

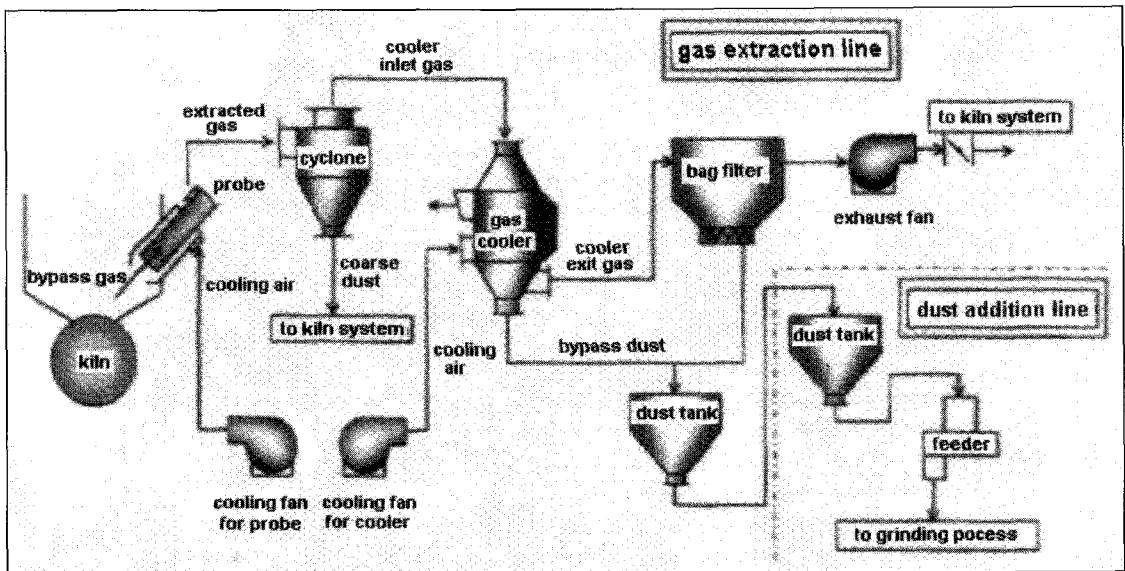
By Pass System¹⁾

이 경 우 (현대시멘트(주) 기술부 과장)

Chlorine, alkali와 sulphur 와 같이 시멘트원료와 연료에 포함되어 있는 휘발성분은 Kiln preheater system에서 순환하면서 농축된다. 이러한 순환은 안정운전에 영향을 주는 저융점 화합물을 생성하기 때문에 문제의 코팅을 빈번하게 발생하게 한다. Chlorine 농도에 변화를 준다는 것은 preheater내부에 코팅 생성의 가장 중요한 효과를 가져오며 그러

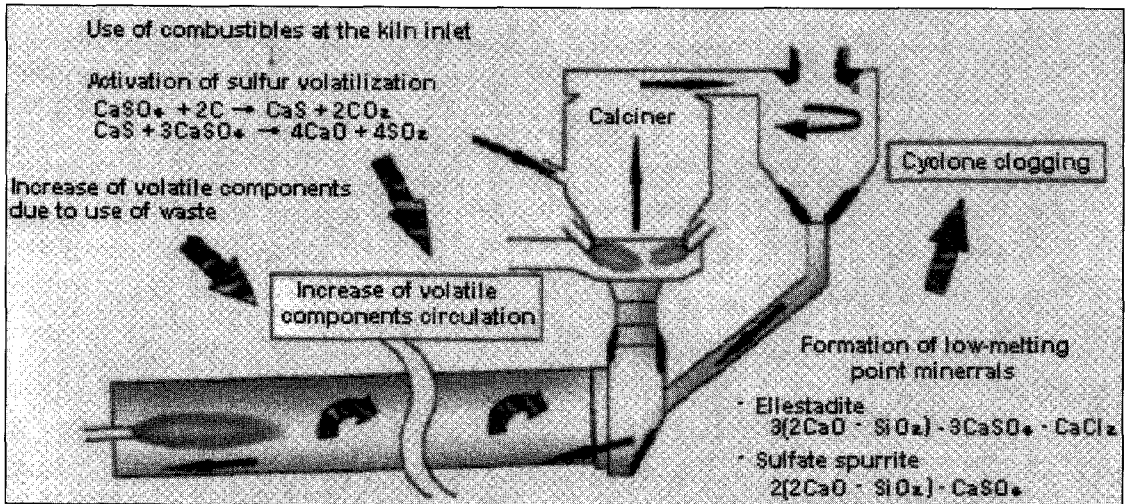
므로서 안정운전을 유지한다. 최근 몇 년 사이에 일본의 시멘트 산업은 환경보호와 자원보존차원에서 대체연료와 원료로써 폐기물을 재활용하는 것을 추진해 왔다.

