

재생자원의 안정적 이용을 위한 설비개선

정연우 · 최근철 · 이경국 · 장경혁 · 박수정*

<동양시멘트 삼척공장>

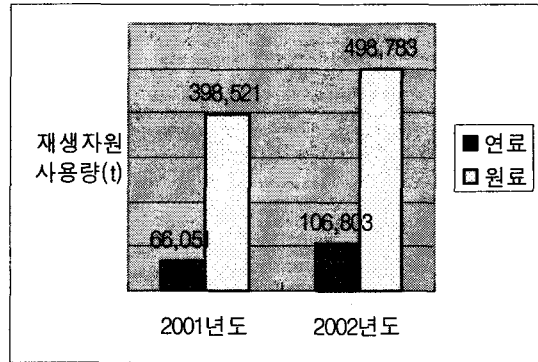
1. 서 론

국내 시멘트산업은 IMF 금융위기 이후 건설 경기의 침체로 시멘트 수요가 급감하면서 시장 환경이 공급자 위주에서 수요자 위주로 바뀌에 따라 생산방식도 무조건적인 최대생산보다 제한된 이익을 극대화하기 위해 원가절감 및 효율을 추구하는 최적생산으로 바뀌고 있다. 당 공장도 효율을 높이고 제조원가를 감소하기 위한 다각적인 노력을 기울여 2001년에 2호 키른 라인의 경우 원료밀 경부하 운전을 통해 동력비 9억원, P/H 싸이크론의 내통개조 및 IDF 개조로 동력비 4억원 및 연료비 2억원 등 15억원을 절감하여 2호 키른 라인의 크링카 제조원가를 약 13.8% 절감한 바 있다.

각 사별로 생존과 지속적인 이익창출을 위한 변신을 시도하는 과정에서 재생자원의 사용은 해마다 늘어 당 공장도 2001년 까지 사용하고 있는 재생자원의 종류는 고상 31종, 액상 5종으로 총 36종에 달하고 있다. 이처럼 각 회사마다

그 비중은 더욱 커지고 있지만 동시에 공정 및 품질과 관련한 문제도 나타나고 있다. 이들의 원인은 여러 가지가 있겠지만 그 중의 하나는 휘발물질과 관련된 것이라 하겠다.

그러나 재생자원이 휘발물질을 많이 포함한다 하더라도 이들을 활용하여 수익을 창출하고자 하는 목적에 비추어 볼 때 휘발물질의 투입량을

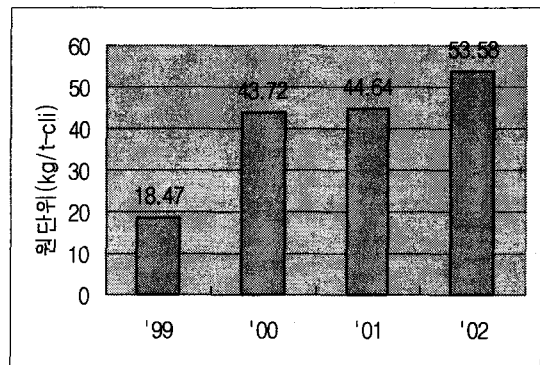


<그림 1> 년도별 재생자원 사용량

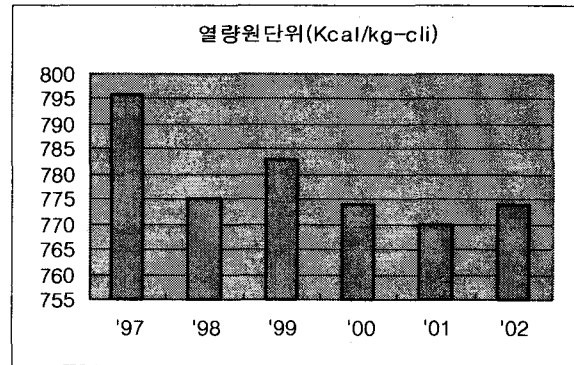
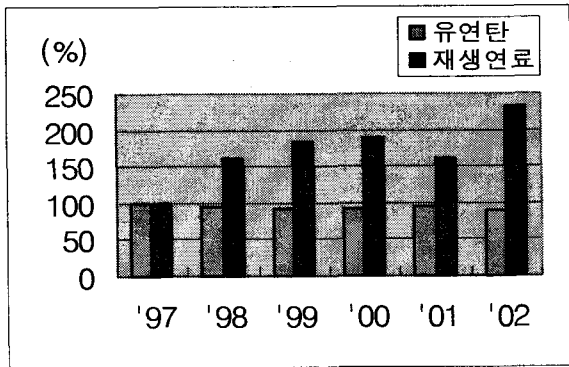
<표 1> 재생자원의 원/연료 대체현황

구분	사용량	재생자원량/ 전체 연·원료량 (%)	
2001	원료	398,521	2.46
	연료	66,051	5.55
2002	원료	498,783	3.15
	연료	106,803	14.6

주) 재생연료에는 Pet coke를, 재생원료에는 연소재를 포함시킴



<그림 2> 원료 중 재생원료 원단위 추이



<그림 3> 연료사용 추이

제한하는 것보다는 휘발물질량이 일정기준을 초과하더라도 공정에서 효과적으로 제어하여 휘발물질의 투입량을 최소화할 수 있는 방법을 검토하는 것이 바람직하다 하겠다. 여기서는 당 공장의 재생자원의 사용을 증가시키기 위해 2호 및 5호 키른 라인에서 시행하고 있는 공정분석과 문제해결 그리고 처리효율을 높이는 방법을 소개하고자 한다.

