

#6,7호 line 운전방법개선으로 전력비 절감

배종기* · 윤정석 · 정환목 · 임현동

<동양시멘트 삼척공장 클링커 생산 2팀>

1. 개요

시멘트 산업은 에너지 비용이 전체 제조원가 중 약 50%를 차지할 정도로 에너지 다소비 산업이라 할 수 있다. 이러한 이유로 각사마다 연료 및 전력비 절감을 위해 부단한 노력을 해왔으며 당사도 같은 맥락으로 지난 몇 년 동안 저가 연료사용 확대, 폐기물 연료화, 저부하 설비 도입, 운전방법 개선 등을 통한 연료 및 전력비 절감으로 뚜렷한 에너지 비용 절감 효과를 이루었다.

여기에서는 당사 #6, 7호 원료 및 클링커 생산 공정라인을 대상으로 2001년에 전력비용 절감을 위해 실시한 설비개조 및 운전 방법 개선 사례를 소개코자 하였다.

#6호 및 7호 line은 각각 '90, '93년에 POLYSIUS사에서 공급, 설치된 설비로써 각각 1일 생산 능력이 7,600 t-clinker인 동일한 설비이다.

이 설비중 원료 분쇄밀인 vertical roller mill(VRM) 분급기의 비가동, burner 석탄 공급용 blower 가동대수 변경, spray tower(S/T) dust 수송 line 변경 등 기존 운전 중인 설비의 능력을 검토, 조정함과 동시에 설비개조를 통해 전력원단위를 전년 실적과 비교하여 원료 생산 공정에서 1.29 kWh/t, 클링커 생산공정에서 1.30 kWh/t 낮추는 효과를 이루었다.

2. 설비 제원

설비명	Type	Specifications	Motor Power
Raw mill(R/M)	VRM	6100mm×2900mm	4250 kW
Preheater	AS(C/C)	2-string, 6-stage	
Kiln	Rotary	φ5.6m×87m_L	2×720 kW
Cooler	Grate	3-stage, 4.86m_W×40.2m_L	
Coal mill	VRM	2700mm×1350mm	580 kW

3. 전력 절감 사례

3.1 VRM 분급기(SEPOL) 비가동

(1) VRM의 원료분쇄 원리

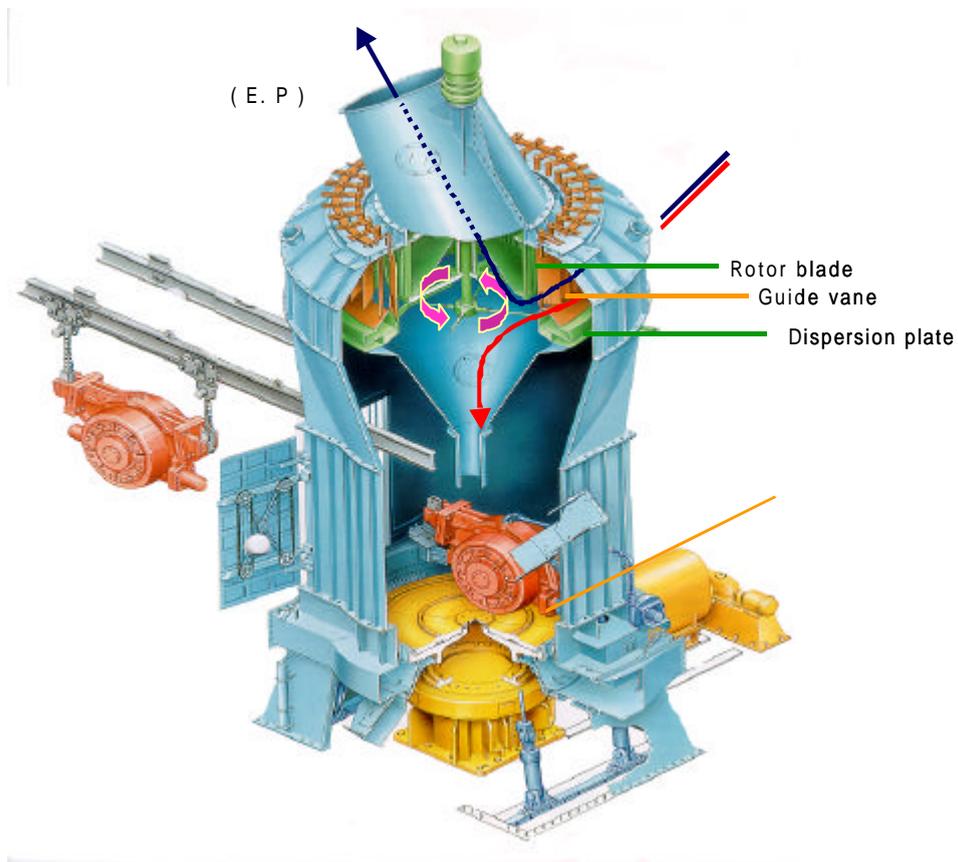
VRM의 구조는 (그림 1)과 같으며 이는 원료를 분쇄실에서 분쇄매체인 roller와 table 사이에 압착시켜 분쇄하고 이 분쇄된 원료를 kiln에서 나오는 hot gas에 의해 분급기로 보내게 된다. 분급기는 분쇄실에서 나오는 원료를 일정 입도 이하의 원료(정분)는 취하여 전기집진기(E,P)로 보내고 여기서 포집된 원료를 silo로 수송, 저장하며 그 이외의 원료(조분)는 분쇄실로 다시 보내 재분쇄하게 한다.

