

## 소성용 킬른

김상배, 조건준, 김윤종, 조성백

한국자원연구소 자원활용연구부

고령토, 석회석, 장석, 규석 등과 같은 천연광물들은 세라믹스 제품의 원료로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 세라믹스라는 말의 어원이 "구워서 단단하게 만든 물체"라는 사실을 미루어봐도 그 어느 것도 광물 자체만으로 사용되는 일은 드물고 열처리를 거쳐게 되어 있다. 열처리에 대한 일반적인 용어로서 소성, 배소, 하소 등이 있다.

먼저 소성(燒成)이라 하는 것은 총괄적인 의미를 가지며, 산소과잉의 분위기에서의 조작을 의미한다. 이는 'incinalation'라는 단어로 표현할 수 있으나 태워서 재로 만드는 소각(燒却)이라는 말에 더 잘 해당된다.

배소(焙燒)는 완전한 가열, 즉 산소 부족의 분위기에서 광석의 결합수나 휘발성분의 탈리를 중심으로 하는 조작을 연상하게 된다. 유화물의 산화공정도 배소이며, 산소과잉 분위기의 조작에 쓰이기도 한다. 직역하면 'roasting'이며 이것은 음식을 조리하는 쪽에서 주로 사용한다.

하소(煨燒)는 'calcination'이라는 말에 해당되는데, 좁은 의미로는 석회성분의 열분해에 의한 탈탄산 처리라는 뜻으로부터 탈탄산 열분해 반응 일반 및 가스의 방출을 동반하는 열분해 전반에 널리 사용되고 있다. 단순히 열분해라는 단어는 'pyrolysis'로서 이것은 유기화합물에

관해서 주로 적용되는 말이다.

장치공학에서는 분체를 가열하여 주위에 있는 공기만을 접촉시키는 조작이 소성이며, 공기 이외의 가스를 접촉하기 위해서 특별한 설비를 필요로 하는 경우에는 기체-고체간 반응장치가 된다. 더욱이 소성은 공기를 통하지 않는 가열조작도 포함하며, 이러한 의미에서는 광업이나 무기화학 공업관계에서 사용되고 있는 배소와 하소도 포함되는 단어이다. 장치공학 관계에서는 소성이 좀더 포괄적으로 사용된다.

이외에도 킬른의 대상이 되는 표면개질이라는 것은 분체표면에 기능성을 부여하여 내부와 강한 결합을 만들어주는 것과 같이 각종의 물질을 제어할 목적으로 행해지므로 유약구이 등의 표면화학적인 방법이 사용되고 있다.

이상과 같이 엄밀한 용어의 정의를 내린다는 것은 곤란하지만 열처리라 함은 가열에 의해 고체를 분해하거나 화학적 혹은 물리적 양상을 의도적이고 체계적으로 변화시킬 목적으로 행해지는 조작이라 할 수 있다. 이러한 열처리를 수행하기 위하여 내화물로 둘러싸인 연소실 내에서 연료를 연소시켜 발생한 열로 피가열 물체(고체 또는 유체)를 가열하는 장치를 '로' 또는 '킬른'라고 할 수 있다. '로(furnace)'는 열이 발생하는 밀폐된 방에 대한 일반적인 용어이며 더

특정한 용어 '킬른(kiln)'이 요업분야나 화학공학 분야에 흔히 사용되고 있다.

## 피가열체의 성질과 킬른의 형식

일반적으로 영어의 'kiln' 및 'oven'은 가마(窯), 'furnace'는 로(爐)로 번역한다. 가마(窯)는 요업관계에, 로(爐)는 야금(冶金) 화학공업 및 야금관계에 사용하지만 그 구분은 명확치 않다. 킬른이나 로는 고온을 필요로 하는 모든 공업에 널리 사용되어 각기 분야별로 발달해왔기 때문에 그 목적에 따라 형식과 조작방법에 많은 종류가 있다.

가열목적이 유체 승온 또는 액체 증발에 있을 경우는 직화(直火) 킬른형식의 로(爐)가 가장 간단한 형태다. 이것은 전열면적이 좁음으로 가열능력이나 열효율은 낮지만, 가열중에 점밀화시키는 도가니 형태의 로(爐)로서 현재도 널리 사용되고 있다. 보일러 로(爐)의 가장 간단한 형태인 콜니쉬통은 연소실의 벽도 전열면으로 작용하므로 전자보다 효율이 좋다. 그래도 연소가스가 갖는 열량을 충분히 전달할만한 전열면적에는 미치지 못하여 연료가 가지는 열량의 55~65% 정도만이 수증기 발생에 이용된다.

가급적 작은 장치체적으로 연소가스가 가진 열량을 충분히 피열유체에 전달하기 위해서는 관식으로 하여 내부 유체를 가열하는 방식을 택할 필요가 있다. 더욱이 연소하는 화염의 복사 에 의한 전열능력이 크므로 최근 설계에서는 가급적 화염복사를 이용하여, 연소실에서 받지 못한 열량을 관공과 연소가스 사이의 강제 대류에 의한 전열에 의지하는 방식을 택하고 있다.

벽을 사용하지 않고 직접화염으로 피가열체를 가열하는 방식으로서 반사로 형식이 있다. 급속제련 합금제조용 용해로, 소형유리용 킬른,

법랑용 킬른 등에 사용되는 것이다. 피가열체의 온도가 높기 때문에 고온의 소성가스를 그대로 굴뚝으로 내보낼 경우 그 열효율이 상당히 떨어지는 까닭에, 연료 소비량을 감소시키기 위해 축열실 등의 열량회수장치를 부설하여 연소용 공기를 예열하는 것이 필요하다. 다만 연소가스 속에 용융물의 비산하는 분말이 혼입될 경우에는 한쌍의 축열량을 가진 평로형 킬른을 사용하는 경우가 많다.