2. 2호 및 5호 키른 공정 현황

2.1 공정분석

2호 키른은 프리히터의 용량이 적고 키른 버너에서의 연료비가 높기 때문에 고 열부하에 의한 프리히터의 코팅부착이 심한 편이다. 코팅은 주로 요구 → 오리피스의 구간에 집중적으로 부착되고 있다. 코팅부착을 감소시키기 위해 과거 요구와 오리피스의 중간 부분에

- 2단 싸이크론의 원료를 일부 바이패스(by-pass)시켜 고온부위 냉각,
- 코팅부착 방지용 내화물 시공 및 화학약품의 도포

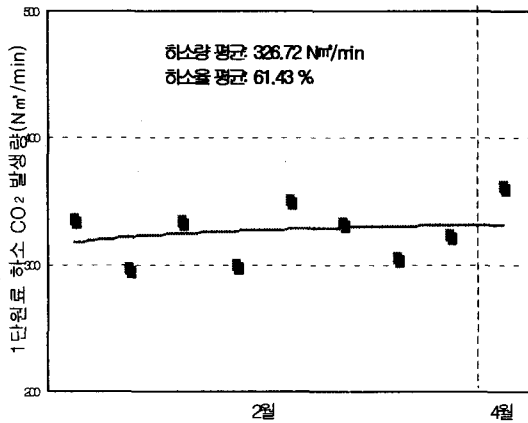
등을 실시하여 다소 효과를 얻었으나 바이패스 방법은 결과적으로 하소율이 저하되어 키른부하를 증가시켜 생산성을 저하시키며, 내화물 및 화학약품은 사용시간의 경과에 따른 효과감소로 문제해결 방법으로는 미흡하였다. 2001년에 프리히터와 쿨라의 열 효율을 개선함으로써 연료사용량과 열 부하를 감소시켜 코팅부착이 대폭 완

화되었으나 최근 재생자원의 사용량이 증가함에 따라 다시 심화되었다.

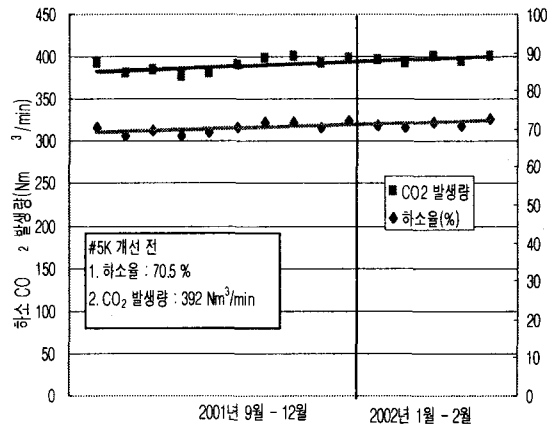
5호 키른은 단위부하(spec. vol. load)가 3.27 (tpd/m³)로 프리히터의 하소율 82~84%에 비하여 높은 편이며 1호~7호 키른 (1.61~2.59) 등보다 높은 편이다. 또한 키른의 직경이 작아 코팅이나 링이 형성될 경우 내부체적과 단면적이 적어지므로 키른 버너에서의 연료 연소 및 원료의 반응조건이 악화된다. 이에 따라 공정이 불안해질 수 있는 가능성이 더욱 커지므로 프리히터에

<표 2> 설비현황

키 른		2 호	5 호
생산량(T/D)		3,200	3,000
프리히터	NSP 형식	MFC	PREPOL-AS
	Stage	4	5
키른	Dimen. (mφ×mL)	4.9×75	4.0×60
	Slope (%)	3.65	3.5
	Rev. (rph)	172	210
Cooler	Type	GRATE	GRATE INLET; IKN KIDS
	Stage	3	2
BURNER		NFK	Rotaflam
조연율 (%)	Main	80	42
	Precal	20	58



<그림 4> 2K P/H 1단 하소율 및 하소 CO₂ 발생량 (개선전)



<그림 5> 5K P/H 1단 하소율 및 하소 CO₂ 발생량 (개선전)

서의 가소율을 향상시켜 키른의 부하를 감소시킬 필요성이 커지게 된다. 최근 페트코크, 페타이어 등의 연료와 분철, 기타 재생자원으로부터의 원료조건이 변화하여 프리히터에 코팅을 부착시키는 원인물질이 대폭 증가하면서 프리히터의 코팅문제는 점차 심해지는 경향이다. 코팅제거를 위한 워터건(water gun)의 사용과정에서 프리히터 내화물의 손상, 그 중 오리피스 부위의 손상이 많아져 프리히터의 하소율은 더욱 감소되어 현재 약 70.5%까지 저하되고 이를 보상하기 위해 키른에서의 연료량이 늘어나 프리히터에 코팅부착이 심해지는 악순환이 반복되어 결국은 키른의 생산성도 저하되는 문제를 초래하고 있다.

그러므로 하소율을 개선하고 코팅부착을 억제하기 위해 2호와 5호 키른을 대상으로 원인을 분석하였다.

2.2 코팅 분석

2호 및 5호 키른의 코팅의 화학성분을 분석한

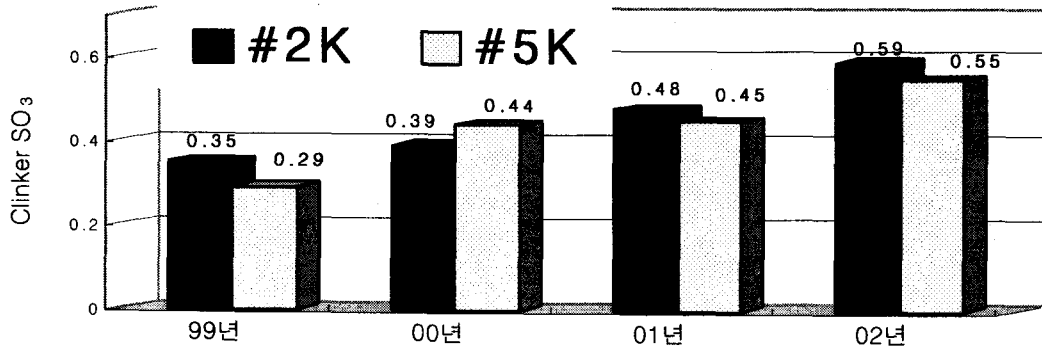
<표 3> 코팅의 화학분석

키른	코팅위치	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl
2호	요구	9.75	4.94	0.16	0.33
	오리피스	16.41	6.18	0.17	1.34
5호	1단Cyc.	14.45	6.59	0.25	3.29

결과 <표 3>과 같이 공통적으로 설퍼(sulfur)와 알카리(K₂O)가 높은 것을 알 수 있다. 크링카 제조공정에는 K, Na, Sulfur, Cl 등의 휘발물질이 화합물로 존재하며 이들은 일정온도 범위에서 휘발과 응축을 반복하면서 농축되어 순환하다 설페이트(sulfates), 스퍼라이트(spurrites), 카보네이트(carbonates) 등의 광물을 형성한 후 과다한 크기로 성장하여 공정장애를 일으킨다.

