

시멘트공장 설비 부위별 사용 내화물 특성

홍윤철* · 이의명

<조선내화>

1. 서 언

Cement 제조공업은 Energy 다소비, 소품종 대량생산형 산업으로서 제조기술의 일환으로 Cement 소성 Kiln의 대형화, Preheater의 NSP화 및 Energy 효율화 목적으로 원료Source로 Coal 사용하며, 폐 Tire 및 폐정제오일 등 산업폐기물을 소각하는 기술을 도입함에 따라 Kiln 내부 온도 상승, Alkali 의 종류 및 농도변화 발생 등 내화물에 미치는 영향은 점점 가혹해지는 추세이다.

로에 내장된 내화물은 고열부하, 피열물중의 기상과 액상과의 반응침식 혹은 응축변질, 온도변화에 따른 열충격, Shell 변형에 의한 기계적 응력, 피열물에 의한 고온마모 등 Thermal Stress, Mechanical Stress, Chemical Stress가 복합적인 조건 등으로 이루어진 매우 복잡한 손상요인을 갖고 있어 각 부위별 조업특성에 맞는 내화물을 적절하게 사용하여야 로의 가동율 향상 및 수명향상을 기대할 수 있다. 특히, Rotary Kiln 가소대, 전이대 및 냉각대용 내화물은 Chmotte질, High-Alumina질 및 염기성벽돌을 주로 사용하는데 Kiln 대형화 및 산업폐기물 사용량 증가에 의해 Kiln 가동온도가 상승하고 Alkali 및 염화물의 증가에 따라 내화물 사용조건이 가혹해지며 주로 Alkali와의 반응에 의한 박리손상이 발생하여 수리빈도가 증가하고 있는 추세이다.

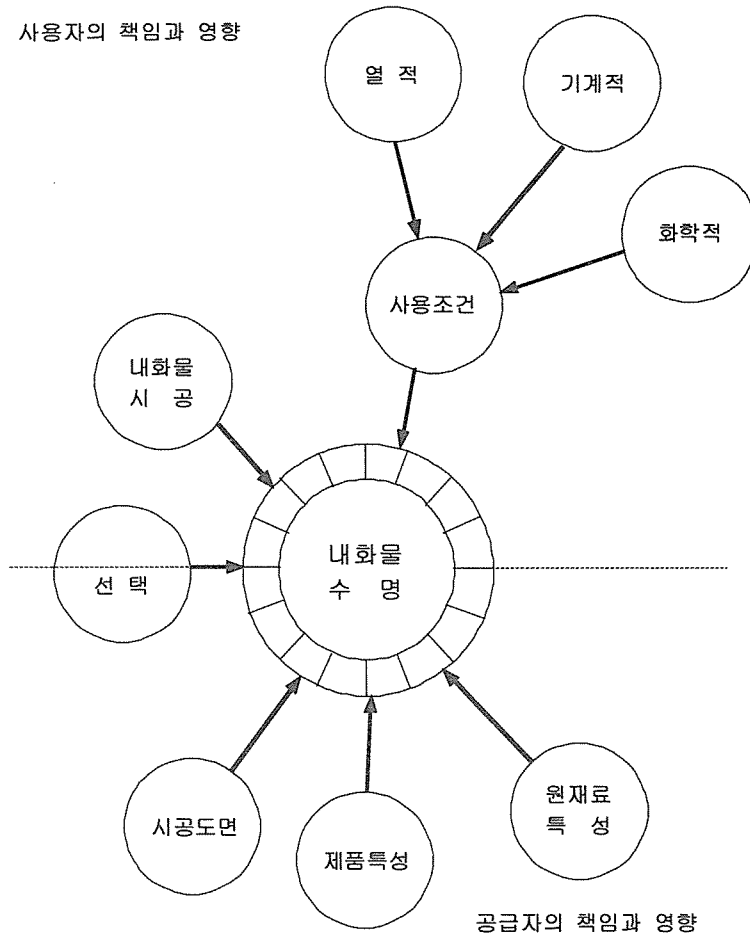
Alkali는 주로 Alumina나 Mullite 등과 반응시 저융점화합물을 생성하면서 부피팽창을 야기하여 박리 손상이 발생하는 바 본 연구에서는 적용부위별로 내화학반응성이 우수한 SiC 원재료를 적절하게 사용, 적용결과 기존 적용벽돌 대비 우수한 내Alkali성 발현으로 사용수명 향상 및 조업안정화에 크게 기여하고 있어 시멘트공장 설비 부위별 요구특성 및 재질 적용내역 등에 대해 보고하고자 합니다.

