

# 燒成帶에서의 高알루미나 耐火煉瓦에 대한 研究實驗

李 喆 圭(譯)

〈仁荷大學校窯業工學科〉

譯者註：本稿는 印度에 있는 2基의 同型 濕式 키른에 대한 耐火煉瓦의 壽命을 研究實驗한 것으로 World Cement Technology 79년 12월호에 掲載된 것을 譯한 것이다

이 原稿는 能力이 비슷한 2개의 시멘트 키른 燒成帶에 高알루미나 벽돌을 사용했을 때의 長短點을 比較研究한 것이다.

高알루미나 벽돌의 壽命은 B키른에서는 고작 35일인데 반해 A키른에서는 4個月에서 1년까지 壽命이 延長되었다.

2개의 키른에 대한 原料의 燒成狀態를 實驗室에서 實驗한 結果 A키른에서는 slurry가 1,350°C 정도에서 燒成된 반면 B키른에서는 slurry가 1,450°C 이하에선 燒成되지 않음을 알았다.

이는 原料의 燒成溫度가 燒成帶의 高알루미나 벽돌 壽命에 좌우되고 있음을 뜻한다.

鹽基性耐火煉瓦에 비해 高알루미나 耐火煉瓦의 長點은 더 높은 熱強度와 더 낮은 熱傳導性이며 短點은 포틀랜드 시멘트 크링카에 미치는 化學的 安定度가 낮다는 것이다.

이러한 理由로 因하여 最近에는 키른이 점점 大型化되고 키른當 單位生産量이 增加됨에 따라 많은 시멘트 工場에서 키른 燒成帶에 鹽基性耐火煉瓦를 사용하는 것이 보편화되었다.

그러나 高알루미나 耐火煉瓦는 아직도 많은 나라에서 사용하고 있으며 또한 mag-chrome, chrome-magnesite, dolomite 그리고 spinel-bonded magnesite 벽돌 등도 상당량 사용되고 있다.

印度에서는 高알루미나와 mag-chrome 耐火煉瓦가 함께 사용되고 있는바 몇몇 키른에서는

燒成帶의 壽命을 延長하는데 高알루미나 耐火煉瓦가 適合하며 나머지 耐火煉瓦는 適合치 않은 것으로 研究報告되어 있다.

그러므로 適切한 耐火煉瓦의 選擇 특히 高알루미나로부터 鹽基性耐火煉瓦에 이르기까지 適切한 選擇이 문제시되고 있다. 즉 시멘트 製造業은 經濟的인 生産性을 內包하고 있기 때문이다.

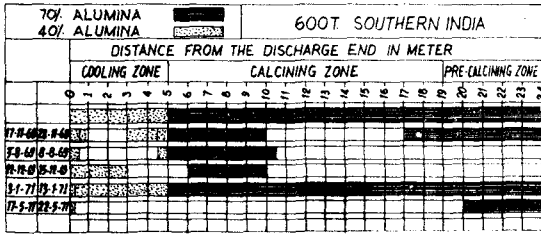
能力이 같은 2개의 同一 키른에 高알루미나 耐火煉瓦의 壽命이 다르게 나타날 때 더욱 더 難解하게 된다.

다시 말해 能力이 같은 同一 키른에서도 2번째 키른이 非經濟的인 것을 發見할 수 있는 반면 다른 키른은 理論的으로 긴 壽命을 누릴 수 있다.

이 研究報告가 그러한 경우이다. 두 키른 모두 濕式工程에 의하여 1種 포틀랜드 시멘트를 製造하는데 사용되고 있으며 이 A·B 두 키른은 각기 600~500 tpd의 能力을 가진 비슷한 키른이다.

A키른의 燒成帶에서는 高알루미나 벽돌(70%) 壽命이 8~12個月 정도이며 〈그림-1〉에서 보는 바와 같이 4個月 이하로는 거의 떨어지지 않는다.

燒成部門은 出口 끝으로부터 5~10 m 정도에서는 耐火煉瓦의 壽命이 약 4個月 정도로 줄어드는 반면 11~17 m 정도에서는 25個月로 延長된 경우도 있다.



〈그림-1〉 高알루미나 벽돌이 成功的으로 使用된 例

B 키른에서는 高알루미나 벽돌의 壽命이 一般적으로 35일을 넘지 못했으나 A 키른에서는 그 壽命이 實驗結果 한결같이 좋았기 때문에 이 實驗의 대부분은 鹽基性耐火煉瓦와 高알루미나 벽돌을 서로 交替해 가면서 B 키른에서도 試圖되었다.