당사 사용중인 VRM은 POLYSIUS사에서 제작 공급한 원료분쇄기로써 여기에는 공기 분급방식의 SEPOL 이라는 분급기가 있다. 이것은 분급기 회전체의 속도 및 guide vane 이라 불리는 adjustment blades의 각도 변화에 따라 정분 혹은 조분의 입도를

조절할 수 있는 설비이다.

(2) SEPOL 제원

구 분	제 원
Dia. of outer casing	12,000 mm
Dia. of rotor	5,550 mm
Speed of hydraulic motor	6 ~ 52 rpm
Power of hydraulic motor	265 kW
Power of oil pump motor	380kW- 1200rpm



(그림 1) VRM 구조

(3) SEPOL 비가동

1) 배경

일반적으로 원료의 입자가 미세하게 분쇄될수록 반응 비표면적이 증가하기 때문에 소성성(burnability)이 향상될 뿐만 아니라 보다 낮은 온도에서도 클링커 소성이 가능한 것으로 알려져 있다.

따라서 대부분의 시멘트 제조공장에서는 원료의 분말도 관리에 있어 90 μ m 잔사율(R90)을 12~14% 범위로 관리하여 왔다.

하지만 #6,7호 원료공정은 설치 이래로 SEPOL 회전속도를 최대로 운전하여도 12~14% 내외의 만족스러운 잔사율을 얻기가 어려웠고, 더불어 이러한 운전조건하에서 SEPOL 과부하에 의한 설비고장 등의 잦은 공정trouble이 발생, 이를 줄이고자 35~

50% 정도의 낮은 회전율로 운전되어 원료 분말도(R90)도 25~28%로 높게 운전되어 왔다. 이렇게 원료의 분말도가 높게 운전되는 과정에서 SEPOL 회전율을 낮추어 운전할 경우 나타나는 변화를 검토하고자 2001년 1월에 #7호 원료밀에 대하여 SEPOL 가동을 중지하고 원료 분쇄를 실시하였으며 한달 여간의 시험 운전을 통해 실시 전후 원료의 분말도 변화 및 이에 따른 소성성에 미치는 영향을 파악한 결과 SEPOL 비가동 원료 분쇄의 공정적용이 타당하다는 결론에 도달하였다.

2) #7호 원료밀 SEPOL 비가동 시험 운전실적

SEPOL 회전율을 35~50%로 가동한 2000년 #7호 원료밀 운전실적과 비가동 시험 운전시(2001. 01.19 ~ 02.15)의 실적 비교 자료는 (표 1)과 같다.

(표 1) #7호 원료밀 SEPOL 비가동에 따른 실적 비교

구분	원료밀 생산성 (t-원료/hr)	원료 분말도(%)		열량원단위 (kcal/t-cli')	밀내 차압 (mbar)
		R90	R212		
가동시	510.9	28.45	9.57	739	45 ~ 50
비가동시	529.9	29.20	12.99	740	35 ~ 40
차 이	▲ 19	▲ 0.75	▲ 3.42	▲ 1	▼ 10

(표 1)에서 알 수 있듯이 SEPOL 회전율이 35~50%로 운전시와 비교할 때 비가동시에 원료의 분말도 R90은 거의 유사한 값을 나타냈으며 R212는 다소 상승하는 경향을 보였다.