세 번째는 고체를 그대로 고온으로 가열할 경우인데, 그의 가장 간단한 형식은 피가열체를 킬른 안에 넣고 가열하기 시작하여 소정의 온도에 도달하였을 때 그것을 그대로 꺼내거나 킬른을 냉각시킨 후 천천히 반출하는 것이다(예, 도자기 내화물 소성용 단독 킬른). 피가열체를 연속적으로 가열하여 소정온도에 이르렀을 때에 꺼내는 것이 필요한 경우에는 피가열체와 화염·연소가스를 향류로 이동시켜 연소가스가 가진 열량을 가급적 많이 피가열체에 전달하게 하는 형식, 즉 연소가열대와 예열대를 조합한 킬른의 형태를 택한다.

내화물 도자기처럼 피가열체가 한번만 고온으로 충분히 가열되면 그 이상의 온도를 필요로 하지 않을 경우에는 피가열체가 보유한 커다란 현열량(顯熱量)을 회수하는 것이 바람직한 바, 이때에는 전술한 형식에 또 하나의 냉각대(공기예열대)를 조합한 터널형식을 택하는 것이 합리적이다. 단독킬른에서 고온소성 중에 연소가스 현열(顯熱)과 소성 후 피가열체의 방대한 현열은 열손실이므로 이를 해소하기 위해서는 단독킬른 2기 이상을 조합시키면 유효하다. 소성이 끝난 후의 열량을 냉각용 공기로 회수하여 다음 소성킬른에 불어넣어 이를 예열하는 형식의 것이다. 이외에 연소가스를 다음 소성킬른에 넣어 냉각시키는데 사용하거나 온도가 높아진 공기를 연소용으로 이용하면 효과가 있다.

분체를 가열하고 더욱이 이것을 반응용 상태로 만드는 등의 물질성질에 순간변화를 수반하는 큰 처리 조작에는 회전킬른을 사용한다. 이 킬른은 연소가스가 보유하는 열량에 비하여 단위길이 당 전열면적이 작고 양호한 열량 교환을 하려면 상당한 길이의 것이 필요하다. 그래서 시멘트 소성용에는 길이 180m에 이르는 긴 것이 사용될 정도이다.

입괴상 물질의 수분 또는 결정수 제거에는 외열식 회전 킬른을 사용한다. 이는 고체덩어리나 입상을 가열할 경우로서, 고체 벽면을 개재시키거나 혹은 회전킬른 등으로 괴립상의 표면적과 노면 표면의 전열적으로 작용한다. 이런 덩어리나 입상이 가지는 비표면적은 매우 크므로 이것을 전달하기 위해 유효하게 이용하면 당연히 전열능력, 즉 장치체적에 비해 큰 처리량의 가열 장치를 얻는 셈이 된다.

이러한 형태의 예로는 이동층 가열방식이다. 예컨대 석회소성용 킬른처럼 석회석과 번갈아 층을 이루어 투입된 코크스 괴립이 연소하여 그 연소가스가 석회석 층을 관류하는 사이에 석회석을 가열하여 필요한 반응을 일으키게한 것이다. 연소가스와 원료가 향류로 이동하므로 열교환이 양호하고 열효율도 크다. 일단 고온으로 된 생석회는 그 온도를 다시 필요로 하지 않으므로 밑에서 불어 올리는 연소용 공기에 의해 냉각되어 열량이 유효하게 이용된다. 즉, 기본적으로 터널킬른과 마찬가지로의 열교환을 하는 셈이다.

이상과 같은 장점은 전열뿐만 아니라 코크스를 사용하는 가스발생로나 제철용 용광로 등의 열효율이 우수한 이유가 된다. 위와 같은 입계의 이동층에서 공기, 연소가스 등으로 흡상층이 형성되는 것을 방지하기 위해 입경을 제한하는데 지나치게 작은 것은 사용하지 못한다(불가피하게 사용하게 될 경우에는 괴립을 만들 필요가

있다). 그런데 이러한 소립자층은 밑에서 가스를 불어 올리면 처음에는 가스체를 관통시킬 뿐 층 자체는 정지상태에 있지만, 점차 유속을 증가시키면 어떤 유속 점에서부터 입자가 정지할 수 없게 되어 부풀어오르던가 약한 곳에서 입자가 움직이기 시작한다. 유속을 더욱 증가시켜 빈 관으로서의 걸보기 유속이 그 입자 종단속도의 0.2~0.4 배 정도가 되면 마치 액체가 비등하듯이 격렬하게 유동한다. 이런 상태를 유동층이라고 부르는데, 가스화에 이를 응용한 것으로서는 'Winkler' 가스발생로, 유동건류로 등이 있다. 그리고 1단 유동층으로서는 열효율이 나쁘기 때문에 이를 해소하기 위해 다단 유동층 석회소성 킬른이 나타났다.

## 도자기 소성을 위한 킬른

도자기, 내화물 및 타일 등과 같은 요업제품들은 일반적으로 원료배합→성형→건조→열처리 등의 제조공정을 거쳐 다양한 크기, 모양, 조성 및 생산속도로 생산된다. 성형과정에서는 전해질이나 중합체들을 첨가하여 성형에 유리하도록 슬러리나 반죽의 유동성을 제어하기도 한다. 일반적으로 생제품(green products)이라 불리는 건조되고 표면 마무리된 제품은 원하는 미세구조나 성질을 발달시키기 위하여 킬른(kiln)이나 로 안에서 열처리된다. 소성이라 불리는 이 공정은 3 단계로 진행된다고 할 수 있다. 제 1 단계에서는 결합체의 태움(burn-out) 및 분해와 산화의 기체 생성물 제거를 포함하는 소결전 예비반응, 제 2단계에서는 소결(sintering), 그리고 제 3단계에서는 열적 및 화학적 서냉(annealing)을 포함하는 냉각단계이다. 이를 위하여 제품은 일반적인 킬른 안에서 뜨거운 연소기체와 접촉되어 가열되거나 머물 킬른 안에

