

# Rotary Kiln 전이대용 내화물 손상원인 및 개발방향

홍윤철\* · 선우식 · 이의명  
<조선내화>

## 1. 서 언

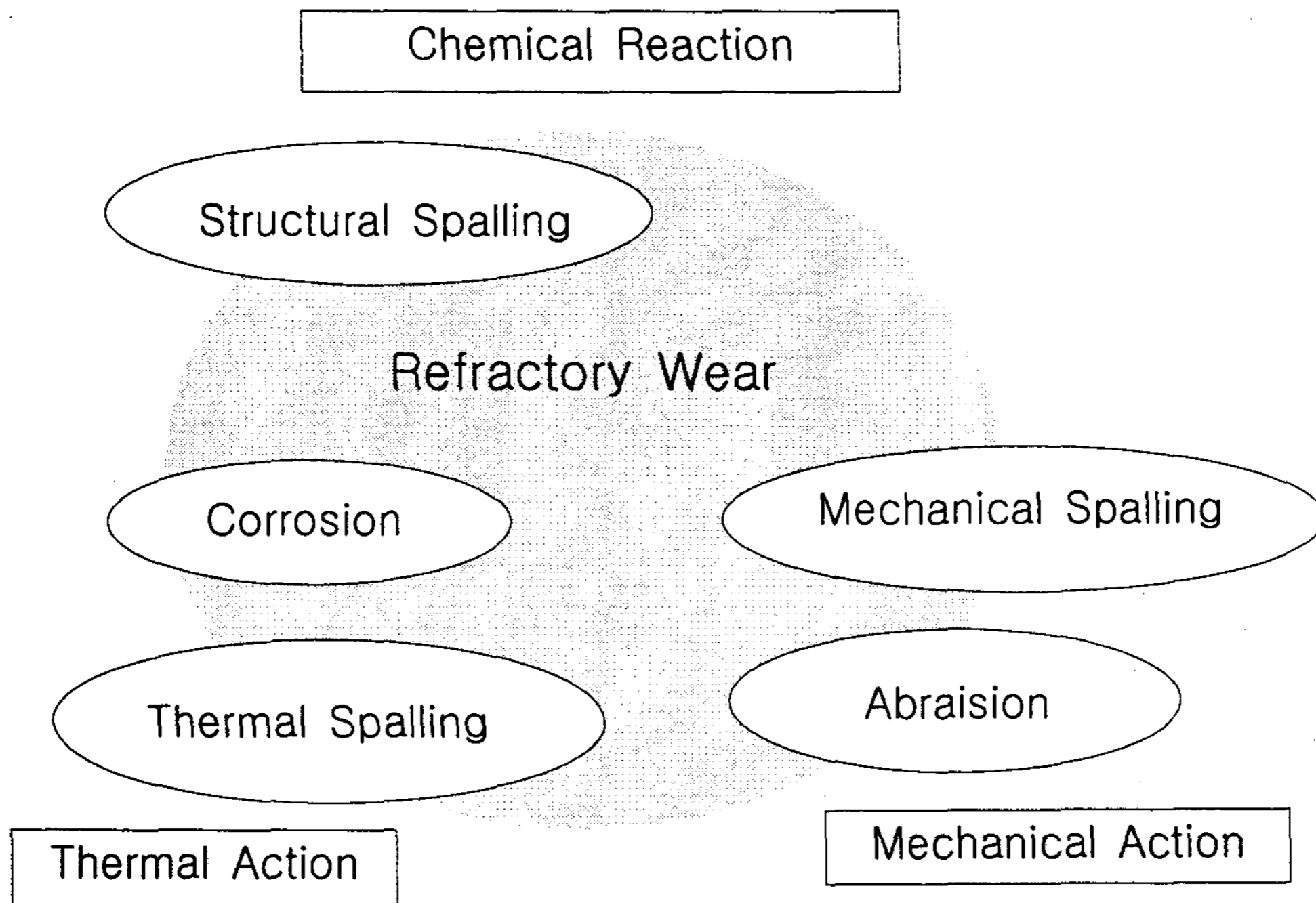
Cement Rotary Kiln은 가소대, 전이대, 소성대, 냉각대로 구분되어져 있다, 로에 내장된 내화물은 고열부하, 피열물중의 기상과 액상과의 반응침식 혹은 응축변질, 온도변화에 따른 열충격, Shell 변형에 의한 기계적 응력, 피열물에 의한 고온마모 등 Thermal Stress, Mechanical Stress, Chemical Stress가 복합적인 조건 등으로 이루어진 매우 복잡한 손상요인을 갖고 있어 각 부위별 조업특성에 맞는 내화물을 적절하게 사용하여야 로의 가동율 향상 및 수명향상을 기대할 수 있다.

부위별 적용재질로 기존에는 가소대용으로는 Chmotte질, 전이대용으로는 High-Alumina질 및 Mag-Chro질, 소성대용으로는 Spinel질 및 Mag-Chro질 내화물, 냉각대용으로는 Spinel질 내화물을 적용중에 있다. 최근 Energy 효율화 목적으로 원료 Source로 Coal 사용하며, 폐 Tire 및 폐정제오일 등 산업폐기물을 소각하는 기술을 도입함에 따라 Kiln 내부 온도 상승, Alkali의 종류 및 농도변화 발생등 내화물에 미치는 영향은 점점 가혹해져 사용수명 대폭 하락으로 부위별 재질 개발품을 적용 진행중에 있다. 주요 손상요인으로서는 주로 Alkali 반응에 따른 구조적 Spalling 발생으로 Alkali는 주로 Alumina나 Mullite등과 반응시 저융점화합물을 생성하면서 부피팽창을 야기하여 박리손상이 일어나는 것이다.

