

원료밀 운전방법 개선으로 분쇄성 향상

이경국* · 김종오 · 신동희 · 장주찬 · 정연우 · 이근성

<동양시멘트 삼척공장>

1. 개 요

Tube type 의 원료밀에서 분쇄성은 공급되는 원료의 입도와 수분에 따라 좌우된다. 공급되는 원료의 입도가 작을수록, 수분함량이 적을수록 분쇄성이 증가한다.

당사 1,2호 원료밀은 통상적으로 hot gas 가 밀로 유입되는 중앙배출구식 밀이 아닌 시멘트 분쇄공정에 사용되는 tube 밀 type 으로 밀 내부에 hot gas가 공급되지 않으므로 밀 내에서 원료의 건조가 이루어지지 않고, 밀내에서 분쇄된 원료를 미분과 조분으로 분급하는 separator 에 소성공정에서 발생된 hot gas가 통과함으로써, separator 에서 원료의 건조가 이루어지는 공정이다.

V/S 을 거친 입도가 작고 수분함량이 높은 원료는 밀 순환 B/E (bucket elevator) 에 공급됨으로서 원료밀에서 분쇄되어 배출된 원료와 혼합되어 B/E 를 거쳐 separator에 공급된다. 원료의 수분건조는 separator 내에서 hot gas 의 열

에 의한 직접 건조와 열풍을 거친 조분원료가 밀로 이송된 후 밀 내부 온도상승으로 수분을 증발시키는 간접건조로 이루어진다. 따라서 hot gas 가 공급되는 separator 는 투입된 원료의 수분건조, 순환되는 조분원료의 가열, 분쇄된 원료의 미,조분 분급의 3가지 역할을 동시에 수행한다.

최근 당사를 포함한 시멘트 업계에서는 자원 재활용 및 부원료 종류의 사용확대를 위한 방안으로 재생 부원료 등 (슬러지류, 화력발전소 bottom ash 등) 의 사용이 증가하면서, 사용하는 원료의 수분함량이 증가하면서 기존 공정의 운전방식으로는 원료의 수분건조에 한계가 있어 분쇄성 저하 및 킬른에 공급되는 원료의 수분함량이 증가하면서 킬른생산성 및 열원단위 증가가 나타나는 등, 여러가지의 문제점이 나타났으며, 특히 분쇄원료의 공급부족은 소성공정에서 clinker 생산 제약으로 이어졌다.

이와 같은 심각한 문제를 해결하고자 지난 2003년부터 공정전반에 관한 분석을 통해 건조

<표 1> 설비 제원

설비명	Type	Specifications	Power	비고
Raw mill	Tube mill	4,115mm Φ ×13,716mmL	3,730Kw	Fuller사
기존 separator		6,700mm Φ	450Kw	원료건조, 분급
신설 separator		6,700mm Φ	450Kw	분급
기존 500T/H B/E	Link chain	870mm×1,727mm×30,000mm	95Kw	Bucket elevator (요입, 순환)
신설 500T/H B/E	Link chain	870mm×1,727mm×30,000mm	90Kw	Bucket elevator (순환)

능력 향상을 통한 문제해결 가능성을 확인하고 separator hot gas 투입량 증대를 위한 설비개선 및 운전방법개선을 진행하였으며 이로 인하여 발생하는 새로운 문제의 해결을 통해 원료분쇄성 향상과 전력절감 효과를 이루었기에 개선사례를 소개하고자 한다.

