

타일제조기술 - 건조 -

허 남 석
(주)삼현

hurnamsuk@naver.com

1. 서론

근자에 저가 중국 타일들의 공세를 피하는 방법의 하나로 급격히 대형화되고 있는 세라믹 타일 추세에 따라 성형 후 건조기를 통과하는 건조공정 또한 그 중요성이 더하게 되었다.

특히 대형 2회 소성 벽 타일(Double Firing Wall Tile)의 경우 건조조건이 맞지 않을 경우 완제품에서 냉파라고 불리는 결함이 발생하게 된다.

따라서 성형된 타일이 건조 후 아무런 결함없이 후 공정인 시유 라인으로 이송되도록 하는 것이 근래 타일공장의 중요한 과제로 되어 있다고 해도 과언이 아니다.

2. 건조(Drying)

“건조(drying)”는 수분의 증발에 의해 고체에 함유되어 있는 물을 제거하는 것을 말한다(즉 액체에서 기체상태로의 변환).

액체가 기체 상태로 되는 경향은 액체의 물리화학적 특성에 크게 의존한다. 운동 에너지는 액체 분자들의 기화를 반면에 기체 분자들의 액화를 만든다. 온도에 의존하는 액체에서 유기되는 분자의 수 : 주어진 시간에 액체의 표면과 접하게 되는 기체 상태의 분자의 수에 의존하는 액화되는 분자수와 이로 인한 한정된 공간 및 속도(즉: 증기압)에서의 분자수.

범위를 좁혀 보면 건조는 어떤 광물에서 소위 결정수, 제올라이트 또는 구조수를 또한 포함한다(몬토릴로나이트 등). 모든 액체들에서처럼 물은 에너지를 흡수하면 기화하려는 경향이 있다. 이 변환은 무한히 지속되지는 않는다: 이것은 기체가 포화점(즉 기체로 증발되는 물

분자 수와 기체가 액체로 응축되는 기체분자의 수가 평형을 이룰 때)에 이르면 멈춘다. 이 평형은 온도가 올라가면 증가되는 포화증기압으로 알려진 압력과 관련이 있다.

온도 증가에 의해 증기압이 대기압과 같게 되면 비등(沸騰)이 일어난다(즉 기체는 액체의 표면에서 탈출할 뿐만 아니라 내부에서도 기포로서 탈출하게 된다). 모든 물질들에 대해서 낮은 분위기 공기압은 낮은 비등점과 일치하고 각각의 물질은 주어진 온도에서 고유의 증기압을 가지고 있다. 물의 포화증기압은 100°C에서 1기압(Fig. 1)이다. 액체-기체 변환 동안에 흡수된 에너지의 양을 감안할 때 건조 동안에 포함된 에너지의 양은 가끔 어렵잡을 수 있다.

건조는 3가지 주요 변수에 의해 조건 지어지는 일종의 과정이다.

- “분위기 건조능력(drying power of the environment)”: 상대습도, 공기 흐름 속도 등
- 모세관 수준에서 영향 주는 힘
- 수분의 방출에 기인된 치수 변화

건조 공정은 타일에 대한 주변 환경으로부터 열에너지

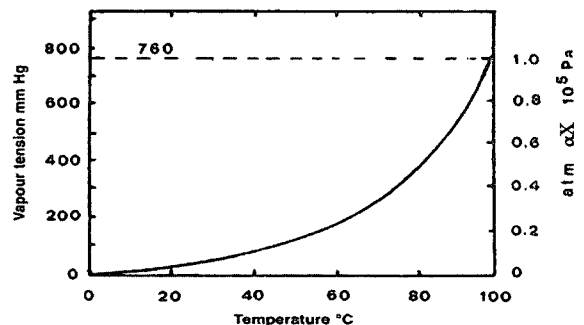


Fig. 1. 여러 온도에서의 물의 포화증기압.

지의 이동과 동시에 반대로 물의 변환을 포함한다. 전자를 위해 필요한 열(에너지)은 전도, 대류 및 복사의 방법으로 타일에 의해 받을 수 있다. 일반적으로 3가지 모두가 포함된다.

이상의 3가지 중 가장 일반적인 더운 공기 대류는 개략적인 가이드로서 다음 단계들로 나눌 수 있다.

- 타일에 공기에 포함된 열의 전달
- 액체에서 기체로 물의 변환
- 타일 표면으로부터의 기체의 이탈
- 타일 내부에서 표면으로 액체상태로 이동된 수분

표면에서의 증발율이 내부에서 표면으로의 모세관 이동 능력을 초과하면 초기단계 증발이 타일 자신의 안 쪽으로 향하는 동안에 다음 단계가 시작된다.