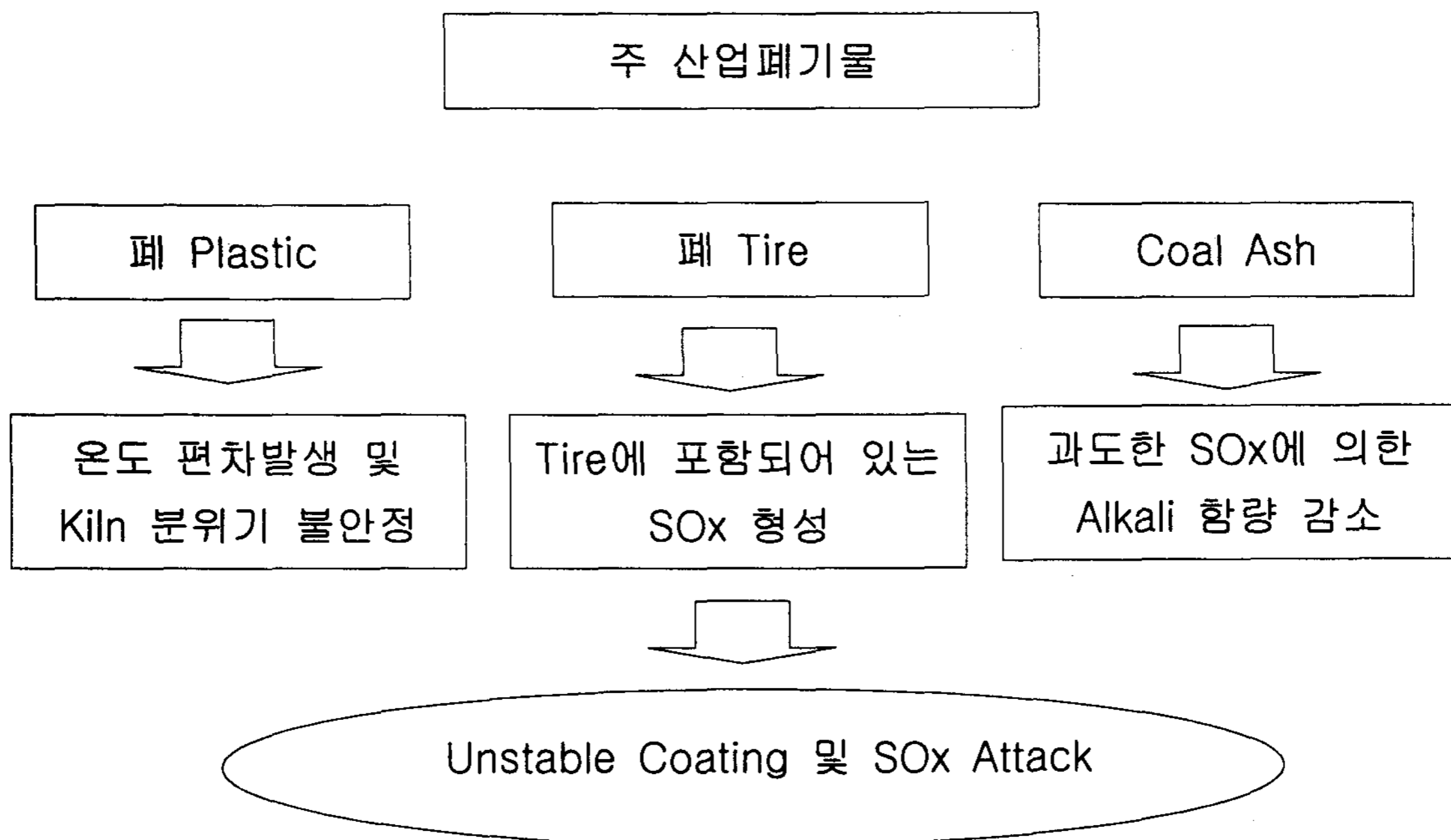
이를 개선하기 위해 적용부위별로 내화학반응성이 우수한 SiC 원재료를 적정하게 사용하여 적용실시한 결과 기존 적용벽돌 대비 우수한 내Alkali성 발현으로 사용수명 향상 및 조업 안정화에 크게 기여하고 있다. 예로 가소대용으로는 SiC 7% Grade의 재질 개발하여 적용결과 기존 Chmotte질 대비 사용수명이 대폭 향상되었다.

본 연구에서는 전이대 부근용으로 기존에 High-Alumin질 및 Spinel질 내화물을 주로 사용 중이었지만 Alkali 반응에 따른 박락발생 과다 및 두께 증가로 사용수명이 대폭 하락이 되고 있어 이를 개선하고자 내Alkali성 및 내Spalling성을 대폭 향상시킨 SiC 10% Grade 재질을 개발, 개발내역에 대해 보고드리고자 합니다.

## 2. Kiln 내화물 수명 결정인자



## 3. 산업폐기물이 내화물에 미치는 영향



## 4. Rotary Kiln 부위별 요구특성 및 적용내화물

### 4.1 부위별 요구특성

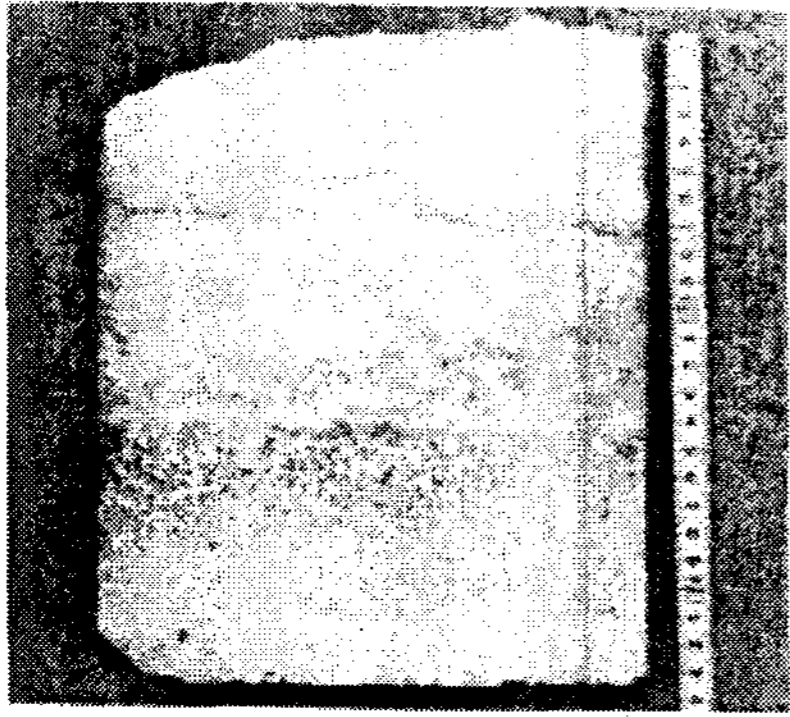
부위	요구특성
Calcining Zone	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 온도변화에 따른 열적 Spalling</li> <li>◆ Alkali 및 Sulfur 에 대한 반응성</li> </ul>
Transition Zone	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Clinker 충격에 의한 마모</li> <li>◆ 고온 Alkali 및 Sulfur 에 대한 반응성</li> <li>◆ Tire부의 기계적응력에대한 손상</li> <li>◆ Coating 탈,부착에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

### 4.2 부위별 적용내화물

부위	사용내화물	비 고
	정형	
Calcining Zone	CH-1, CRK-7S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -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 <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiC질 적용중