따라서 재활용되는 폐기물의 양이 증가됨으로 휘발성분, 특히 chlorine의 양이 너무 많아지게 되었다. 그러므로 Kiln preheater system에서 효과적인



〈그림-1〉 Flowchart of the chlorine bypass system

1) International Cement Review (99. 6월호)에 실린 기사를 번역, 해설한 글임.



〈그림-2〉 Circulation of chlorine and sulphur in a kiln preheater system

로 chlorine을 제거하기 위한 기술이 필요하게 되었다. Taiheiyo 시멘트 회사는 이에 맞는 새로운 Chlorine bypass system을 개발하게 되었다.

1. Chlorine bypass system

〈그림-1〉은 Chlorine bypass system의 흐름도(flowchart)를 보여준 것이다. 주 시스템은 probe, coarse dust를 분리하기 위한 cyclone, gas cooler, bag filter와 dust 추가처리장치로 구성되어 있다. Probe는 kiln exhaust gas를 추출하고 동시에 급속히 chlorine 화합물을 응집이하의 온도까지 냉각시킨다. Cyclone은 상대적으로 낮은 chlorine 농도를 가진 coarse dust를 분리하고 그 dust를 키른 시스템으로 return 시킨다. Gas cooler는 추출된 가스를 가스에 포함된 dust가 bag filter에서 집진될 수 있는 온도까지 낮춘다.

Bag filter는 High chlorine dust를 포집하고 그 가스는 키른 시스템으로 return 된다. Bypass dust는 정상적으로 분쇄하여 Grinding process에서 시

멘트와 혼합한다. 그 probe는 외통을 통해서 유입되는 냉공기와 추출 가스를 지나는 이중 파이프 구조이다. 추출 가스는 내통을 통해서 유입되는 bypass 가스와 냉공기가 혼합된 것이다.

이 probe의 두가지 중요한 특성은 키른 내부로 냉공기의 유입을 방지하는 것과 bypass 가스와 냉공기의 혼합을 증진시키는 것이다. 이들 특성을 증진시키기 위해서 내통의 선단이 뒤로 물러나 있고, 외통의 선단이 좁혀져 있다. 더욱더 그것은 probe로의 유입이 이들 특성에 중요한 효과가 있는 것으로 알려졌다. 이러한 관점에서 계산상 유체 역학을 사용하는 냉각 특성의 평가를 할 수 있다.

2. Technical points of the system

가. Bottom cyclone에서 원료의 chlorine 농도 컨트롤

Bottom cyclone에서 원료의 chlorine 농도는 burning zone의 heat profile과 kiln type에 따라 변화한다. Chlorine은 크링카에 100~250배의 농도

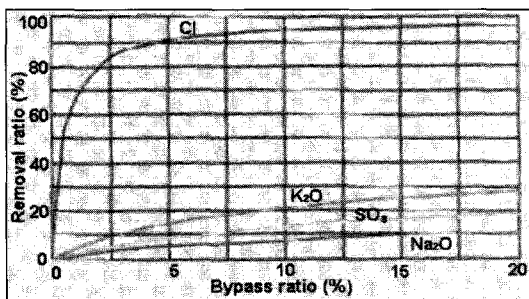
로 증가된다. 대체로 chlorine에 의해서 발생하는 코팅 문제는 bottom cyclone chute의 사이즈와 경사각과 같은 factor에 따르기는 하지만, 이들 문제는 Chlorine bypass system을 설치하고 bottom cyclone에서 원료의 chlorine 농도를 5,000 ~ 7,500ppm으로 컨트롤 함으로써 방지할 수 있다.

이것은 최근 연구에서 확인되었다. 그것은 유황회발이 kiln inlet에서 가연물의 사용에 의해 활성화되고 circulation이 전통적인 경우의 2~3배가 된다. 더욱이 bottom cyclone과 riser duct에서 코팅을 초래하는 저융점 mineral 생성은 kiln preheater system에서 circulate되는 CaO와 SiO₂와 chlorine, sulphur의 상호작용에 의해 발생된다고 생각된다. 특히 생성된 문제의 저융점 광물은 ellestadite와 sulphate spurrite이다.

