

기존 Cement 공장 현대화를 위한 7개 방안

김진홍

< 한국중공업(주) 차장 >

서론

여러분이 잘 아시다시피 장치산업의 흥망성쇠는 energy를 얼마나 효율적으로 관리하느냐에 따라 좌우된다고 하여도 과언은 아닙니다. 특히 cement 공업에서 사용되는 energy 자체가 생산원가에 미치는 영향은 타 원가구성비(즉, 원료비·인건비)보다 월등히 크며, 이는 cement 공업에서의 energy 원가는 생산원가와 곧바로 직결된다고 하여도 어긋나는 이야기는 아닐 것입니다.

시멘트 공업에서 사용되는 energy 종류는 rotary kiln에 사용되는 기름, 석탄, 천연가스 및 전동기에 사용되는 전기 energy로 크게 양분시킬 수 있다.

Rotary kiln에 사용되는 energy의 경우 1877년 영국의 Ronson이 rotary kiln을 발명한 이후, 1940년대 Lepol type, 1960년대 SP type, 1970년대 NSP type (S.F MFC, RSP, KSV) 등 괄목할만한 성장을 거듭해 현재는 fuel consumption을 ton당 크링카 740 kcal까지 절감시키고 있는 중이다.

이와같이 rotary kiln 분야가 괄목할 만한 성장을 거듭해 온 반면, 전기 energy의 주류를 이루고 있는 분쇄설비의 개발은 1940년대 이후 별다른 진전이 없었습니다.

요즈음 세계 각국의 cement process designer에 의하여 cement plant 동력의 75%를 차지하는 분쇄시설에 대한 집중연구가 진행되고 있으며, 특히 roller mill의 경우 liner 등의 소

재 산업이 충분히 뒷받침되고 있어 급격한 연구 향상을 기하고 있는 실정입니다.

이러한 측면에서, 여러분들이 다루고 있는 기존 cement 공장의 각종 설비에 대하여, 보다 경제적이고 효율적인 energy 절감 및 생산성향상을 기할 수 있는 방법을 소개함에 목적이 있음.

1. 개요

- 기존 cement 공장 현대화를 위한 7가지 방안은 다음과 같음.

1. long kiln에 1개 또는 2개의 stage를 연결시키는 방법
2. 기존 4-stage preheater kiln의 생산량을 증가시키는 방법
3. preheater kiln의 생산량을 배가시키는 방법
4. clinker cooler 개선방법
5. roller mill의 특징 및 장점
6. 기존 roller mill의 개선방안
7. o-sepa air separator로써 cement mill의 생산성을 증가시키는 방법

2. 개선방안

1) Long kiln에 1개 또는 2개의 top cyclone을 추가하는 방안

- Long dry kiln에 1개 또는 2개의 top cyclone을 추가함으로써 kiln의 capacity를 상당히 증가시킬 수가 있다.

즉 원료의 예열과정을 kiln 밖에서 이루어지게

〈표-1〉

Long Kiln 개조에 대한 원단위 비교

Item	Long dry	With single st. preheater	With two st. preheater
Kiln output: t/d	1,000	1,250	1,400
Estimated cap. cost: (\$x1000)	-	6,800	8,100
Fuel			
- Unit consumption: kcal/kg-clinker	1,400	1,500	1,000
- Annual cost savings(1): \$/yr	-	709,000	1,270,000
Power			
- System consumption: kwh/t.-clinker	23	21	20
- Annual savings(2): \$/yr	-	47,000	71,000
Refractories			
- Usage: %	100	85	80
- Annual savings(3): \$/yr	-	38,000	56,000
Maintenance			
- Cost per ton clinker: %	100	95	90
- Annual savings(4): \$/yr	-	38,000	86,000
Total annual saving \$/yr	-	832,000	1,483,000

(1) Cost of fuel assumed at \$7.20/kcal x 10⁶

(2) Cost of electrical power at 6/kwh

(3) Cost of refractories assumed at 64¢/t. clinker

(4) Maintenance cost original kiln system assumed at \$1.95/t. clinker

〈표-2〉

생산량 증가 비교

Item	Original	Stage I	Stage II
Kiln system configuration	Straight 4-st. preheater	4% Riser duct burning	Reduce preheater across preheater
Kiln production : t/d	1360	1575	1920
% increase	-	15	21
% over original	-	15	40
Fuel consumption : kcal/kg clinker	1000	986	958

함으로써 kiln speed를 높이고 원료의 kiln 내 체류시간을 단축시켜 clinker 생산성을 향상시킬 수 있으며 이는 kiln의 직경과 길이에 따라 약 50% 정도까지 가능하다.