同 耐火煉瓦에 대한 B 키른의 試驗結果에 의하면 키른 出口로부터 7~21 m 사이의 부분이 稼動中 耐火煉瓦 龜裂이 가장 심한 것으로 나타났다. 따라서 이 부분이 키른의 燒成帶에 해당된다.

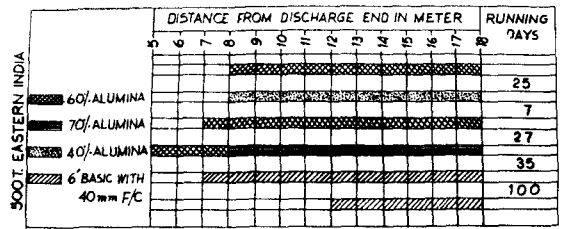
한편 대부분의 붉은 반점(red spots)은 10~14 m에서 나타나고 있으며 實驗結果 이 부분이 키른에서 最高溫度 지점이란 것을 알게 되었다.

同 試驗을 觀察하는 동안 最高溫度 지점에서 8 in의 高알루미나 벽돌 대신 2 in의 耐火粘土를 補充, 6 in의 鹽基性 벽돌로 代替해 보았다.

60% 알루미나 벽돌의 壽命은 이 부분에서 27일을 넘지 못했으며 70% 알루미나 벽돌도 35일에 불과했으나 이를 鹽基性 벽돌로 代替하였더니 壽命이 100일 정도로 延長되었다. 그러나 同一 zone에서 40% 알루미나 벽돌은 爐의 最高溫度 지점에서 그 壽命이 겨우 7일에 불과했다(〈그림-2〉).

鹽基性 耐火煉瓦의 붉은 반점은 대부분 10~14 m 부분에서 나타나지만 70% 알루미나 벽돌은 7~10 m 부분에서 나타난다. 즉 高알루미나 벽돌은 낮은 溫度에서 더 損傷을 받게 된다.

이러한 一聯의 試驗結果 A 키른에서는 高알루미나 벽돌이 優秀하다는 것이 입증되었지만 B 키른에서는 실패하였다.



〈그림-2〉 高알루미나 벽돌이 燒成帶에서 試驗에 실패했던 研究結果의 例

여기서 A 키른의 生産能力은 B 키른의 生産能力보다 100 tpd 정도 더 容量이 많은 키른이었다.

B 키른에 사용된 高알루미나 벽돌에 관한 試驗은 벽돌에 크링카 코팅을 거의 하지 않았다. 燒成帶의 最高溫度 지점에서 高알루미나 벽돌은 冷却帶나 燒成帶보다 더 侵蝕이 잘된다는 것이 발견되었다.

이와 같이 燒成帶에서 高알루미나 벽돌의 侵蝕은 키른 燒成溫度에 좌우되고 있음을 말해준다.

이를 좀 더 구체적으로 알아보기 위해 두 키른에 사용된 原料의 煨燒狀態를 試驗해 보기로 하였다.

두 키른에 사용된 slurry의 일반적인 化學組成은 〈表-1〉과 같다. 同一條件으로 A, B 두 slurry를 實驗室 爐에서 煨燒하였으며 煨燒狀態는 加熱後에 남은 free CaO 含量을 測定하면 알 수 있다.

〈表-1〉 化學組成(%, wt)

	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	L.O.I	Total
KilnA	43.5	13.4	3.0	2.9	0.7	36.6	99.9
KilnB	44.0	12.3	2.4	1.8	3.4	36.0	99.9

〈表-2〉 free CaO의 含量(%)

Sintering condition	Free % CaO			
	Normal slurry comp		Slurry mixed with ash	
	KilnA	KilnB	KilnA	KilnB
1. Fired at 1,300C	5.5	17.7	0.8	5.9
2. Fired at 1,350C	5.2	10.3	0.8	3.5
3. Fired at 1,400C	4.6	9.6	0.6	2.0
4. Fired at 1,450C	3.4	7.6	0.2	0.5

〈表-2〉는 이를 요약한 것으로 이는 實驗室 爐에서 1 시간 가량 白金도가니에서 原料를 加熱시켜 남은 free CaO 含量을 나타낸 것이다.