따라서 cyclone의 clogging을 방지하기 위한 것은, bottom cyclone에서 원료의 염소(chlorine) 농도 이외에, 컨트롤해야 하는 다른 critical factor는 sulphur 농도이다. <그림-2>

나. Low bypass ratio

키른내에서 각 성분들의 휘발을 실험은 chlorine의 휘발율이 alkali와 sulphur보다 현저히 높다는 것을 보여줬다. 이 데이터를 기초로 키른 출구 가스의 bypass비와 각 휘발성분의 제거율과의 관계를 명확



<그림-3> Relation between removal ratio of volatile component and bypass ratio

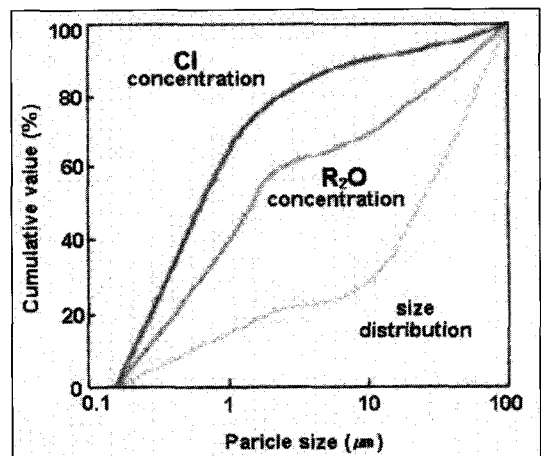
히 알았다.

<그림-3>은 키른 출구 가스를 5% 축출함으로써 chlorine을 약 90% 정도 제거 할 수 있으나, 산화알카리와 SO₃는 15% 정도밖에 제거되지 않음을 보인다. Alkali 제거를 위한 bypass율은 10% 이상이 필요하지만, chlorine을 제거 하기 위한 bypass는 5%로 충분하다. 더욱이 경제적이고 실용적인 가능성을 고려하면, 크링카당 chlorine input가 150ppm 이하일 때 bypass율이 2~3%이면 충분하다고 추정할 수 있다.

다. Coarse dust separation

축출 가스에 포함된 chlorine은 급냉 과정에서 미세한 potassium chloride 결정으로 고체화 되므로, chlorine은 bypass의 미세한 dust 속에 응축된다.

<그림-4>는 누적 bypass dust 입도 분포와 휘발성분의 농도를 보여준다. 이 데이터에 의하면, chlorine 제거성능을 유지하면서 cyclone을 사용하여 비교적 적은 농도의 coarse particles를 분리함과, 고농도의 fine particles만을 배출함으로써 bypass dust 발생을 상당히 감소시키는 것이 가능하다.



<그림-4> 입도분포와 휘발성분의 농도

라. Low heat losses

Chlorine bypass system 운전에 기인된 열손실은 낮은 bypass 비율과 고온의 coarse dust를 키른 시스템으로 회수함으로써 감소될 수 있다. 더욱이 이들 heat loss는 안정운전을 할 수 있으므로 거의 완전하게 절감된다.

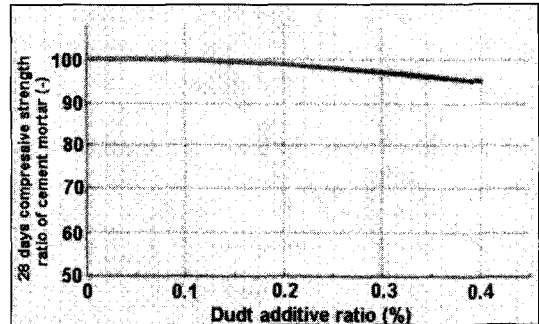
마. Insignificant bypass dust generation

Alkali bypass system과 비교하여, bypass dust 발생은 bypass 가스의 감소로 현저하게 줄일 수 있다. 즉 low bypass ratio는 bypass dust 중 coarse한 입자를 분리한다. 생성 bypass dust의 양은 무시할 정도의 양인 크링카 생산의 0.1% 이하로 추정된다.

바. Grinding and mixing bypass dust

Chlorine bypass system에서 발생된 대표적 bypass dust의 화학조성은 <표-1>과 같다. 이 dust속의 chlorine의 농도는 약 20%이고 K₂O의 대부분은 chlorine에 포함 되어 있다.

