

# Cement Rotary Kiln Cooler부위용 고강도 Castable

윤병로 · 이봉준 · 한진권 · 이호준 · 배준일\*

<(주)왕표 기술연구소>

오 기 동

<부산대학교 무기재료과>

## 1. 서 론

최근 시멘트 공업 분야에서의 제조설비는 로타리 킬른의 대형화에 따른 고능률·고성능화가 이루어졌으며 로타리 킬른에 수반되는 조업조건이 가혹해짐에 따라 더욱더 고품위의 내화물이 요구되어지고 있다.

당사에서는 급증하는 고급 내화물의 수요에 대응하기 위해, 최근 외국과의 활발한 기술교류 및 개발연구를 통해 시멘트 로타리 킬른 cooler 부위의 사용조건에 적합한 저시멘트·저혼수량의 치밀질 고강도 캐스터블을 개발하여 그 특성을 보고하고자 한다.

## 2. 본 론

시멘트 로타리 킬른의 각 부위별 사용조건 및 내화물의 손상요인을 Table 1에 표시하였다.

일반적으로 cooler 부위는 구조적·열적 스프링이나 알칼리 침식 등이 내화물의 주요 손상요인으로 작용되었고 이제까지는 주로 고알루미나질 벽돌 등을 사용해왔다. 그러나 최근에는 진동성형에 의한 치밀조직의 고강도 캐스터블이 개발됨으로써 부정형 내화물의 시공이 점차 늘어나는 추세에 있다.

당사에서 개발한 고강도 캐스터블은 극미분의 해교·응교기술 혹은 분산·응집기술에 의해 혼수량의 대폭적인 저하, 충전밀도의 현저한 향

상을 이루었다. 따라서 이제까지 일반적이었던 알루미나 시멘트를 결합재료한 캐스터블이 갖고 있는 2가지 큰 결점 즉 많은 혼수량에 의한 충전밀도의 저하 및 알루미나 시멘트 중의 CaO 성분에 의해 생기는 물성저하를 극복할 수 있게 되었다. 당사에서 개발한 고강도 캐스터블의 특성을 Table 2에 표시했다.

### 2-1 시험 결과 및 고찰

시험을 위해서 당사에서 개발한 저시멘트의 고강도 캐스터블과 국내 「A社」의 상응품 및 외국의 고강도 캐스터블을 출발시편으로 하였으며 아울러 Alumina 함량이 비슷한 고알루미나질의 일반 캐스터블을 비교하였다.

#### 2-1-1 화학 분석

각각의 시료에 대한 화학분석치를 다음 Table 3에 표시하였다.

#### 2-1-2 물리적 성질

각 시료에 대해서 KS L 3503에 의거 160×40×40(mm)의 크기로 시편을 만들어 각각의 기계적강도 및 주요한 물성을 Table 4 및 Fig. 1~3에 표시하였다.

#### 2-1-3 X-선회절 분석

분말 X-선회절 방법으로  $CuK\alpha$ 선에 Ni filter를 사용하여 1°/min 속도로 측정된 각 시료의 X-선회절도를 Fig. 4에 나타내었다.

Table 1.

Position		Temperature	Chemical change of raw material	Main factor of referactories damage
Preheater		300 ~ 1,100°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preheating</li> <li>• Partial decarbonization</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrasion by raw material</li> <li>2. Erosion by alkali salt</li> <li>3. Thermal and mechanical damage by scraping off coating</li> </ol>
Rotary kiln	Calcining zone 10 D <	950 ~ 1,250°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decarbonization</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erosion by alkali salt</li> <li>2. Mechanical stress at type or gear zone</li> </ol>
	Transition zone 4 ~ 10 D	1,200 ~ 1,500°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generation of calcium aluminate and calcium ferrite</li> <li>• Volatalization of an alkali</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Temperature and atmosphere change due to unstable coating</li> <li>2. Shock and abrasion by ring mass of coating</li> <li>3. Erosion by alkali salt</li> <li>4. Mechanical stress at tyre zone</li> </ol>
	Center of burning zone 1 ~ 4 D	1,450 ~ 1,750°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generation of alite and belite</li> <li>• Generation of 15 ~ 25 % liquid phase</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erosion by clinker</li> <li>2. Erosion by alkali salt</li> <li>3. Temperature and atmosphere change due to unstable coating</li> <li>4. Mechanical stress at tyre zone</li> </ol>
	Cooling zone 0 ~ 1 D	1,300 ~ 1,500°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coagulation of clinker</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Temperature change due to unstable coating and secondary air disturbance</li> <li>2. Abrasion by clinker</li> <li>3. Mechanical stress due to shell deformation and movement of T shape irons</li> </ol>
Hood, Cooler		250 ~ 1,450°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quenching of clinker</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrasion by clinker and dust</li> <li>2. Temperature change</li> <li>3. Erosion by alkali salt</li> </ol>

