

옛날의 시멘트 가마

崔 相 紘

〈漢陽大學校教授 工學博士〉

포틀랜드 시멘트는 석회석 점토 등 원료 배합물을 구워서 클링커를 만들고 여기에 석고를 섞어서 분쇄하여 만든 시멘트이다. 이 클링커를 굽는 데는 가마(kiln, 窯)가 쓰인다.

오늘날 시멘트 공장에 가보면 최신행의 NSP kiln이 그 웅장한 모습을 자랑하고 있으며 이 가마에서 우수한 품질의 시멘트 클링커가 쏟아져 나오고 있다. 그러나 이 가마가 있기까지 오랜동안 시멘트 기술자들의 노력, 그것은 시멘트 공업의 발전사이기도 하며, 시멘트 공업 발전사는 이 시멘트 가마 개발의 역사와도 같았다.

여기서는 시멘트가 처음 만드러질 때 그것을 굽던 가마의 발달사와 지금은 우리의 기억 속에서 멀어져 가고 있는 지난날의 가마들에 대해서 서술한다.

가마를 한문자로 “窯”라고 쓴다. 이 “窯”자는 사람이 불을 발견하고 이 불의 발견으로 음식물을 익혀 먹기 시작한 우리 선조들의 지혜의 일면을 생각케도 한다. 상형(象形)문자인 한문자 “窯”는 「구멍(穴)을 파고 그 구멍속에 양(羊)을 넣고 밑에서 불을 때는(火)모양」으로 되어 있다(窰→窯). 이 “窯”자에서 그 옛날의 가마는 선가마(Shaft kiln)이었음을 상상케 한다.

선가마

시멘트를 굽는 옛날 가마도 선 가마에서 시작되

었다. Dome kiln과 같은 선 가마에 원료를 벽돌 모양으로 만들어 이것을 연료와 서로 차례로 쌓고 소성하여 구어진 것을 가마밑에서 끄집어 내어 잘 구어진 것을 골라 분쇄하여 시멘트를 만들었다. <사진 1>은 Aspdin(영국)이 사용한 Dome kiln이다.

이 가마는 작업이 단속식(Intermittent kiln)으로 원료를 가마에 제일 때나 클링커를 끄집어 내는데 사람의 노력이 많이 들고 특히 뜨거운 가마 속의 작업 등 힘든 일이 많았다고 당시의 기술자들은 술회하였다고 한다. 또 이 가마는 열 손실도 많았다.

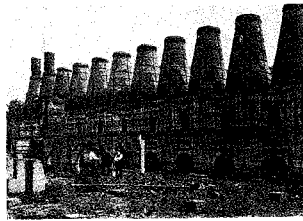
1871년 Saylor(미국)도 시멘트 제조 특허를 내고 Dome kiln을 사용하여 포틀랜드 시멘트를 구었는데, 이것이 미국에서의 첫 포틀랜드 시멘트의 생산이다.<사진 2>

가마의 열 효율을 높이기 위한 노력은 가마의 패열을 이용하여 원료 성형물을 건조하는 방법을 개발하였다. <그림 1>은 1872년에 Johnston(영국)이 개발한 Johnston kiln으로 건조실(그림에서 B부분)을 갖고 있다.

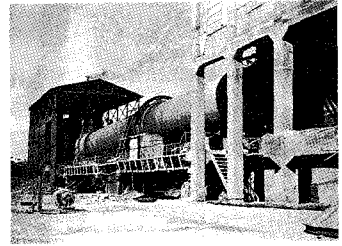
그러나 아직 열 효율은 비경제적이었다. 열 효율을 높이는 방법으로 원료를 계속 공급하고 구어진 것을 밑에서 끄집어 내는 연속가마(continuous Kiln)가 발명되었다. 이들 가마의 대표적인 것은 Hofman의 Ring kiln 또는 Dietsch kiln이다. Hofman의 Ring kiln은 벽돌을 구울 때도 쓰인 것이며, Dietsch kiln은 두 개의 가마를 등을 맞대고 쌓아 교대로 작업함으로써 열손실을 적게 하려고 시도한 것으로 1884년