2. 설비 제원 (표1 참조)

3. 공정 및 운전현황

3.1 공정소개 (그림 1 참조)

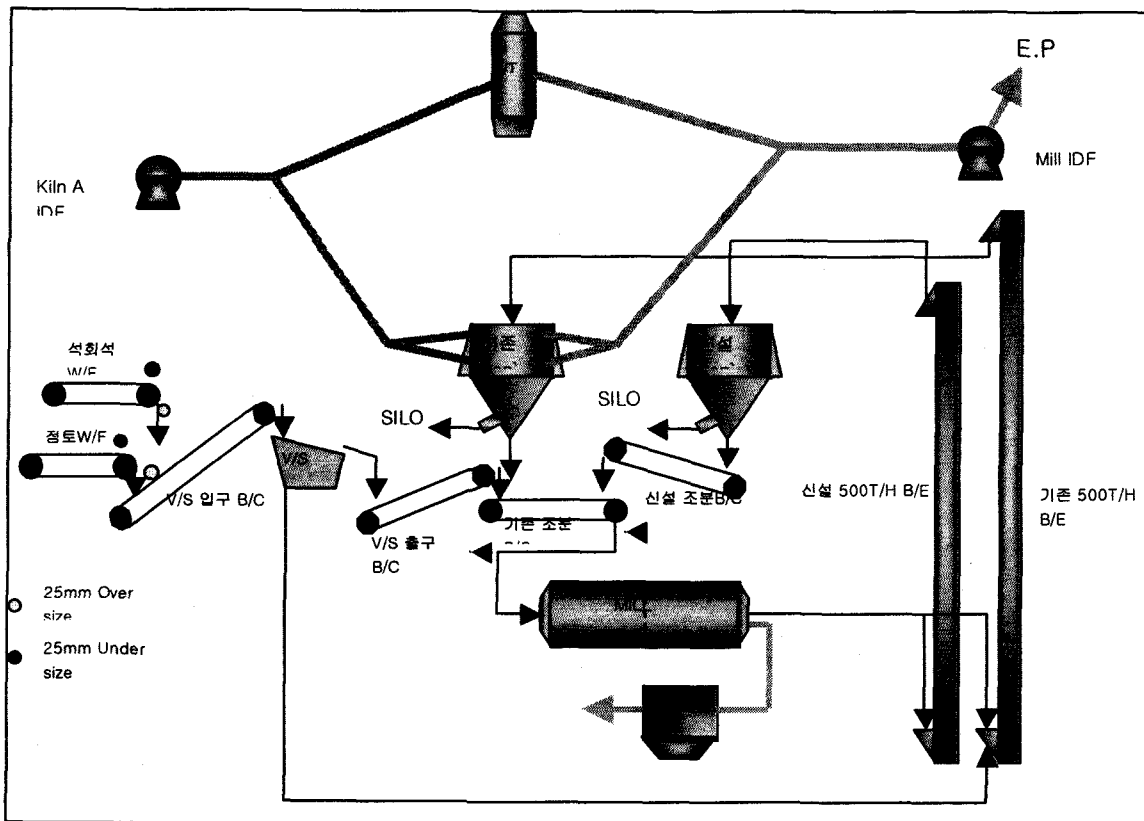
3.1.1 Hot gas flow

Kiln 공정에서 발생된 hot gas 는 킬른 ID Fan 을 거쳐 분리되어 일부는 S/T (spray tower) 에서 spray 된 냉각수에 의해 냉각되고 부피가 감소되어 원료밀 ID Fan으로 이송되며,

또한 일부는 기존 separator 에 공급되어 원료의 건조 및 순환하는 조분원료와의 열교환을 통하여 냉각된 후 원료밀 ID Fan 입구에서 S/T 을 통과한 gas 와 합쳐져 집진설비로 보내어진다.

3.1.2 원료 flow

석회석 계량기인 석회석 W/F (weigh feeder) 와 조합 부원료 계량기인 점토 W/F 에서 계량된 원료는 V/S (vibrating screen) 입구 B/C 를 통하여 V/S 으로 이송되어 입도 25mm 이상의 원료와 이하의 원료로 분리된다. 분리된 원료 중 입도 25mm 이상의 원료는 기존 조분 B/C 를 통하여 밀 내부로 투입되며 입도 25mm 이하의 원료는 밀 내부에서 배출되는 원료를 separator 로 이송하는 순환 B/E 중 기존 500T/H B/E 에 투입되어 기존 separator 로 이송된다. 기존 separator 에서 건조되고 가열된 원료는 밀로 순환하는 조분원료는 B/C 를 통하여 밀 내부로 투입된다. 밀 초기 가동 후 분쇄량이 적을 경우에