코팅부착 경향은 크링카에서의 SO₃ 증가추세(그림 7)와 같이 한다. 2호, 5호 키른 모두 1단 사이크론 원료에 비교적 높은 농도의 SO₃가 존재하며 그 원인은 설퍼 투입량이 증가함에 따라 알카리 대비 설퍼가 과잉으로 되어 ASR(alkali sulfur molar ratio) 값이 적정범위(1.2)보다 적어지게 되기 때문에 단단한 코팅을 형성하게 된다(그림 8, 9). 설퍼는 이처럼 소성공정에 악영향을 주기도 하지만 크링카가 일정수준의 SO₃를 함유하면 시멘트의 작업성 등을 개선하고 고가 원료인 석고량을 감소시켜 원가를 줄일 수 있기 때문에 1) 설퍼가 포함된 재생자원을 줄여 SO₃의 투입량을 제한하는 것 보다 점차 투입량을 늘려나가는 추세이므로 공정에서 안정적으로 사용하기 위한 제어기술의 확보가 반드시 필요하다

일반적으로 설퍼와 같은 휘발물질을 안정적으로 사용하기 위해서는 현재 공정의 휘발물질에 대한 적정성 평가를 한 후 휘발물질의 추가투입이 가능한 지를 판단해야 한다. 현 공정의 휘발



<그림 6> 2호, 5호 키른의 년도별 크링카 SO₃ 변화

물질량이 한계에 도달하거나 근접해 있다면 그에 대한 해결책을 먼저 시행해야 휘발물질로 인한 공정문제를 피할 수 있기 때문에 다음과 같은 단계로 접근하는 것이 효과적이다.²⁾

- 1단계 : 휘발물질의 투입량/배출량에 대한 물질수지 파악
- 2단계 : 형성되는 코팅(build-up)의 중요 인자에 대한 평가
- 3단계 : 문제 해결을 위한 방법 마련 및 실시

<표 4>에 휘발물질 수지를 토대로 각 공정의 휘발물질량을 계산하여 각 라인별로 설퍼에 대한 투입한계량을 도출하였다. 설퍼의 투입 한계치에 대해서는,

- 총투입 한계치 : 16~18 g-SO₃/kg-cli,
원료함유치 : 4g-SO₃/kg-cli(loss-free basis)를 경험적으로 제시하며³⁾
- 홀심(Holcim)사가 제시한 기준은, 알칼리량과 연계하여 4~5단 SP키른 기준으로²⁾

구분	정상운전(%)	비정상운전(%)
원료 (SO ₃)	0.5	1.25
연료	Coal	<1.5
	Coke	<2
	Fuel oil	<2.5

* 원료는 loss-free basis

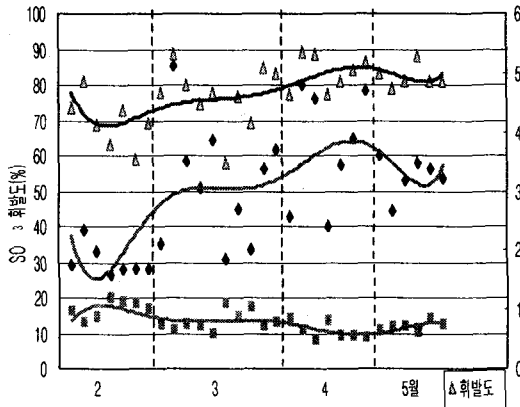
와 같이 제시하기도 한다. 우리의 경험으로는 홀심사와 같이 알칼리와 연계한 한계치가 비교적

좋은 결과를 나타냈다. 이러한 기준으로 두 키른 모두 현 상태에서 설퍼가 한계농도(2.72, 2.39)를 각각 0.27, 0.80 초과하고 휘발도 또한 높게 유지되며 결과적으로 1단 원료에서 SO₃가 높게 존재하기 때문에 공정에서 문제를 일으키고 있어 공정을 정상적으로 유지하기 위해서는 대책이 필요함을 알 수 있다.

2.3 설퍼의 제어

설퍼는 주로 키른의 소성대에서 휘발되어 알카리나, 하소대에서 탈탄산된 CaO 및 C₂S와 결합하여 AlK₂SO₄, Ca₂K₂(SO₄), 2C₂S·CaSO₄를 형성 후 공정에 문제를 일으키기 때문에 설퍼의 제어는 휘발을 최대한 억제하는 1차적인 방법과 일단 휘발되더라도 공정에서 문제가 발생하기 전에 휘발된 설퍼를 다시 원료와 안정하게 반응시키는 2차적인 방법이 있다. 표5에 휘발을 억제하는 1차적인 방법을 정리하였다.

- 키른 입구의 가스농도는 CO>0.1%, O₂<1.5~2% 일 경우 설퍼의 휘발이 증가하기 때문에 O₂>2%, CO< 0.05%를 유지하는 것이 바람직하다.
- 화염이 원료에 미치면원료의 온도가 상승하여 설퍼의 휘발이 증가하므로 키른내 원료와 화염이 닿지않도록 선단을 조정하고 버너 축을 키른 축과 일치되도록 정렬시켜 설퍼의 휘발을 감소시킨다.



