

# 시멘트 가마의 변천

글 \_ 최 상 흘  
한양대학교

## 1. 머리말

포틀랜드시멘트는 석회석 점토 등으로 이루어진 원료 배합물을 고온으로 구워서 클링커를 만들고, 클링커에 석고를 섞어서 분쇄하여 만든다. 이 클링커를 굽는 데는 가마(kiln)가 쓰인다.

오늘날 시멘트공장에 가보면 최신형의 NSP kiln의 웅장한 모습을 볼 수 있는데(Fig. 1), 이 가마가 있기까지는 오랫동안 많은 시멘트 기술인들의 노력이 있었다. 이 시멘트 가마의 개발사는 시멘트산업의 발달사이기도 하다.

## 2. 초기의 시멘트 가마

### 2.1. 선 가마

시멘트를 굽는 가마는 선 가마(shaft kiln)에서 시작되었다. 처음에는 석회석 가마와 같은 선 가마에서, 벽돌 모양으로 만든 원료 배합물을 연료와 서로 차례로 쌓아, 소성하고 구워진 것을 가마 밑으로 끄집어내어 잘 구워진 것을 골라 분쇄하여 시멘트를 만들었다. Fig. 2는 Aspdin(영국)이 사용한 Dome kiln 이다.

이들 가마는 작업이 단속식(intermittent kiln)으로 원료를 가마에 제일 때나 클링커를 끄집어내는데 사람의 노력이 많이 들고 뜨거운 환경 속에서의 작업 등 힘든 일이었다. 또, 효율도 좋지 않다.



Fig. 1. 최신 시멘트 공장의 모습.

열효율을 높이기 위한 노력의 일환으로 가마의 폐열을 이용하는 방법이 개발 되었다. Fig. 3은 1872년 Johnston(영국)이 개발한 가마로 건조실(그림에서 B)을 갖고 있다.

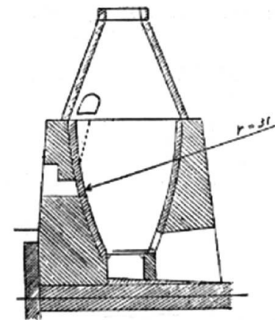
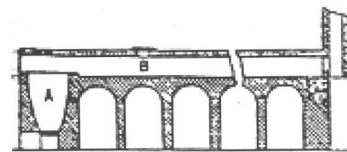


Fig. 2. Aspdin의 Dome kiln.



A : 가마 B : 건조실

Fig. 3. Johnston kiln.

시멘트 가마의 변천

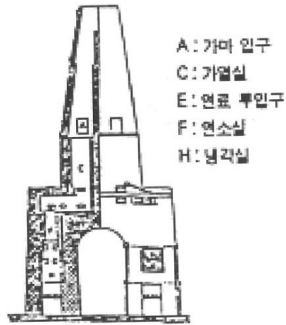


Fig. 4. Dietsch kiln.

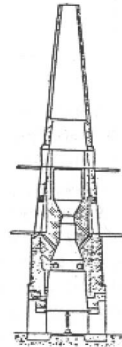


Fig. 5. Schoefer kiln.

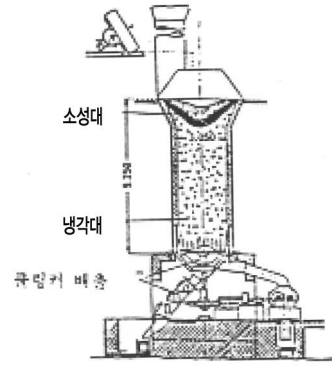


Fig. 6. 개량된 선 가마.

단속식의 단점을 개량하여 연속식 가마(continuous kiln)도 개발 되었다. Fig. 4는 1884년 Dietsch가 개발한 것으로 두 개의 가마를 등을 맞대고 쌓은 모양의 것으로 교대로 작업을 함으로서 열효율을 좋게 한 것이며, Fig. 5는 Dietsch kiln을 개량한 Schoefer kiln 이다.

선 가마는 그 후 많이 개량되어 연료비도 적게 들고 열 효율도 비교적 좋은 새로운 가마가 개발 되었다. Table 1

은 연대별 선가마의 변천을 보여준 것이며, Table 2는 가마의 조업상태의 변화를 보여준 것이다.