<그림 1> 1, 2호 원료밀 Flow sheet

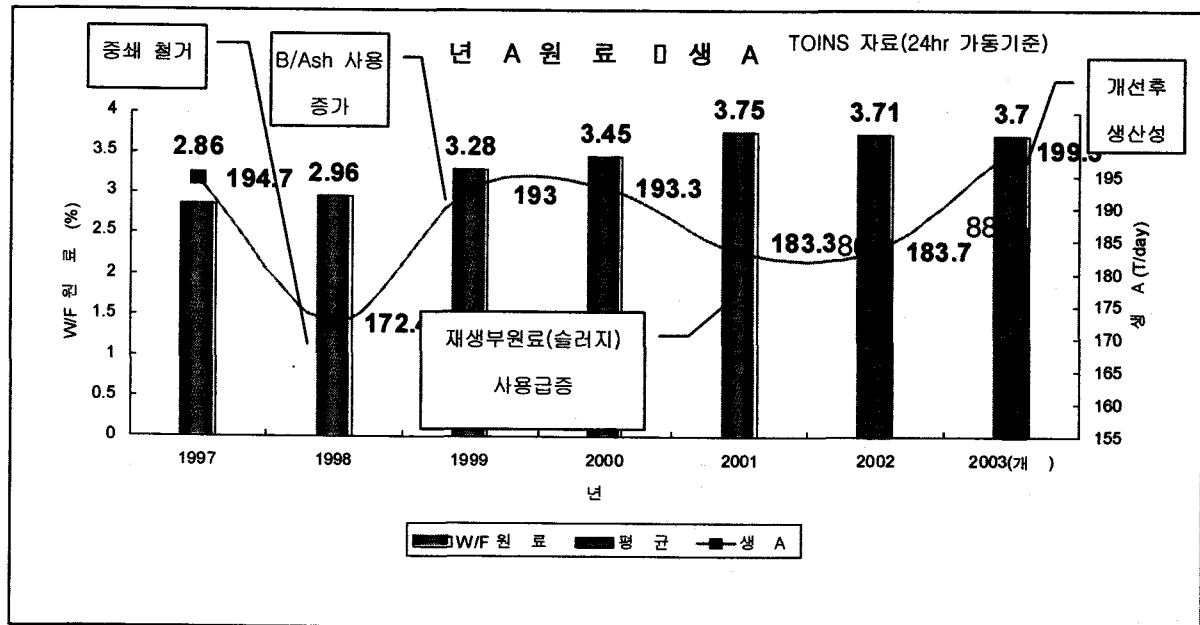
는 기존 500T/H B/E 와 기존 separator 로 원료가 순환되며, 분쇄량이 증가하여 기존 500T/H B/E 의 최대 용량에 근접할 경우 damper 조작을 통해 신설500T/H B/E에 원료가 분배되어 투입된다.

3.1.3 각 설비별 역할

- Kiln IDF
소성공정에서 생성된 hot gas 를 원료밀 공정으로 보낸다.
- Mill IDF
Spray tower 에서 냉각된 폐가스 및 기존 separator 에서 열교환된 폐가스를 집진기로 보낸다.
- 밀 S/T
밀 가동을 정지하거나 혹은 밀 공정의 변화로 기존 separator에 공급되는 폐가스의 풍량을 감소시켜야 할 경우, 냉각수 spray 량을 조절함으로써 집진기로 이송되는 폐가스의 온도를 저하시키고 부피를 감소시킨다.
- 기존 separator
밀에서 분쇄된 원료를 미분원료와 조분원료로 분급한다. 공정에 투입되는 원료와 폐가스의 열교환으로 원료의 수분을 건조시키며 이로

인하여 폐가스는 온도저하와 부피가 감소되어 집진기에서 요구되는 조건을 만족시킨다. 밀 내부의 온도상승을 통한 수분제거를 위하여 순환하는 조분원료를 가열한다.