경우에 따라서는 필요 이상의 체류시간을 줄이기 위하여 kiln의 길이를 줄여야 할 필요도 있다. 이러한 system변경에 따른 장점으로는 연료(15%)와 동력(13%)의 효율상승과 연와수명 연장(20%) 및 보수비 감소(10%) 등을 가져온다. 또한 rotary kiln에서의 열손실(크링카 톤당 방열손실)을 줄여 연료의 효율을 상승, 연속 운전 및 생산성 향상을 기대할 수 있다.

연료효율을 최적화하기 위하여는 single-stage preheater의 경우 kiln 입구에 chain curtain이나 혹은 heat exchanger를 설치하는데 바람직하다.

특히 kiln 폐 gas 온도를 낮추기 위하여 air-to-air heat exchanger가 사용될 경우 단일 대용량의 공정에서는 낮은 동력소모가 기대되어지고 그리고 보다 안정된 kiln 운전으로 연와수명도 향상될 수 있다. 물론 증가된 가스나, 투입 원료 및 크링카를 처리하기 위하여는 아래와 같은 kiln system에서의 일부 설비개조 및 보완이 필요하다.

- 1) 1개 또는 2개 top cyclone 추가설치
- 2) preheater fan의 추가설치(용량검토)
- 3) preheater 배기 가스 온도 및 volume 감소를 위한
- 4) air-to-air heat exchanger의 설치
- 5) 필요시 kiln dust collector 용량 증가
- 6) kiln speed-up을 위한 drive 보완
- 7) 증가된 kiln 생산량에 일치되는 clinker cooler와 exhaust system의 보완
- 8) 증가된 kiln 생산량에 일치되는 kiln feed 및 clinker handling 설비보완 등.

다음 도표 <표-1>은 1,000 tpd long dry kiln에서 1개 stage 혹은 2개 stage preheater를 설치하였을 때 기대되는 운전비 절감 결과를 보여주고 있다.

2) 기존 4-stage preheater kiln의 생산량을 증가시키는 방법

4-stage SP kiln은 kiln feed end 측 riser duct에 burner를 설치하여 가소율을 높이고 preheater에서의 pressure drop을 줄임으로써 5-15%의 생산능력을 높일 수 있다.

Riser duct burner를 설치하여 전체 연료의 약 5%를 이곳에서 연소시킴으로써 kiln 운전의 안정성을 높이고 이로 인하여 연와의 수명 연장 및 kiln의 고장시간 감소 그리고 보다 양질의 clinker 생산을 기대할 수 있다.

그리고 preheater에서의 pressure drop을 줄임으로써 보다 많은 kiln 배기 gas를 처리하게 되고 이로 인하여 생산능력도 증가(40%)된다. 이와같은 좋은 예가 최근 미국의 한 cement plant에서 있었다.

1360 t/d의 기존 4-stage fuller preheater kiln이 2단계로 개조되었다. 1단계로 4개의 riser duct burner를 설치하고 이곳에서 전체 연료의 약 4%를 연소시킨 결과 kiln운전이 상당히 향상되었고 장기적으로 평균 1,575 t/d에 상당하는 생산성 향상(15%)을 가져왔다.

이러한 생산량으로서는 모든 equipment가 최고 용량에 달해 그 이상의 용량증가는 추가로 preheater fan과 dust collector 용량증가가 필요하게 되었다. 2단계 목표는 preheater에서의 pressure drop을 감소시켜 생산성을 향상시키는 것이었다.

First stage vessel 1개 추가 설치하고(기존 2개) 2 stage에서 1 stage vessel로 가는 gas duct를 확대함으로써 total pressure drop을 약 30%까지 감소시켰다. riser duct의 보완으로 원료의 체류시간을 길게하여 연소효율을 증대시키기 위하여 chamber도 추가 설치되었다.