서는 연소기체로부터 격리되어 있다. 도자기를 소성하는 장치에는 여러 가지가 있는데 소성 작업, 화염의 진행방향, 화염과 피가열체의 접촉 방법, 사용연료의 종류, 용도 및 형상 등에 따라서 다음과 같이 분류된다:

- 1) 소성작업에 의한 분류  
불연속식 킬른, 반연속식 킬른, 연속식 킬른
- 2) 화염의 진행방향에 의한 분류  
수평염(水平焰)식 킬른, 수직염(垂直焰)식 킬른, 도염(倒焰)식 킬른(꺾임 불꽃 킬른)
- 3) 화염과 피가열체의 접촉방법에 의한 분류  
직화식 킬른, 반머플 킬른, 머플 킬른
- 4) 사용연료에 의한 분류  
장작 킬른, 석탄 킬른, 가스 킬른, 증유 킬른, 전기 킬른
- 5) 용도에 의한 분류  
초벌구이 킬른, 채소(겉구이) 킬른, 본소(참구이) 킬른, 유소(유약구이) 킬른, 유상채식 킬른, 프리트 킬른 등
- 6) 형상에 의한 분류  
원 킬른, 각 킬른, 고리 킬른, 터널 킬른 등.

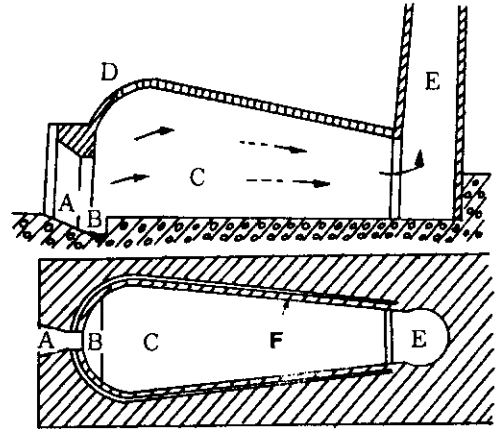
이와 같이 여러 가지 킬른의 형태와 명칭이 있지만 실제로 부르는 호칭은 대표적인 것만을 골라 쓰는 것이 보통이다. 우리 나라에서 많이 쓰이는 대표적인 킬른만을 골라보면 아래와 같다.

### 불연속 킬른(Periodic Kiln)

#### 가. 수평염식 킬른

수평염식 킬른은 그림 1에 나타낸 것처럼, 아궁이에서 발생한 불길이 소성실 안으로 들어가 킬른의 바닥과 대략 수평으로 뻗으면서 피가열체를 가열하고 굴뚝으로 빠져나가는 형식의 킬른이다. 구식이긴 하지만 잘 고안된 것으로서 아

궁이 부근 온도가 높고 굴뚝에 가까울수록 온도가 낮다는 결점이 있다.



A : 출입구 또는 원료 투입구 B : 연소실 C : 소성실 D : 보기(色見)구멍 E : 굴뚝 F : 간격(단열과 가마벽의 팽창 수축에 의한 균열 방지용)

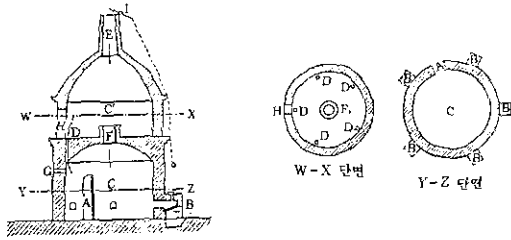
그림 1. 수평염식 킬른.

#### 나. 수직염식 킬른

지름 4.2~7m의 원통형 소성실 위에 굴뚝이 바로 연결되어 있고 그 끝에 킬른 내의 분위기를 조절할 수 있는 댐퍼(damper)가 설치되어 있다. 전체의 모양이 수직으로 서 있는 킬른으로서 어떤 것은 병과 같은 모양을 하고 있으므로, 보틀킬른(bottle kiln)이라 한다(그림 2).

이 킬른은 아궁이에서 발생한 불길이 소성실 안을 상승하여 피가열체를 가열하고 상부 굴뚝으로 배출되는 형식을 취한다. 도염식 킬른에 비하여 구조가 간단하기 때문에 같은 용적의 킬른을 만들 경우 축로비, 보수비가 적게 든다는 이점이 있다. 그러나 화염의 가열 통로 길이가 짧기 때문에 연료 소비율이 높고 또 연소가스는 반드시 상승한다는 자연의 이치를 적용한 것이므로, 고온부의 통풍력이 저온부보다 커서 더욱 더 온도차가 벌어지는 단점이 있다.

소성용 킬른



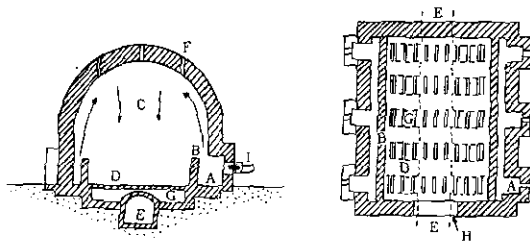
A: 본소실 출입구 B: 아궁이 C: 본소실 C': 소소실  
 D: 불꽃통로 E: 굴뚝 F: 본소실 굴뚝  
 G: 보기(色見) 구멍 H: 소소실 출입구 I: 담퍼

그림 2 수직염식 킬른.