- 신설 separator
밀에서 분쇄된 원료를 미분원료와 조분원료로 분급하는 역할만을 수행한다.
- 기존 500T/H B/E
밀에서 분쇄된 원료를 기존 separator 로 이송한다. V/S 에서 분리된 입도 25mm 이하의 원료를 기존 separator 로 이송한다.
- 신설 500T/H B/E
S밀에서 분쇄된 원료를 신설 separator로 이송한다.
- 석회석 W/F
S공정에 투입되는 주원료인 석회석을 계량한다.
- 점토 W/F
공정에 투입되는 조합부원료(실리카, 알루미늄, 철질 원료)를 계량한다.
- V/S
S공정에 투입되는 주 부원료를 Size 25mm 이하 원료와 밀 내로 직접 투입할 Size 25mm 이상의 원료로 분리한다.



<표 2> 년도별 원료수분 및 생산성

- 밀 B/F

S밀 내부의 공기 흐름을 형성하여 밀 입구방향에서 분쇄된 원료를 밀 출구방향으로 이동시키는 역할을 수행하고 V/S 통과하지 못하여 밀 내부로 직접 투입된 입도 25mm 이상의 원료에 포함된 수분이 기존 separator 에서 가열된 조분원료의 열에 의해 증발된 수증기를 제거한다.

3.2 분쇄성 감소원인 및 개선전 운전현황

3.2.1 분쇄성 감소원인

분쇄성 감소의 원인은 <표 2>에 나타나는 것과 같이 1998년 광산 석회석 조쇄 크라샤의 추가설치시 밀공정 투입전 원료를 입도 25mm 이하로 조쇄하는 크라샤(중쇄)를 철거함에 따라, 석회석 평균입도가 증가하면서 분쇄성이 감소하였으며 1999년 알루미나원인 고령토를 대체하는 화력발전소 bottom ash (조립분의 형태로 반입)의 사용에 따라 분쇄성이 회복되었으나 수분을 다량 함유한 슬러지 형태의 재생부원료의 사용이 급증하면서 밀공정의 기존 separator 로는 수분 건조능력의 한계가 발생하여 분쇄성이 감소하였다.

3.2.2 Hotgas 투입량 증대 한계 및 원인

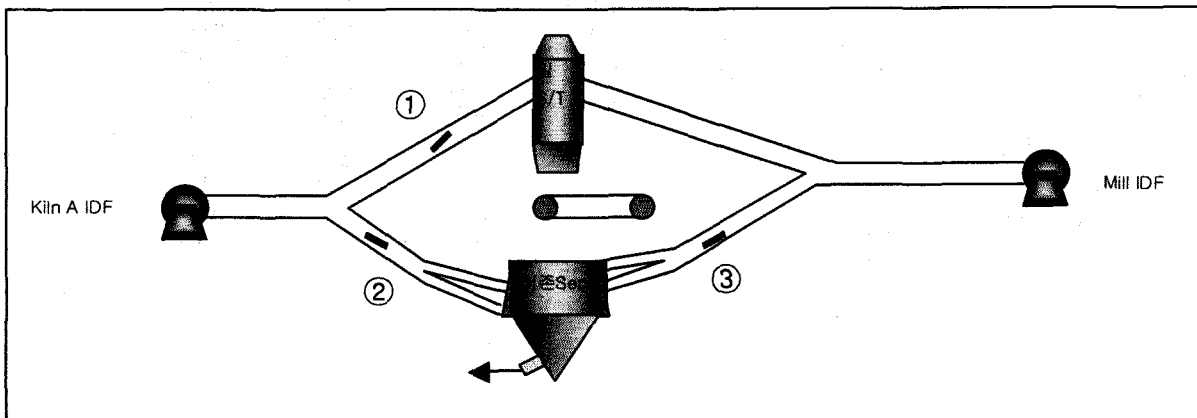
<그림 2> 와 같이 기존 separator hot gas 풍량을 증가시키기 위해 기존 separator 입,출구 damper (②, ③ damper) 를 100% 개방하고