Fig. 6은 1950년대의 최신행 선 가마로, 건설비도 싸고 반자동으로 가마의 상태도 안정되고 원료는 5 mm로 조립하여 공급하며 제품의 품질도 일정하고 좋아서 유럽에서 많이 사용 되었다(특히 특수 시멘트 용). 또 중국에서도 선 가마가 많이 사용되었다.

Table 1. 연대별 선 가마의 변천

연대	시멘트 품질	가마 높이(m)	가마 지름(m)	크링커 배출량(t/d)	소비 열량(kcal/kg-cl)	draft
1880	불량	8-9	2-2.2	20	1200~1000	자연송풍
1910	비교적 좋음	8-9	2.5~2.6	35-55	1600~1400	turbo fan
1925	좋음	10~14	2.7~2.9	80~100	1400~1200	"
1935	좋음	9-12	2.6-2.8	100~150	1300~1100	강제송풍
1950	많이 좋음	8-9	2.4~2.5	150~180	1100~1000	"
1952	많이 좋음	9-10	< 2.3	180~220	1000~900	"

Table 2. 선 가마의 조업상태의 변화

년 대	1915년	1925년	1950년	1952년
S 소성대				
소성량 (t/day)	35 ~ 55	70 ~ 90	165 ~ 190	220
연료소비 (kcal/kg)	1600 ~ 1400	1300 ~ 1200	1100 ~ 1000	900
연소공기 (m <sup>3</sup> /min)	50 ~ 65	80 ~ 100	140 ~ 150	165
공기압력 (mm H <sub>2</sub> O)	100 ~ 300	500 ~ 700	1400 ~ 1500	1600
배기온도 (°C)	500	400	300	275
크링커온도 (°C)	450	400	275	250

## 2.2. 회전 가마

선가마의 단점을 보완하려는 연구 노력은 가마를 옆으로 눕히고 회전하는 회전가마(rotary kiln)를 개발하였다. 초기의 회전가마의 특허를 보면, 1877년 Crampton(영국), 1885년 Ransom(영국), 1888년 Stoke(영국), 1895년 Hurry & Seaman(미국) 등의 특허가 있다.

첫 성공적인 회전가마는 Ransom이 만들었다. 처음에는 소형의  $\phi 18'' \times 12'$ 의 것을 만들었으나 실패하고, 다시 만든  $\phi 2.5' \times 18'$ 의 것도 실패하여, 세 번째의  $\phi 5' \times 25'$ 의 것을 만들고, 연료로 가스를 사용하여 성공하였다.(Fig. 7)

Ransom은 시멘트 원료를 성형하지 않고 분말 형태로 가마에 넣고 가마를 돌리면서, 연료로는 석탄, 코크스, 석유, 가스 등을 사용하여 소성하는데, 가마안에서 원료는 뒤집히면서 고루 열을 받으므로, 제품은 덜 구워진 것이나 과도하게 구워진 것이 없이 균질하다고 말 하고 있다.

그러나 Ransom의 가마는, 가마의 내장벽돌에 링이 달라붙어 불이 잘 타지 않는 등 실용적이 못되어 포기하였다.

1886년, Navvaro(영국)는 Ransom의 특허를 미국에서 사용할 권리를 얻어, 그의 아들과 함께 미국에서 회전가마를 건설하였다.

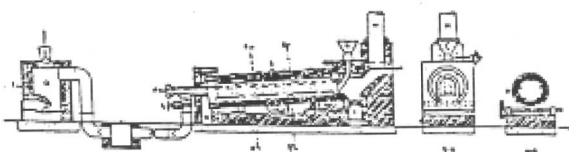


Fig. 7. Ransom의 회전가마.

Table 3. 초창기 회전가마의 변천

년대	국명	크기		비고
		$\phi$	L	
1885년	영국	5	25	Ransom의 가마
1889	미국	5	25	Navarro의 Keystone Co. 의가마
1890	미국	5	25	Navarro의 가마 (원료 미분쇄로 성공)
1910	미국	6 ~9	60 ~103	

1889년, Keystone cement Co.(미국, 후에 Atlas cement Co.로 개명)는 Ransom의 가마와 같은 것을 만들어 조업을 시작 하였으나 cement rock 가 커서(1/2"~ 2") 잘 구워지지 않았다. 다음해에 그 원료를 미분쇄하고 또 CaO와 SiO<sub>2</sub>의 비율을 조절하여 소성하고 미분쇄하여 우수한 시멘트를 만들었다. 미국에서의 첫 성공적인 회전가마는 1895년 Atlas cement Co.의 Hurry와 Seaman이 개발 하였다.