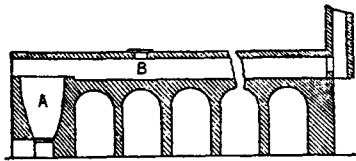
〈사진 1〉 Wm. Aspdin이 1848년경에 사용한 가마



〈사진 2〉 미국에서 초창기에 사용된 선가마

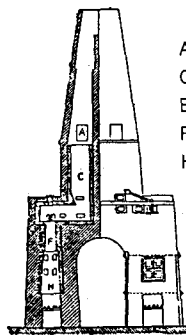


〈사진 3〉 1956년 삼척공장의 Lepol kiln



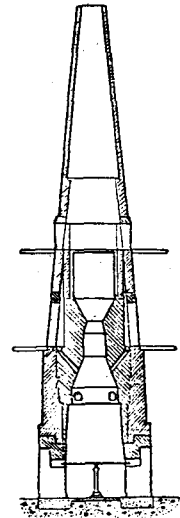
A: 가마 B: 건조실

〈그림 1〉 Johnston kiln

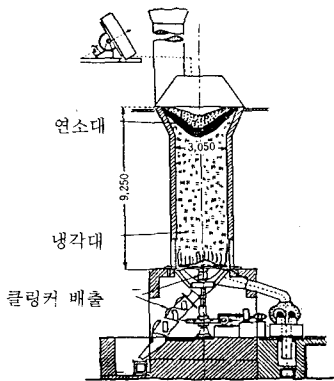


A: 가마 입구
C: 가열실
E: 연료 투입구
F: 연소실
H: 냉각실

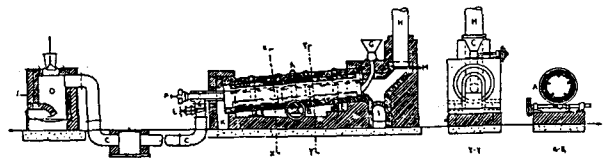
〈그림 2〉 Dietsch kiln



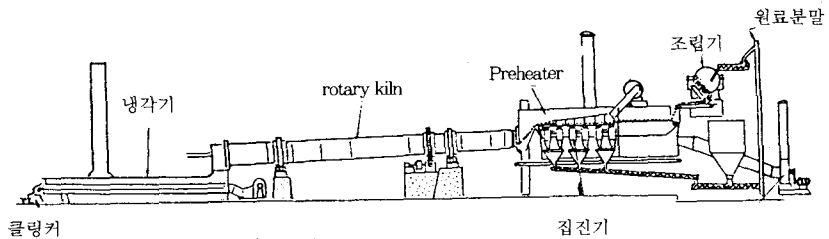
〈그림 3〉 Schoefer kiln



〈그림 4〉 Shaft kiln



〈그림 5〉 Ransom의 Rotary kiln



〈그림 6〉 Lepol kiln

Dietsch가 특허를 낸 것이다(그림 2). Dietsch kiln을 개량한 것으로는 Schoefer kiln이 있다(그림 3).

이들 가마는 클링커의 선별을 요하며 잘 구어지지 않은 것은 재소성하였다. 또 dusting으로 곤란한 경우도 있었다.

선가마도 그후 많이 개량되어 건설비가 싸고 열효율이 좋아져 유럽 및 중국 등지에서 아직도 사용되고 있는 곳도 있으나 다량 생산이 않되므로 유럽에서는 일부 특수용으로만 사용된다(그림 4).

회전가마의 발명

선가마의 단점을 보완하려는 연구 노력은 새로운 가마—가마를 옆으로 눕힌 회전가마(rotary kiln)를 발명하였다. 회전가마의 특허 취득 현황을 보면 다음과 같다.