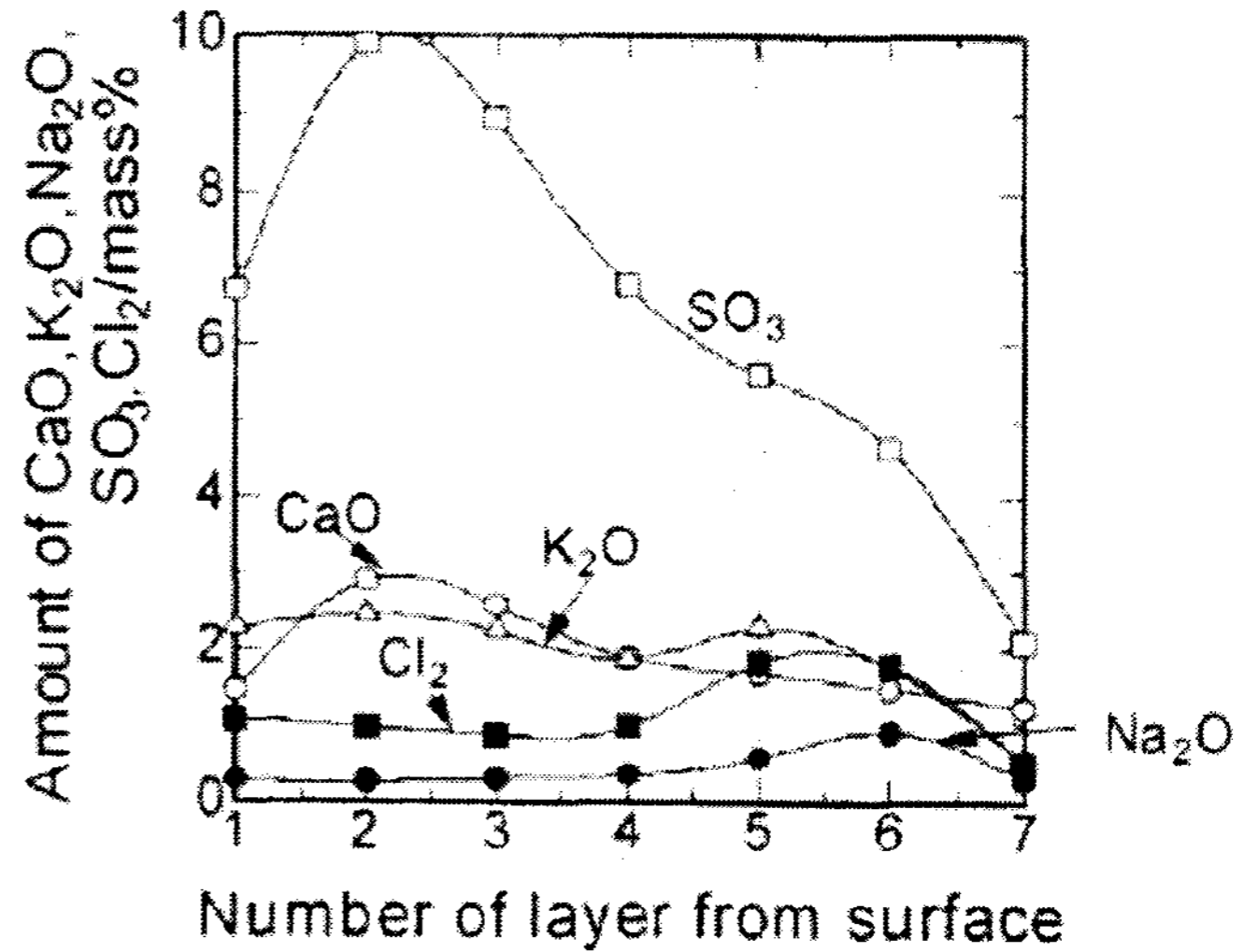
## 5. 전이대용 내화물 손상요인

### 5.1 벽돌 사용후품 분석



- ▶ 벽돌 내부에 변질층 생성 Shell 부위 까지 침투
- ▶ 내부 60~70mm, 120mm 부위에 Crack 발생 확인, 향후 지속 사용시 박락발생 가능 부위임
- ▶ Alkali 및 Sulfur 성분 다량 침투

### 5.2 부위별 분석시험 결과



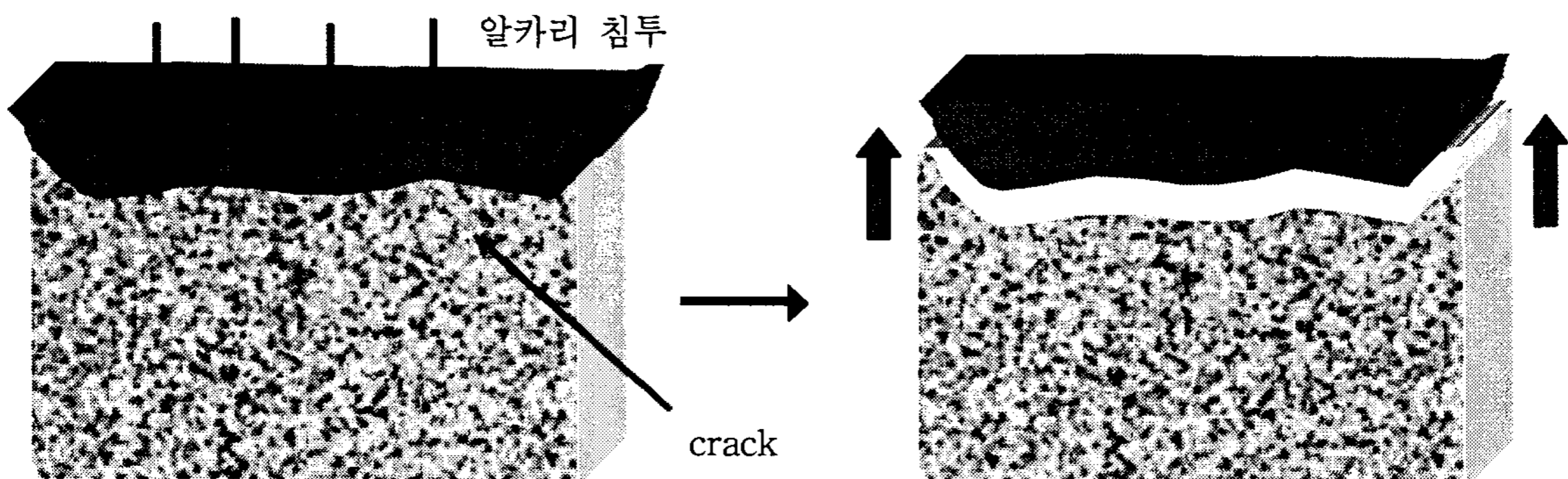
### 5.3 분석시험 결과

- ▶ 120mm 부위까지 Alkali 성분 및 Sulfur 성분 다량침투 확인
- ▶ 절단면 확인결과 내부 70mm, 120mm 부위에 Crack 발생
- ※ 분석결과 종합시 Alkali 및 Sulfur 반응 및 온도상승에 따른 구조적 Spalling 발생이 주요 손상요인으로 나타남

## 6. 개발시험 진행결과

### 6.1 개발 Back Ground

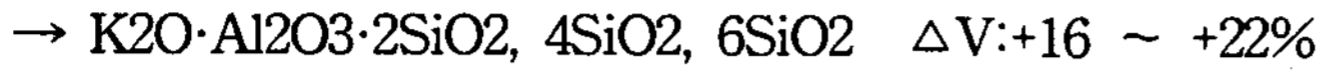
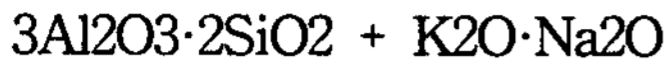
- ▶ High-Alumina질 벽돌



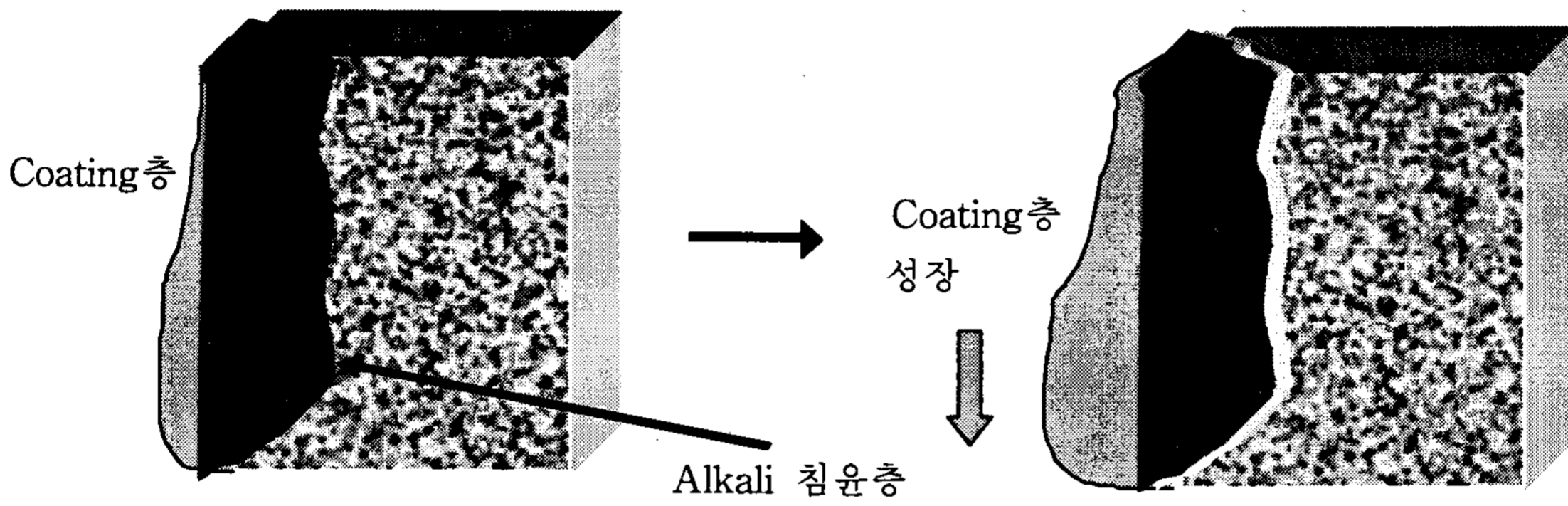
▣ 반응층 : 체적팽창 (경계부 Crack)