이 결과 1,575에서 1,920 t/d로 15%의 capacity가 증가되고 생산성 향상의 결과를 보였다.

그러나, 이에 수반되는 dust collector와 kiln 배기 system의 용량도 증대되었음. 다음 <표-2>는 두 단계에서의 kiln system에 대한 개조 결과를 요약한 것이다. 대부분의 개조작업은 kiln 운전중에 이루어졌으며, 마지막 2단계에서의 연결작업에 12일간의 작업중단이 소요되었다.

3) S.P kiln 의 생산량을 배가시키는 방법

기존 S,P kiln 의 생산능력을 2nd preheater 및 SF system 으로 개조함으로써 약 2배 정도로 증가시킬 수 있다. 이 개조공사에서 precalciner (SF) 는 preheater 의 cyclone 에 나란히 설치된다.

기존 rotary kiln 은 원형대로 유지되나, kiln 에서의 열부하감소로 speed 가 빨라지고 이로 인하여 생산성도 향상된다. 이러한 결과, 2개의 half size 생산 line 보다는 single line 으로써 투자비와 운전비를 감소시킬 수 있다.

또한 kiln 으로부터의 방열손실도 감소되어 fuel consumption 을 감소시킬 수 있다. (15-25 kcal/kg-clinker). Rotary kiln 에서의 열부하감소로 연와의 수명이 연장되며 크링카톤당 약 30%의 연와비용절감이 기대된다. 또한, kiln 과 exhaust system 에서의 전력소모는 많은 생산량을 보다 적은 equipment 로 처리하는 관례로 14% 까지 감소될 것이다.

NSP kiln 개조 내용은 다음과 같다.

- preheater 2nd stream 추가
- P/h fan, dust collector fan 을 포함한 new exhaust system
- precalciner furnace (S,F 등)
- kiln speed up 을 위한 drive 보완
- kiln 생산성 향상에 일치되는 기존 clinker cooler 와 cooler exhaust system 의 보완
- kiln 생산성 향상에 일치되는 kiln feed 및 clinker handling system 의 보완 등

아시아 지역에서 500,000 t/y SP kiln 을 1,000,000 t/y NSP kiln 으로 개조시 투자금액은 약 12.2 백만 \$ 소요되었음.

Raw material crushing, handling, raw grinding 및 raw mix blending 에 대한 보완 필요성은 전체 plant 생산능력에 미치는 어떤 복합적 변화에 의해 결정된다.

<표-3> 은 개조 결과로서 얻어지는 예상 운전비용절감 내역을 요약한 것이다.

<표-3> 운전비에 대한 절감효과 비교표

Item	Original Preheater	Conversion to Precalciner
Capacity: t/d	1,500	3,000
Fuel		
- Unit consumption: kcal/kg-clinker	825	800
- Annual cost savings (1) : \$/yr	-	180,000
Power		
- System consumption: kwh/t-clinker	22	19
- Annual savings (2) : \$/yr	-	180,000
Refractories		
- % Usage:	100	70
- Annual savings (3) : \$/yr	-	132,000
Maintenance		
- Cost per ton clinker : %	100	85
- Annual savings (4) : \$/yr	-	260,000
Total annual savings		752,000

4) Clinker cooler 개선방안

구 model의 기존 grate cooler를 개조 현대 화합으로써 clinker의 냉각효과를 높이고 2nd air 온도를 높여 생산량을 증가시키고 연료효율을 향상시킬 수 있다.

1975년도 이전의 기존 grate cooler는 낮은 clinker 층과 저압의 under-grate pressure를 기초로 하여 설계되었으며, 대부분 하나 혹은 두 개의 undergrate air compartment를 가지고 있었다.

그러나 70년대 중반 fuller에서 많은 수의 undergrate compartment와 고압의 undergrate pressure로서 높은 clinker 층을 기초로 하는 제 2의 grate cooler 기법을 도입하여 연료효율을 향상시켰다. 이러한 새로운 grate cooler 기법의 도입과 병행하여 Fuller사는 기존 grate cooler에 새 기술을 응용하는 전환방법을 개발하였다. 그 결과 미국과 전세계의 시멘트 업계에 광목할 만한 grate cooler system의 전환을 가져왔다.