2. Kiln 내화물 수명 결정인자

시멘트공장 설비 전체에 전반적으로 수명을 결정하는 인자에 대해 살펴보면 다음 <그림 1>에 도식한 바와 같다

3. 시멘트공장별 산업폐기물 소각량 추이 분석

시멘트공장별 폐타이어 및 폐정제오일 등과 같은 산업폐기물 소각량이 기존에는 1.5~3톤/Hr 정도이었으나 최근에는 아래 <표 1>에 나타난 바와 같이 일반적으로 약 3~5톤/Hr 정도이며 가장 소각량이



<그림 1> 사용자와 공급자의 책임에 의한 시멘트설비 내화물 수명 결정인자

많은 시멘트공장의 경우 10톤/Hr 정도로 매우 증가되고 있는 추세이다.

최근 전 시멘트공장 산업폐기물 종류 다양화 및 소각량이 증가되면서 고온 Alkali 분위기 형성에 따라 적용내화물 사용수명이 대폭 감소되고 있는 추세이다.

<표 1> 시멘트공장별 폐기물 종류, 소각량 및 향후 추이

공장명	폐기물 종류	폐기물 소각량	비고
H사	폐Tire(Chip Tire), 폐Plastic, 폐슬러지	열원의 12~13%정도 (2 ~ 4톤/Hr)	-
A사	폐Tire(Chip Tire), 합성고무, 폐Plastic	3 ~ 5톤/Hr	-
L사	폐Tire(Chip Tire)	3 ~ 5톤/Hr	Tire 소각량 증가
S사	폐Tire(Chip Tire, 통Tire)	3 ~ 5톤/Hr	폐정제오일 추가 소각
D사	폐Tire(Chip Tire)	5 ~ 10톤/Hr	Tire 소각량 증가

4. 사용후 벽돌 분석

Rotary Kiln 가소대용으로 적용중인 Chmotte질 벽돌 분석을 통해 주요 손상요인을 규명하여 보았다. 절단면 확인결과 배면부까지 Alkali 및 Sulfur 성분 침투 확인할 수 있었으며 부위별 분석결과 <표 2>에서 나타낸 바와 같이 K₂O 및 Sulfur 성분이 다량 침투되어 있음을 확인할 수 있었다.

따라서, 사용후품 분석결과를 토대로 내화물 내부로 Alkali 성분 및 Sulfur 성분 침투에 따른 저융점 화합물 생성 및 부피팽창으로 박리발생이 주요 손상요인으로 판단되었다.

분석시험 결과를 토대로 수명향상을 위해 내화학반응성이 우수한 SiC 원재료를 적용하여 수명향상을 피하고자 하였다.