## 2-1-4 반사현미경 조직 관찰

각 시편을 1,500°C에서 3시간 전기로에서 소성한 후 그 조직을 반사현미경으로 50배 확대하여 관찰하였다(Fig.5).

백색으로 나타나 있는 골재의 분포상태로 보아 당사의 고강도 캐스터블이 치밀한 조직을

가지고 있음을 알 수 있다.

## 2-1-5 알칼리 침식 시험

시편의 크기는 폭 80φ, 높이 80mm인 원통형에 30φ×30mm의 구멍을 가질 수 있도록 몰드에 캐스팅하여 110°C에서 24시간 건조한 뒤 가열, 침식시험을 실시하였다.

## Properties of high strength castable.

Table 2.

I. 저 Cement	1. 저 기공율
II. 특수 Binder	2. 저 수축율
III. 저 혼련수분	3. 고강도 : 중간온도(800~1,000℃)에서의 강도저하 현상이 보이지 않는다.
	4. 고 내마모성
	5. 고 내식성 - 용융 Slag 및 알칼리염
	6. 고 내열성 [ 고 내화성 고 Cleep성
	7. 고 Spalling 성
	8. 저 폭열성

## Chemical composition of castable samples

Table 3.

Sample	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ig. loss
고강도CT	3.22	95.14	0.54	0.06	tr	1.03
고강도CT (외국)	4.53	93.12	0.97	0.13	tr	1.13
종래품	2.39	93.68	1.80	0.17	0.02	1.93
Hi-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CT	0.80	92.43	3.24	0.64	0.03	2.32

## Physical properties of samples at several temperature

Table 4.

Properties		Brand	고강도 CT	고강도 CT (외국)	상응종래품	Hi-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CT
Max. service temp. (°C)			1,800	1,800	1,800	1,800
Bulk density	110°C × 24 hrs		3.10	3.10	2.99	2.90
	1,000°C × 3 hrs		3.05	3.06	2.96	2.84
	1,350°C × 3 hrs		3.00	3.04	2.93	2.84
	1,500°C × 3 hrs		3.00	3.01	2.91	2.83
Cold crushing strength (Bending strength) (kg/cm <sup>2</sup> )	110°C × 24 hrs		699 (178)	708 (185)	663 (133)	600 (95)
	1,000°C × 3 hrs		1,318 (260)	901 (200)	799 (224)	301 (51)
	1,350°C × 3 hrs		1,523 (319)	1,403 (301)	1,293 (272)	608 (99)
	1,500°C × 3 hrs		1,803 (351)	1,508 (325)	1,341 (283)	640 (110)
Permanent linear change (%)	110°C × 24 hrs		0	0	0	0
	1,000°C × 3 hrs		-0.03	-0.08	-0.07	-0.10
	1,350°C × 3 hrs		0.09	-0.12	-0.14	-0.19
	1,500°C × 3 hrs		0.10	-0.23	-0.22	-0.28
Apparent porosity(%)	100°C × 24 hrs		13.13	14.14	17.00	19.08
	1,000°C × 3 hrs		14.28	15.12	17.69	23.85
	1,350°C × 3 hrs		15.20	15.49	20.35	24.01
	1,500°C × 3 hrs		15.21	16.48	21.03	24.84
Water required for casting(%)			4.0	4.0	5.0	7.0

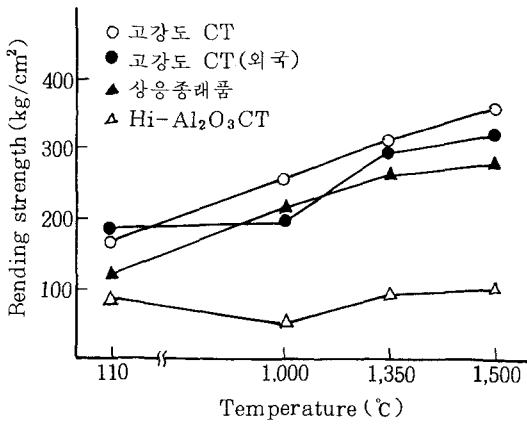


Fig. 1. Bending strength of samples heated at various temperature.