Grate cooler의 개조 내용은 다음과 같다.

- cooler에서의 load 증가에 따른 drive 교체
- side wall에서의 heat loss를 줄이기 위한 dead grate 설치와 side coating 제거

- grate slode를 3° 경사로 개조
- 고압의 undergrate 압력에 맞는 새로운 seal 사용과 undergrate compartment의 재분할(repartitioning)
- 고압의 undergrate 압력에 맞는 새로운 floor plate와 dust discharge valve 설치
- wheel shaft를 통한 leakage를 없애기 위한 internal wheel
- 재분할된 undergrate compartment에 필요되는 cooling fan 추가(보통 compartment 별 1대)

실제로 cooler housing, grate plates, clinker breaker, cooler support fram 등은 재활용이 가능하나, cooler에서의 처리능력증가로 clinker conveyor와 dust처리 line 등은 필요시 보완할 수도 있다.

다음 도표 <표-4>는 clinker cooler의 개조 전과 개조후의 운전실적을 비교 분석한 자료이다.

5) Roller mill의 특징 및 단점

그럼 다음은 기존 tube mill보다 경제적이고 효율적으로 사용되고 있는 roller mill system에 대하여 검토하여 보기로 하겠습니다. 저희들의 비교 검토 주안점은 roller mill의 특징 및 장점, 이에 따른 경제성 검토에 역점을 두었습니다.

<표-4>

Clinker Cooler 개조에 따른 운전실적

Item	Cooler modification	
	Before	After
Undergrate compartments:	2	5
Max. u/g-pressure: mm wg	400	710
Effective cooler grate area: m ²	109	89
Bed depth at rated output: mm	305	460
Bed loading: t/d·m ²	22	29
Kiln system capacity: t/d	2400	2650
Clinker temp. at cooler disch.: °C	150	100
Fuel consumption: kcal/kg	1167	1042

니다.

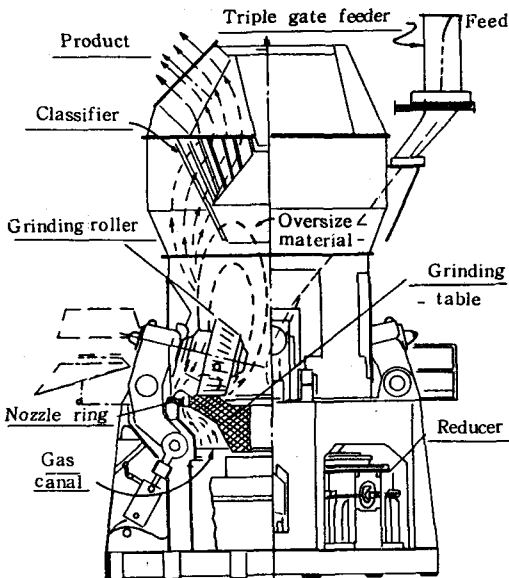
그럼 먼저 roller mill의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 특징

- ① 간단한 공정
- ② 부대시설이 적은 단순 production line이다.
- ③ 건조능력이 높다. (moisture 20%, tube : 7%)
- ④ 복잡한 큰 건물이 필요없다.
* tube mill 면적(100%)의 30-40%면 가능
* tube mill volume(100%)의 40-50%면 가능
- ⑤ 저렴한 자본투자(A/S, B/E 등이 필요없다)
- ⑥ 동력비 절감(15-20%)
- ⑦ 마모율 및 유지비저렴

(2) 공정

Roller mill은 material feeding size가 "4"까지 가능하므로 impact hammer 2nd 및 crusher가 없고 B/E, A/S, air separator 등 circuit equipment가 필요없으므로 동력비 및 자본투자가 적게 든다(〈그림-1〉).



〈그림-1〉 General arrangement Fuller-Roesche mill

* tube mill feeding size는 25 mm 임.

(3) 수분함량

tube mill의 건조능력은 원료중 moisture content가 7% 정도이나, roller mill은 20%의 moisture content mat'l 까지 건조가 가능하다. 이 건조능력은 roller와 table 사이의 roller의 경사(15°)가 nozzle의 효과를 가져오기 때문에 건조효율이 타 mill보다 높다.