하지만 원료 분말도 변화가 열량원단위에 미치는 영향은 거의 나타나지 않았다. 오히려 원료밀 생산성 향상 및 SEPOL 가동전력, 밀내 차압 감소에 의한 I.D.F 부하 감소 등으로 전력 절감효과가 크게 나타났으며, 이러한 결과를 토대로 동일 시설인 #6호 원료밀에도 적용하게 되었다.

3) SEPOL 가동 유무에 따른 운전실적 비교

SEPOL 비가동 분쇄 이후의 원료밀 운전 실적과 SEPOL 가동시(2000년 SEPOL 회전율 35~50% 운전)의 원료 분말도 및 열량원단위 차이는 (표 2)와 같으며, 또한 SEPOL 비가동에 따른 시간당 전력절감치는 (표 3)와 같다.

(표 2) SEPOL 가동 유무에 따른 실적 비교

구분		원료 분말도(%)		열량원단위 (kcal/t-cli')	비 고
		R90	R212		
#6호	가동시	27.44	9.01	737	2000. 1/01 ~12/31
	비가동시	27.75	11.35	740	2001. 2/16 ~12/31
	차 이	▲ 0.31	▲ 2.34	▲ 3	
#7호	가동시	28.46	9.57	737	2000. 1/01 ~12/31
	비가동시	29.20	12.21	739	2001. 1/19 ~12/31
	차 이	▲ 0.74	▲ 2.64	▲ 2	

(표 3) SEPOL 비가동에 따른 전력절감

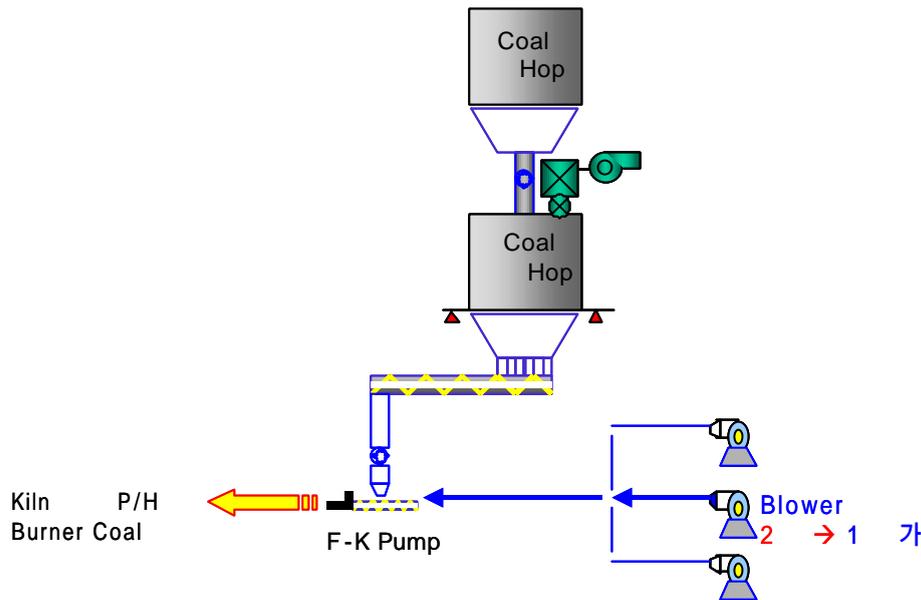
구 분		시간당 전력절감치
원료밀	SEPOL	490 kWh
	E.P IDF	119 kWh
KILN	KILN IDF	122 kWh
계		731 kWh

결론적으로 원료밀 SEPOL 비가동 분쇄시 분말도 변화 및 소성성에 미치는 영향은 거의 나타나지 않았으며 이는 이전의 낮은 회전을 조건하에서 SEPOL의 분급역할이 미미했음을 보여준다 하겠다.