▣ 반응층부위 : 박락( 30~40mm)

※ 반응 Mechanism

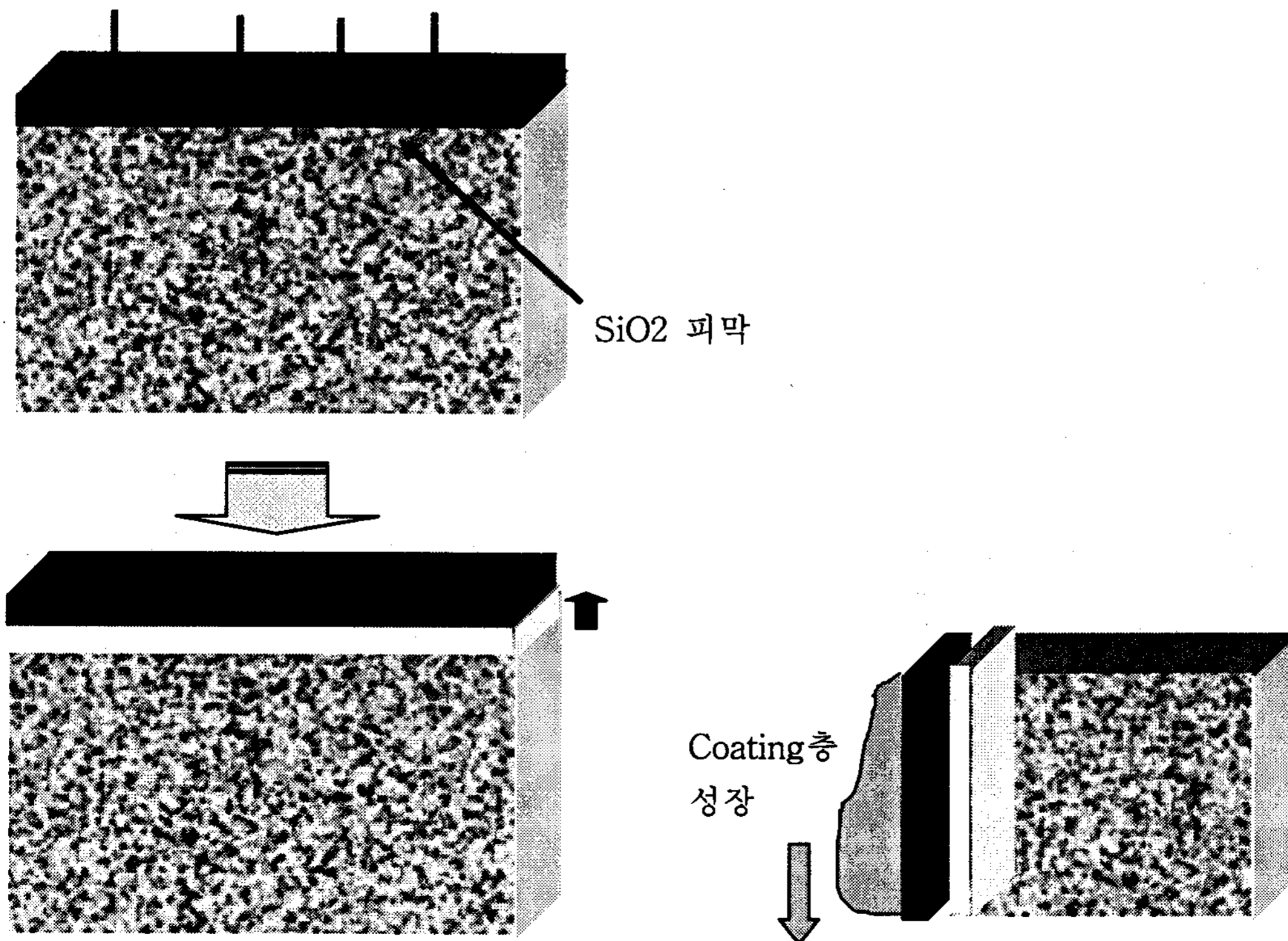


▶ 염기성 벽돌



※ Alkali 성분 벽돌 내부 침투 및 벽돌 표면 Coating 두께 과다 생성  
 ⇒ 침윤층 + Coating층 동반탈락

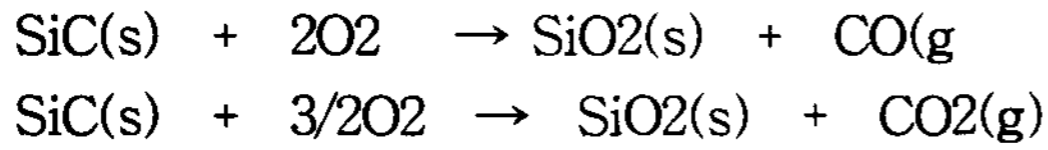
▶ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiC질 벽돌