다. 도염식 킬른(Down Draft Kiln)

불연속 킬른이며 소규모의 생산에 적합하여 중 소규모의 공장에서 많이 채용하고 있다. 아궁이에서 발생한 불꽃이 옆벽과 불다리 사이를 올라가서 천장에 이르고, 여기에서 꺾여서 피가열체 사이로 아래로 내려와서 킬른 바닥에 있는 연도를 통하여 굴뚝으로 빠져나가는 형식이다. 불연속 킬른 중에서는 연료소비가 경제적이고 킬른 안의 열분포도 비교적 균일하여 현재 도자기 업계에서 널리 채택하고 있다.

이 킬른은 모양에 따라 각형 킬른과 원형 킬른으로 나뉘며 그림 3에 도염식 각형 킬른의 예를 나타내었다.



A: 연소실 B: 불막이 벽(bag wall) C: 소성실  
 D: 흡입 구멍 E: 주연도 F: 냉각 구멍  
 G: 가지 연도 H: 출입문 I: 버너

그림 3. 도염식 킬른.

라. 셔틀 킬른(Shuttle Kiln)

이 킬른은 길이와 너비가 각 킬른보다 짧은 직 6면체의 모양(보통 6.0l×5.5w×2.9mh)을 이룬다. 성형품을 실은 대차(kiln car, 보통 4.8l×3.2w×2.6~1.2mh) 1~3대를 그 속에 넣고 소성한 다음, 대차를 꺼내고 킬른이 완전히 식기 전에 미리 반제품을 적재해 둔 대차를 밀어 넣고 다시 같은 조작으로 소성을 반복하도록 된 킬른이다.

이 킬른의 모양은 그림 4와 같다.

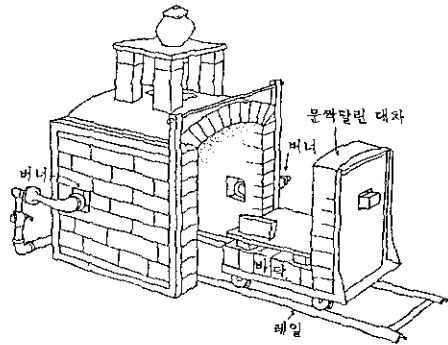


그림 4. 셔틀 킬른.

마. 엘리베이터 킬른(Elevator Kiln) 및 벨 킬른(Bell Kiln)

이 킬른은 상하로 움직일 수 있는 몸체 1개와 고정된 킬른 바닥 또는 대차 2개로 구성되어 있다. 킬른 바닥 또는 대차에 성형체를 적재해 두면 킬른의 몸체가 공중으로 매달려 옮겨와서 그 위에 썩우고 몸체에 설치된 버너로 가열하여 소성하게 된다.

킬른의 몸체는 제2의 킬른 바닥에 적재해둔 성형체를 소성한 다음, 곧바로 옮겨왔으므로 뜨거운 상태에 있다. 소성 작업시에는 제1의 킬른 바닥에 연결된 연도를 댐퍼로 막고, 소성에 쓰이는 킬른의 연도는 완전히 열어서 굴뚝과 통하게 한다. 이 킬른의 몸체는 종(鐘, bell)과 같이 둥근 모양이고 두 킬른 바닥도 이 몸체에 맞는 원형이므로 벨 킬른(bell kiln)이라 부르며 때

로는 탑-햇 킬른(top-hat kiln)이라 부르기도 한다.

한편 아주 작은 것은 2개의 킬른 바닥 대신에 한 개의 킬른 바닥 위에 대차 2대를 번갈아 놓고 킬른 몸체를 그 위에 씌워서 소성하게 되어 있다. 이 킬른은 문짝이 없으므로 열 손실이 적고 온도가 균일하며 약 1,800℃까지의 고온을 얻을 수 있어서 알루미나 등의 순수한 재료를 소성할 수 있다.

**바. 머플 킬른(Muffle Kiln)**

제품에 따라 온도나 연소 가스에 민감하여 균일한 온도와 연소가스가 접촉되지 않은 곳에서 소성해야 하는 것이 있다. 이런 제품을 소성할 때는 내화갑(refractory sagger)에 넣어서 사용한다. 내화갑으로도 충분하지 못할 경우에는 연소가스가 투과하지 못하는 벽으로 따로 소성실을 만들어 간접 가열하는 데, 이와 같이 피열체에 직접 불꽃이나 연소 가스가 닿지 않고도 소성 또는 가열할 수 있는 킬른을 머플 킬른이라 한다. 열원은 액체 또는 기체 연료를 보통 쓰고 있으나 연소 가스가 없는 전기가열로써 시행하기도 한다.

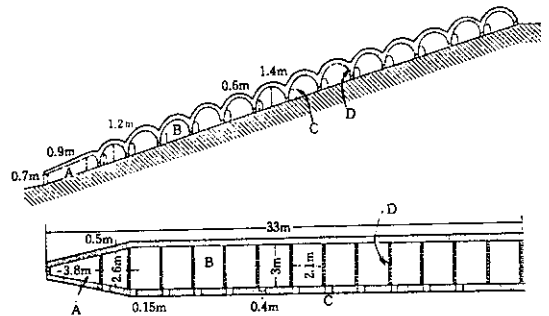
이러한 킬른으로 범랑·위생도기·전기자기·본차이나·순수한 성분의 무기재료 및 특수 기능성을 갖는 무기재료 등의 소성에 많이 쓰고 있는데, 킬른 내의 분위기를 Ar, He, N<sub>2</sub> 등의 가스로 조절할 수도 있다.