<표 2> 사용후 Sample 부위별 분석시험 결과

		가동부	중간부	배면부
일반물성	부피비중	2.35	2.34	2.30
	기공율(%)	11.5	12.1	12.5
	압축강도 (Kg/Cm ²)	894	887	760
화학적분(%)	SiO ₂	41.06	42.24	43.06
	Al ₂ O ₃	32.00	34.12	32.98
	Fe ₂ O ₃	0.84	0.95	0.91
	CaO	8.98	7.45	8.02
	MgO	0.31	0.23	0.40
	Na ₂ O	0.18	0.24	0.33
	K ₂ O	14.12	13.00	12.51
	SO ₃	1.92	1.15	1.28
광물상	Mullite	+++	+++++	+++++
	Leucite	+++++	+++++	++++
	Cristobalite	+	+	+
	KCl	++	-	-

5. 시멘트 설비 부위별 요구특성 및 사용내화물

5.1 Preheater

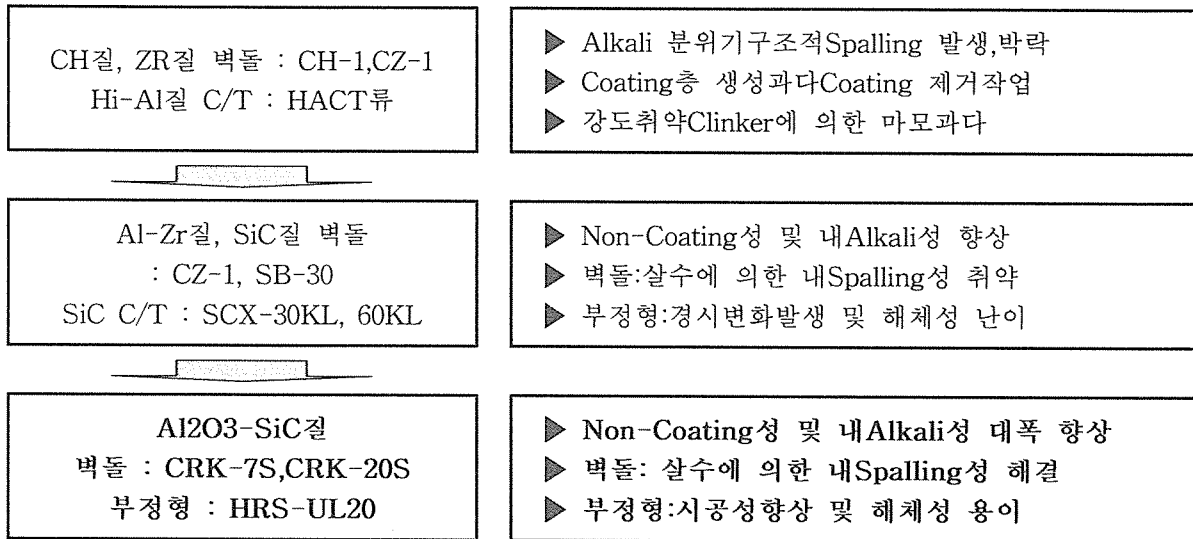
5.1.1 부위별 적용내화물

부위	사용내화물		비고
	정형	부정형	
Preheater	CH-1 CZ-1, ACD,SB-30 CRK-7S, CRK-20S	CT-140S, HACT-150S, 160, HACT-170,SCX-30KL, HRS-UL20	
Chute		SCX-30KL, HRS-UL20	
T/Air Duct	CH-1	HACT-160,HACT-170	
Inlet Housing	CH-1, CZ-1, ACD CRK-7S, CRK-20S	SCX-30KL	

5.1.2 요구특성

- ▶ 원료의 Dust 부착 방지
- ▶ Coating 부착시 제거용이
- ▶ 구조적 내마모성
- ▶ 내Spalling성 및 Alkali 반응 억제

5.1.3 사용내화물 적용내역



5.1.4 사용내화물 특성

구분	재질	화학적분(%)		특수시험				
		Al ₂ O ₃	SiC	열간강도	내알칼리성	내스폴링성	Non-Coating성	시공성
정형	CH-1	43	-	△	△	○	×	-
	ACD	78	-	○	△	○	×	-
	CZ-1	59	ZrO ₂ 23	○	◎	△	○	-
	SB-30	30	34	○	◎	○	◎	-
	CRK-7S	50	7	◎	◎	◎	◎	-
	CRK-20S	42	22	◎	◎	◎	◎	-
부정형	HACT-160	52	-	△	△	△	×	○
	SCX-30KL	34	32	○	◎	○	◎	△
	HRS-UL20	50	25	◎	◎	◎	◎	◎