▣ 표면부 얇은 피막 형성 → Alkali성분 침투 저지



※ 반응 Mechanism



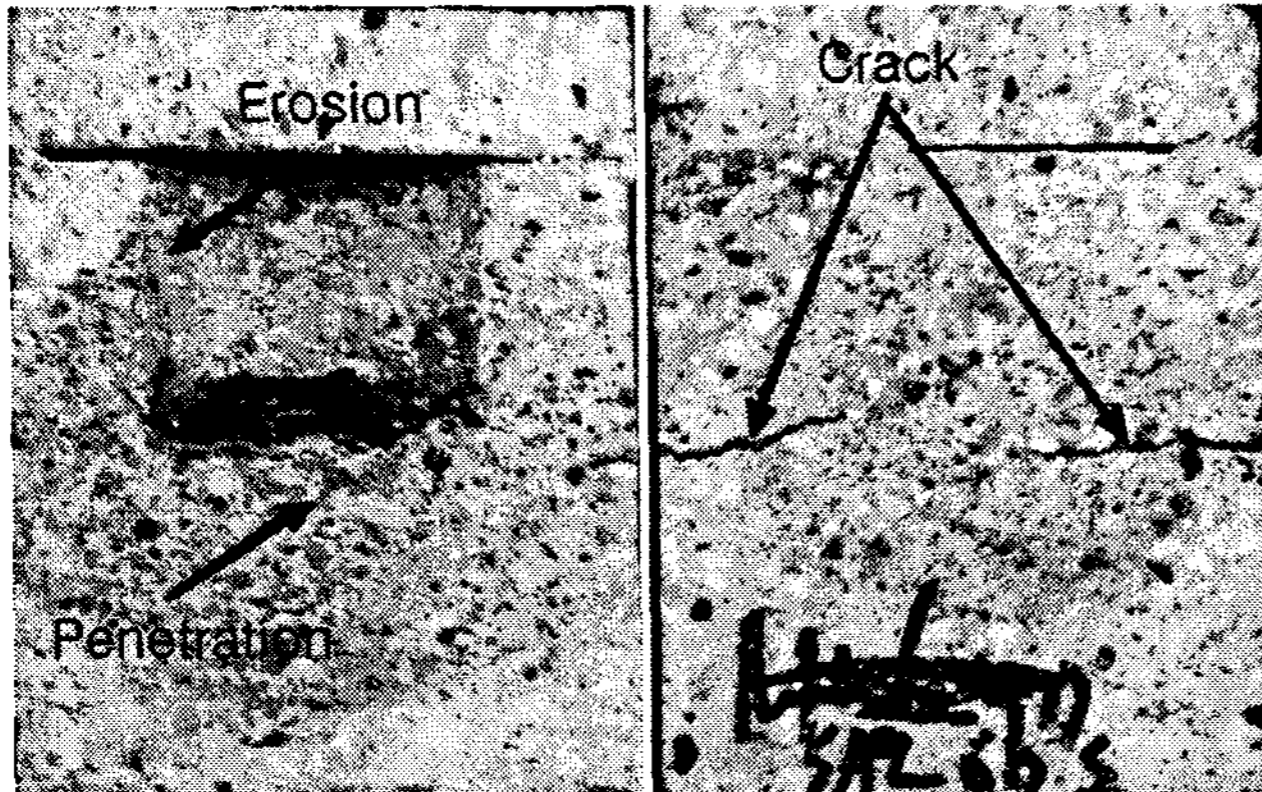
※ 박리 단계 (Non-Coating)

- 1단계) 표면부 SiC 산화로 벽돌 표면에 유리질 형성
- 2단계) Alkali 성분 침투 방지
- 3단계) 반응생성물이 다공질의 재질화로 생성물 강도 약화 (반응부 조직 Poros화) 및 Coating층 성장
- 4단계) 표면 박리

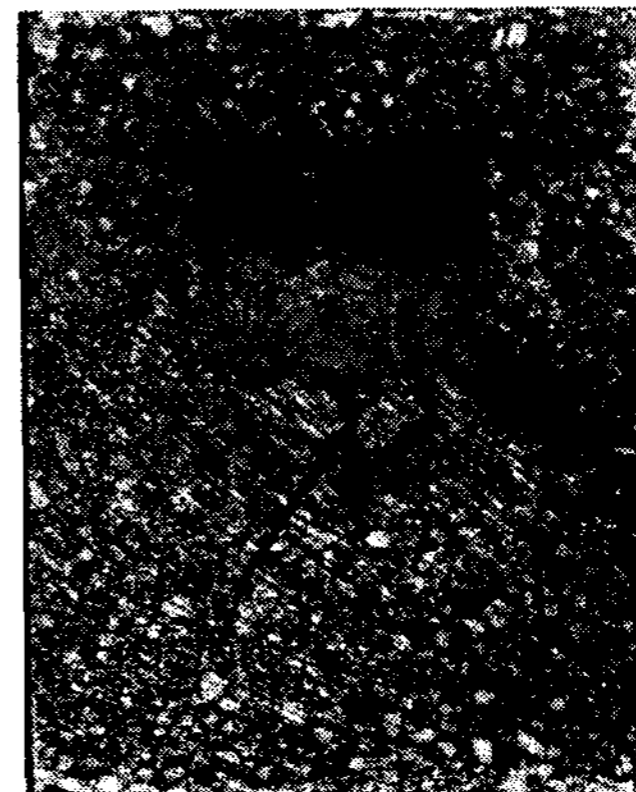
## 6.2 개발시험 결과

### 6.2.1 Alkali Resistance

- ▶ 시험조건 : 1350°C×5Hrs, Cup Test
- ▶ 침식제P.C : K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 20 : 50 : 30
- ▶ 시험결과