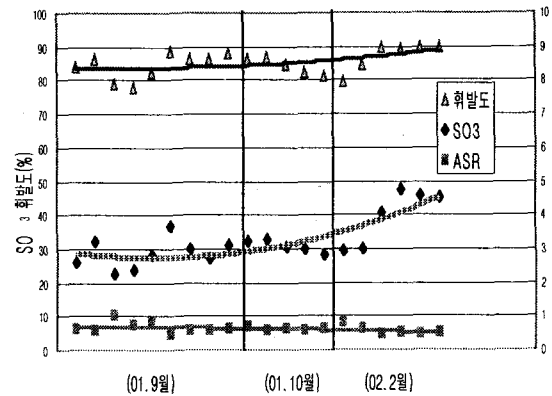
<그림 7> 2K P/H 1단 hot meal sulfur 변화 (개선전)

- 연료계량기의 투입편차가 클 경우 공정온도를 높게 유지하여 설비의 휘발도를 증가시킬 수 있기 때문에 연료계량기의 편차를 줄인다.
- 연료와 원료가 반응을 쉽게 할 수 있도록 하기 위해서 90, 200 μ m 크기의 분말도를 적정하게 관리한다.

<표 4> 싸이클론 원료(hot meal)의 휘발물질 중 sulfur의 변화 및 추가투입 가능량 *Ig-loss free

구 분	2호 키른	5호 키른
	Sulfur(%)	Sulfur(%)
1단 원료	2.99	3.19
1단 원료 한계농도	2.72	2.39
1단 원료 추가농도	- 0.27	- 0.80
휘발도(%)	78	86
추가 투입가능 농도	- 0.060	- 0.113
현 일투입량 (Kg/일)	19,520	12,954
한계 투입량 (Kg/일)	17,739	9,705
추가 투입가능량(Kg/일)	- 1,781	- 3,249

- 1단 Hot meal에서의 sulfur 한계농도 산출은 ASR(alkali sulfur molar ratio)기준 (2K=1.0, 5K=0.7)으로함
- 추가 sulfur 투입 가능농도 = hot meal 추가농도 \times (1 휘발도 / 100)



<그림 8> 5K P/H 1단 hot meal sulfur 변화 (개선전)

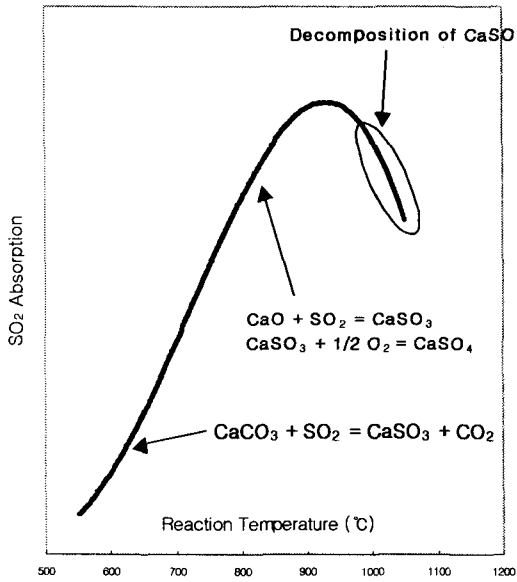
- 화염의 폭이 크게 되면 원료의 온도상승으로 설비가 휘발하게 되므로 2차 연소를 방지하고 원료의 온도가 상승하지 않도록 조정한다. 이를 위해서는 최신의 버너를 사용하는 것이 유리하다.

2차적인 제어방법은 ASR(alkali sulfur molar ratio)를 일정범위로 관리하는 등 응축을 조절하는 것이다. 알카리와 설비는 일정 물비가 되면 쉽게 중화반응을 하며 반응물(코팅)이 프리히터 등의 벽체에 부착된다 하더라도 부착강도가 약하기 때문에 쉽게 제거된다. 설비는 키른의 입구

<표 5> 키른에서 sulfur의 휘발을 감소시키는 방법

조 정 항 목		키른별 조정 가능성	
		2호	5호
O ₂ 농도 증가		L	l
버너	선단에서 연료와 공기의 최적혼합	P	G
	위치	P	G
연료계량기 정밀도		P	G
원/연료의 분말도		L	
Kiln speed		P	G
화염 형상		P	G

L ; limited, l ; little, G; good, P; poor



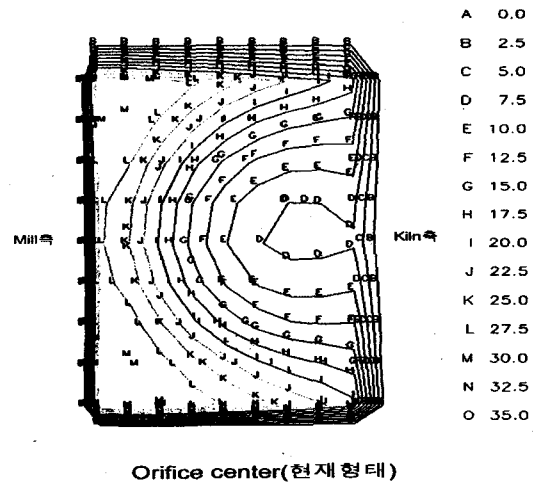
<그림 9> SO₂ absorption by CaO resp. CaCO₃

(kiln inlet)부근에서 원료 더스트를 비산시켜 키른에서 휘발된 설퍼와 원료 더스트 중의 CaO가 안정된 반응을하여 키른으로 들어가면 코팅부착을 완화시킬 수 있다.³⁾

2.4 5호 프리히터 하소율 분석

P/H로 유입되는 정상적인 가스의 흐름은 CFD 결과와 같이 밀측 벽면 중앙부위가 밀도, 유속이 높고 가장자리 및 키른 측 중심부위는 밀도와 유속이떨어진다. 2단 사이크론에서 떨어지는 원료는 3차 공기 덕트 끝단의 오리피스에서 가속된 가스를 타고 상부로 떠오르면서 탈탄산 반응을거쳐 키른으로 들어가게 된다. 그러나 2단 원료의 일부는 상승하지 못하고 하부로떨어지는 것을 가스 - 원료의 속도 및 에너지, CO₂ 가스농도 변화 및 온도변화로확인할 수 있었다