※ ◎ : 매우 양호 ○ : 양호 △ : 보통 × : 미흡

5.2 Rotary Kiln

5.2.1 부위별 적용내화물

부위	사용내화물	비 고
	정형	
Calcining Zone	CH-1, CRK-7S	Al ₂ O ₃ -SiC질 적용중
Transition Zone	SAL-60S, SAL-70, SAL-75Z, CRK-7S, CRK-10S	
Burning Zone	MgO-Cr질, Spinel질 DMC-12C, DMC-6B, ES-10, ES-15	
Cooling Zone	MgO-Cr질, Spinel질, CRK-20S	Al ₂ O ₃ -SiC질 적용중

5.2.2 부위별 요구특성

부위	요구특성
Calcining Zone	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 온도변화에 따른 열적 Spalling ◆ Alkali 및 Sulfur 에 대한 반응성
Transition Zone	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Clinker 충격에 의한 마모 ◆ 고온 Alkali 및 Sulfur 에 대한 반응성 ◆ Tire부의 기계적응력에 대한 손상 ◆ Coating 탈,부착에 따른 온도변화에 대한 열적Spalling ◆ Coating 생성과다에 따른 생산성 저하
Burning Zone	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Clinker 충격에 의한 마모 ◆ Tire부의 기계적응력에 대한 손상 ◆ 고온 Alkali 및 Sulfur 에 대한 반응성 ◆ Coating 탈,부착에 따른 온도변화에 대한 열적 Spalling
Cooling Zone	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Coating 탈착과 2차공기 변동에 따른 온도변화에 대한 열적 Spalling ◆ Clinker에 의한 마모

5.2.3 부위별 사용내화물 적용내역

부 위	재 질	내 용
가소대	Chmotte질 (CH-1)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Alkali 분위기구조적Spalling 발생,박락 ▶ 열간강도취약Clinker에 의한 마모과다
	Al ₂ O ₃ -SiC질 (CRK-7S)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Non-Coating성 및 내Alkali성 대폭향상 ▶ 열간강도 Up내마모성 향상
전이대	High-Alumina질 (Al ₂ O ₃ 60~75%)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Alkali 분위기구조적Spalling 발생,박락 ▶ 열간강도취약Clinker에 의한 마모과다
	염기성 재질 (Mg-Cr질,Sp질)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Coating층 과다생성Coating 탈,부착시 동반 탈락 ▶ 열간강도 Up내마모성 향상
	Al ₂ O ₃ -SiC질 (CRK-10S)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Non-Coating성 및 내Alkali성 대폭향상 ▶ 열간강도 Up내마모성 향상 ▶ Tire 구간MgO-Cr질 및 Sp질 적용
소성대	염기성 재질 (Mg-Cr질,Sp질)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 사용수명 : 6개월 ~ 1년 ▶ Tire부 기계적응력에 대한 우수한 특성 ▶ Coating층 과다생성탈,부착시 동반탈락
냉각대	염기성 재질 (Mg-Cr질,Sp질)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 내Alkali성 취약구조적 Spalling 발생 ▶ Coating층 과다생성탈,부착시 동반탈락 ▶ 고온 Clinker 충격에 의한 마모
	Al ₂ O ₃ -SiC질 (CRK-20S, HRS-UL7)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Non-Coating성 및 내Alkali성 대폭향상 ▶ 열간강도 Up내마모성 향상