**반연속 킬른(Semi Continuous Kiln)**

**가. 계단식 킬른(등요, 오름 킬른)**

이 킬른은 그림 5에 나타난 것처럼 도염식의 소성실을 경사지를 이용하여 잇달아 놓고, 앞 소성실의 폐가스나 냉각증의 폐열을 이용하여 점차적으로 뒷 소성실을 소성 하는 형식이다. 경사도가 클수록 통풍력이 강하고 따라서 소성화

도가 높을수록 경사도를 크게 하지만, 매우 잘 조절되어 있지 않으면 소성온도 분포가 불균일한 흠이 있다. 또한 대형 제품의 소성냉각에는 굵김이나 왜곡방지를 위해 일정한 시간을 필요로 하므로 소성실 크기를 변경하거나 경사도, 소성품 장입 구성 문제 등을 연구해야 한다. 반연속 킬른의 대표적인 것으로서 건설비와 연료가 적게 들고 비교적 다량 생산도 기대할 수 있지만, 연료는 장작을 주로 사용하고 열분포도 SK3~5번의 차이가 생기는 정도로 불균일하므로 쇠퇴하여 가고 있는 킬른이다. 그러나 아직도 시골에서는 저급 도자기를 생산하는데 사용되고 있다.



- A: 아궁이(연소실) B: 소성실 C: 출입문
- D: 칸막이벽(도염식을 위하여 바닥쪽에 연도가 나있음)
- E: 굴뚝

그림 5. 계단식 킬른.

**나. 수평 킬른**

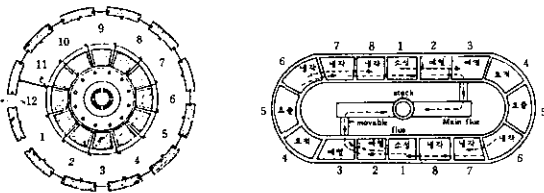
계단식 킬른을 평지에 설치하여 칸막이를 하고 굴뚝을 낸 형식의 것이다. 긴 소성실 양쪽 벽면에는 일정한 간격을 두고 석탄 투입구가 있는데, 투입된 석탄은 정면의 소성 장입품 사이에 있는 흠 위에서 연소한다. 소성 작업은 킬른 한 끝에서 시작하여 점차 다른 끝에 이르는데, 이 사이에 연소용 공기의 예열, 폐가스에 의한 배소가 이루어지기 때문에 단독킬른보다 열이 경제적이다. 킬른내 장입품에 석탄 접촉이 있어

과소(over sintering)나 재에 의한 오염의 단점이 있다. 주로 저급 내화벽돌 소성에 쓰인다.

### 연속 킬른(Continuous Kiln)

#### 가. 타원형 킬른(고리 킬른)

고리 킬른은 19세기 중엽에 Hoffman이 고안한 킬른으로 일명 Hoffman식 킬른이라고 하며 그 구조를 그림 6에 나타내었다. 그림 6의 (좌)가 원래의 'Hoffman'식 킬른이며, 그림 6의 (우)는 개량한 형태의 킬른이다. 연속식 킬른으로서 각 소성실은 인접하여 고리모양으로 되어 있고, 각 소성실 가운데 있는 주 연도를 통하여 굴뚝으로 연결되고 있다. 냉각중의 몇 개 실의 예열로 소성실의 연소 공기가 예열되고 소성실의 폐가스가 이와 인접한 몇 개 실에 있는 미소성품을 예열하게 되어 있다. 연료소비가 단독 킬른(불연속식 킬른)에 비하여 약 35% 밖에 안될 만큼 열효율이 좋지만, 소성실내의 온도분포가 균일하지 못한 것이 흠이다. 그러므로 이 킬른은 주로 점토제품 공업에서 이용하고 있으며 소성실 수는 12~20이 보통이고, 소성실 14개, 전 길이 80m 정도가 가장 적당한 것으로 알려져 있다.



원래의 Hoffmann 고리킬른 개량형의 고리킬른  
(원형) (타원형)

그림 6. 타원형 킬른.

#### 나. 연속식 킬른

이 킬른은 그림 7과 같이 타원형 킬른을 각형으로 하고 인접된 각 소성실 사이에 칸막이 벽을 만들고 타원형 킬른과 똑같은 원리에 의해 연속적으로 도염소성 할 수 있게한 것이다. 따라서 산화염, 환원염 소성을 자유롭게 할 수 있고, 또한 소성화도를 각 실마다 조절 할 수 있기 때문에 용도가 넓다. 하지만 터널 킬른의 발달과 더불어 이용도가 저하되고 있다.

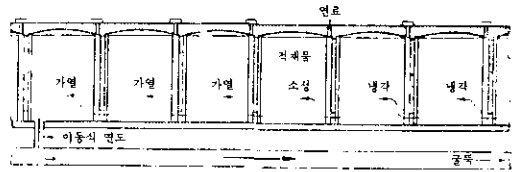


그림 7. 연속식 킬른.

#### 다. 터널 킬른

위에서 설명한 모든 킬른은 소성품이 모두 고정되어 있는데 반하여, 터널 킬른은 길쭉한 터널형으로 되어 있는 킬른 속을 소성품을 실은 대차가 이동하여 예열, 소성, 냉각을 계속적으로 행하는 것이다. 터널의 중앙부에 소성대가 있고 소성대의 양옆의 벽에 2~20개의 버너가 있어 이곳에서 소성한다. 소성대에서 발생한 연소가스는 그곳에 있는 대차상의 피가열물을 소성한 폐가스는 입구쪽으로 진행하여 예열대에 있는 제품들을 예열하고, 입구 근처에 있는 배기장치에 의하여 굴뚝으로 나간다. 냉각대는 소성된 제품을 서서히 냉각하는 부분인데, 출구에서 취입된 외부 공기가 제품을 냉각하는 동시에 자신은 예열되어서 소성대 쪽으로 흐르는 도중에서 킬른 밖으로 유도되어 연소용 공기의 예열이나 건조실의 열원으로 이용된다. 열효율이 좋고 킬른 내의 온도 분포를 균일하게 되도록 조절할 수 있어서 근대식 킬른의 기본형으로 되어 있다.