(4) 필요한 부대장치 〈표-5〉

도표에서 보는 바와같이 roller mill은 아주 간단한 시설만(D/C) 필요하다.

왜냐하면 classifier가 자체 부착되어 있다.

〈표-5〉 5-4 부대장치 비교표

Circuit : Ball mill system

- Ball mill
- Ball charge
- Bucket elevator
- Air separator
- Air slides
- Mill vent dust collector
- Separator vent dust collector
- Kiln dust collector

Roller mill system

- Roller mill
- Main dust collector

(5) 자본투자 비교

연간 백만톤 생산량을 기준할 때 mill 자체 및 drive system은 tube mill보다 62% 비싸지만, 부대시설을 포함한 총 equipment 값은 오히려 roller mill이 약 13% 낮다는 결론을 보여주고 있다.

(6) 동력소모 검토

동력소비면에서도 시간당(90 ton) 용량을 기준할 때(원료조건 동일) roller mill이 약 28% 정도 낮다.

(7) 수선비(유지비) 〈표-6〉

다음은 수선비 및 유지비에 대한 검토를 해 보겠습니다. ball mill은 연간 약 1억 2천만원(142,900 US\$)인데 비하여, roller mill은 약 1억(123,700 US\$)으로 평균 13%의 수선비를

<표-6> 5-7 수선비 및 비교표

Ball mill	
Ball wear @ 45g/mt' x 1,380,125 x \$1.1/kg =	\$/Year 76,300
Mill Liners @ 5 year Life	28,600
Diaphragm grates and liners @ 3 years life =	28,600
	142,900
Roller mill	
Tires and table liners @ 6000 hrs. life =	116,000
Mill body liners @ 4 years life =	4,500
Classifier liners & blades @ 2 years life =	3,200
	123,700

절감할 수 있는 것으로 나타났습니다.
(연간기준)

- (8) 소음공해 (noise pollution)
 - tube mill : 90 - 100 DCBA
 - roller mill : 80 - 85 DCBA

6) O-sepa air seperator로서 **cement mill**의 생산성을 향상시키는 방안

(1) 소개

Cement mill system은 cement산업분야에서 비교적 개발이 뒤쳐져 왔었다.

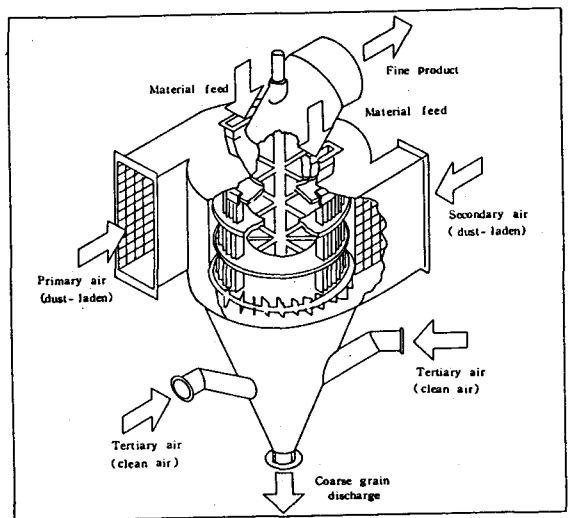
그러나, 요즈음은 보다 저렴한 동력으로 좋은 품질의 cement를 생산코져 팔목할 만한 기술 진전을 이루고 있다. 그 하나의 예로서 여기 새로 air seperator system (O-sepa)을 소개하고자 한다.

(2) Layout & air flow

이 O-sepa air seperator 기본 원리는 finess efficiency의 증가를 위하여 air flow 및 rotor speed의 간단한 control 방법을 채택하였다. material feed는 두 곳에서 이루어지며, feed된 material은 distribution plate의 회전에 의하여 wall 쪽으로 분산되어지고 분산되어진 원료는 rotor 회전 및 air에 의한 원심분리 작용이 이루어지면, 정분과 조분으로 분리되어지며, 분리되어진 입자를 또 다시 vertical air flow ad-

justed blade 및 partition plate를 통과하면서 전단응력을 받아 입자집합현상을 최대한 억제하고 fine한 material은 부력에 의하여 dust collector에 collecting, silo로 수송되고 조분과 wall을 따라 하강하면서 다시하면 tertiary air에 의한 부유 유동되어 2차 입자 집합 현상을 최대한 분쇄하면서 fine과 coarse material에 대한 segregation 현상을 마친다.