A, B 두 키른의 slurry 를 1,450 °C 에서 燒成하였을 때 free CaO는 각각 34 %, 7.6 %가 殘存하였으며 A 키른의 同一 slurry를 1,300 °C에서 燒成할 때 free CaO는 5.5 %가 殘存하였다.

이는 1,450 °C의 溫度에서 사용한 B 키른의 slurry 를 1,300 °C에서 原料를 燒成시킨 A 키른과 비교했을 때 燒成狀態가 같음을 알 수 있다.

키른에서 크링카를 生産하는데 실제 free CaO는 實驗室 爐에서 보다 原料의 燒成이 잘 이루어진다. 이같은 차이는 키른과 實驗室 爐에서 燒成되는 상태가 다르기 때문인데 특히 로타리 키른에서의 크링카 製造時 灰分의 除去 정도에 따라 다르다.

크링카에서 ash 分의 除去는 Duda<sup>4</sup> 規定方法

에 의해 計算되었으며 이는 A, B 두 키른 共に 같았다.

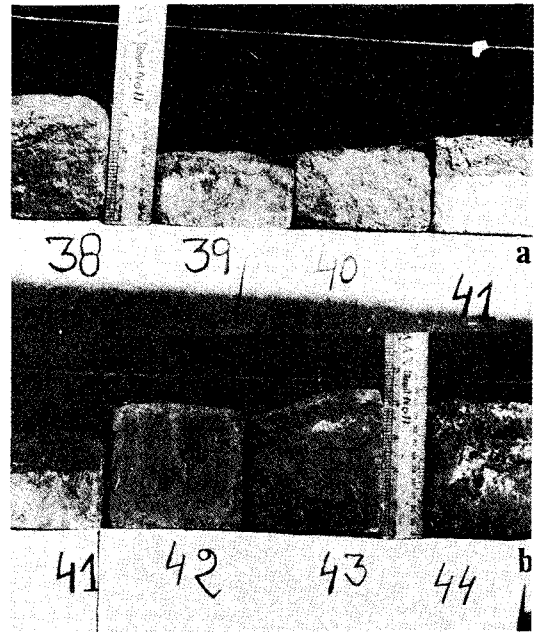
그후 로타리 키른에서 실제 燒成狀態의 基本原理를 알아보기 위해 같은 量의 ash 에다 같은 量의 slurry 를 混合하였으며 組合原料를 각기 다른 溫度로 實驗室 爐에서 加熱하여 비교하였다. 그 結果 1,300 °C로 加熱한 A 키른의 slurry 는 0.8 %의 free CaO가 남았으며 1,450 °C의 높은 溫度로 加熱한 B 키른의 slurry는 0.5 %의 free CaO가 남았다.

이는 A 키른에서 適切한 煨燒가 이루어졌음을 뜻하며 煨燒溫度에 있어서는 B 키른의 slurry가 1,450 °C 만큼 높은 溫度를 필요로 하는 반면 A 키른의 slurry는 1,350 °C 이상을 필요로 하지 않음을 말해 준다. 바꾸어 말하면 燒成帶에서 A, B 두 키른이 維持해야 할 溫度 차이는 80 ~ 120 °C 정도이어야만 한다.

크링카 組成은 1,300 °C 만큼 낮은 溫度에서 耐火粘土와 高알루미나 耐火煉瓦가 反應함을 보



〈그림-3〉 高알루미나 벽돌(a, b 공히 크링카 코팅이 전혀 생기지 않고 最大溫度 中心部 表面에서 最大의 侵蝕이 일어난다).



〈그림-4〉 高알루미나 벽돌의 侵蝕現象  
a) No. 39 벽돌은 最大溫度에서, No. 38은 出口部分, No. 40·41은 煨燒部分.  
b) No. 42·43·44 벽돌도 역시 煨燒部分.

여 주고 있는데 이는 溫度의 增加로 더 맹렬한 反應이 이루어진다.

Brisbane et al<sup>6</sup>의 報告에 의하면 高알루미나에 대한 시멘트 크링카는 石灰石의 浸透로 原料結合이 일어나는데 이는 50%, 70%  $Al_2O_3$  벽돌이 同一한 상태로 일어난다.

한편 Bartha<sup>7</sup> 報告에 의하면 86%  $Al_2O_3$  벽돌로 이루어진 適切한 코팅은 Lepol 키른의 煨燒帶에서 發生되지 않는다.