## 석회소성을 위한 킬른

### 베켄바하식 샤프트 킬른(Shaft Kiln)

일반적으로 샤프트 킬른을 선가마라고도 하며 킬른 안쪽에 내화물을 수직으로 쌓은 입형(立形) 킬른 몸체를 갖는다. 보통 원석을 상부로부터 투입하고 연료를 킬른의 중앙 부근에서 연소시켜 생석회를 하부로부터 꺼내는 형태이다.

킬른 내부는 그 형태에 따라 예열대, 소성대(하소대라고도 함), 냉각대의 세 부분으로 나뉘어져 있다. 예열대는 하부로부터 상부로 올라오는 고온 배기 가스와 장입물과의 열교환이 이루어지는 부분으로서, 배기 가스는 냉각되어 배출되고 장입물은 분해온도까지 예열된다. 소성대는 연료가 연소하고, 발생하는 열을 받아 석회석이 분해하는 부분이다. 연료가 연소하는 부분(산화대)과 석회석이 분해하는 부분(탈산대)으로 나뉜다고하는 견해도 있다. 냉각대는 하부로부터 상부로 올라오는 공기와 고온의 생석회가 열교환하는 부분으로서 생석회는 냉각되어 꺼내지며 공기는 예열된다.

샤프트 킬른은 이처럼 연속 킬른으로서 가스가 원광석~생석회 층의 공간을 빠져서 상승하기 때문에, 접촉면적이 넓고 가스의 흐름이 자유로워서 전열속도가 크며 비교적 처리량이 크다. 또한 앞에 언급한 예열대와 냉각대의 효율이 좋아 열효율이 탁월하다. 높이 방향의 온도 구배가 크기 때문에 로터리 킬른 등에 비하여 길이가 짧아도 되며, 킬른 몸체가 고정되어 있어 설치비가 비교적 저렴하다는 등의 특징을 가지고 있다. 그러나 일정 가스 흐름에 대하여 압력손실이 크며, 가스의 흐름이 불균일하게 되기 쉬워 고도의 운전 기술을 필요로 한다. 따라서 단면적이 큰 킬른은 설치되어 있지 않다.

종래의 석회 소성을 위해서는 무연탄, 코크스

등을 연료로한 혼합소성 킬른이 주류를 이루어 왔으나, 이에 비해 유체연료(가스~중유)를 사용하는 킬른이 급속하게 증가하여 혼합연소를 추구하고 있는 상황이 되었다. 그 이유의 하나는 연료비의 문제로서, 생산비 중에 차지하는 연료비의 비율이 큰 석회공업에서는 칼로리당 가격이 무연탄이나 코크스보다도 훨씬 싸고, 공급도 안정하기 때문에 중유를 사용할 수 있다는 것은 큰 잇점이다. 두번째로 석회 품질의 문제로서 제강 화학공업 등에는 아주 고순도의 석회가 요구되기 때문이다.

베켄바하식 샤프트 킬른은 이중원통 킬른(RSO: Ringschachtlofen, Annular Shaft Kiln)과 이중경사 킬른(DSO: Doppelshae-gafen, Double inclined Kiln)으로 대별된다.

이들의 기능상 큰 차이점은 이중 경사킬른이 소립 원석을 사용하는 소형 킬른인데 반하여, 이중원통 킬른은 대형 킬른으로서도 대응이 가능하다는 것이다.

이중원통 킬른은 킬른 본체의 내부에 강제 냉각방식의 내통을 설치함으로써, 킬른의 수직 방향으로 구성되는 소성대의 길이를 증가시킨 것으로 이에 따른 원료의 통과 폭이 좁아진 형태이다. 이 때문에 원료의 강하속도가 균일화되어 열가스와 균일하게 유효한 접촉이 촉진된다. 이 내통은 현수형과 자립형으로 나뉘어진다.

이중경사 킬른은 킬른 내를 부압으로 운전하기 때문에 킬른의 꼭대기에는 원석 투입시의 킬른내 압력의 변동을 방지하도록 이중으로 밀폐된 원석투입 장치가 설치되어 있으며, 투입된 원석은 예열, 소성, 냉각의 각 부분을 통과하여 소성되어 배출된다. 가스의 흐름은 원석과 향류(向流), 병류(竝流)를 형성하고 순환가스를 흐르게 하는 방식을 취하고 있다. 즉 냉각대에서는 향류로 냉각을 행하며, 상부 소성대에서는 하부 연소대로부터 상승해 오는 잉여 공기와 상



부 연소실에서 0.52의 공기비율로 연소된 가연성가스 등으로 다시 연소가 행해져 향류로 소성이 행해진다. 소성대에서 발생한 가스는 예열대로 상승하여 원석과 레큐퍼레이터에서 열교환한 후, 배기가스가 되어 대기중에 방출된다.

**멜쯔 킬른(Merts Kiln)**

멜쯔 킬른은 그림 8과 같이 예열(축열)대, 소성대, 냉각대를 형성하는 2개 혹은 3개의 샤프트에 의해 소성작업을 시행하는 킬른이다. 사용할 수 있는 원석의 크기 범위는 20mm~150mm 까지이고, 그 범위에서 최대입경과 최소입경의 비는 2:1이 되도록 정립된 것을 사용한다. 이 킬른은 2개 또는 3개의 샤프트가 소성대 하부에서 접속되고 있다. 1개의 샤프트에서 소성이 시행, 다른 1개 또는 2개의 샤프트에서는 샤프트로부터의 배기가스를 이용하여 원석의 예열이나 일부 탈탄산 반응이 시행되는 형태의 킬른이다.