3.2 Burner 석탄 공급용 rotary blower 가동대수 변경

(1) 개선 내용

자동계량장치에서 나오는 석탄(분탄)을 F-K pump로 kiln 및 preheater(P/H) burner 까지 공급하는 데 필요한 압축공기(conveying air)를 2기의 blower로 운전하던 것을 1기만으로 운전하여 전력비를 절감한 사례임.



(그림2) burner로의 석탄 공급 flow

(2) 실시 배경

연소에 필요한 1차 공기의 비율을 낮추고 cooler에서 나오는 높은 온도의 2차 공기 비율을 높일수록 열소비량이 감소된다.

이러한 근거에 의해 당 공정에 사용중인 PYRO-JET burner의 1차 공기량은 이론 연소공기량(A_{min})을 기준으로 5 ~ 12 % 정도가 적당한 것으로 알려져 있으며(표 4) 직류(jet), 선회류(swirl)의 속도 및 burner 위치 조정에 의해 최적의 화염을 얻을 수 있다.

(표 4) KHD PYRO JET burner의 적정 1차공기량(maker 제시 자료)

구분	A_{min} (%)	속도(m/s)	압력(mbar)
coal conveying air	1 ~ 2	18 ~ 30	≤ 1000
swirl air	2 ~ 5	≤ 150	≤ 120
jet air	2 ~ 5	≤ 470	≤ 1000

이러한 자료를 바탕으로 정상 운전중인 kiln burner의 이론연소공기량(A_{min}) 및 1차 공기량을 측정(표 5) 검토한 결과 이론연소공기량(A_{min})에 포함되는 1차 공기 중

conveying air 량이 제시된 기준대비 약 2~3% 높게 과잉 공급되고 있는 것을 알게 되었으며, 과잉 공기량을 줄이고자 2기 운전중인 blower를 1기만으로 운전 test 한 결과 소성 공정에 미치는 영향이 없음을 확인하였다. 그리하여 kiln 및 P/H burner 석탄공급에 2기로 운전되어 오던 coal conveying air 공급 설비인 blower를 1기만으로 운전하여 전력을 절감코자 하였음.

(표 5) 1차 연소용 공기량 측정

1) 이론연소공기량(A_{min}) = 7.48 Nm ³ /kg-coal				
2) Kiln coal 사용량 = 16.1 t/hr				
3) 총 이론연소 공기량 = 2,077 Nm ³ /min				
4) 1차 공기량 측정				
구분	jet air	swirl air	conveying air	계
풍량(Nm ³ /min)	105.09	101.24	77.3 (42.5)	283.63 (248.83)
이론연소공기량 대비 비율(%)	5.1	4.9	3.7 (2.1)	13.7 (12.1)

()는 blower 1기 단독 운전시의 풍량 및 비율임.

(3) 실시 효과

Kiln 및 P/H conveying air 공급 설비인 blower의 capacity는 다음과 같다.

구분	kiln	preheater
Number	3(2-operation, 1-stand_by)	3(2-operation, 1-stand_by)
Working pressure(bar)	0.8	0.8
Power consumption(kW)	117 × 2	94 × 2
Power of motor(kW)	132 × 2	110 × 2

각 Burner에 blower를 1기만으로 운전한 결과 부하는 다음과 같다.

구분		2기 운전시 운전부하(amp')	1기 운전시 운전부하(amp')	차이
#6호 kiln	kiln	171, 167	91	247 ▼
	P/H	102, 90	57	135 ▼
#7호 kiln	kiln	154, 154	82	226 ▼
	P/H	99, 93	61	131 ▼

blower 1기 운전으로 인한 총 부하 감소는 739 amp' 이며 전력량으로 계산시 시간당 479kW에 해당한다.

