

Burner용 Vibration - free Castable

양삼열 · 강해성 *

(조선내화(주) 기술연구소)

2. Burner용 Castable의 요구특성

1. 서 론

시멘트공장에 사용하는 부정형내화물중 castable 은 연외에 비해 축로의 간편, 보수시간단축 등의 잇점이 있어 일반적으로 사용되고 있으며 품질면에서 low cement화 및 저수분 치밀질화로 고강도 castable을 적용, 상당한 발전을 이루었지만 시공 기술면에서는 적정 첨가수분의 관리 및 castable의 작업성을 향상시키기 위한 vibrator 사용으로 숙련된 기술이 요구되었다. 최근 castable 시공인력(숙련공)의 부족과 vibrator 사용 등 힘든 작업 기피현상으로 작업환경 개선 및 품질면에서 재료의 개선이 필요하게 되었다.

본 연구는 시멘트공장 main burner (blow pipe)에 사용하는 내화물의 개선실험 결과로, castable의 시공두께는 약 60~70mm로 얇고 anchor가 촘촘히 설치되어 있어 기존 치밀질 castable을 시공시 vibrator를 사용하지 않고는 시공이 불가능하다. vibrator 사용시에도 시공두께가 얇아 시공체 내부까지 vibrator 삽입이 어려워 숙련된 기술이 필요하다. 따라서, castable의 유동성을 향상하기 위하여 재료의 적정 입도구성과 첨가된 극초미분을 분산시켜 vibration-free로도 시공이 가능토록 하였고, burner castable의 주손상요인은 alkali 침투로 인한 체적팽창과 표면박리이므로 alkali에 대해 non-wetting성 원료를 첨가하여 내 alkali특성을 향상시켰으며, 기존 burner용 castable과 개선품(vibration-free castable)을 비교 실험하였다.

2-1. 시공성

burner용 castable은 burner주위에 형틀을 설치하고 형틀벽면에 부착식 vibrator를 설치하여 혼련물을 삼이나 기타도구를 이용, 주입시키므로 치밀한 조직을 얻기 위해서는 양호한 시공성이 요구된다. Fig. 1은 기존 vibrating castable과 vibration free castable을 비교한 모식도로서 vibration-free castable은 시공시 유동성을 발현시키는 외력(vibrating)이 작용치 않아도 중력에 의한 유동성 발현과 혼련물의 내부기포가 제거되는 특성이 있다.

2-2. Alkali 저항성

시멘트 kiln 내부의 alkali gas의 순환으로 휘발성 alkali 산화물들은 내화물과 반응하여 alkali-alumino-silicate 광물을 형성함으로써 내화물의

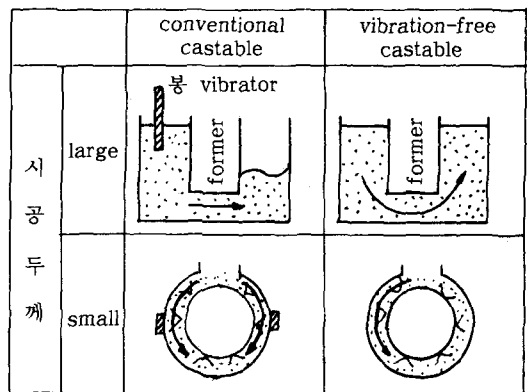


Fig. 1 Castable의 유동특성 비교

부피팽창과 표면박리, 저응물 형성의 원인이 된다.

Fig. 2는 내화물의 alkali 반응에 의한 손상기구를 나타내며 이러한 alkali 반응을 억제하기 위해서는 alkali에 대해 non-wetting성 원료사용과 저기공치 밀화로 alkali성분의 침투를 막아야 한다.

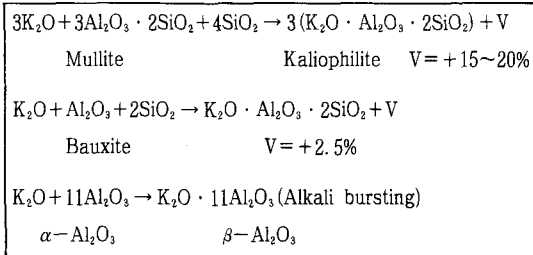


Fig. 2 Alkali 손상기구.

3. 유동특성 고찰

Castable의 유동특성에 영향을 미치는 인자로 구성입자의 형상, 입도분포, 미분부의 초미분입자, 초미분입자의 분산효과로 분류할 수 있으며 Fig. 3은 vibration-free castable의 유동성 발현인자를 검토한 모식도이다.