5.2.4 사용내화물 특성

구분	재질	화학적분(%)			특수시험				
		Al ₂ O ₃	SiC	MgO	열간강도	내알칼리성	내스폴링성	Non-Coating성	시공성
정형	CH-1	43	-	-	△	△	○	×	-
	SAL-60S	61	-	-	△	△	○	×	-
	SAL-70	72	-	-	△	△	○	×	-
	SAL-75Z (ACD)	78	-	-	○	△	○	×	-
	CRK-7S	50	7	-	◎	◎	◎	◎	-
	CRK-10S	57	10	-	◎	◎	◎	◎	-
	CRK-20S	42	22	-	◎	◎	◎	◎	-
	MgO-Cr질	1~6	Cr 5~12	75~80	◎	○	○	×	-
	Sp질	8~18	-	80~90	◎	○	○	○	-
부정형	HSC-18RA	90	5	-		△	○	△	△
	HRS-UL7	42	20	-	◎	◎	◎	◎	○

※ ◎ : 매우 양호 ○ : 양호 △ : 보통 × : 미흡

5.3 Cooler

5.3.1 요구특성

- ▶ Alkali 반응에 의한 체적팽창, Crack, 탈락 내Alkali성
- ▶ 온도구배에 의한Spalling성 내Spalling성
- ▶ 미세 Dust에 의한 마모 내마모성

5.3.2 사용내화물 적용내역

High-Alumina질 C/T (HSC-18SC)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Low Cement 치밀질 고강도 Castable ▶ 작업성이 취약하여 시공성이 난이 ▶ Alkali 반응에 의한 Crack 발생 및 탈락
High-Alumina질 C/T (SFC-90W)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Self Flowing Castable, 시공성 용이 ▶ 내Spalling성 및 내마모성 향상 ▶ 형틀제작 난이
Shotcast 제질 (SC-A70)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Wet Type 고밀도 신 시공법 ▶ 시공체 조직:치밀질 Castable과 유사함 ▶ 시공시간 단축 및 작업환경 개선

5.3.3 사용내화물 특성

구분	재질	화학적분(%)		특수시험				
		Al2O3	SiC	열간강도	내알칼리성	내스폴링성	Non-Coating성	시공성
정형	CH-1	43	-	△	△	○	×	-
	H-2	63	-	△	△	△	×	-
	SAL-75Z (ACD)	78	-	○	△	○	×	-
부정형	HSC-18SC	93	-	○	○	○	-	△
	SFC-90W	95	-	◎	○	○	-	◎
	SC-A70	75	-	◎	○	◎	-	◎

※ ◎ : 매우 양호 ○ : 양호 △ : 보통 × : 미흡

5.4 Burner

5.4.1 요구특성

- ▶ Alkali 반응에 의한 체적팽창, Crack, 탈락 내Alkali성
- ▶ 기계적응력에 의한 Crack 내Crack성
- ▶ 미세 Dust에 의한 마모 내마모성

5.4.2 사용내화물 적용내역

High-Alumina질 C/T (HSC-18RA)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Low Cement 치밀질 고강도 Castable ▶ 작업성이 취약하여 시공성이 난이 ▶ Alkali 반응에 의한 Crack 발생 및 탈락
High-Alumina질 C/T (SFC-90S, SFC-UL90S)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Self Flowing Castable, 시공성 용이 ▶ 내Spalling성 및 내마모성 향상 ▶ Alkali 반응에 의한 Crack 발생 및 탈락
Al2O3-SiC질 (HRS-UL10A)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 응력 저항성 Castable, 시공성 용이 ▶ Al2O3-SiC 재질, 내Alkali성우수 ▶ 열간강도 향상 내마모성 향상

5.4.3 사용내화물 특성

구분	재질	화학성분(%)		특수시험				
		Al ₂ O ₃	SiC	열간강도	내알칼리성	내스폴링성	Non-Coating성	시공성
부정형	HSC-18RA	89	5	◎	○	○	-	△
	SFC-90S	90	5	◎	○	○	-	◎
	SFC-UL90S	87	5	◎	◎	○	-	◎
	HRS-UL10	66	8	◎	◎	◎	-	◎
	HRS-UL10A	69	8	◎	◎	◎	-	◎