Na₂O와 SO₃를 포함하는 휘발성분의 전량은 약 65%이다. 중금속의 납, 카드미늄, 세레니움을 고려하면 bypass dust속에 휘발되고 농축된다. Bypass dust는 공해없이 cement로 혼합될 수 있다. 그러나 휘발성분과 중금속은 시멘트에 실제적으로 증가하지 않는다. 시멘트에서 이들의 농축은 Chlorine bypass system이 설치되지 않은 경우와 동일하다.



<그림-5> : Effect of bypass dust addition on cement strength

<그림-5>는 bypass dust를 추가했을 때 시멘트 품질의 예를 보여준 것이다. Dust 생성율이 시멘트 생산의 0.1% 이다.

이 범위 이내로 dust가 부가 되었을 때 시멘트 몰탈의 28일 압축강도는 변화가 없다. 보충하면 콘크리트 특성을 포함하는 일반적인 시멘트 품질에 거의 영향이 없다. JIS의 한계 chlorine 농도 이내로 분쇄공정에서 bypass dust 전량을 분쇄와 혼합할 수 있다. 그것은 200ppm이다. 부가적으로 bypass dust를 고로 슬래그가 포함된 시멘트에 첨가되면 그 강도는 일찍 증가된다.

Bypass dust가 부가된 cement를 사용하여 응고된 concrete에서의 중금속의 용해는 <표-2>에 보여준다. 준비된 concrete로부터 zinc의 용해량은 일정하고 다른 중금속의 양은 bypass dust 첨가량이 0.7%까지는 감지할 수 없었다. 즉 시멘트속에

<표-1> Chemical components of representative bypass dust

ig. loss (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Cl (%)
54.5	3.6	2.0	0.5	23.1	1.1	10.2	2.0	29.9	21.9
Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	T-Cr (mg/kg)	Cr ⁶⁺ (mg/kg)	As (mg/kg)	V (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Se (mg/kg)
379	977	1,110	33,500	28	ND	10.6	16	0.19	592

〈표-2〉 Leaching of heavy metals from hardened concrete

Rate of bypass dust addition to cement	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	Se
0% (Cl conc. of cement : 10ppm)	<0.002	0.01	<0.0005	<0.0001	<0.0005	<0.0002
0.13% (: 200ppm)	<0.002	0.01	<0.0005	<0.0001	<0.0005	<0.0002
0.33% (: 500ppm)	<0.002	0.01	<0.0005	<0.0001	<0.0005	<0.0002
0.66% (: 1000ppm)	<0.002	0.01	<0.0005	<0.0001	<0.0005	<0.0002

1,000ppm의 chlorine이다.

3. Probe cooling performance

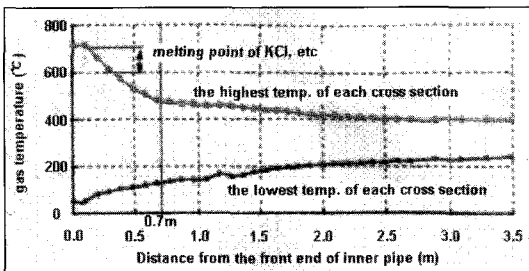
Probe를 통해서 추출되는 kiln 배기 가스의 냉각 속도는 bypass dust의 입도분포와 chlorine 농도에 영향을 끼치므로, 이것은 설계하는데 중요한 factor가 된다. 이론적 유체역학기술은 probe의 냉각성능을 판단하는데 사용되고, 그것은 probe 구조와 probe 내에서 가스 speed를 판단할 수 있게 한다.

가. Analysis of standard probe model (Case 1)

(1) Axial direction temperature distribution in the probe (Probe cooling curve)

기존의 표준 probe의 냉각성능은 (Case 1)과 같이 짐작된다. 〈그림-6〉은 probe에서 축방향의 온도 분포를 나타낸 냉각 curve를 표현한 것이다.