상기 현상으로 가능한 mill 내부에서 regrinding 및 불필요한 load를 최대한 줄여서 생산성 향상을 기할 수 있다. <그림-2>



<그림-2> Layout of O-Sepa

(3) O-sepa classification zone

<그림-3>은 O-sepa 내부에서 원료의 입자 집합현상이 원심분리 및 전단응력에 의하여 변화하는 과정을 보여주고 있다. tertiary air 를 만난 입자는 아주 선명하게 coarse 한 입자만 남아있다.

이것은 곧 mill내부로 reject 되어지는 material(coarse)이 분명하게 fine material과 segregation 되어 mill내부에서 불필요한 regrinding 을 방지 mill내부 이동속도향상 및 생산성 향상을 기하는 직접적인 원인이 되고 있다.

<그림-4>.

(4) 특 징

O-sepa air seperator 의 특징

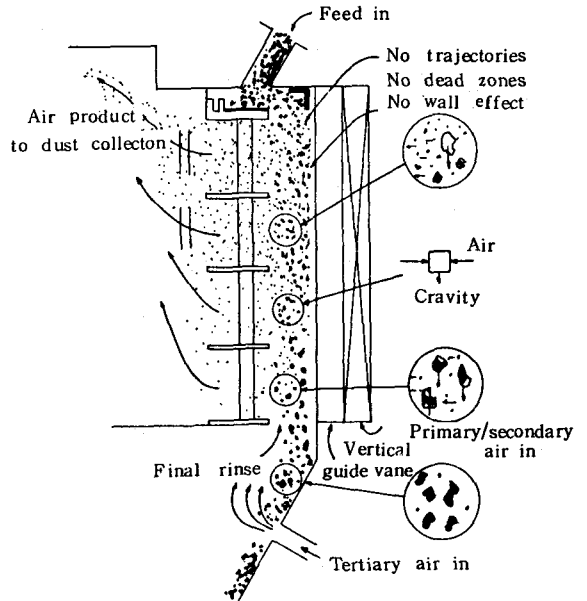
- ① 낮은 동력소모(8-20% 절감)
- ② 편리한 입도조정가능(rotor 회전)
- ③ 높은 생산성(분쇄효율증가 26%)
- ④ 간결한 설계
- ⑤ 간단한 system
- ⑥ 낮은 cement temperature(80°)
- ⑦ 설치가 용이
- ⑧ 보수비가 낮다.

⑨ 높은 cement quality

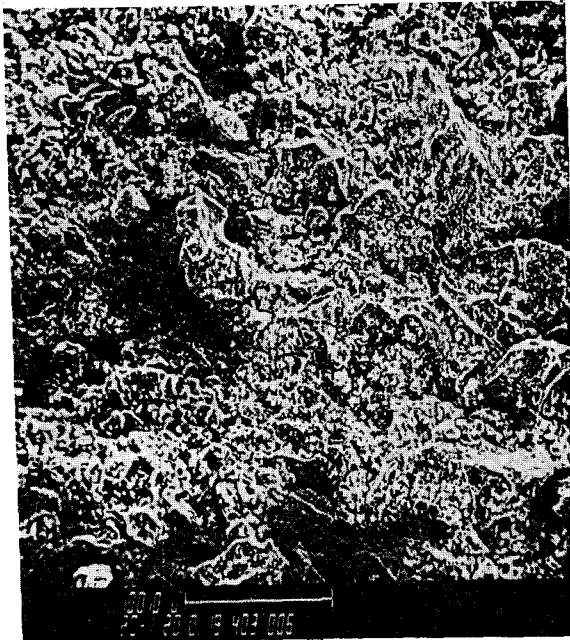
(균질한 입도분포, 낮은온도)