영국에서 태어난 회전가마는 미국에서 자라서 회전가마의 시대를 열었다.

회전가마 개발에서 힘들었던 것의 하나는 내화벽돌의 개발 이었다. 당초 실리카질의 벽돌을 사용하였는데, 시멘트 원료의 석회석과의 반응으로 사용할 수 없었고, 연구 끝에 알루미나질의 벽돌로 대체되었으며, 또 클링커 코팅기법도 개발되었다.

그 뒤 많은 변천을 거치면서 가마는 대형화 되고, 또 클링커 냉각법도 여러 가지가 등장 하였다. 한편, 습식 제법도 등장하고, 슬러리 휠터(slurry filter)가 달린 습식 제법도 개발되었다.

## 3. 시멘트 소성가마의 변천

### 3.1. 회전가마

회전가마는 클링커를 굽는 소성가마인 동시에 클링커를 생성하는 반응로이고, conveyer의 구실도 하고 있다. 원료를 가마안에서 열처리하여 클링커 생성반응을 일으켜 클링커를 만들면서, 반응물질을 운반하고 있다. 이런 기능을 갖는 가마이다 보니 가마의 형태도 여러 가지 것이 등장하였다. Fig. 8은 당시 쓰인 몇몇 회전가마의 유형을 보인 것이다.

그림에서, (1)은 직 원통형으로 Ransom의 가마와 같은 원조격이고, (2)는 Pollisius와 F.L.Smith의 타입으로 소성대를 크게 한 것이며, (3)은 Fellmer Ziegler의 타입으로 (2)와 비슷하나 소성대와 하소대를 크게 하고 있다.

시멘트 가마의 변천

(4)는 (2)와 (3)의 절충형이며, (5)는 건조대와 예열대도 확대 한 것이다. 회전가마는 점차 커져서 한 때 200m에

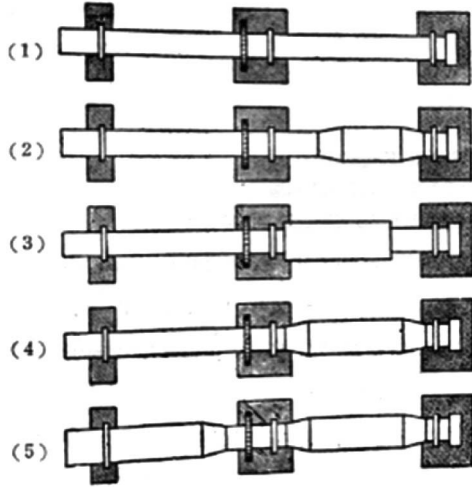


Fig. 8. 회전가마의 유형.

달하는 것도 등장하였다.

Fig. 9는 1919년에 우리나라 최초로 세워진 평양 승호리 시멘트공장(일본 오노다 시멘트사)이며, Fig. 10은 1957년에 건설된 대한양회 문경공장의 모습과 습식 킬른(123m)을 보인 것이다.

회전가마의 소성법의 발달은 가마 자체만의 발달이 아니었다. 사용 연료, 분쇄기술, 그리고 클링커 냉각장치의 발달과 함께 하였다.

3.2. 레폴가마 (Lepol Kiln)

Lellep(독일)와 Polisius사의 공동 연구·제작으로 1928년 개발된 레폴가마(Lepol kiln, 머리글자를 조합하여 명명)는 원료 분말에 수분을 가하여 미리 조립기(granulator)에서 알갱이로 만들고 이를 격자 위에서 폐열을 이용하

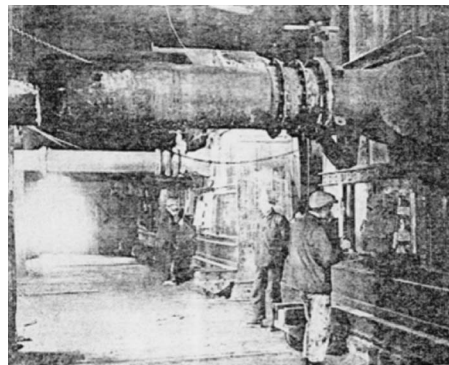
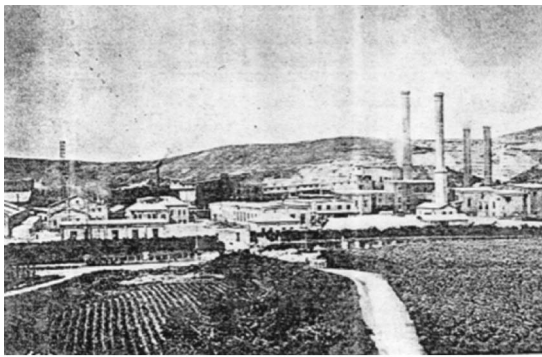


Fig. 9. 평양 승호리 시멘트공장(1930년대) (왼쪽 전경, 오른쪽 소성가마).