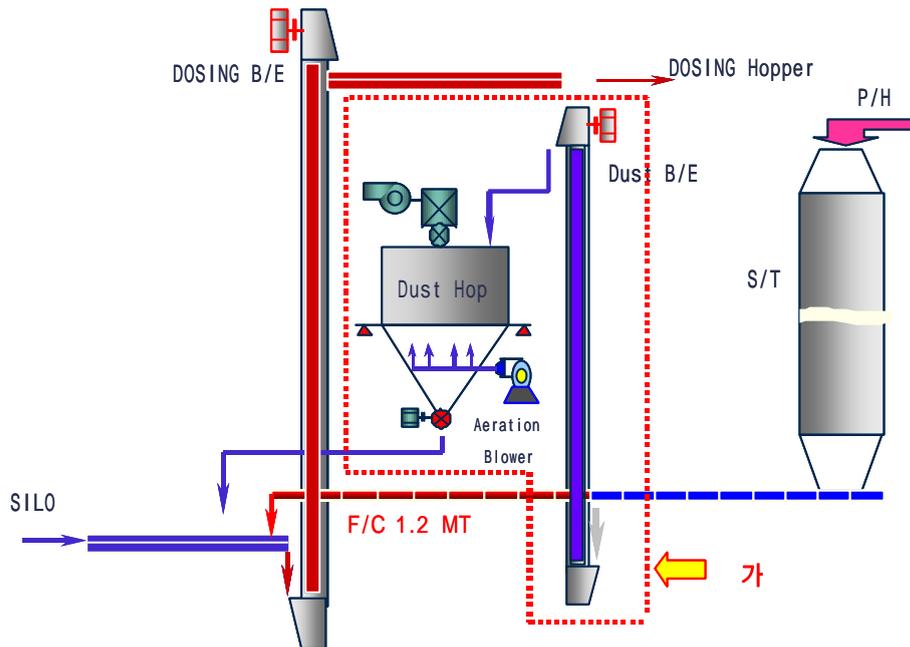
상기의 표에서 특이한 점은 2기 운전시 각각의 부하보다 1기 운전시의 부하가 줄어들었으며 이는 2기 운전시 상호간의 저항 때문인 것으로 판단됨.

그러나 1차 연소 공기량 감소에 의한 열소비량 변화는 거의 없었다.

3.3 Spray tower(S/T) 하부 dust 수송 line 변경

(1) 개선 내용

S/T 하부 dust 수송시설은 preheater, S/T를 거쳐 나오는 kiln dust를 hopper에 일시 저장하였다가 원료 silo에서 인출되는 원료와 혼합, kiln에 투입하기 위한 시설로 bucket elevator(B/E), blower, rotary feeder(R/F) 및 bag filter(B/F) 등으로 구성되어 있으며 이러한 시설은 원료밀 운전시 항상 가동되는 설비임. 그러나 (그림 3)과 같이 S/T 하부 flow conveyor(F/C)를 연장(약 1.2M)하여 P/H에서 나오는 kiln dust를 원료 silo 인출 line에 직접 투입하여 dust 수송 line중 일부 설비의 가동 중지로 전력을 절감코자 하였음.



(그림 3) S/T 하부 dust 수송 line 변경 flow

(2) 전력 절감 효과

비가동설비	B/E	B/F fan & R/F	blower	hopper 인출 R/F	계
시간당 전력 SAVE(kWh)	24	17	74	15	130

3.4 Kiln shell 냉각 fan 운전 방법 변경

(1) 냉각 fan의 기능

고온으로부터 kiln shell 변형을 막고 코팅 안정성을 꾀하기 위하여 kiln 표면에 냉풍을 불어 주는 송풍 장치로써 주로 shell 표면 온도가 200℃ 이상인 부분에 가동한다. 특히 kiln tyre부위는 온도가 높고 기계적 응력이 크게 작용하기 때문에 코팅 안정성이 떨어짐으로 항상 냉각 fan을 가동하여야 한다.

