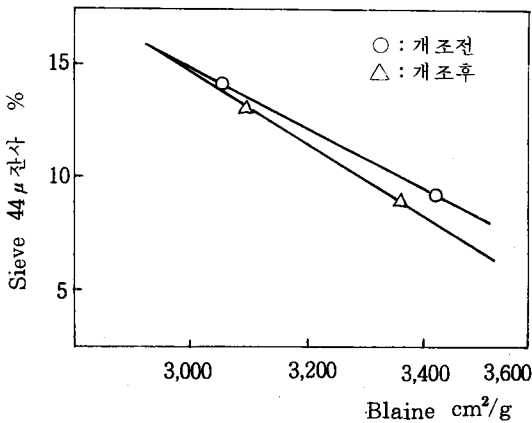
| 위 치 | A     | F    | G     | I    | M     | B   | P (생산)    |
|-----|-------|------|-------|------|-------|-----|-----------|
| 개조전 | 246.9 | 39.5 | 197.8 | 49.1 | 249.9 | 9.6 | 49.1(B+F) |
| 개조후 | 204.8 | 50.2 | 154.6 | 50.2 | 204.8 | -   | 50.2(F)   |

(3) 製品의 Blaine 과 44 $\mu$  잔사의 비교

① 기존 시멘트밀



② 증설 시멘트밀



6. 改造成果

1) 生産성능 향상

|   | 기 준       |         | 증 설       |         | Blaine (cm <sup>2</sup> /g) |
|---|-----------|---------|-----------|---------|-----------------------------|
|   | 生産량 (t/h) | 증가율 (%) | 生産량 (t/h) | 증가율 (%) |                             |
| A | 1.0       | 1.8     | 2.1       | 2.4     | 3,050 $\pm$ 50              |
| B | 6.1       | 12.9    | 6.6       | 8.5     | 3,200~3,300                 |

2) 전력원단위 절감

|           | 개조전   | 개조후   | 차 이    | 연평균   |
|-----------|-------|-------|--------|-------|
| Kwh/t-cem | 44.13 | 41.00 | ↓ 3.13 | 44.10 |

주: 연간 절감액

$$\begin{aligned}
 &= [(1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12 \text{ 월 생산량} \times \text{절감 전력원 단위}) + (6, 7, 8, 9 \text{ 월 생산량} \times \text{절감 전력원 단위})] \\
 &\quad \times \text{전력요금} \\
 &= [(1,530,000 \text{ Ton} \times 3.12 \text{ Kwh/Ton}) + (800,000 \text{ Ton} \times 2.32 \text{ Kwh/Ton})] \times 46 \text{ 원/Kwh} \\
 &= 304,961,600 \text{ 원/년} \approx \text{약 3 억원}
 \end{aligned}$$

7. 結 論

前述한 바와 같이 最終 製品에 惡影響을 미쳤던 Bag Filter 精粉을 再粉級시키고 Separator Blade를 改造한 結果 Cement 強度에 가장 큰 影響을 미치는 44 $\mu$  殘査를 8%로 유지하기 위하여 改造前의 不必要한 Separator 循環率의 상승으로 因한 生産量 減少現象을 배제할 수 있었고 Blaine 3,400~3,500 cm<sup>2</sup>/g 으로 維持해야 했던 것을 改造後 3,200~3,300 cm<sup>2</sup>/g 으로 유지 하면서 44 $\mu$  殘査를 同一하게 維持할 수 있었다. 특히 製品의 粒度分布를 向上시킴으로써 生産量 提高, 電力原單位 節減은 물론 Cement 強度 向上을 가져오게 되었으며 Slag를 5%까지 使用하여도 製品의 粒度管理에 問題點이 없을 뿐 아니라 長期強度도 향상되었다.