오리피스 밀측 벽면에서의 가스 유속은 약 30 m/s, 키른 쪽 벽면에서는7.5 m/s이며 평균 유속은 27.5 m/s 이기 때문에 원료의 종말속도 1.3 m/s 와 비교해 훨씬 빠르므로 원료를 전량 상승시키기에 충분하다는 판단을 할 수 있다. 그러나 종말속도는 원료가 정체되었을 때, 즉 속도가



<그림 10> 오리피스 내부 가스 유속분포

"0"일 때 상승시킬 수 있는 값이며 P/H 원료와 같이 속도(혹은 에너지)를 갖는 분체에 대해서는, 분체와 가스가갖고 있는 운동에너지를 비교하여야만 해석이 가능하다.

오리피스 입구에서 가스가 갖는 운동에너지는 약 5,282 N·m 이다(표 6). 2단에서 낙하하는 원료의 운동에너지는 3,234 N·m 이다. 원료가 벽면으로 붙어 7.5 m/s의 가스와 만나면원료의 유속이 2.3 m/s가 크기 때문에 유속자체만 비교하여도 원료는 떨어지게 된다. 오리피스의 가스 평균유속과 단위 면적당 운동에너지는 22.8 m/s, 1,686 N·m 이다. 가스 평균유속은 원료의 평균 낙하속도 9.8 m/s 보다 크지만 단위 면적당 운동에너지를 비교하면 원료(15,233 N·m)보다는 작기 때문에 원료는낙하하게 된다. 게다가 원료가 좌 혹은 우측의 한 쪽으로 편중되어 에너지가 더 커지면 순환하지 못하고 키른으로 낙하하는 원료량은 더욱 많아지게 된다.

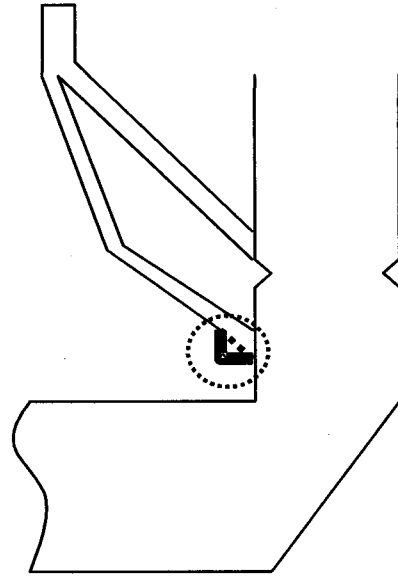
3. 개선대책

위에서 나타난 문제점과 분석한 내용을 토대로 P/H에서의 하소율을 증가시키고 휘발물질을 제어하기 위해

- 1차적으로 설퍼의 휘발을 방지하며,
- 2차적으로 휘발된 설퍼를안정하게 응축시키고
- ASR(응축)을 관리할 수 있는,

<표 6> 원료, 가스, 분탄의 유속과 에너지비교

원료	투입량		(Kg/s)	27.5	
	운동 에너지		(N·m)	3,234	
			(N·m/m ²)	15,233	
분탄	사용량	Main	(t/h)	6.8	
		Precal		8.8	
	토출 풍량		(Am ³ /min)	35.2	
			(Nm ³ /min)	43.4	
	토출 유속		(m/s)	34.9	
	운동에너지		(N·m)	1,490	
(N·m/m ²)			88,690		
가스	오리피스 입구	풍량	(N·m ³ /min)	1,065	
			(Am ³ /min)	4,808	
			(Kg/s)	26	
		운동에너지	(N·m)	5,282	
	유속		(m/s)	20.3	
	오리피스	풍량	(Am ³ /min)	5,398	
			(N·m ³ /min)	1,065	
			(Kg/s)	26	
		운동에너지		(N·m)	6,657
				(N·m/m ²)	1,686
유속		(m/s)	22.8		



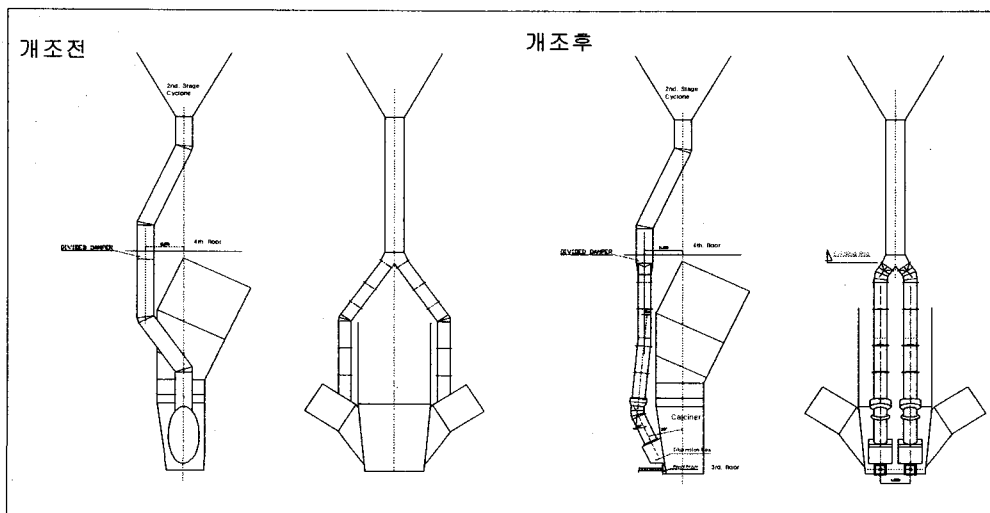
* 점선내의 굵은 선 부분이 신설된 분산박스임.

<그림 11> 2K 바이패스 슈트 분산박스 설치

즉 휘발과 응축을 동시에 제어하기 위해 아래와 같은 설비개조를 시행하였다.