- < 기존품 : High-Alumina질 >
- 침윤층 과다 및 일부 약간 침식
  - 내, 외부 중크랙 발생

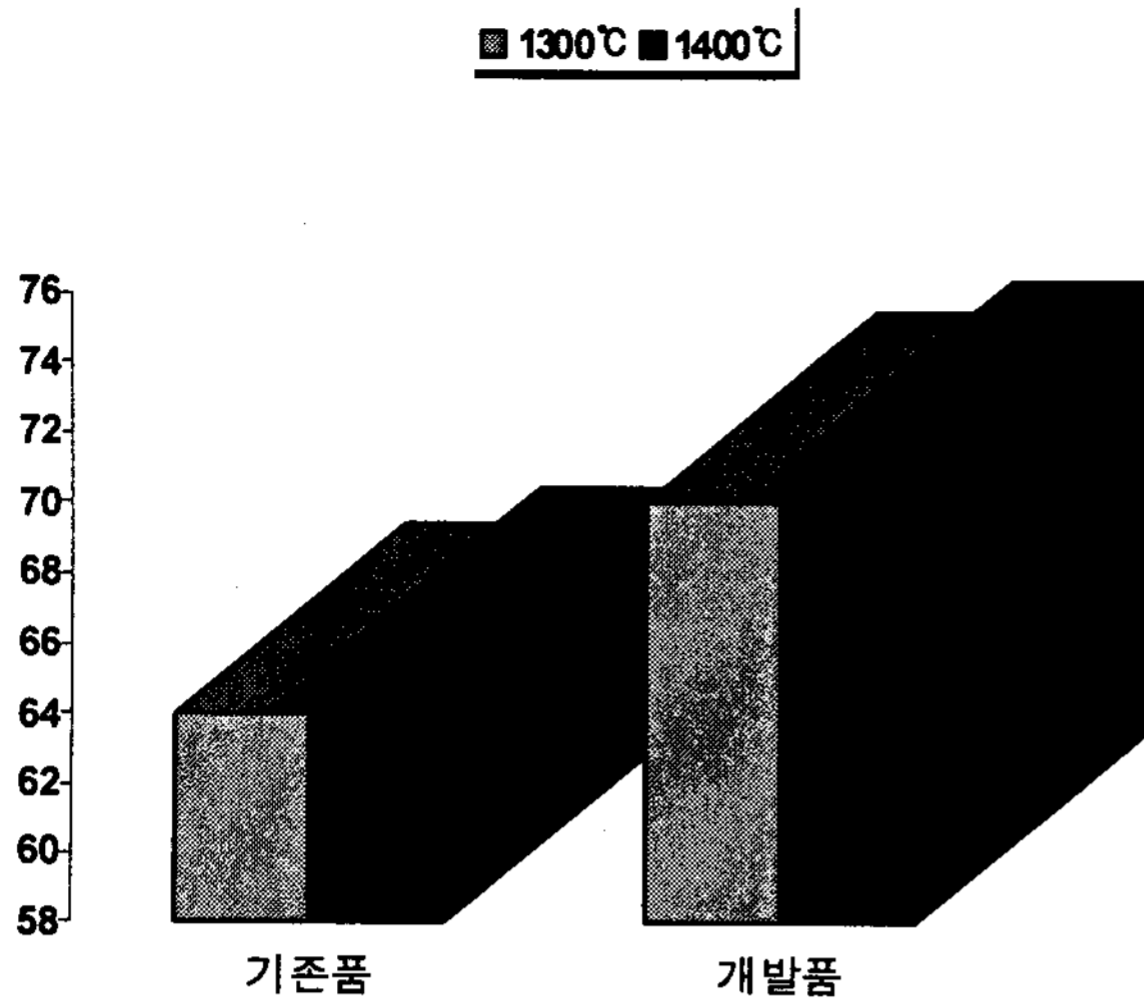


- < 개발품 : CRK-10S >
- 표면 약간 침윤 및 침식
  - Crack 미발생

### 6.2.2 Hot Modulus of Rupture

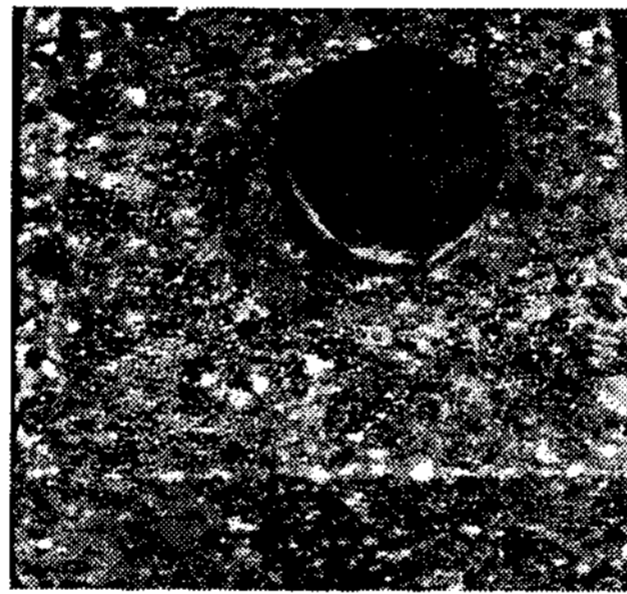
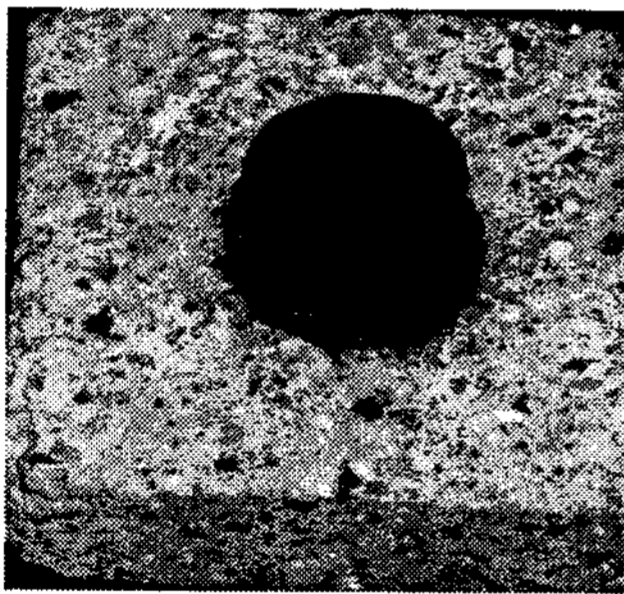
- ▶ 시험조건 : 1300°C, 1400°C
- ▶ 시험결과

※ 일반적으로 열간에서의 내마모성은 열간강도와 비례하는 것으로서 개발품이 우수한 내마모성 발현 판단됨



### 6.2.3 Coating Test

- ▶ 시험조건 : P.C 이용 시편 제작 시험용 시편위에 부착 소성후 부착상태 Check, 1350°C× 3Hrs
- ▶ 시험용 시편 Size : 65\*65\*20mm
- ▶ 시험결과



※ 소성후 제거 용이성 Check 결과  
개발품이 쉽게 제거됨

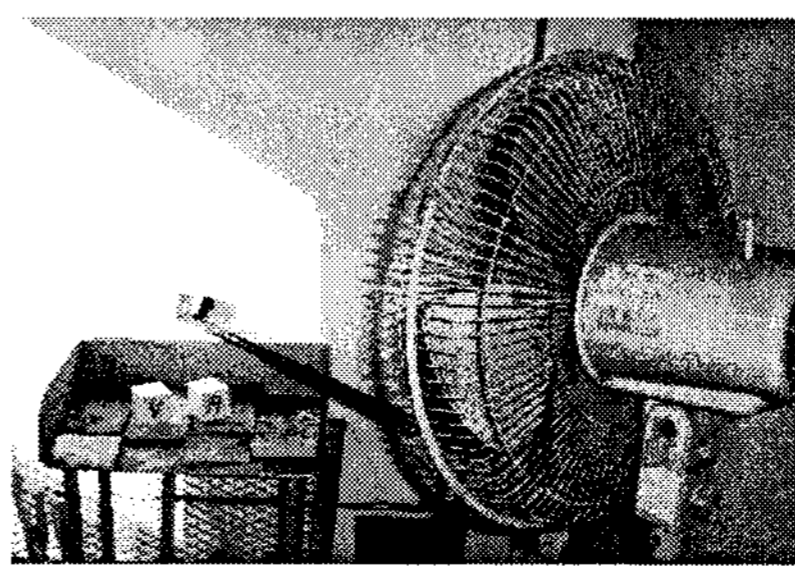
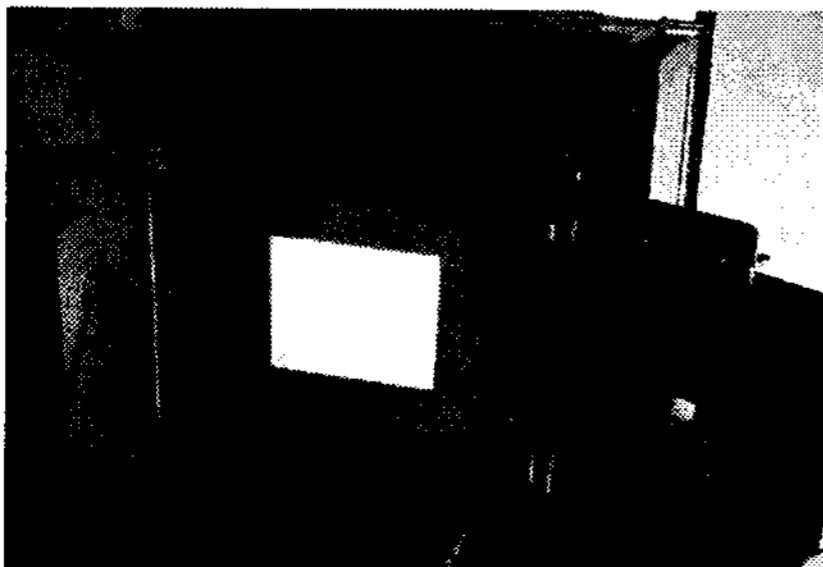
※ Non-Coating성은 SiC 첨가품이  
우수한 특성 발현 판단됨