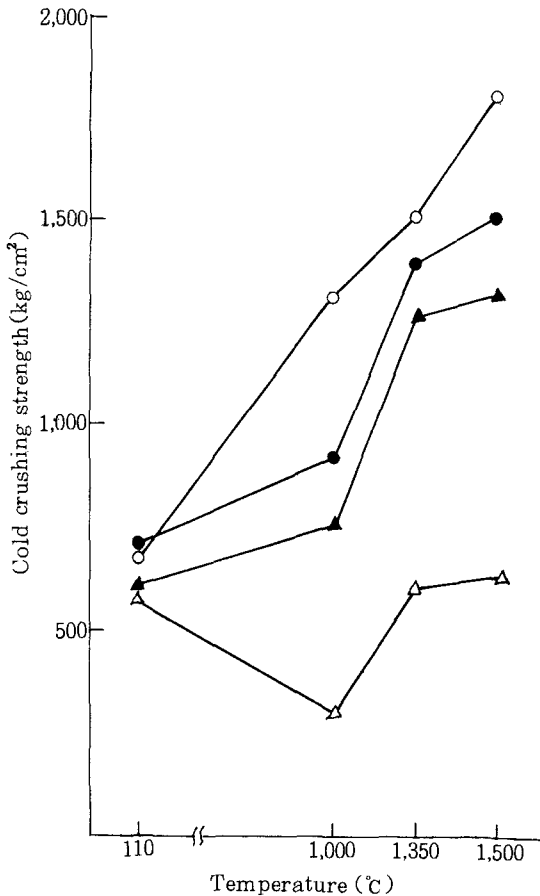


Fig. 2. Cold crushing strength of samples heated at various temperature.

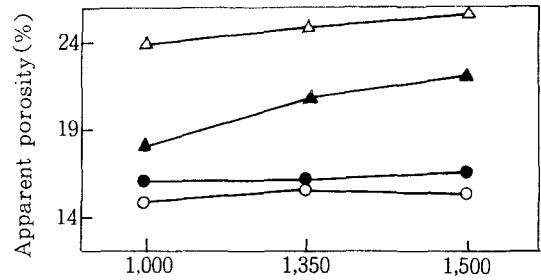
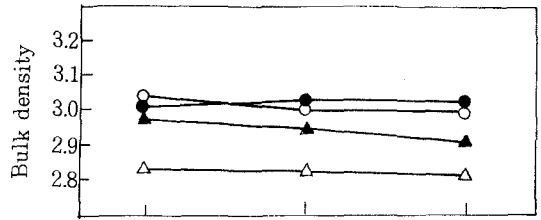
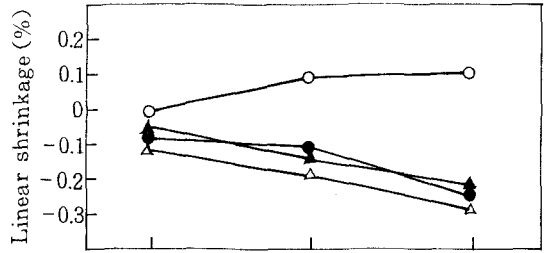


Fig. 3. Shrinkage, Bulk density and apparent porosity of specimens fired at several temperature.

침식 시험에 사용된 침식제는 Table 5와 같다. 시편을 Fig. 6에서 보는 바와 같이 시험 전기로에 set 하고 Fig. 7의 가열곡선에 따라 20회 반복하였다.