각 단면적에 대한 최대 최저온도를 수직축으로



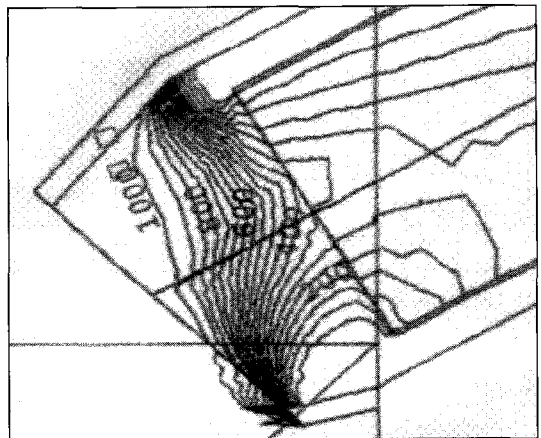
〈그림-6〉 Probe cooling curve(Case-1)

plot 하였다. 그들 사이의 온도차가 작으면 작을수록 각 섹션의 온도는 균일하다. 그것은 다시말하면 bypass 가스의 cooling이 진행되고 있음을 의미한다.

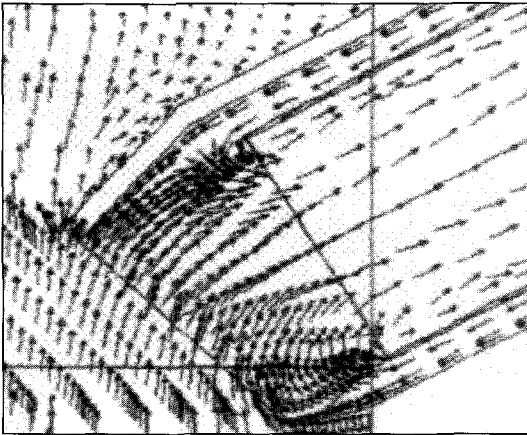
Cooling air와 혼합해서 bypass 가스는 probe 입구선단에서 0.7m까지는 급속히 냉각된다. 그것은 뒤로 가면서 점차적으로 천천히 냉각됨을 알수있다. 알카리염으로써 chlorine이 결정화되는 점은 600~700°C이므로, probe 입구선단에 0.7m까지는 probe 성능에 영향을 주기 때문에 중요한 area라고 생각된다.

(2) Gas temperature profile과 velocity vector

Probe 입구선단에서의 가스 온도 profile과 velocity vector의 도해는 〈그림-7〉과 〈그림-8〉에



〈그림-7〉 Temperature profile of Gas at probe front end (Case-2)



〈그림-8〉 Velocity vector of Gas
at probe front end (Case-3)

서 보여준다. 그 냉각 공기는 probe가 경사졌지만, probe 입구선단주위에 균일하게 흐르지는 않는다.

그러나 cooling air의 total air volume은 probe 내에서 구분되어 키른 내로 cooling air가 유입되지는 않는다.

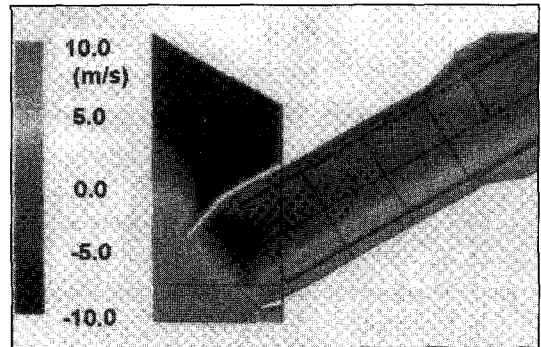
(3) Tangential direction Gas velocity profile

냉공기는 probe에 접선방향으로 유입 되므로 probe 선단에서 냉공기의 선회는 빠른 냉각이 이루어지고 kiln으로의 유입을 억제한다.

〈그림-9〉는 접선방향 가스 속도 profile을 보여준다. Speed 0.0m/s 의미는 접선방향의 속도는 없고 축방향의 flow만 있는 것을 의미한다. 양부(陽負)에 관계없이 절대값이 크면 클수록 접선방향의 힘은 더 크다. 접선 power는 probe 입구선단의 lower side에서 충분하게 유지되지만 upper side에서는 유지되지 않는다.

나. Analysis of other probe models for improvement of probe performance

표준 probe model의 분석을 기초로하여 다른 probe model들은 probe 성능개선을 위하여 분석된다. 즉 (Case-2)에서와 같이 probe 입구선단의 축



〈그림-9〉 Tangential direction Gas
velocity profile (Case-4)

소효과, (Case-3)와 같이 냉공기 선회효과, (Case-4)와 같이 내외통에서의 속도.

이들 분석으로부터 probe내에서 가스 속도 또는 그와 같은 개선을 위한 room이 있음이 이해된다. 그러나 기존 probe는 적당한 냉각성능을 가지고 있다.