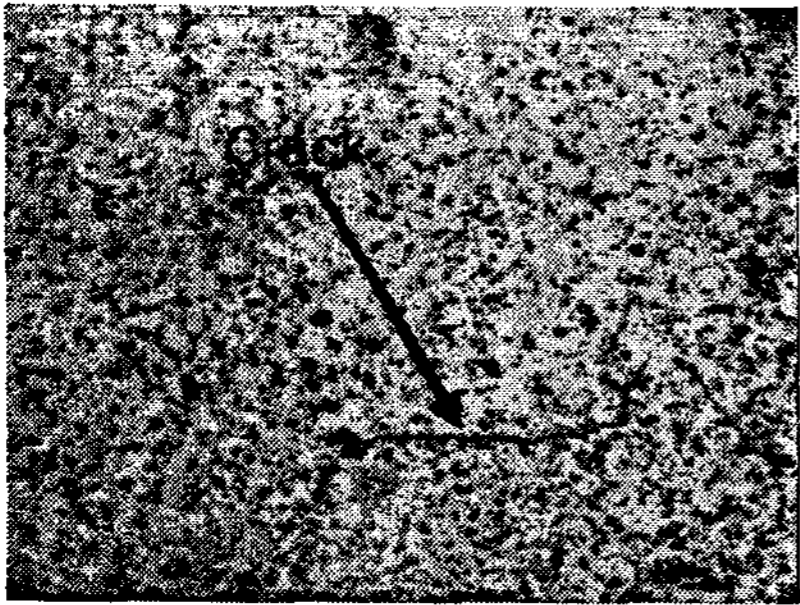
< 기존품 : Hi-Al질 >

< 개발품:CRK-10S >

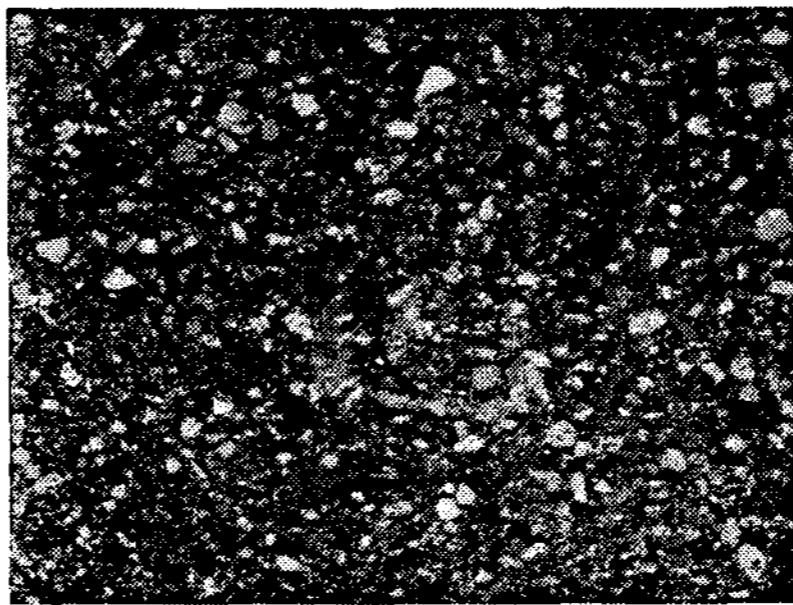
### 6.2.4 Thermal Shock Resistance

- ▶ 시험조건 : 1300°C×30분×강제공냉 8회
- ▶ 시편 Size : 65\*65\*65mm
- ▶ 평가방법 : 최종상태, 공냉회수별 Crack 발생 개소 및 강도저하율
- ▶ 시험결과