(2) 개선 내용

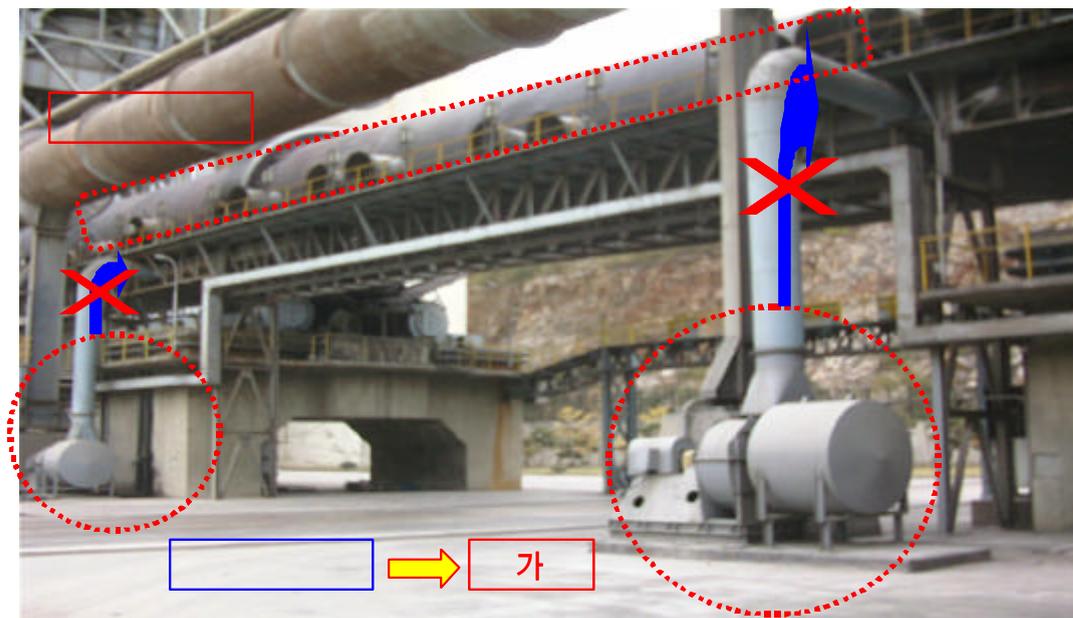
이러한 이유로 #6,7호 kiln은 설치 당시 중간 tyre 및 출구 tyre 부위에 고용량 (600Am³/min×45kW)의 고정식 냉각 fan을 설치하고, 이외의 부분에는 이동이 가능한 냉각 fan을 두어 운전하였다.

그러나 코팅이 불안정하여 탈부착이 심하게 일어나므로 냉각 fan 2기씩을 추가로 tyre부에 설치, 고정식과 이동식 fan을 함께 사용해왔다.

이는 고정 냉각 fan이 설비 제원에서 보는 바와 같이 비록 단위 시간당의 풍량은 같으나 토출부가 여러 부위로 분기됨으로 한 부분에 국부적으로 냉풍을 불어넣는 이동식 냉각 fan에 비해 효율이 낮다. 그리하여 고정 fan을 세우고 이동 냉각 fan만으로 운전해 본 결과 전후 뚜렷한 차이점이 나타나지 않았으므로 고정 냉각 fan의 가동을 중지코자 하였음.

(3) 고정 및 이동 냉각 fan 제원

구분	제 원	설치 수량	운전 방식
고정냉각 fan	600Am ³ /min×250mmaq×45kW	kiln당 2기	tyre부에 고정 토출구 5부분, 분산 냉각
이동냉각 fan	600Am ³ /min× 50mmaq×15kW	kiln당 20기	shell 고온부에 이동 운전 토출구 1부분, 국부적 냉각



(그림4) Kiln shell 냉각팬 설치 운전 사진

(4) 전력 절감 효과

시간당 고정 냉각 fan 가동에 필요한 180kWh(45kWh×4기)의 전력을 절감함.

4. 결 론

지금까지 당사 #6,7호 line의 설비 개조 및 운전 방법 변경을 통한 전력비 절감 사례를 소개 하였다.

소개한 내용 외에 cooler fan 및 coal mill hot gas fan 운전 방법 변경 등의 유사한 개선 사례와 고용량 motor의 유체coupling 설치와 같은 저부하 설비 도입을 통하여 아래의 표에서 보듯이 2001년 전력원단위를 2000년과 비교하였을 때 원료 및 소성 공정에서 각각 약 1.30kWh/t 낮춤으로써, 연간 약 8억여원의 전력비 절감효과를 달성하였다.

구 분	원료밀			Kkln		
	생산량 (ton)	전력량 (kWh)	원단위 (kW/t)	생산량 (ton)	전력량 (kWh)	원단위 (kWh/t)
2000년	7,393,695	106,404,470	14.39	4,742,484	137,682,720	29.03
2001년	7,294,333	95,567,560	13.10	4,723,563	130,978,170	27.73
전력원단위 절감치	▼ 1.29 kWh/t			▼ 1.30 kWh/t		
유형효과	$(1.29 \times 7,294,333 + 1.30 \times 4,723,563) \times 51.03 = 794$ 백만원					