(5) Separator efficiency

<그림-5>에서 보는 바와같이 cyclone type



<그림-3>



Conventional Separator Rejects



O-Sepa Rejects

<그림-4> 사진으로 본 입도분포 비교

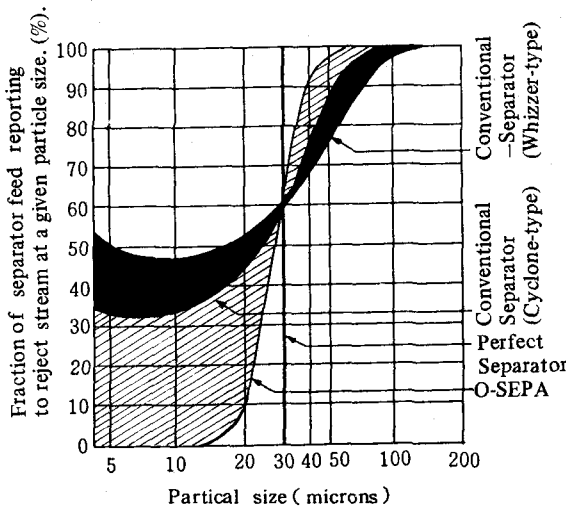
air separator 및 sturvtant type air separator 와 비교할 때 O-sepa air separator 의 입도 분포 range 는 30 μ 을 기준할 때 15 μ 에서 50 μ 사이로 나타나 있다.

이는 O-sepa 가 타 system 보다 균질한 입도의 cement quality 및 strength 에 기여하고 있다는 증거이다.

(6) Particle size

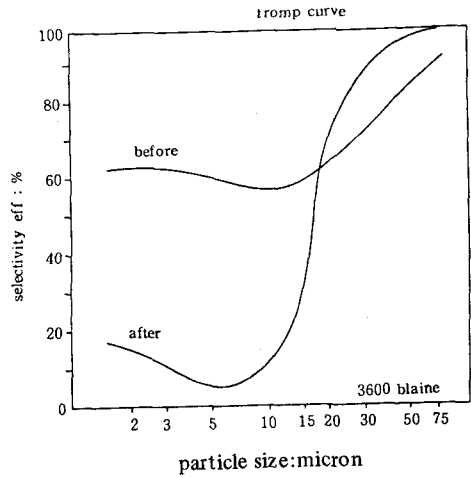
<그림-6>도 역시 각각의 micron 에서의 입도분포 현황을 보여주고 있다.

보는 바와같이 O-sepa system 이 collecting efficiency 면에서 15 μ 에서 50 μ 사이의 급격한 곡선을 나타내 주고 있다. 이는 O-sepa system 이 cement 강도에 크게 영향을 미치는 입도(즉 3 μ -30 μ)만 효율적으로 분리하기 때문에 mill 내부에서 regrinding 을 배제할 수 있으며, 아울러 circuitlation load 가 적어 생산성을 향상시킬 수 있다.



As indicated by these curves, O-SEPA properly classifies a higher proportion of feed particles into product and rejects, whereas conventional separators unnecessarily bypass a large percentage of acceptable product for regrinding and coarse particles to product

<그림-5> Typical separator efficiency curve (tromp curve)



<그림-6>

(7) Operation 및 quality 상의 특징

- ① Rejected material 량이 적어 분쇄효과 및 생산성 향상을 기할 수 있다.
- ② Mill 내부의 강한 air sweeping velocity 로 인하여 mill 내부의 material (fine) 이동 시간을 단축시킨다.
- ③ 동력비가 기존 air separator 보다 8-20% 절감
- ④ 입도분포 range (3-30) 가 매우 작아 (O-sepa : 80% 정도) cement quality 및 strength 에 좋은 영향을 주고 있다. (3일 강도 : 170 kg/cm², 7일 강도 : 280 kg/cm², 28일 강도 : 430 kg/cm²)
- ⑤ 시멘트의 낮은 온도(80°C)로 인하여 cement silo 에 장시간 저장시에도 gypsum 에 dehydration 현상 및 false-setting을 방지.
- ⑥ O-sepa 내에서의 충분한 air 와 오랜시간 material 과 작용되므로 cooling 효과가 많아 material 온도가 낮다.
- ⑦ 공사기간이 단지 2 주일.

* 주제관련 data 는 미국 Fuller 사의

Mr. Joseph P. Wynen 에 의하여 제공된 것임