시편의 중앙 부분을 절단하고 침식제의 침투 깊이와 균열의 발생 유무에 대해 조사한 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

위의 그림에서와 같이 고강도 상응품이나 일반 고알루미나질 캐스터블에 있어서는 알칼리 침식면이 넓게 나타나 있으며 알칼리와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 반응에 의한 구조적 스폴링의 흔적인 균열 층이 보이고 있다. 또한 당사의 고강도 캐스터

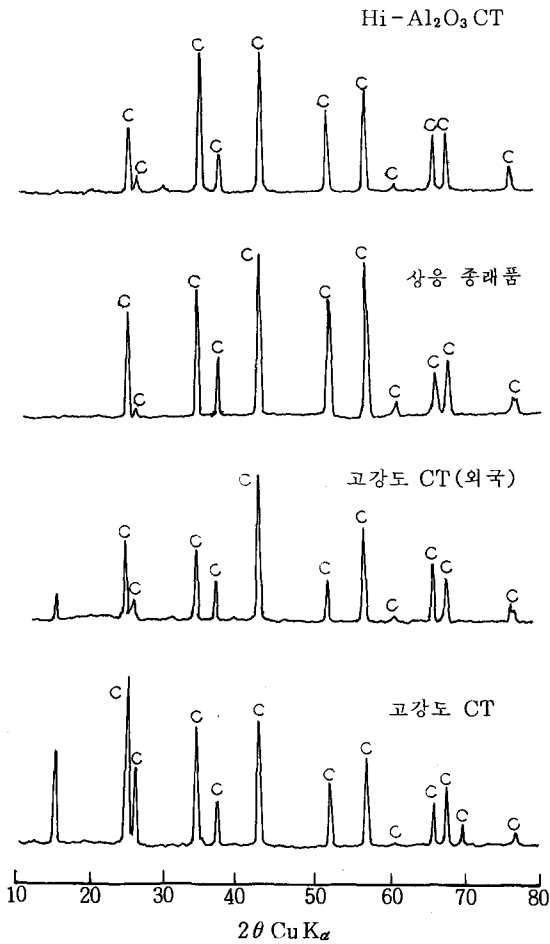
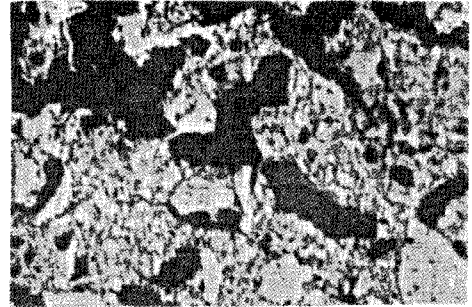


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of specimens at 110°C for 24h.

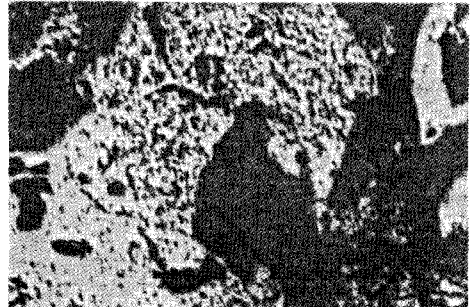
블과 외국의 고강도 캐스터블을 비교해 볼 때 침식의 정도는 비슷하지만 반응변질층은 외국의 고강도 캐스터블이 훨씬 넓게 분포되어 있음을 알 수 있다.

#### 2-1-6 스펀링 시험

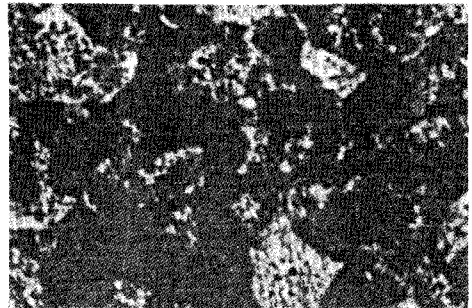
시편의 크기는 160×65×65 mm의 크기로 하고 110°C에서 24시간 건조시킨 후 전기로의 1,200°C에서 20분 유지한 후 가혹한 조건을 부여하기 위해 10분간 수냉한 뒤 5분간 공냉하는 방식으로 25회까지의 결과를 관찰해 보았다(Fig. 9).