년 도	발명자
1877	Crampton(영국)
1895	Ransom(영국)
1888	Stoke(영국)
1895	Hurry & Seaman(미국)

첫 성공적인 회전가마는 Ransom이 만들었다. 그는 처음 $\phi 18" \times 12'$ 의 가마를 만들었으나 실패하고 다시 만든 $\phi 2.5' \times 18'$ 의 것도 실패하고 세번째로 $\phi 5' \times 25'$ 의 것을 만들어 발생로가스를 사용하여 성공하였다. <그림 5>는 Ransom의 회전가마이다. Ransom은 「시멘트 원료를 벽돌모양으로 성형하지 않고 건조한 분말상태로 가마에 넣고 가마를 돌리면서 연료가스를 사용하여 소성하는데, 이 가마는 슬러리 상태의 것도 소성할 수 있다. 가마안에서 원료는 뒤집히면서 고루 열을 받으므로 제품은 균질하며 덜 구어진 것이나 과도하게 구어진 것도 없다.」고 말하고 있다. 그러나 가마의 내장 벽들에 링이 달라붙어 불이 잘 타지 않는 등 실용적이 못 되어 많은 계량 연구를 수행하였으나 실용화하지 못하고 포기하였다.<그림 5>

1886년 Navarro(미국)는 Ransom의 특허를 미국에서 사용할 권리를 얻어 그의 아들과 함께 미국 최초의 회전가마를 건설하였다. 1889년에 Keystone 시멘트사(후에 Atlas사로 개명)는 Ransom의 가마와

같은 것을 만들었으나 cement rock이 $1/2" \sim 2"$ 로 너무 커서 잘 구어지지 않아 실패하고 다음 해 원료를 미분쇄하고 또 CaO와 SiO₂의 비율을 조절하여 만든 원료를 소성하여 우수한 시멘트를 만들게 되어 드디어 rotary kiln의 시대를 열게 되었다. 미국에서의 첫 경제적인 회전가마는 1895년 Atlas사의 Hurry와 Seaman이 개발하였다. 즉, 영국에서 태어난 회전가마는 미국에서 자란 셈이다.

그후 회전가마는 차차 커져서 한때 60'의 가마가 등장했으며 Edison은 150'의 가마의 특허를 취득하기도 하였다. 당시 회전가마 크기의 변천을 보면 다음과 같다.

년 도	국 명	크 기		비 고
		ϕ	L	
1885	영국	5'	25"	Ransom가마
1889	미국	5'	25"	Navarro가마
1890	미국	5'	25"	Navarro가 원료
1910경	미국	6'~9'	60'~9'	를 미분쇄하여 성공

회전가마로 시멘트를 굽는 것은 순조로운 것만은 아니었다. 1900년대 회전가마에서 중유를 써서 구운 시멘트는 급결성이었다. Keystone사가 이 문제에 봉착하였다. 마침 프랑스의 Giron은 시멘트로 도로를 만들면서 plaster의 사용으로 천천히 굳는 것을 발견했는데 Navarro가 이것을 알고 석고를 쓰게 되어 급결문제가 해결되었다.

그후 미분탄을 사용하여 회전가마 소성법도 개발되었고 습식의 long kiln도 개발되었다.

Lepol Kiln

우리나라에도 얼마전까지 있던 Lepol Kiln은 1928년 독일의 Lellep와 Polsius사의 공동연구로 개발된 것으로 그 머리 글자를 따서 명명하였다. 원료는 미리 알갱이로 만들고 이것을 가마에 넣기 전에 이동 격자위에서 가마의 패열로 건조하고 예비열처리를 하는 것으로 열효율이 좋아 당시로는 획기적인 발명이었다. <그림 6>은 Lepol kiln의 예이며, <사진 3>은 1956년 당시 동양시멘트 삼척공장의 Lepol kiln이다. ▲