Fig. 4, 5는 초미분 silica flour 및 극초미분 alumina의 첨가에 따른 유동특성을 검토한 결과이며, Fig. 6은 분산제 및 초미분에 따른 유동성 변화로서 초미분 alumina의 입형, 크기, 화학조성에

Table. 1 극초미분의 화학조성 및 입경

		alumina powder			silica flour	
		A	B	C	①	②
화학조성 (%)	Ig. loss				1.32	1.58
	SiO ₂	0.08	0.10	0.12	95.65	96.46
	Al ₂ O ₃	99.51	99.33	99.35	0.88	0.43
	Fe ₂ O ₃	0.05	0.06	0.07	1.51	0.22
	CaO	0.03	0.06	0.04	0.15	0.15
	MgO	0.04	0.05	0.05	0.43	0.64
	K ₂ O	0.02	0.03	-	0.95	0.27
	Na ₂ O	0.15	0.25	0.03	0.27	0.33
평균 입경 (μm)		3.5	4.9	2.5	0.23	0.15
pH		-	-	-	5.8	4.6
비	고	sintered	calcined	calcined	metallic-Si	부산물

따라 분산효과가 다르므로 적정 분산제의 선택이 중요함을 알 수 있다.

Table. 2 유동성 실험재료의 구성.

sintered alumina coarse	○
medium	○
fine	○
calcium aluminate cement	○
silica flour ①	○
alumina powder A~C	○
dispersion agent I ~ II + α~+β	

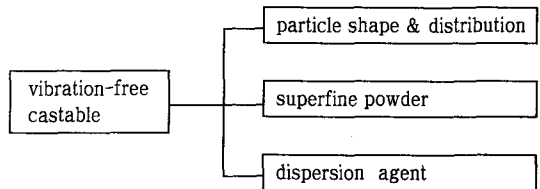


Fig. 3 Vibration-free castable의 유동성 발현 모식도.

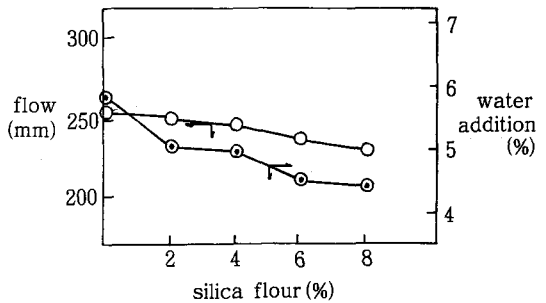


Fig. 4 Silica flour첨가량에 따른 수분 및 유동성 변화

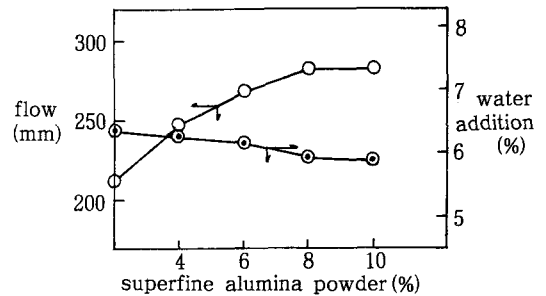


Fig. 5 Alumina powder 첨가량에 따른 수분 및 유동성 변화

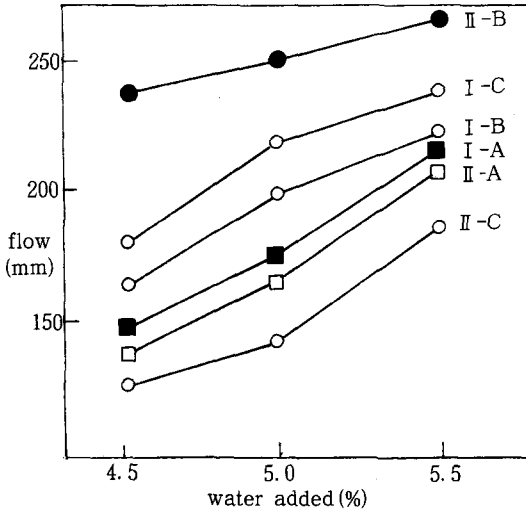


Fig. 6 분산제 및 초미분 alumina에 따른 유동성.

4. 특성실험

Vibration-free castable과 기존 burner용 castable의 특성을 비교하기 위하여 물성, 유동성, alkali 실험을 실시하여 특성을 비교하였다.

4-1. 물 성

Table. 3 기존품 및 개선품의 물성비교.

		conventional			improved
		A	B	C	
화학조성 (%)	Al ₂ O ₃	95.3	92.7	91.1	75.3
	SiO ₂	0.5	2.3	4.3	2.5
	SiC	-	-	-	20.0
첨가수분 (%)		8.2	4.5	4.2	5.0
선변화율 (%)	110°C	0	0	0	0
	1,000°C	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1
	1,400°C	-0.2	-0.5	-0.4	-0.3
압축강도 (kg/cm ²)	110°C	325	870	1100	625
	1,000°C	310	1050	1230	820
	1,400°C	435	1250	1370	880
기공율 (%)	110°C	15.35	9.83	8.75	10.54
	1,000°C	21.05	14.75	11.33	14.15
	1,400°C	22.21	15.25	14.67	14.58

4-2. 유동성 비교

1) 실험방법

기존품과 개선품의 유동성을 비교하기 위하여 flow table을 이용하여 free flow를 측정하였고, 유동성 test기를 이용하여 주입면과 유출면의 시간에 따른 높이차를 측정하여 self-flow특성을 실험하였다.