이것은 일반적으로 서로 다른 건조 속도 기울기와 다른 깊이 레벨과 일치하는 3 단계 특징을 나타내는 다공질 흡습성 물질들에 대한 전형적인 대류건조곡선으로 대표된다.

기존 타일용 열풍 건조기(Conventional hot air driers for ceramics)

건조속도는 크게 타일 내부의 물의 모세관 방산에 의해 주로 정해진다. 건조가 시작되면(즉 건조기 입구) 성형된 타일의 온도는 낮고 방산은 아주 느리다. 증발속도(evaporation speed)는 이 때문에 표면층의 압착을 방지하는 그러한 속도 유지가 필요하다.

이것은 기존의 건조기에서 왜 인입되는 타일들이 상대적으로 습한 열풍에 접하도록 놓여지게 하는가에 대한 이유이다. 성형된 타일의 표면에 대류에 의해 가열이 일어날 때까지(즉 건조 경계) 성형된 타일의 내부는 전도가 일어난다(일반적으로 성형된 타일은 아주 낮은 열전도도를 가지고 있음에 유의할 것). 가열속도는 일반적으로 온도와 송차시간에 의해 조정된다.

정해진 기공률을 가지는 주어진 타일에 대해 적합한 diffusion kinetics에 근거한 균일한 가열온도에 도달되는데 소요되는 시간은 본질적으로 타일의 두께에 의존한다. 물론 건조 사이클은 두께에 영향을 받을 뿐만 아니라 함수율에도 영향을 받는다. 압출된 또는 캐스팅된 제품들은 이들의 높은 함수율 때문에 수축건조, 축소-수축건조, 무

수축건조의 단계를 거치게 된다. 성형된 타일의 건조는 2 단계 일부와 3 단계 전부만을 포함한다.

모든 수축은 따라서 훨씬 적고 불균일한 수축에 의한 응력발생 위험도 그만큼 작다. 이와 같은 낮은 함수율 및 상호 관련된 "수축 둔감"은 최근 수년간 아주 높은 가열속도(heating rate)를 채용한 기계의 발전을 야기시켰다. 이런 접근의 목적은 강하게 가열 시에 팽창 하려는 반대 경향이 있는 물질에 대해 자연 수축(균열의 원인이 될 수 있는)을 방해하려는데 있다. 타일은 이 때문에 아주 쾌속의 건조 사이클(최근에는 불과 수분)의 사용을 허용하는 일종의ダイナ미한 평형을 유지하게 된다.

기술적 고찰(Technological considerations)

어떤 경우이건 유념할 것은:

- 어떤 함수기울기를 요하는 경계를 향한 방산
- 방산속도는 기울기와 더불어 증가됨: 성형된 타일은 표면에서 이어서 감소되는 초기에 균일한 함수율을 가지며 이 때문에 transport kinetics가 촉진된다: 비록 위에 언급된 주의사항의 채택에 의해 피할 수 있지만 건조가 맹렬한 곳에서 발생하는 균열 때문에 이 현상에 대한 이상의 기술적인 한계가 존재한다.
- 방산속도는 바다의 물리화학적 특성(조성, 입도분포, 비가소성 물질의 양 및 입도분포) 및 성형공정과 작업변수들에 관련 있는 미건조 타일의 침투력에 비례한다.
- 수분흐름비는 이동경로연장(migration route lengths) 만큼 감소한다: 이 때문에 아주 두꺼운 타일은 보다 느린 건조속도를 가진다.
- 물점도(water viscosity)는 흐름에 대해 증가하는 저항에 의해 transport kinetics를 억제시킨다. 물의 방산을 촉진 시키고 점도를 감소시키려면 가열한다(타일 전체를 포함한 가열).

표면 증발(surface evaporation). 이것은 공정 카이네틱스(kinetics of process)이고 실제로 2 개의 기본공정을 포함한다.

1. 경계증발(interface evaporation)(액체-기체 평형현상)
2. 온도(또는 오히려 물의 증기압) 및 분위기 온도-습도

조건(경계에서 그리고 기체상에서)의 기능인 수증기의 제거(농축기울기의 방법에 의해 전달되는 방산).

기존의 건조공정에서 열풍은:

- 타일 바디의 가열 실행 및 증발의 원인 제공
- 수증기의 제거

이와 같이 물 증발 및 수증기 제거비율은 공기온도에 의해 증가되고 인입속도는 증가되고 저함수공기에 의해 촉진된다. 양호한 건조는 2 개 공정(방산 및 증발)이 성형된 타일(증발율=방산율)의 내부로부터 동일한 양의 수분에 의해 대체되는 단위시간 당 증발되는 수분의 양을 허용하는 운동에너지를 가진다. 표준 공정 하에서 보다 느린 2개 조건은 내부방산이다.