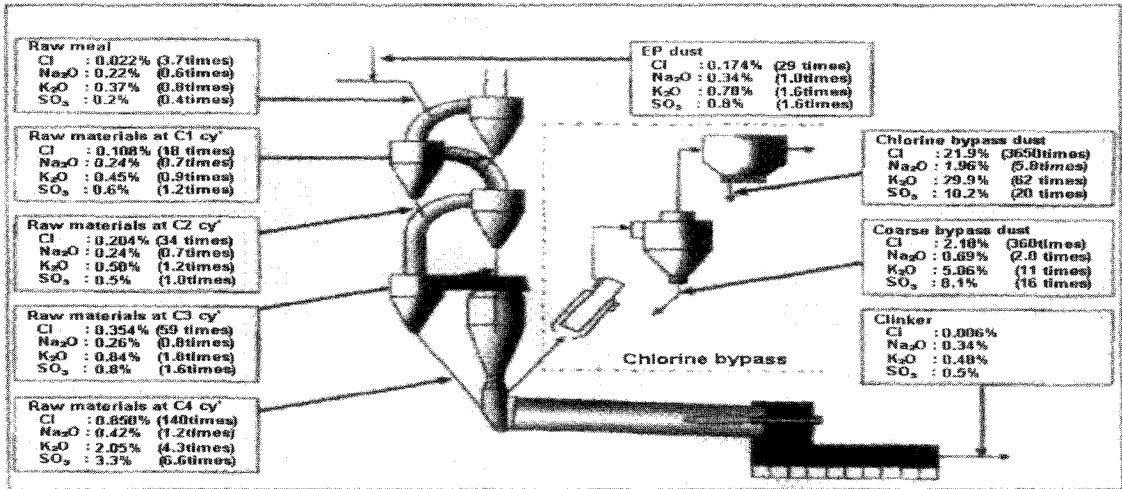
4. Operating data of the chlorine bypass system

Chlorine bypass system의 대표적인 운전 데이터를 반영하기 위해 휘발성분 balance와 중금속 balance의 예를 〈그림-10〉과 〈그림-11〉에서 보여준다

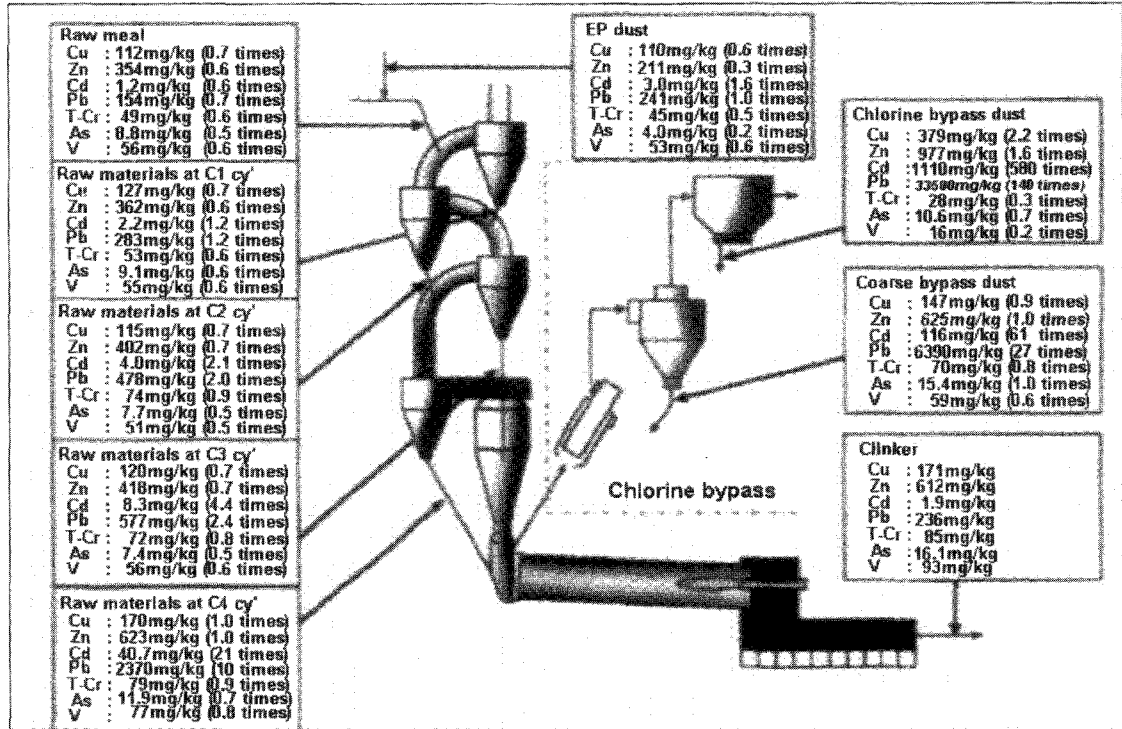
Bypass dust의 chlorine 농도는 21.9%이고, bypass dust는 크링카의 chlorine에 3650배이다. Coarse dust의 chlorine 농도는 2.2%이고, bypass dust는 coarse dust의 chlorine에 10배이다.