S/T 입구 damper (① damper) 를 닫을시 기존 separator 입구 및 S/T 입구에서 hot gas 및 먼지의 비산으로 공정을 유지할 수 없어 S/T 입구 damper 를 70% 가량 열고 운전을 하였다. 이와 같은 현상의 원인은 기존 separator line 은 duct의 굴곡과 separator 내부구조에 의한 압력손실(저항)이 심하고 S/T line 은 압력손실을 일으키는 요소가 거의 없으며, S/T 하부는 sealing 이 제대로 되지 않는 구조로 되어 있어 S/T 입구 damper (① damper) 를 막을수록 S/T 주변에서는 Mill ID Fan 에서의 suction 에 의한 음압(-압력)이 증가함으로 냉풍의 유입이 증가하여 Mill ID Fan의 풍량처리 용량의 한계로 Kiln ID Fan 출구, 즉 S/T 입구 및 기존 separator 입구에서 hot gas 및 dust의 비산이 발생되었다.

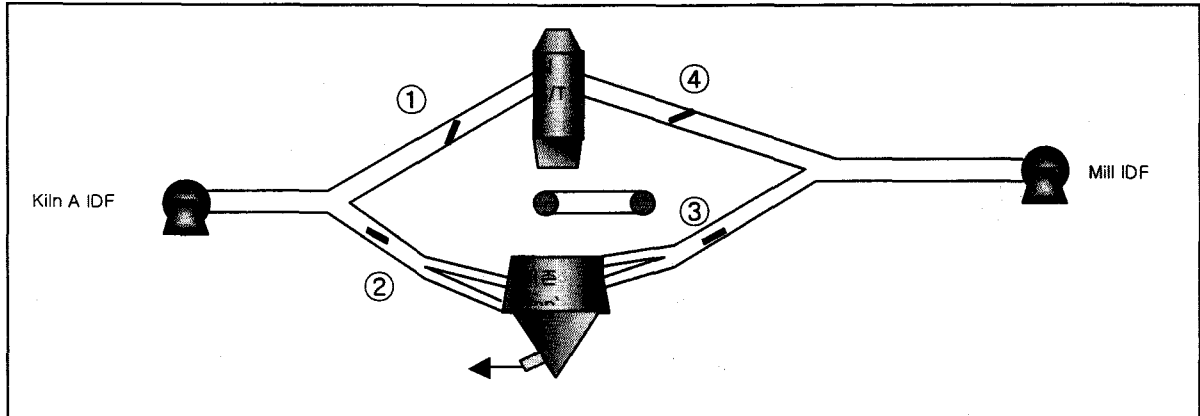
결국 S/T 입구 damper (① damper)을 어느 한도 이상으로 막을수록 hot gas 를 이송해야 할 Mill ID Fan이 유입된 다량의 외부공기를 이송하면서 기존 separator로 공급되는 hot gas 량은 오히려 줄어드는 결과를 초래하였다.

3.2.3 원료 입도분포에 따른 수분건조의 제한 및 원인

V/S 에서 입도 25mm 이하의 원료만이 기존 separator 를 통과하여 직접 건조되고 입도 25mm 이상의 원료는 밀 내부로 투입되어 가열된 조분원료에 의하여 건조되므로 원료에 25mm 이상의 원료가 많이 포함될수록 현저하게 분쇄성이 감소하였다. 기존 separator 를 통과하는



<그림 2> 개선전 Hot gas Line



<그림 3> S/T 출구 duct damper 설치 후 hot gas Line

원료량을 증가시킬 목적으로 screen size 를 35mm로 변경하였으나, 입도가 큰 원료가 기존 separator 로 유입되면서 내부의 내마모 부품 (liner) 의 수명이 현저히 감소하였고 이를 보수 하기 위한 설비정지 시간이 늘어났다.