Fig. 10. 대한양회 문경 시멘트공장 (습식 Long kiln, 1958년) (왼쪽 전경, 오른쪽 소성가마).

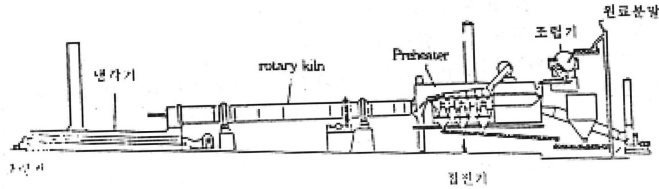


Fig. 11. 레플가마.

여 건조와 하소의 예비 열처리를 하여 가마로 도입하는 반건식법으로 당시로는 획기적인 것 이었다(Fig. 11)

따라서, 가마 길이도 짧아 졌으며 열효율도 좋아서(당 시 쓰이던 습식 long kiln 에 비하여 35% 정도 열 절감), 1950년대까지는 이 Lepol kiln과 대형 long kiln이 시멘트 생산의 주류를 이루었다. Lepol kiln은 건설비도 적게 들어 유럽에서 많이 유행하였다.

Fig. 12는 1956년 당시의 동양시멘트 삼척공장의 Lepol kiln이다.

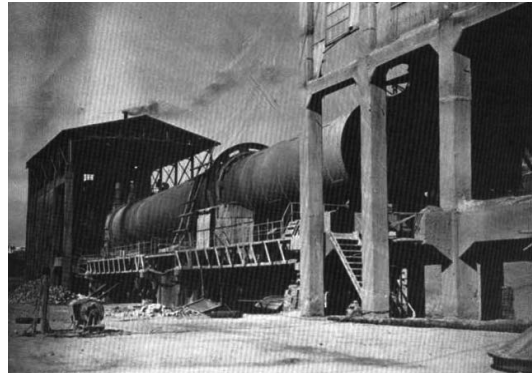


Fig. 12. 동양시멘트 삼척공장(Lepol kiln, 1956년).

### 3.3. SP, NSP kiln의 등장

시멘트 제조기술의 발전은 시멘트 품질 향상과 클링커의 소성 열량을 줄이는 것이 주목적으로, kiln에서 배출되는 폐가스의 열과 클링커가 갖고 나가는 열의 회수 이용이 주 대상이 되었다.

1960년대 이후 시멘트 제조방식에 급격한 변화를 보였다. Humboldt 사(독일)에서 개발한 suspension preheater (SP) 방식의 출현은 과히 혁신적 이었다. 원료분말을 SP에서 가마의 폐열을 이용하여 부유 현탁 상태로 열 교환을 일으켜 아주 짧은 시간에 효율적으로 원료의 가열을 가능케 하여, 원료의 탈탄산 작용의 일부를 행하게 하는 이 방식은, SP에서 원료의 열분해 반응을 일으켜 열효율과 시멘트 품질 향상을 도모하였다(Fig. 13)

우리나라도 SP 방식의 개척시기인 1964년에 쌍용양회

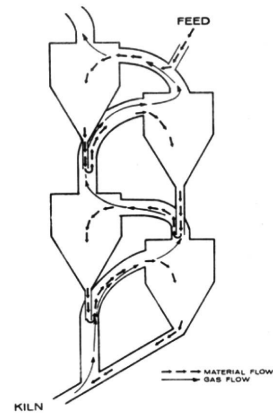


Fig. 13. Suspension preheater.

영월공장에서 이 SP 방식이 가동 되었으며, 이어 각사에서 채용하여, 우리나라 시멘트 제조 기술이 세계 정상 수준임을 보여 주었다.