※ ◎ : 매우 양호 ○ : 양호 △ : 보통 × : 미흡

6. 신규개발품 적용실적

최근 시멘트공장별로 산업폐기물 소각량 증가로 사용수명이 현격히 저하되고 있어 부위별로 적정한 재질을 개발하여 적용시험 결과 기존 사용내화물 대비 내Alkali성 및 내마모성 향상으로 사용수명 향상에 따른 조업안정화에 크게 기여하고 있는 추세이며 미적용공장의 경우 앞에서 소개한 재질을 적용 추진 예정이다.

설비 부위별 신규개발품 적용공장 및 적용현황에 대해 살펴보면 아래 <표3>과 같다.

<표 3> 신규개발품 적용현황

구분	개발품	적용공장	사용현황	비고
정형	CRK-7S	A사의 5개사	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Rotary Kiln 가소대에 적용중 ◆ 사용수명 : 1.5~2년정도 사용중 ※ 기존 CH-1벽돌 수명 : 0.5~2년 ※ CH-1 재질대비 우수한 내Alkali성 확보 확인 ※ 개발품 사용상태 확인시 3년이상 사용가능 판단됨 	적용확대 타부위 (Preheater, Cooler) 적용 진행중
	CRK-10S	-	◆ 개발완료, 향후 보수시 적용예정	-
	CRK-20S	SS사의 3개사	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Rotary Kiln 냉각대에 적용중 ◆ 사용수명 : 8개월~1년정도 사용중 ※ 기존 염기성벽돌 대비 안정사용 ※ 사용후 30~50mm 침식외에 상태 매우 양호함 	적용확대 진행중
부정형	SC-A70	A사	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 시공성 용이 및 작업환경 개선 ◆ 기존 적용품 대비 동등이상의 수명 발현 	적용확대 추진중
	HRS-UL7	SS사의 5개사	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Rotary Kiln 냉각대에 적용중 ◆ 사용수명 : 1년~2년 정도 사용 ※ 기존 적용내화물 대비 내Alkali성 향상으로 수명향상 ※ 해체성 용이 	적용확대 진행중
	HRS-UL10A	A사의 1개사	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Burner부에 사용중 ◆ 현재 3개월~5개월 정도 사용중 ※ 기존 적용내화물 Crack 발생 및 침식발생 최소화 	적용결과 확인후 확대 적용 추진 예정

7. 결 론

시멘트 설비 소성공정은 크게 Preheater Rotary Kiln Cooler 의 공정으로 연결되어 있으며, 기존 적용내화물의 경우 산업폐기물 소각 이전에는 안정적으로 사용중이었다. 그러나, 최근들어 시멘트 원단위 및 원단가 절감을 목적으로 산업폐기물 소각량 급격히 증가에 따라 내화물 침식 가속화 사용수명이 현격히 저하되고 있는 실정이다. 이러한 수명저하의 주요요인은 벽돌 내부에 Alkali 및 Sulfur 성분 침투로 가동면 조직에 열적, 구조적 Spalling 이 발생되기 때문이다.

이러한 손상요인을 최소화하고자 내화학반응성이 매우 우수한 SiC원재료 사용 및 적용부위별 적정 사용량을 선정 개발을 완료하여 실로에 적용을 실시한 결과 기존 사용내화물 대비 우수한 내Alkali성 및 내마모성 확보로 사용수명 향상 및 안정조업에 크게 기여하고 있다.

향후 최근 대비 산업폐기물 소각량 증가시 내화물 손상특성을 고려하여 현재 적용중인 개발품 사용상태 점점 지속화, 손상 Mechanism 재규명 및 지속적 제품 개발로 시멘트공장 설비 부위별 수명향상에 따른 안정조업에 기여하고자 한다.