3.1 2단 원료 슈트(chute) 투입위치 변경 및 분산박스 설치

5호 키른의 2단 원료 슈트의 기존 위치는 3차

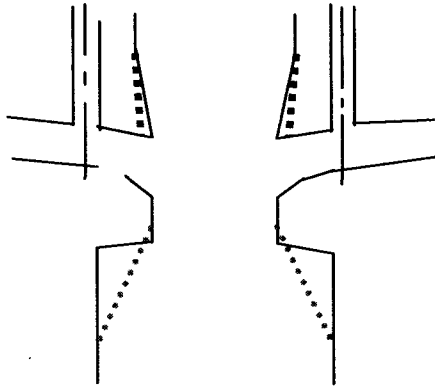


<그림 12> 2단 원료 Chute 개조 전/후

공기 덕트에 설치되어 있고 2호 키른의 바이패스 슈트는 분산설비가 전혀 없이 2단에서 떨어지는 원료가 좁은 폭의 흐름으로 분산되지 않은 채 높은 낙하에너지를 갖고 유입되어 원료상승에 불리하므로, 전 보다 하부에 분산박스를 설치한 후 원료 슈트를 연결하여(그림.11, 12), 종전보다 낙하 에너지를 완충시켰기 때문에 원료를 전량 상승시킬 수 있었으며 그 결과 원료분산 효과, 열교환, 하소율이 증가하고 온도의 균일한 분포와 적정 ASR관리로 코팅형성이 현저하게 감소하였다.

3.2 오리피스 형상개조

손상된 오리피스는 원료리프팅의 증가 후 압손이 상승하는 것에 대비하여 점선부분과 같이 면적을 확대하고 완만한 흐름을 유도할 수 있는 형상으로 개조하였다.



3.3 키른 버너개조

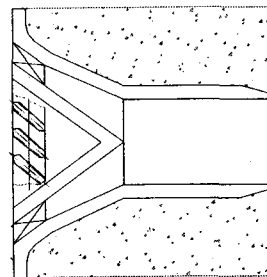
1997년 P사의 버너를 설치한 후 15~17%의 높은 1차 공기비와 20도의 각을 가진 스월러(swirler)로 만들어진 화염은 밀도의 분포가 균일하지 못하고 크기가 지나치게 커서 연와손상의 우려 때문에 화염조정을 하기가 어려웠으나 2001년 1차 개조 시 분탄의 분사채널 폭을 줄여 분사속도를 높이고 스월러 각을 30도로 높여 12%의 1차 공기비로도 분탄을 빠르게 선회시키면서 분사시켜 화염 폭을 줄이면서도 밀도가 균질하면서 높은 안정적인 화염을 만들었으며 2002

년 2차 개조시에는 스월러 각을 40도로 더욱 높여 8%(Burner의 설계치)의 낮은 1차 공기비로 더욱 강하면서 안정된 화염을 만들어 연소효율을 개선시켰다. 연소가 안정됨에 따라 요구에서 CO농도가 0.6% 이상 낮아졌고 촛점대 코팅도 개조 전 14~16m까지 이르렀으나 현재는 8~9m로 짧아졌으며 애쉬 코팅과 링(ash coating, ring)도 사라지는 등 화염이 안정되게 유지되어 키른 내에서 원료가 반응할 수 있는 체적을 약 6% 증가시키는 효과도 얻었다.

이와같은 내용을 시행한 후의 SO₃와 하소율의 거동을 <그림 8>에 나타내었다. 시행 전에 비해 SO₃의 휘발도가 현저하게 감소하여 1단 원료의 SO₃ 함량이 줄었으며 ASR값도 적정범위로 유지되고 있다. 프리히터의 하소율 또한 증가하여 공정도 대폭 안정되었다.

3.4 프리칼사이너노즐(Precalciner nozzle) 선단 개조

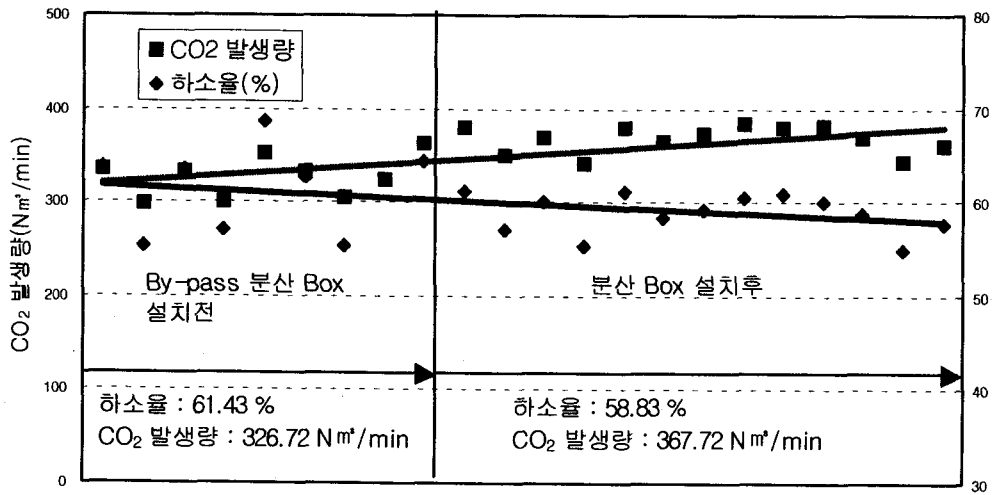
노즐선단의 형상이 개조 전 납작한 부채꼴이어서 분탄을 3차원적으로 확산시키는데 불리하므로 3차원적으로 신속한 확산을 유도하기 위해서는 원뿔형의 구조에 스월러를 부착시켜 강제 확산을 유도하였다. 이 후 분탄의 분사가 원형으로 넓은 체적으로 확산되기 때문에 빠른 연소반응을 만들 수 있었다