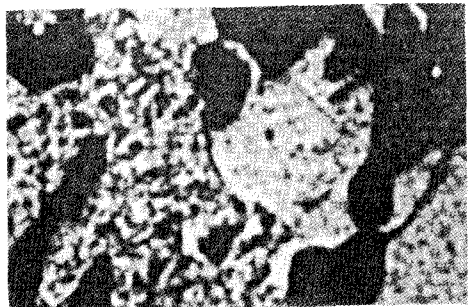
고강도 CT(×50)



고강도 CT(외국)(×50)



상용 종래품(×50)



Hi-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CT(×50)

Fig. 5 The view of microphotograph of specimens at 1500°C for 3h.

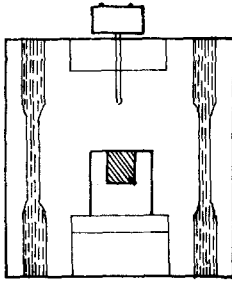


Fig. 6 Corrosion test furnace.

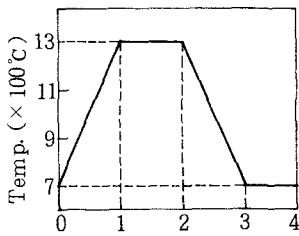


Fig. 7. Heating cycle (hr).

Chemical composition of flux used, for corrosion test.

Table 5.

Composition (%)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Portland cement
	50	50	2

### 3. 결 론

시멘트 로타리 킬른의 Cooler 부위용 고강도 캐스터블에 대해 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 당사의 고강도 캐스터블은 4%라는 적은 혼수량만으로도 우수한 유동성을 가지므로 진동성형 하여 치밀한 조직을 형성하며 일반 캐스터블이 취약한 강도를 보이기 시작하는 800 ~ 1,000 °C의 온도범위에서도 아주 높은 강도를 나타낸다.

② Cooler 용 내화물의 주요 손상요인으로 작용하는 알칼리 침식에 있어서도 조제한 알칼리 침식제로 비교시험한 결과 침식 및 침윤층의 상

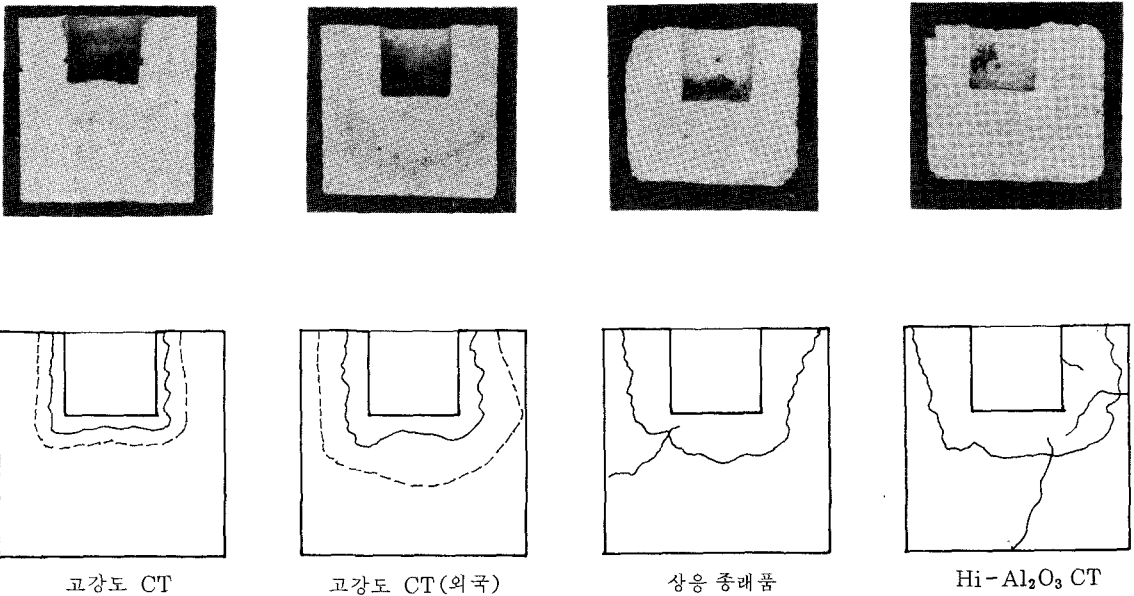


Fig. 8. Result of alkali corrosion test.