이를 具體的으로 論한다면 크링카와 벽돌 사이에 反應은 일어나지 않는다. 이같은 계속적인 反應은 코팅이 생기자마자 사라져 버리기 때문이다. 同反應에서 anorthite( $CaO, Al_2O_3, SiO_2$ )와 gehlenite( $2CaO, Al_2O_3, SiO_2$ )는 同一하였 으며 이 反應過程을 顯微鏡으로 溫度變化에 따라 觀察할 때 1,397°C ~ 1,415°C 사이에서 溶解되었다.

이 調査의 根據에 대해 Bartha 報告書는 86%  $Al_2O_3$  벽돌에 대한 高熱負荷량이 1,400°C 이상일 경우는 크링카 組成이 侵蝕에 견딜 수 없다고 確信했다.

Bartha<sup>8</sup>에 나타난 다른 報告에 의하면 1,300 ~ 1,350°C 이상의 溫度에서는  $Al_2O_3$  含量이 80% 이상의 것을 사용하는 것은 不合理하다고 보고 있다.

그리고 50 ~ 60% 含量의  $Al_2O_3$  벽돌이 키른內 原料燒成 工程과 内部벽간의 적당한 溫度는 1,250°C를 超過하지 말아야 하며 70 ~ 80% 含量의  $Al_2O_3$  벽돌은 1,300 ~ 1,350°C를 超過하지 말아야 한다. 즉  $Al_2O_3$  含量이 增加하면 그와 比例해서 溫度도 약간 增加한다.

키른 燒成帶에서 耐火煉瓦에 대한 Hugget<sup>9</sup> 研究報告에는 순수한  $Al_2O_3$  含量이 높고 浸透性이 낮은 alumino-silicate 耐火煉瓦를 사용했다. 그리고 燒成溫度에 있어서도 侵蝕되는 比率이 적어야 하는데 아무리  $Al_2O_3$  含量이 높은 耐火煉瓦라 할지라도 鹽基性 벽돌에 비해 化學的 侵蝕에 약하다고 말하고 있다.

yount et al<sup>10</sup>에서는 實驗室 爐에서 시멘트 키른 벽돌에 대한 實驗結果를 인용하면 過多한 反應 때문에 耐火粘土質 벽돌은 코팅이 거의 안생기고 反應의 結晶 때문에 高알루미나質 벽

돌(90% 以上)도 코팅이 거의 생기지 않는다.

코팅은 70 ~ 80% 含量의  $Al_2O_3$  벽돌에 잘 形成된다. 그러나 實驗室 爐에서는 키른 길이가 길지 않아 벽돌에 코팅이 생기기에 充分하지 않다.

Zachwy et al<sup>11</sup> 報告書는 로타리 키른 乾式 工程을 대상으로 연구한 結果 1,450°C 부근의 溫度에서는 다만 鹽基性 벽돌만을 사용하는 것이 可能하다고 보고 있다.

또한 Buist et al<sup>12</sup>에는 70% 알루미나 耐火煉瓦가 1,450°C의 시멘트 原料와 反應하는 동안 境界面에서 많은 量의 液體를 形成하고 珪酸알루미늄( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ )의 崩壞가 일어났다고 했다.

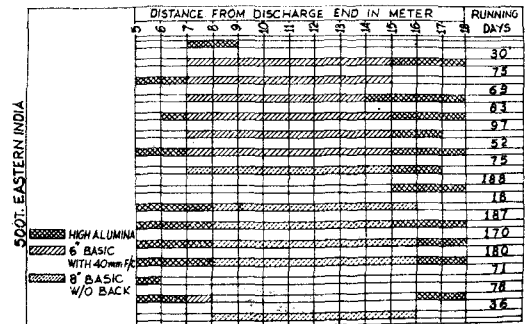
더 나아가 1,300°C에서 試料들간에 反應을 試驗한 結果 原料는 아주 少量 反應을 일으키고 珪酸알루미늄은 아주 미미하게 崩壞 反應을 일으킨다고 指摘하고 있다.

이러한 一聯의 試驗으로부터 高알루미나質 벽돌은 시멘트 原料의 燒成溫度를 1,400°C 이상으로 上昇시켰을 때 成功的으로 사용되지 못했음을 暗示해 주고 있다.