4. 개조 후 결과

4.1 하소율 변화

2호 키른의 하소율은 개조 전(61.43 %)보다

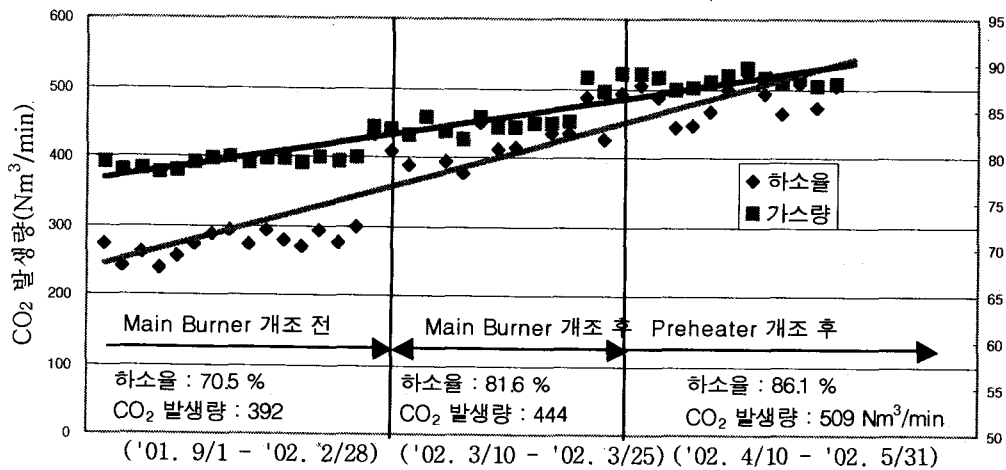


<그림 13> 2K P/H 1단 하소율, CO₂ 발생량 (개선 전후)

2.6 % 감소하였다. 원인은 개조 전 공정이 불안정하므로 공정을 안정시키기 위해 원료투입량을 줄이면 원료량이 적은 상태에서 하소율은 증가하게 된다. 따라서 실질적인 하소량을 알기 위해서는 하소 가스(CO₂)량의 변화를 비교하는 것이 적당하다. 하소 CO₂ 량의 변화를 개조 전후로 비교하면 개조 후 41 Nm³/min 가 증가하였다. 5호 키른의 하소율 증가치는 버너개조 후 11.1 %, 프리히터 개조 후 4.5 % 증가 하였고 하소 CO₂ 량은 각각 52 Nm³/min, 65 Nm³/min 가 증가하였다

4.2 설피의 변화

2호 키른의 설피 상태는 개조 전 1,781 kg-SO₃/d 가 초과 상태여서 정상적인 공정을 유지하기 위해서는 같은 량의 설피를 감소시켜야 했으나 개조 후 19,640 kg-SO₃/d 를 추가 할 수 있는 여유가 생기게 되었다. 5호 키른은 개조 전 1,482 kg-SO₃/d 초과상태에서 개조 후 244 kg-SO₃/d의 여유를 확보하였다. 두 키른이 이처럼 설피 투입량을 감소시키지 않고도 여유치를 확보한 것은 설비개조로 휘발을 감소시키고



<그림 14> 5K P/H 1단 하소율, CO₂ 발생량 (개선 전후)

<표 6> 설비개선 후 설퍼의 변화

구 분	#2K	#5K	
	Sulfur(%)	Sulfur(%)	
	개조후	Burner 개조후	P/H 개조후
1단 원료	1.32	3.25	2.86
1단 원료 한계농도	2.72	2.90	2.90
1단 원료 추가농도	1.40	-0.35	0.04
휘 발 도(%)	52	85	79
추가 투입가능 농도(%)	0.666	- 0.051	0.008
현 일 투입량 (Kg-SO ₃ /d)	18,555	13,759	17,462
한계 투입량 (Kg-SO ₃ /d)	38,195	12,297	17,706
추가투입 가능량 (Kg-SO ₃ /d)	19,640	- 1,482	244