A: 시편 크기 ; 160×65×65

B: 시험 방법 ; 1,200℃ 수냉

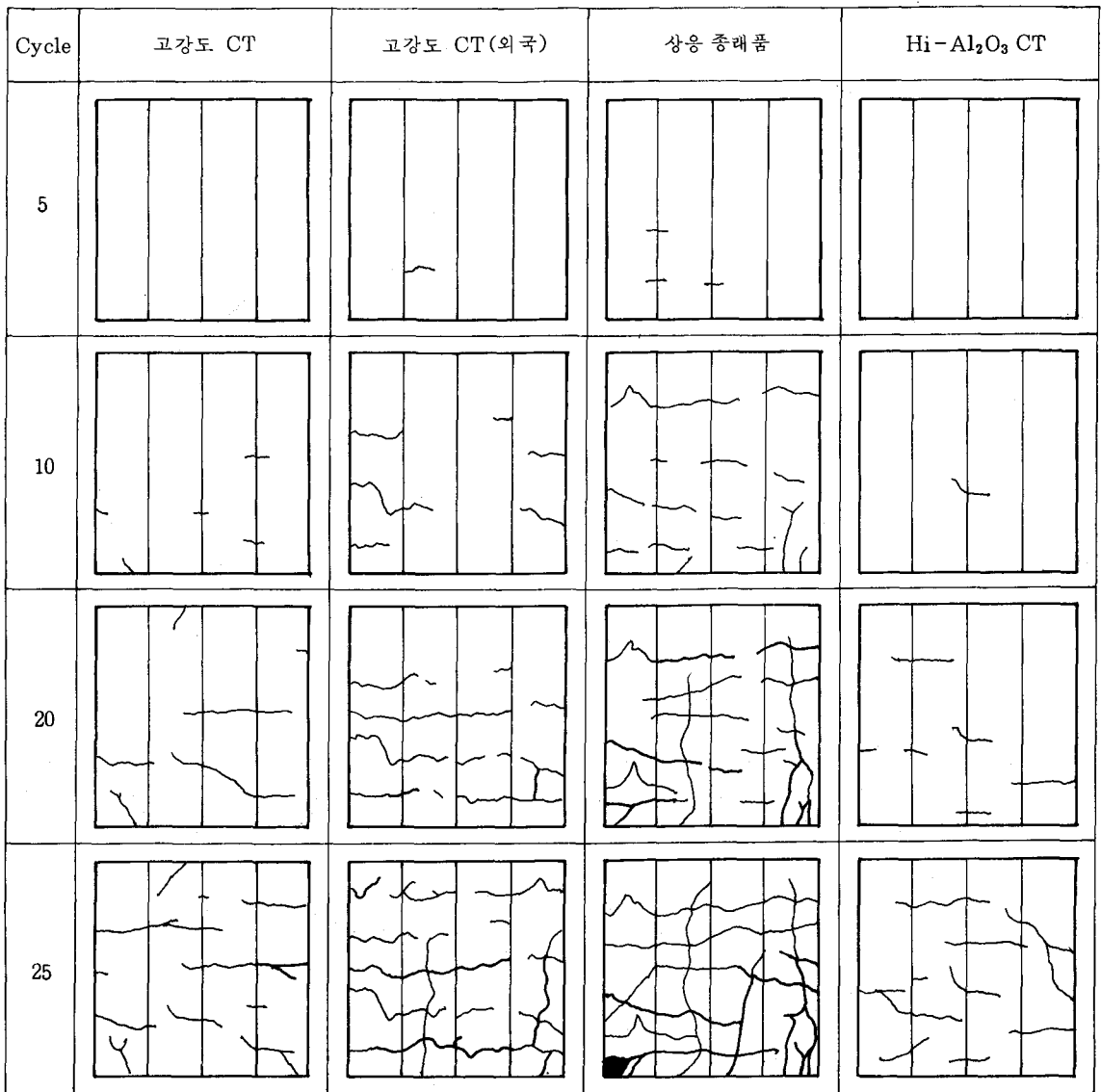


Fig. 9. The result of spalling test.

태가 양호함을 알 수 있다.

③ 스펠링 시험에 있어서도 각 시편에 대해 25회 실시한 결과 crack의 연결 정도가 다른 캐스터블에 비해 적었다.

이상의 시험결과를 보아 당사의 당사의 캐스터블을 시멘트 로타리 킬른의 Cooler 부위에 사용하여 수명향상에 기여할 수 있을 것으로 보인다.