먼저 연료가 예열대와 소성대 경계부에서 취입되고 고온 분위기에서 가스화된다. 연소공기는 상부에서 송풍되어 원석 층의 공극에서 가스화된 연료와 혼합되어 아래 방향으로 연소한다. 이 연소가스에 의하여 원석은 하강하면서 병류(竝流)로 소성된다. 석회석은 탈탄산 초기에 다량의 열량을 공급함으로 소성이 효율있게 시행된다. 멜쯔 킬른은 이 원리에 따른 소성을 하도록 소성 샤프트에서 하향의 병류를 형성시켜 행하게 되는 것이 다른 킬른에서 볼 수 없는 특이한 점이다.

연소가스는 채널부에서 킬른 하부에서 각 샤프트에 동시에 송입되어 냉각대에서 소성된 생석회를 냉각하면서 상승한 냉각공기와 합류하여 축열측 샤프트로 들어가 상승하게 된다. 상승하는 동안 소성대에서의 일부 탈탄산, 예열대에 저장되어 있는 원석의 예열 등을 행한 후 킬른의 상부로 배출된다.

샤프트가 3개인 경우는 그중 1개가 소성측 샤프트, 다른 2개의 샤프트가 축열측 샤프트가 되며 순서대로 교체가 이루어진다.

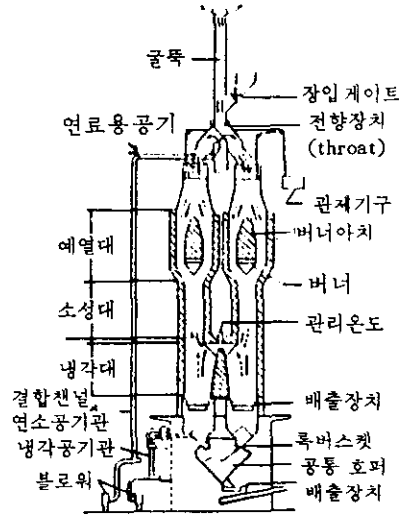


그림 8. 멜쯔 킬른.

**칼시마틱 킬른(Calcimatic Kiln)**

로상 회전식 석회 소성 킬른이라고 부르며, 캐나다의 'Calcimatic' 사가 제강용 균열 킬른을 기본으로 개발한 것이다. 한국에는 1995년에 1기가 도입되었으나 현재는 가동되고 있지 않다.

이 킬른은 원석공급장치, 예열장치, 킬른 본체, 냉각기, 제품 배출장치, 배기가스 및 열 회수장치 등으로 구성된다. 원석은 각형(角形) 충전층식의 예열장치에 수평을 일정하게 유지되도록 투입된다. 예열장치에서 예열된 원석을 가변 레벨 게이트에 의하여 소정의 층 두께로 킬른 본체의 회전킬른에 적재한다. 회전킬른은 대차에 올려져 있으며 회전킬른이 시계 반대방향으로 일주하는 사이에 원석은 소성된다. 소성된 생석회는 콘베이어에 의하여 냉각기에 충전되고 냉각된 다음 배출된다. 킬른 내에서 발생한 연소가스 및 원석의 분해에 의한 CO<sub>2</sub> 가스는 회

전킬른의 움직임과 반대 방향으로 킬른 본체 내의 공간을 흘러 예열장으로 들어간다. 그 다음에는 원석과 열교환을 하거나, 열교환기에 들어가 연소용 2차공기를 예열한 후 집진장치에서 먼지를 제거한 다음에 대기중에 방출된다.

이 킬른은 도넛츠 형의 회전킬른을 가지고 있다. 주위 벽에 붙어 있는 버너로 연료를 붙여넣어 회전킬른의 상부 공간에서 연소시킴으로써 회전킬른에 적재된 원석을 소성한다. 따라서 원석으로의 전열은 다른 샤프트 킬른과는 달리 정지 상태에서의 복사전열이 주체이므로, 미립의 원석이라도 통풍저항(압력손실)과는 전혀 관계없이 소성된다. 킬른 내의 온도, 체류시간, 원석의 입도 등 3가지 인자를 적절히 조절하여 소성물의 품위를 조절한다. 생산량을 증가시키려면 고온에서 단시간 소성을, 감산할 경우에는 저온에서 장시간 소성을 원칙으로 하나, 회전킬른에 적재하는 원석의 층의 두께는 원석 최대 입경의 1.5배 정도로 억제하는 것이 바람직하다.

### 로터리 킬른(Rotary Kiln)

로터리 킬른(회전킬른)은 1885에 영국의 F. Ransome에 의해서 발명이 되었고, 그 후 시멘트 클링커의 소성을 위시하여 석회공정에 널리 사용하게 되었다. 우리 나라에서는 주로 시멘트 클링커 소성용으로 사용이 된다. 석회소성 킬른으로서의 로터리 킬른은 현재 포항제철에 7기가 가동되고 있고, 동양산업(주)의 재생석회 소성에 2기가 설치 가동되고 있는 실정이다.

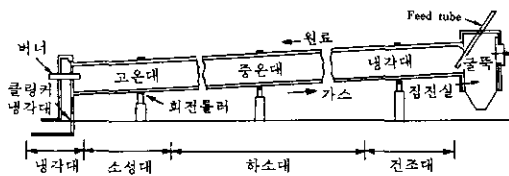


그림 9. 로터리 킬른의 일반적 구조.

로터리 킬른은 그림 9와 같이 내화물을 내장한 원통형의 본체, 여러 조의 다이아와 물러로 이루어지는 지지장치, 출입구, 에어셀 장치, 가스기어와 비니온으로 이루어지는 구동장치, 출구 후드 등으로 구성되어 있다.