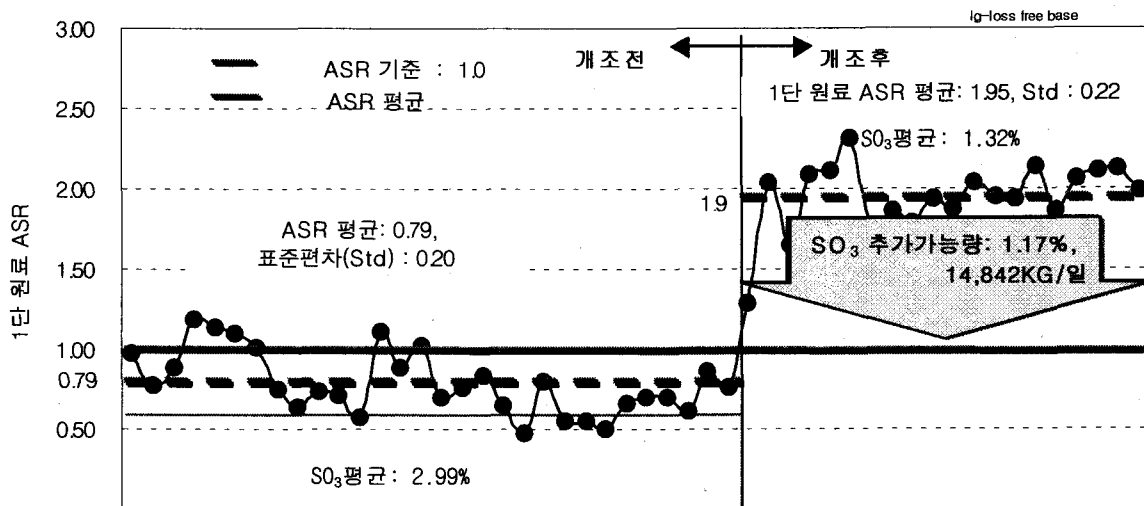
안정된 응축을 유도하였기 때문이다

5. 결 론

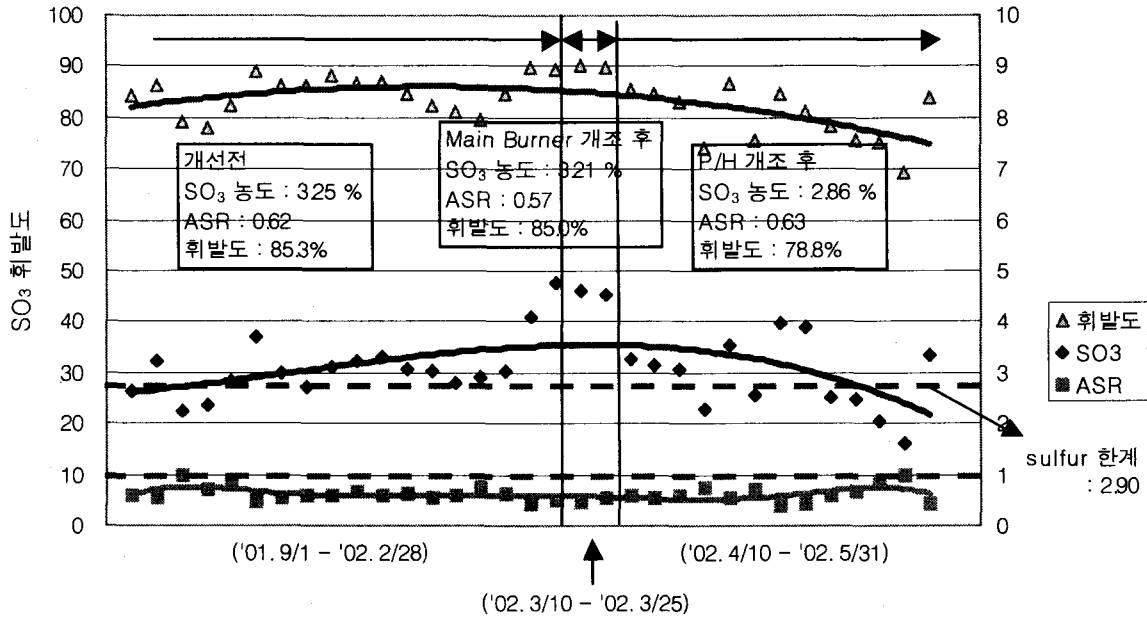
재생자원 사용을 증가시켜 제조원가를 절감하고 수익을 증대코자 하는 과정에서 키른 및 프

리히터의 용량한계와 sulfur, Cl 등의 휘발물질의 영향으로 코팅부착, 하소율 저하 등 공정에 문제가 발생하였다. 이들의 원인에 대해 2호 및 5호 키른의 코팅, 1단 원료의 휘발물질에 대해 분석한 결과 SO₃가 각각 1,781 kg-SO₃/d, 1,482 kg-SO₃/d 가 과다했던 것으로 판단되었다. 따라서 휘발물질에 대해 체계적인 접근을 하기 위해 휘발물질에 대한 수지를 계산하였고 이를 통해 투입한계량을 도출하였으나 현상에서 이미 한계량을 초과하였다. 따라서 SO₃ 투입량을 감소시켜야 했으나 크링카에서의 SO₃가 시멘트의 작업성을 개선하고 석고비용을 절감하기 때문에 SO₃의 투입량을 감소시키기 보다 소성공정에서 제어하는 방법을 검토하였고 1차적으로 SO₃의 휘발을 억제하기 위한 방법, 2차적으로는 휘발된 SO₃를 안정하게 응축시켜 ASR을 적정범위로 관리하는 방법을 모색하여 그 대책으로

- 1) 2호,5호 키른의 2단 원료슈트(chute) 끝에 분산박스 설치
- 2) 5호 프리히터의 오리피스 형상개조 및 면적확대
- 3) 5호 프리칼싸이너 버너 노즐 형상개조
- 4) 5호 키른 버너 선단개조를 실시하여 2호, 5호 키른에서의 SO₃ 휘발도를 2호 키른 26 %, 5호 키른 6 % 감소시키므로써,



<그림 15> 2K 1단 hot meal sulfur 변화 (개선 전후)



<그림 16> 5K P/H 1단 hot meal sulfur 변화 (개선 전후)

1단 원료의 SO₃ 량을 각각 1.66 %, 0.39 % 감소시켰고 그 결과 ASR을 0.63~1.95로 유지시킴으로써 설비에 의한 문제를 감소시켰다.

구분	2호 키른		5호 키른		
	2호	3호	4호	5호	6호
하소율 (%)	61.43	58.83	70.5	81.6	86
하소 CO ₂ 량 (Nm ³ /min)	327	368	392	444	509
회발도 (%)	77.9	52.4	85.3	85.0	78.8
1단 hot meal SO ₃ (%)	2.99	1.32	3.25	3.21	2.86
ASR	0.79	1.95	0.62	0.57	0.63

또한 그 과정에서 2단 원료를 요구부위에서 분산시킴으로써 2단 원료가 요구부위 온도를 냉각시키고 아울러 1단 원료의 하소율을 상승시킴으로써 생산성을 향상 또는 안정시키는 효과도 가져왔다.

향후 회발물질에 대한 제어기술을 체계적으로 개발하여 재생자원 활용을 더욱 안정적으로 증대시키므로써 부원료 및 연료를 100 % 재생자원으로 대체하는 것을 추진할 계획이다. 또한 이러한 기술을 바탕으로 시멘트 산업에서 더 많은 양의 폐기물을 연/원료로 대체한다면 시멘트 산업이 자원소비, 환경오염 산업에서 자원절약, 환경보호형 산업으로 탈바꿈하는데 기여할 것으로 확신한다.

< REFERENCE >

1. 최종섭 외, "크링커 SD변화에 따른 시멘트 물성변화", 제 28회 시멘트 심포지움, p.32, (2001)
2. Lene, J.C., "High sulfur fuels fired for action", World Cement, 12/2001, 29~30.
3. Holderbank Cement Seminar, Process Technology II (Chap.10 Circulation phenomena).