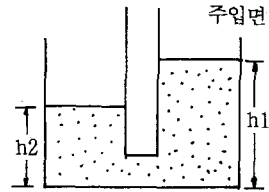


Fig. 7 유동성 실험기

2) 실험결과

유동성 실험결과는 Table. 4에 나타났으며 기존 품에 비해 free flow 및 self flow특성이 우수하게 나타나 개선품은 vibrator를 사용하지 않아도 시공이 가능한 수치를 얻었다.

Table. 4 기존품 및 개선품의 유동성 실험결과.

	conventional			improved
	A	B	C	
free flow (mm)	125	148	104	200<
self flow (10초후) (mm)	45	30	131	0

4-3. Spalling 실험

1) 실험방법

- 공시체 : 100(φ) × 150(L) 원통형
- 온도 : 1,000°C × 20분 keeping
↔ 공냉 (상온)
(5회 반복)

Table. 5 기존품 및 개선품의 spalling 실험결과

	Conventional			Improved
	A	B	C	
공냉5회 상태				

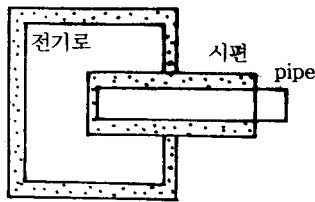


Fig. 8 spalling 시험방법

4-4. 열간강도실험

기존품 및 개선품의 각 온도별 열간곡강도 실험 결과는 Fig. 9와 같이 나타났는데 개선품은 온도상승에 따른 열간강도 변화폭이 적게 나타났으며 고강도이므로 열간내마모성도 양호할 것으로 판단된다.

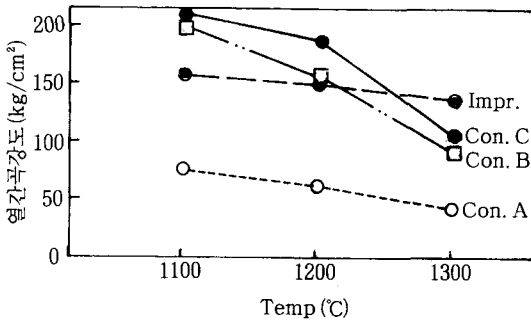


Fig. 9 각 온도별 열간곡강도 실험결과

4-5. Alkali 실험

각 시편의 alkali 저항성을 비교시험하기 위해 Fig. 10과 같이 건조된 도가니 시편에 Na₂CO₃, K₂CO₃, K₂SO₄를 적정 비율로 혼합하여 1,100°C, 1,200°C에서 3시간 가열 후, 외관 및 절단면을 관찰하였다.

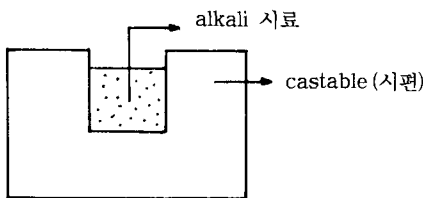


Fig. 10 alkali 침식실험 공시체

5. 실험결과

5-1. 유동성

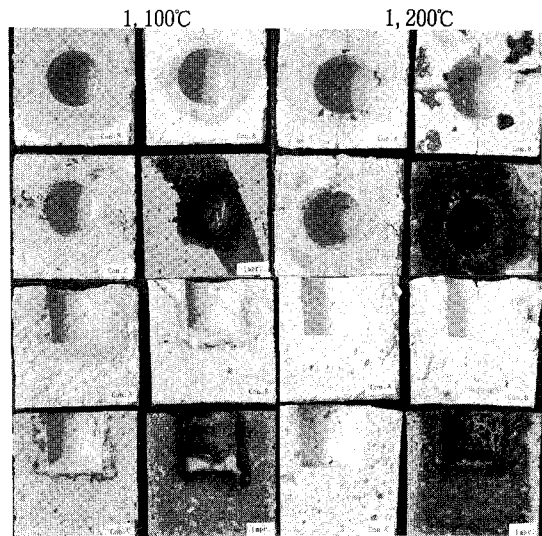
개선품은 vibration-free로도 시공이 가능한 flow치를 얻을 수 있었는데 이러한 고유동특성은 castable의 matrix 입도구성과 첨가된 극초미분을 분산시킴으로써 유동응력(flow stress)을 감소시켜 얻을 수 있었다.

5-2. 기계적 특성

개선품은 상온 및 중간온도영역(1,000~1,200 °C)에서 기존 vibrating castable에 비해 기공률 및 기계적 강도특성이 유사하며 각 온도영역에서 기계적 강도변화가 적고(용적 안정성) 고온 열간강도가 우수하였다.

5-3. 내 Alkali성

Cup test에 의한 alkali 침식 실험 후 전자현미경 관찰 및 XRD 분석결과 기존품 A, B, C는 alkali 성분이 조직내로 침투하여 장석류 광물을 형성하여 부피팽창을 수반함으로써 crack이 발생 하였으나, 개선품은 alkali 침투층이 hot face 표면에만 존재하였고 저용점 광물형성은 없었다.



Temp. 구분 외 관 절단면
Fig. 11 alkali 실험후 외관 및 절단면 상태(1, 100°C, 1, 200°C)