예열로에서 예열 및 일부 탈탄산된 원석은 입구측에서 로터리 킬른에 공급된다. 그리고 로터리 킬른의 출구측을 향해서 완만한 구배와 회전에 의하여 출구방향으로 전동하면서 이동하는 동안에 버너로부터 취입되는 연소가스에 의하여 소성된 다음에 냉각기에 배출된다. 버너로부터 취입되는 연료는 증발연소, 분해연소, 표면연소 등이 급속히 시행되어 고온가스가 되어서 원석을 가열시킨다. 석회 소성용 로터리 킬른의 경우에는 소성대 연와 내면의 코팅 생성은 적고 가스 온도도 입구측에 이르기까지 비교적 높으므로, 동체의 보호 및 방사열 손실을 저감시키기 위하여 내화단열 벽돌을 뒷면에 시공 경우도 있다.

열교환을 보다 효과적으로 행하기 위하여 연와로 리후타(하브연와)를 킬른 중간부에 설치할 경우도 있다. 각 지지장치는 느슨하게 동체에 낀 다이아와 한쌍의 물러로 되어 있어, 동체의 지지와 동체의 변형을 방지하고 있다. 킬른의 구배나 열팽창에 의한 이동을 제한하기 위하여 킬른 입구측에 가까운 지지장치에 다이아를 끼워서 한쌍의 스크라스토 롤러가 설치된다. 동체는 가변속 전동기, 치차 감속기, 비니온 및 동체에 붙여진 가스기어에 의하여 구동되고 속도가 조절된다.

정전시의 긴급운전, 미숙 및 촌동(寸動) 운전을 위하여, 엔진과 그의 감속기로 이루어지는 비상구동장치를 갖춘다. 로터리 킬른 본체 출구 끝에 설치된 후드는 킬른으로부터 배출되는 소성품의 쿨러로의 도입로, 쿨러로부터 킬른으로의 2차공기의 도입로 버너의 삽입 지지부 및 킬른 내의 감시부로 되어있다.

첫째 로터리 킬른 내에서의 원석에의 열의 전달은 약 90%가 방사에 의하고, 나머지는 대류와 전도에 의하며 가스온도가 높을수록 방사전열량이 많아진다. 방사전 열량은 온도차의 4승에 비례하나 생석회는 원석에 비해서 열전도율이 1/4이 된다. 원석입자의 분해정도에 따른 전도에 의존하기 때문에, 내부로의 전달은 대단히 늦고 이 방사의 법칙은 적용되지 않는다. 탈탄산에 요하는 시간은 원석 입경의 1.45~7승에 비례하며 원석의 분해는 표면으로부터 진행된다. 또한 원석의 입도분포가 열의 전달에 미치는 영향도 크며, 킬른 내에서 작은 입자의 원석은 원심력의 차이에서 전동하는 층의 내측에 끼여들게 됨으로 오히려 미분해 부분이 많아진다. 너무 미세하게 되면 킬른의 회전으로 인하여 단지 미끄럼 운동만으로 되어, 교반이 이루어지지 않아 열 전달이 악화되므로 주의가 필요하다. 로터리 킬른 내의 원료 충전율은 6~11%가 일반적이다

샤프트 킬른과 비교한 로터리 킬른의 장점은 생산능력이 크며, 세립원석의 소성이 가능하고, 조작이 용이하여, 휴전 및 재개가 간단하다는 것이다. 또한 제품의 품위조절이 용이하며, 고효율이고 연소중의 불순물의 흡수량이 적은 제품의 소성에 적합하며, 연료의 선택이 용이하다는 점 등을 들 수 있다. 이에 비해 로터리 킬른의 단점으로서 열효율이 낮으며, 설치비가 높고 설치에 필요한 넓은 용지가 필요하며, 원석의 성질에 따라 분화(粉化)되기 쉽다는 점 등이다.

## 기타 킬른

이외에도 여러가지 유형의 킬른이 있으나, 석회소성용으로는 중자식 코크스 소성 킬른을 들 수 있다. 이 킬른은 혼합 소성 수직 킬른의 중심부에 원통의 중자를 배치하고, 원반 단면을 환상

(環狀) 단면으로 하여 소성물에 얼룩이 생기기 쉬운 중심부를 없앤 유형이다. 이것은 또한 중자에 매설한 온도계에 의하여 킬른 깊은 곳의 상황을 파악하기 쉽고, 세립 원석의 소성이 가능하며 소성도가 안정하다는 장점이 있다.

## 맺는 말

소성조작의 대상물이 되는 피가열체의 특징과 소성양식을 살펴보고, 소성이 생산비의 많은 비중을 차지하는 도자기 및 석회 산업에서의 실제적으로 사용되는 킬른의 종류와 특성 등에 대해 알아보았다. 소성형식에는 전술한 바와 같이 각각의 특징이 있으며, 킬른의 선정은 원료의 종류 및 최종생산품의 요구되는 특성, 전력사정, 공장의 입지조건 등의 여러 가지 조건에 따라서 결정되어야 할 것이다.

한편 원료들은 더 많은 예비 처리과정을 통해 균일하고 일관된 품질을 지니며, 종종 조성면에서는 더욱 단순해지는 경향이 있다. 열처리를 위한 장비들은 더욱 자동화 및 정밀화 되는 추세에 있다. 킬른의 발달은 주로 품질 및 경제성의 향상을 목표로 해서 진전되고 있으며, 장기적인 안전운전과 인건비 및 연료비의 절감에 의한 원가저하를 주된 목표로 한다.

## 참고 문헌

- プロセス用キルン, 1985, 日本粉體工業技術協會編, 日刊工業新聞社.
- 石膏石灰ハンドブック, 1986, 石膏石灰學會編, 技報堂出版.
- 조성호, 1978, 가열로, 형제사.
- 심재동, 1981, 전기로조작법, 성안당.
- 김성식 외, 1996, 요업공정, 범한서적.