우리의 研究로부터 A키른의 燒成溫度는 1,350°C 이상으로 上昇시킬 必要가 없다는 것을 알 수 있다. 이는 高알루미나質 벽돌을 아주 成功的으로 사용할 수 있기 때문이다.

다시 말해서 B키른 slurry의 燒成溫度는 A키른보다 약 100°C가 더 높다.

高알루미나質 벽돌과 크링카 組成의 溶解이 일어나는 相互作用은 高알루미나質 벽돌에 실패



<그림-5> 키른 内部 耐火粘土質 벽돌의 有無에 따른 高알루미나 벽돌과 鹽基性 벽돌

했기 때문에 더 높은 溫度를 必要로 하고 있다.

그후 鹽基性 벽돌에 대한 研究調査를 反復하여 B키른에 試圖하였다.

첫째로 試圖한 것이 2in의 耐火粘土에다 6in의 鹽基性 벽돌이 사용되었다. 그후 키른 内部에 2in의 耐火粘土를 사용하지 않고 完全히 8in의 鹽基性 벽돌로 代置하였다. 앞에서 反復하여 試圖한 鹽基性 벽돌은 그 壽命이 약 80일로 50일 이하로는 떨어지지 않았다. 사전에 試圖한 바에 의하면 이 존(zone)에서 50% 알루미나 벽돌은 35일 이상을 超過하지 못했다.

전부 8in의 鹽基性 벽돌을 사용할 경우 高알루미나 벽돌과 鹽基性 벽돌 사이의 차이는 아주 判이하게 다르다. 즉 後者の 경우 그 壽命이 약 180일이었다(〈그림-5〉).

結果적으로 高알루미나 耐火煉瓦는 原料의 燒成溫度에 좌우되고 있다는 것을 結論지을 수 있다. 따라서 原料의 燒成特性을 감안하여 本 研究는 根本적으로 키른 燒成帶에서 適切한 耐火煉瓦를 選擇하는 것이 가장 중요하다는 結論을 얻었다.

#### [參 考 文 獻]

1. SCANLON, J. M. Burning zone refractories: a new approach. *Proceedings of the Eleventh International Cement Seminar. Rock Products*, Chicago, 1976. pp. 61-69.
2. SHUBIN, V. I. Refractories for the sintering zone of the rotary kilns of the non-Soviet cement industries. *Refractories. (Ogneupory)*, 1976. 17(7/8). pp. 451-55.
3. JHUNJHUNWALA, K. P., SAHU, M. M. and

BANERJEE, G. C. Refractories for cement rotary kiln. Paper presented during the Seminar on Refractories for Non-Ferrous Industries, Calcutta, 1979.

4. DUDA, W. H. *Cement Data Book*, Third edition. Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1976. pp. 19-24.

5. REICH, V. H. F. and PANDA, J. D. Study of the slagging action of refractory material in heating-microscope. *Tonindustriezeitung*, 83, 1959. pp. 536-43.

6. BRISBANE, S. M. and SAGNIT, E. R. The attack on the refractories in the rotary cement kiln. *Transactions of the British Ceramic Society*, 56, 5, 1957. pp. 237-58.

7. BARTHA, P. Investigation on the behaviour of high alumina bricks in a cement kiln. *Tonindustrie und Keramische Rundschau Zeitung*, 89, 15/16, 1965. pp. 366-69.

8. BARTHA, P. Selection criteria for the use of high alumina and fireclay bricks in rotary cement kilns. *Process Technology of Cement Manufacturing. (Proceedings of the 1977 VDZ Congress, Düsseldorf.)* Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1979, pp. 336-42.

9. HUGGET, L. G. Rotary cement kiln linings - refractory problem in the burning zone. *Transactions of the British Ceramic Society*, 56, 3, 1957. pp. 87-109.

10. YOUNT, J. G. (Jr) and POWERS, W. H. Simulated service tests of cement kiln bricks. *American Ceramic Society Bulletin*. 7, 1969. pp. 716-21.

11. ZACHWY, O., KÖNIG, G. and EISERMANN, E. New considerations on dry joints in rotary kiln linings. *Ber. Dtsch. Keram. Ges.* 52, 5, 1975. pp. 150-52.

12. BUIST, D. S. and GELSTHORPE, J. R. Solid-liquid reactions and brick/clinker adhesion in rotary cement kilns. In *Science of Ceramics*, (edited by Steward G. H.), Vol. 4, The British Ceramic Society, 1968. pp. 255-73.