3.3 원료밀 분쇄성 저하에 따른 대책

3.3.1 소성공정 불안정

원료밀 분쇄성 저하는 소성공정(킬른공정)에서 원료의 부족으로 인한 clinker 생산량 저하를 초래하였으며 원료 silo 재고가 적은 상태로 운전되면서 원료인출 불량에 따른 공정불안정으로 P/H 적분가능성이 높아졌으며 킨의 열변화 심해지면서 내화물의 수명감소에 영향을 미쳤다.

3.3.2 동력원단위 증가

원료공정 및 소성공정에서의 생산량저하에 따른 동력원단위가 증가하였으며 우기와 같이 원료의 수분이 급증할 경우에 타원료밀에서 공기 이송 (F-K Pump) 으로 silo 원료를 지원 받음으로 인한 동력사용량이 증가하였다.

4. 설비 및 운전방법 개선

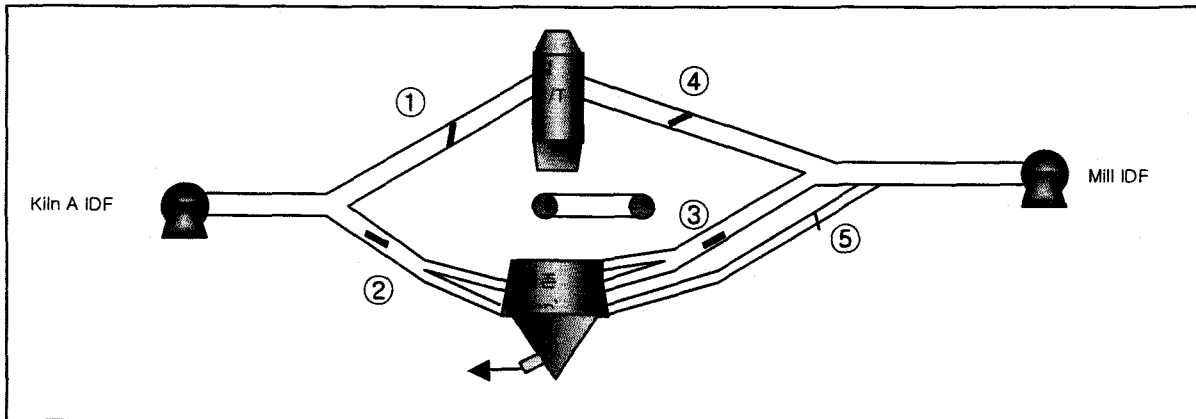
4.1 Hot gas line 개선

4.1.1 S/T 출구 duct damper 설치

S/T 하부에서 유입되는 냉풍을 최소화하고 기존 separator 에 최대의 hot gas를 공급하기 위한 목적으로 S/T 출구 duct에 damper (④ damper)를 설치한 후 기존 separator 입출구 damper (②, ③ damper)를 100% 개방하고 S/T 입출구 damper (①, ④ damper) 를 20% 정도 개방하여 운전함으로써, S/T 하부의 음압(-압력)을 감소시켜 외부와의 차압에 따른 과도한 냉풍(외부공기)유입을 줄이고 기존 separator에 공급되는 hot gas 를 대폭 증가시켰다. 이로 인해 기존 separator 의 원료건조 능력상승으로 분쇄성이 향상되었으나 기존 separator line 의 구조적 문제에 따른 저항으로 Mill ID Fan 입구와 기존 separator line 의 음압(-)이 증가하고 운전상황에 따라 S/T 입구 및 기존 separator 입구에서 hot gas 및 dust 비산현상이 발생하였다.