Bottom cyclone과 크링카에서 원료농도에 대한 비율로써 휘발성분이 포함된 비율은 chlorine, SO₃, K₂O, Na₂O의 순서로 기대된다. K₂O와 SO₃ 휘발율은 거의 80%이고, Na₂O는 약 20%만 휘발된다.

이번 bypass율이 1.9%이면 입구의 chlorine이 53% 제거되나, 타 휘발성분은 단지 2% 또는 그 이하만 제거된다. Chlorine bypass system을 운전한



〈그림-10〉 Example of volatile components balance

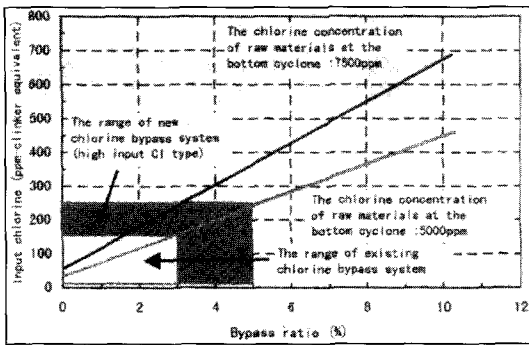


〈그림-11〉 Example of heavy metals balance

후 bottom cyclone 주위의 코팅의 양은 전통적인 관찰에 비해 감소되었다. 따라서 Chlorine bypass system은 코팅 응착을 방지하는 효과가 있다.

5. Recycling of waste materials containing chlorine

〈그림-12〉는 입구 chlorine의 허용량과 bypass ratio와의 관계를 보여준다. 그러나 이것은 대표적인 예이다. 실제로 이 chart는 휘발성분의 휘발율과 키른 배출 가스의 조건에 따라 달라질 것이다.



〈그림-12〉 Relation between allowable amount of input chlorine and bypass ratio

이 chart는 입구 chlorine의 잠재량이 bypass ratio에 비례하는 것을 보여준다. 그러므로 Chlorine bypass system 설치목적은 고(高) Bypass ratio chlorine bypass system을 설치하여 bottom cyclone에서 원료의 chlorine의 농도를 낮춤으로 키른을 안전 운전 할 뿐 아니라, chlorine을 포함한 쓰레기를 좀더 효과적으로 재활용이 가능하게 하는 것이다. 키른에 chlorine이 포함된 쓰레기를 효과적인 재활용을 설명하기 위해, 소각재를 사용하는 chlorine balance의 예를 아래에 기술하였다.

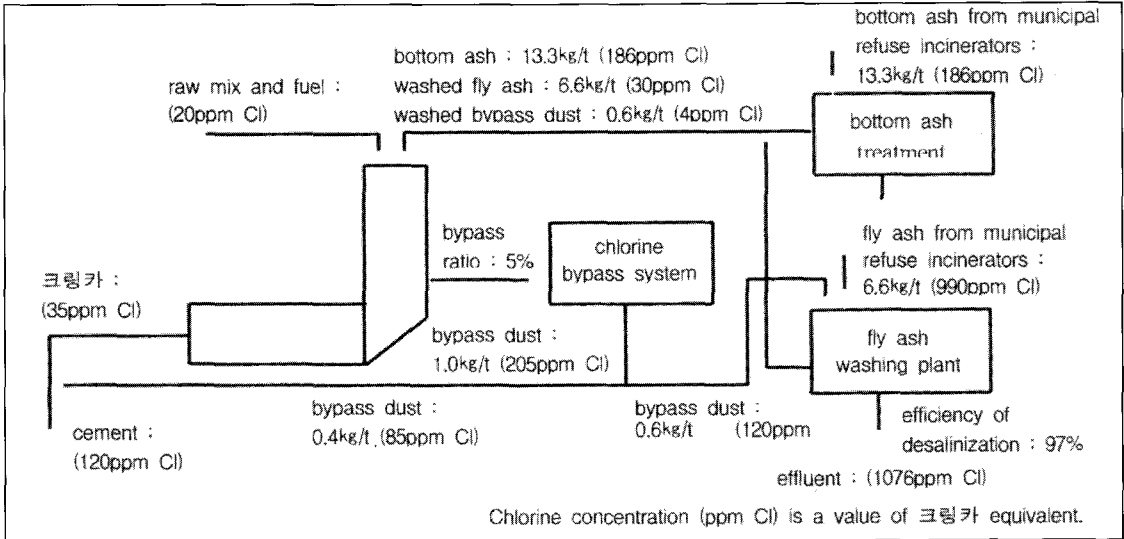
보통 stoker furnace에서 배출된 소각재는 furnace 바닥에서 배출된 bottom ash와 배기 가스 처리 공정에서 배출된 fly ash를 포함한다. 이들은 상당한 chlorine을 포함하기 때문에 시멘트원료로 사용될 수 있는 양에 대한 한계가 있다.