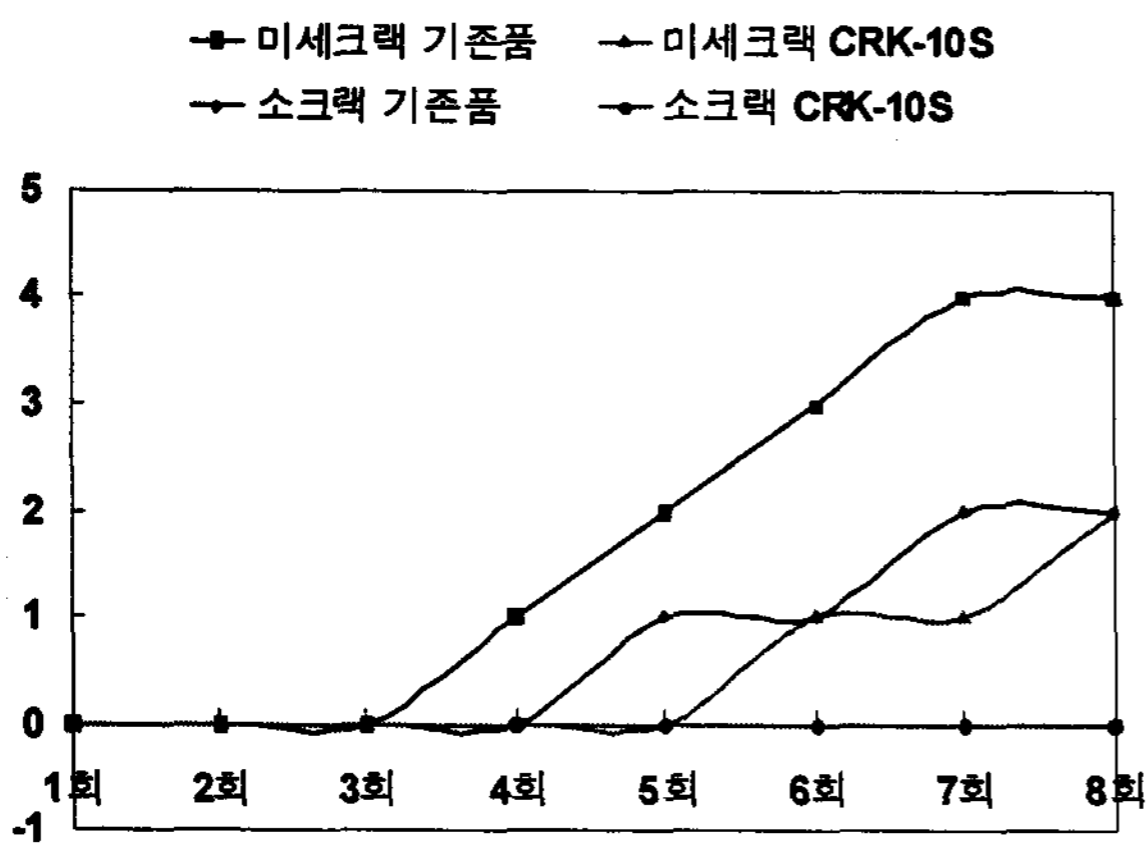




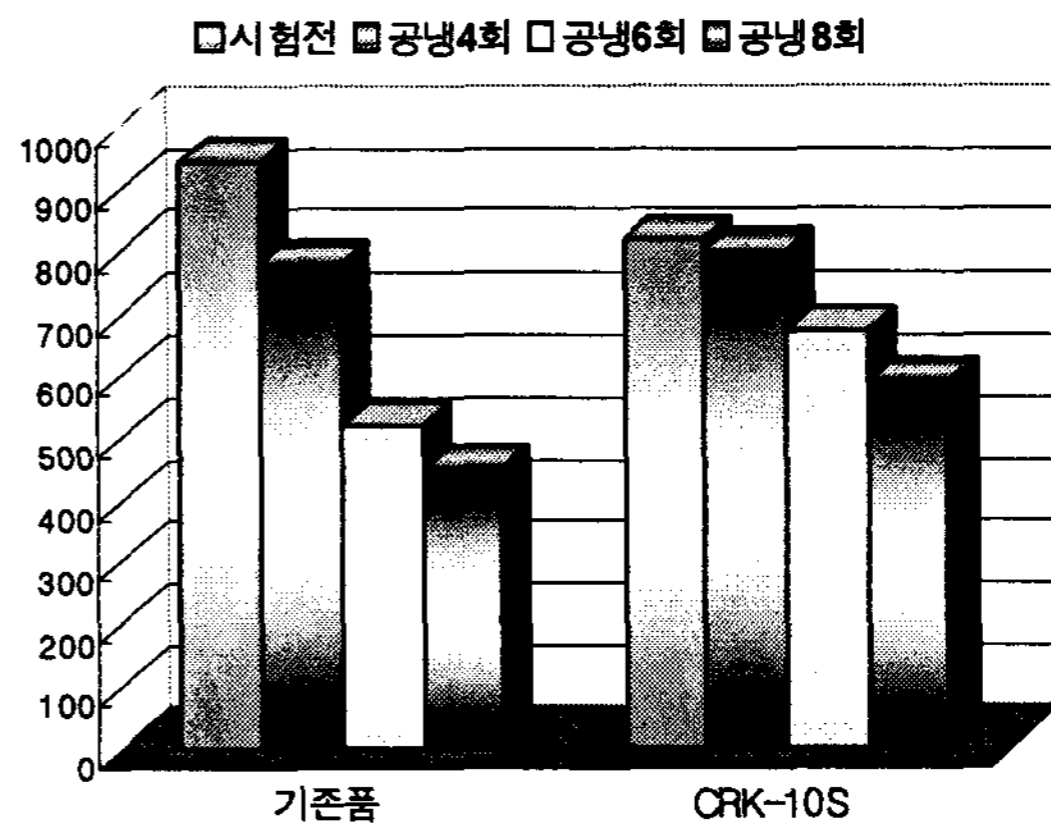
< 기존품 : Hi-Al질 >



< 개발품:CRK-10S >



< 공냉회수별 Crack 발생개소 비교 >

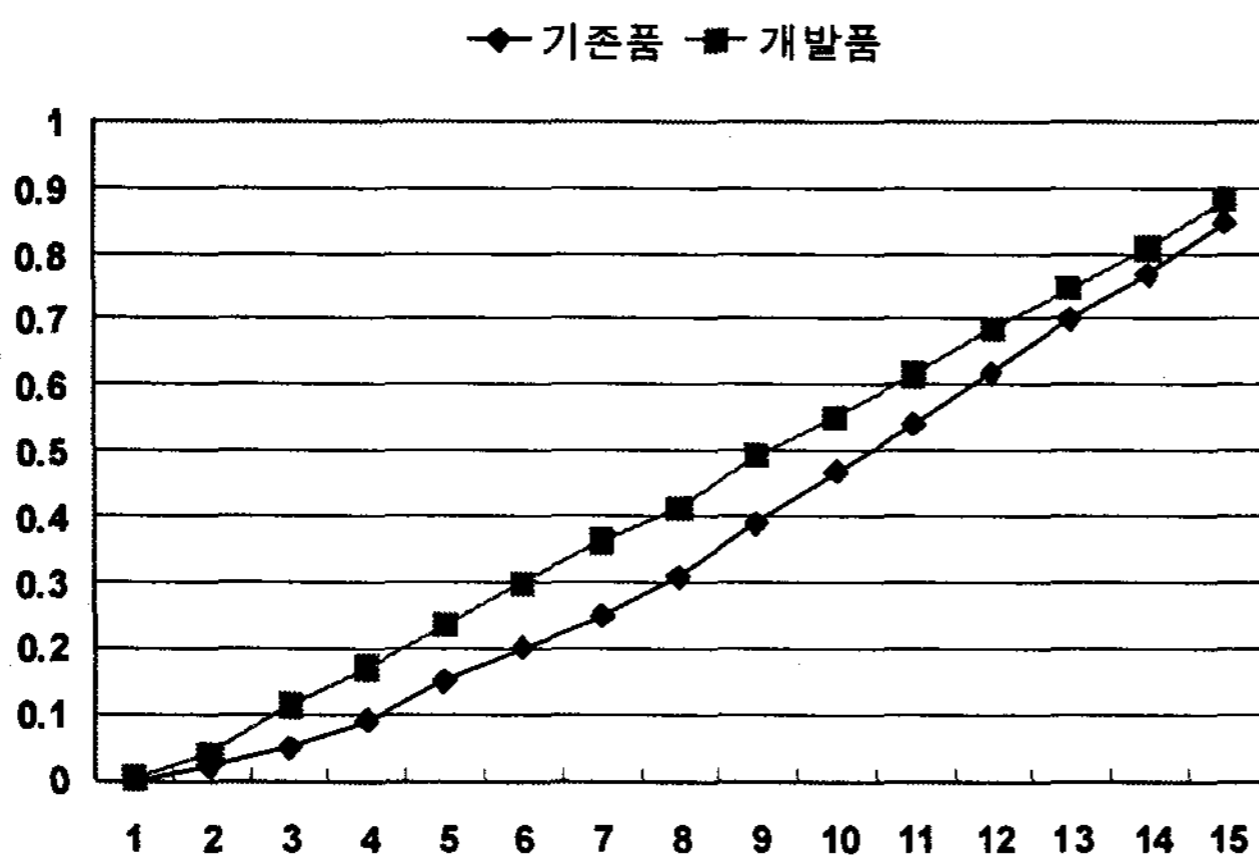


< 공냉회수별 강도저하율 >

※ 개발품은 반복 열충격후에도 미세크랙만 발생하였고 강도저하율 폭이 적어 기존품 대비 매우 우수한 내 Spalling성 나타냄

### 6.2.5 Thermal Expansion

- ▶ 시험조건 : 1400℃
- ▶ 시험결과





## 7. 개발시험 결과 종합고찰

		기존품 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 60% Grade)	개발품 (CRK-10S)
일반 물성	부피비중	2.54	2.61
	기공율 (%)	16.0	14.5
	압축강도 (Kg/Cm <sup>2</sup> )	950	820
화학 성분 (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	61.3	57
	SiC	-	10.5
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.96	0.85
잔존선변화율 (%)	1350℃×2Hrs	+0.09	+0.17
	1500℃×2Hrs	+0.24	+0.90
특수 시험	내Alkali성	미흡	우수
	열간강도	양호	우수
	내Spalling성	보통	우수
	Coating 제거성	보통	용이

## 8. 결 론

Cement Rotary Kiln은 가소대, 전이대, 소성대, 냉각대로 구분되어져 있다. 기존 적용내화물의 경우 산업폐기물 소각 이전에는 안정적으로 사용중이었으나 최근 시멘트 원단위 및 원단가 절감을 목적으로 산업폐기물 소각량 급격히 증가함에 따라 내화물 침식 가속화에 따른 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.

본 연구에서는 전이대 부근용으로 적용중인 High-Alumina질 내화물 대비 내Alkali성, 내Spallin성 및 Non-Coating성을 대폭 향상시킨 SiC 10% Grade의 재질을 개발 현재 일부공장에 적용중에 있으며 향후 사용후 상태 지속 Check후 확대적용 추진 예정이다. 최근 대비 산업폐기물 소각량 증가시 내화물 손상특성을 고려하여 현재 Rotary Kiln에 적용중인 내화물 사용상태 점검 지속화, 손상 Mechanism 재 규명 및 지속적 제품 개발로 시멘트공장 설비 부위별 수명향상에 따른 안정조업에 기여하고자 한다.