4.1.2 기존 separator 출구 duct 추가 설치

S/T 출구 duct에 damper (④ damper) 를 설치한 후 기존 separator line 의 저항(압력손실)으로 dust 비산 문제가 계속적으로 발생됨에 따라 기존 separator 에 안정적인 hot gas 공급에 어려움이 있어 기존 separator 출구에 duct 와 damper (⑤ damper)를 추가 설치하여 기존 separator line 의 저항을 감소시킴으로써 dust 비산을 방지하였으며 hot gas 의 안정적 공급이 가능해졌다.



<그림 4> 기존 separator 출구 duct 추가 설치 후 hot gas Line

4.2 기존 separator 건조 원료량 증가

V/S에서 분리된 25mm 이하의 원료만이 separator 에서 건조되고 25mm 이상의 원료는 밀로 직접 투입됨에 따라 밀 내부로 투입되는 원료에 포함된 수분에 의해 분쇄성 감소에 큰 영향을 미치고 있어 screen size 를 35mm 로 변경하였으나 기존 separator 내부 부속의 마모가 가속화되어 유지보수의 주기가

짧아졌다. 유지보수의 주기감소는 생산시간의 감소와 보수비용의 증가를 가져왔다. 이 문제를 해결하고자 기존separator의 주요 마모부분 liner 를 내마모성이 강화된 재질로 변경함으로써 25mm size screen 을 사용할 당시 보다 유지보수 주기를 연장하는데 성공하였으며 이로 인해 개선전 기존 separator 로 약 85%의 원료가 공급되었으나 개선후 약 92% 이상 공급이 가능해졌다.

<표 3> 개선전, 후 비교

구분	개선전	개선후
기존Separator' hot gas 량	320 Nm ³ /min	1,140 Nm ³ /min
Mill S/T 용수사용량	189 l/min	84 l/min
투입량(입도 90% 기준)	180~185 t/h	200~205 t/h
1호 원료밀 동력원단위(24Hr/일 기준)	26.79 kwh/t-raw	24.83 kwh/t-raw
2호 원료밀 동력원단위(24Hr/일 기준)	28.41 kwh/t-raw	27.37 kwh/t-raw
기존separator' 입구온도	350~400 °C	350~400 °C
기존separator' 출구온도	70~80 °C	120~140 °C

<표 4> 유형효과 금액

구분	효과금액	비고
1호 원료밀 동력원단위 절감	142,000	생산성 증대
2호 원료밀 동력원단위 절감	83,000	생산성 증대
3호 원료Silo F-K 가동정지에 따른 전력절감	2,000	원료지원
4호 원료Silo F-K 가동정지에 따른 전력절감	11,000	원료지원
총효과금액	238,000	

<표 5> 무형효과

구 분	효 과	비 고
S/T 공업용수 사용량 감소	45,360톤/년 감소	
부하관리 운전가능		최대부하시간 가동정지
Kiln 제한운전감소 및 공정안정		
전기집진기 배출먼지농도 감소		E.P 풍량부하 감소

5. 개선결과 및 효과 (표3 ~ 표5)

6. 결 론

당사 1,2호 원료밀은 원료의 수분과 입도의 변화에 취약하여 최근 재생부원료 사용의 급증으로 유발된 분쇄성 저하를 설비, 공정, 운전에 대한 정확한 파악과 이해를 통해 저렴한 투자비로 효과적으로 해결하였으며 개선사항을 정리하면 다음과 같다

- 1) 기존 separator 열교환능력 저조원인인 S/T 냉풍과다 유입을 감소시키기 위해 S/T 출구 duct에 damper 를 신설하여 기존separator hot gas 이송량을 증대하는 한편 기존 separator line 의 저항감소를 위한 방안으로 separator 출구에 duct 를 추가 설치하였다.
- 2) 기존 separator 에서의 원료 건조량 증가를 위해 V/S의 screen size를 25mm에서35mm 로 교체함과 동시에 separator 의 주요부품에 대한 내마모성을 강화하였다