이 문제는 Chlorine bypass system과 fly ash 탈염 system으로 해결된다. bypass ratio 5% Chlorine bypass system과 fly ash washing 또는 탈염 system을 설치할 때 소각재의 허용량을 〈표-3〉에서 보여준다.

이들 system을 분리해서 설치하면 소각재의 허용량은 매우 작다. 그러나 이들 system을 combining 하면 그것은 19.9 kg/T.cl로 증가할 수 있다.

〈표-3〉 Allowable amount of incineration residue used in the kiln (Note:input chlorine except the incineration residue is set up 20mm (크링카 equivalent). The amount of bottom ash and fly ash are in the ratio 2:1. Efficiency of desalination by washing is set at 97 per cent.)

	No bypass	Bypass ratio: 5%	Washing of fly ash	Bypass ratio: 5% & washing of flyash
Allowable value for chlorine input (크링카 equivalent)	15ppm	216ppm	15ppm	216ppm
Cl concentration of	1.4%			
	15.0%			
- bottom ash	0.2 kg/t 크링카	2.4 kg/t 크링카	0.9 kg/t 크링카	13.3 kg/t 크링카
- fly ash	0.1 kg/t 크링카	1.2 kg/t 크링카	0.5 kg/t 크링카	6.6 kg/t 크링카
- Total	0.3 kg/t 크링카	3.6 kg/t 크링카	1.4 kg/t 크링카	19.9 kg/t 크링카



<그림-13> Chlorine balance estimation using incineration residue of municipal waste

<그림-13>은 이 경우의 chlorine balance를 보여준 것이다.

입구 total chlorine 1,196ppm 중 120ppm 이 cement에 혼합되고 나머지 1,976ppm은 배출된다. 그러므로 Chlorine bypass system과 적정한 탈염 전처리 system과 결합 함으로써 chlorine 성분이 많은 폐기물도 시멘트 품질이나 제조공정상 문제없이 사용될 수 있다. 보다 효과적으로 chlorine이 함유된 폐기물을 재활용하기 위해서는 여러 가지 문제점을 해결하여야 한다. 고효율 Chlorine bypass system 개발은 다른 연구 Theme이다. 그것은 Taiheiyo Cement Corporation에서 연구중이다.

현재의 Chlorine bypass system의 좋은점을 유지하기 위해, kiln exhaust 가스의 추출방법과 고효율 bypass를 위해 필요한 냉각방법이 연구중에 있다. 재설계 system에서 주요인자는 probe내에서 가

스 speed를 증가시키고, bypass 가스의 2차 냉각인 것이다. 기존 Chlorine bypass system에서 중요한 설계 변경을 확인할 필요가 있다.

6. 결 론

Chlorine bypass system은 kiln 안정운전보장뿐만 아니라 chlorine에 의해 발생되는 여러 가지 문제를 방지하기 위해 중요한 발전이다. Chlorine bypass system 설치는 높은 chlorine이 함유되고 가격이 싼 원료와 연료를 사용하고 안정운전을 할 수 있다. 그것은 시멘트 제조원가를 감소시킨다. 더욱이 Chlorine bypass system은 kiln에 여러 가지 폐기물을 재활용하는 기술이다. 이 기술은 계속 개선되어 시멘트 제조공정에서 폐기물 재활용이 증진되고 환경보전에 기여할 것이다. ▲