이 SP kiln의 급속한 보급과 함께, 다시 이를 개량한, 즉 kiln과 SP 사이에 보조 연소장치(precaliner)를 두어, 원료의 열분해가 거의 끝난 상태로 회전가마에 도입하는 새로운 방식인 NSP(new suspension preheater)가 등장하여, 1970년대 이후 새로 증설·신설되는 공장에서 이를 채택하여, 이 방식은 시멘트 산업의 새로운 전환기로, 가마의 소출량 증대 및 장기 안정운행을 가능케 하는 등의 특징을 보이고 있다.

최근에는 이들 두 방식이 시멘트 제조를 주도하고 있

## 시멘트 가마의 변천

Table 4. 우리나라가 보유하고 있는 시멘트 소성가마 현황

회사명	공장	킬른	쿨러
동양	삼척	NSP 7	G
쌍용	동해 영월 문경	NSP 4 SP 3	G
		NSP 2 SP 3	G
		Wet 4	P
한일	단양	NSP 5 SP 1	G, P 1
현대	단양 영월	NSP 3 SP 1	G
		NSP 2	G
아세아	제천	NSP 4	G
성신	단양	NSP 5	G
고려	장성	SP 1	G
라파즈 한라	삼척 옥계	NSP 1	G
		NSP 4	G
유니온	청주	NSP 1	R

\* 1 이 중에는 운휴상태의 것도 있다  
 \* 2 쿨러 G = Grate cooler  
 P = Planetary cooler  
 R = Rotary cooler

다. Table 4는 우리나라가 보유한 시멘트 소성가마의 현황이며, Table 5는 회전가마의 성능을 비교한 것이다.

### 4. 맺음말

시멘트 산업은 장족의 발전을 이룩하였습니다. 오늘날, 고도의 기술을 자랑하는 시멘트 가마가 등장하여 그 성능을 발휘하고 있습니다.

시멘트 산업은 다자원 다에너지 산업입니다. 유한한 자원은 언젠가는 소멸될 것이며, 자연은 훼손되고 환경은 오염되고 있습니다.

지금까지 우리는 자원 절약을 외치며 폐자원 활용과 자원의 재순환으로 어느정도 환경보존에 힘을 다하여 왔습니다. 자원-에너지 소비를 효율적으로 하려는 노력은 공정 개선과 유용 폐-부산자원 활용 그리고 비교적 저온에서 소성되는 원료를 사용한 클링커 개발 연구 등으로 어느정도 실효를 거두고 있습니다.

지금은 녹색성장의 시대입니다. 지속가능한 녹색성장을 위한 시설의 구축이 절실 합니다. 발상의 전환이 필요 합니다.

Table 5. 회전가마의 성능비교

Process	Wet	Semi Dry	Dry	
			Preheater	Precaliner
Kiln length(m)	40-232	24-75	40-95	54-110
Kiln diameter(m)	2.4-6.6	2.3-6.0	2.8-6.0	3.5-5.9
Output(t/day)	100-3350	100-2400	200-3500	1500-8500
Feedstock moisture(%)	24-48	10-15 <sup>a</sup>	≤8 <sup>b</sup>	≤8 <sup>b</sup>
Fuel consumption (kcal/kg clinker)	1000-2200	800-950	800-950	800-950

<sup>a</sup>Additional heat needed also to dry raw materials.  
<sup>b</sup>Additional heat needed also above 8%.

로터리 킬른이 없는 시멘트 소성장치(유동층 소성만으로 클링커 소성이 가능한)의 등장, 고전적 기술과 신 기술을 융합한 새로운 시멘트 제조기술의 등장, 나노기술과 접목한 새로운 시멘트 제조기술의 등장 등, 시멘트산업의 앞날을 기대해 봅니다.

### 참고문헌

1. 최상훈, 옛날의 시멘트가마, 시멘트, No.139. (1995)
2. LEA' S Cemistry of Cement and Concrete (4th Ed.), Arnold, (1998)
3. K. E. Peray and J. J. Waddell, The Rotary Cement Kiln, Chemical Pub. Co.,Inc. (1972).
4. 吉井豊藤丸, 窯爐 (2) 시멘트燒成窯, 일본 요업협회, (1958).
5. 한국양회공업협회, 한국의 시멘트산업. (1974).

#### ●● 최상훈



- 1960년 한양대학교 화학공학(학사)
- 1962년 한양대학교 대학원 화학공학(석사)
- 1970년 일본 동경공업대(박사)
- 1965년-1998년 한양대학교 공과대학 무기재료공학과 교수
- 1994년-1995년 한국요업학회 회장
- 1998년-현재 한양대학교 명예교수