어떤 주어진 물질에 대해(정해진 평면, 흡습성, 수분인) 조정 가능한 방산변수는 물 점도 뿐이다.

건조속도 = 성형된 타일표면의 단위면적 당 수분흐름 [kg/(m²h)].

이 마지막 관찰은 온도와 압력(또는 증기압) 간의 직접 관계를 설명한다. 상기 식에서 수증기는 “포화된 수증기”로 간주된다. 만약 압력이 평형점(equilibrium point) 이하이면 수증기는 “불포화된(unsaturated)”이라고 말한다.

포화된 수증기의 경우에 압력은 단지 일개 온도 기능일 뿐이다. 평형을 바꾸려면 증발될 물질의 잠열(潛熱)에 상당하는 어떤 열에너지를 시스템에 적용할 필요가 있다. 이 열은 각각의 물질에 대해 고유하며 “표준 단위중량을 전환시키는데 소요되는 열”로 정의된다.

수증기 응축은 칼로리적 에너지로서 표시하기 위한 잠열의 기초가 된다. 증발열은 아주 높으며 이론적으로 일단 물이 100°C로 가열되었을 때 605kcal이 1kg의 물을 증발시키는데 필요하다. 물을 덮고 있는 공간의 포화도가 증가하기 때문에 물의 증발은 확실히 감소한다. 세라믹에서 증발문제는 증발될 물이 고형분과 결합되어 있고 이 때문에 한정된 증발을 한다는 사실이다. 물은 고체입자들 간에 그들의 방법으로 감겨있는 수많은 모세관으로 된 일종의 망상을 형성한다. 문제는 어떻게 타일의 내부로부터 모세관을 경유하여 자유롭게 증발할 수 있는 표면으

로 이 물을 이송시킬 것인가이다. 이 문제를 해결하는데 2가지 변수가 있다 - 이들의 상대속도 - 고려 사항에 넣을 필요가 있는 방산 및 증발(diffusion and evaporation). 건조문제는 증발속도가 타일 내부로부터 표면으로 물이 방산되는 속도를 초과하지 않을 때 거의 해결되어지고 이로 인해 물은 제품에 손상을 주지 않도록 아직은 그다지 빠르지 않은 경제적으로 실행되기에 아주 충분한 그런 속도에서 증발할 수 있다.

건조는 이 때문에 성형된 타일의 내부에서의 물의 방산속도와 후속되는 증발속도에 의해 조종된다.

주요 증발 조건은 따라서:

- 표면증발(Surface Evaporation): 증발될 물의 양과 동일한 양으로 성형된 타일의 내부로부터 빠져 나오게 될 액체 물과 함께 주변분위기와 열역학적 평형 조건 하에서 일어난다.
- 소성조건(塑性條件) 하에서의 증발(Evaporation Under Plastic Conditions): 모세관을 경유하여 표면으로 계속해서 이동될 수증기와 함께, 평형조건 하에서 액체-수증기 경계에서 격자 및 모세관에서 일어난다. 과정은 타일 내부의 보다 깊은 경계구역의 이동과 함께ダイナミック 조건하에서 일어난다.
- 유동이 없는 내부증발(Internal Evaporation Without Flow): 위 사항과 유사하지만 유동을 야기시키는데 또는 점토질 입자의 침강 및 이로 인한 격자공극을 만드는 물의 제거를 유발시키는데 충분한 수분이 없다.

전문지에서 찾은 도표의 연구를 아래에 언급하였다:

- 약 75/25인 full/empty 체적비와 일치하는 건조로 야기된 수축을 허용하는 체적 안정성.
- 고체 중량으로 10~12% 변화하는 후속 건조에서 야기되는 수축이 뒤따르는 격자수(格子水).
- 함수율 10~12% 미만에 상당하는 치수변화는 실제로 무시된다.
- 성형된 타일의 다이내믹 평형은 물의 증발정도가 내부에서 방산되는 격자수 방산정도와 일치할 때 달성된다: 이로 인해 각각의 상황에서 환원하여 손상의 원인이 될 수 있는 응력을 만들 수 있는 치수변화 속도 범위를 벗어나는 소위 “임계(critical)”이라고 불

리는 어떤 증발속도가 있다.

- 주변 조건에, 평형으로 남는 온도, 필연적으로 의존하는 제 1 임계 비고트(Bigot) 포인트를 벗어나는 증발속도: 제 2 포인트 미만에서 이들은 세라믹 물질의 물리화학적 특성에만 의존한다.

방산속도(Diffusion Speed)는 아래 사항에 의존한다.

- 물분자의 오리엔테이션 및 이로 인한 이주능력에 영향을 주는 물질의 광물학적 특성.
- 방산되는 물이 경유하는 모세관의 형상 및 폭에 영향을 주는 입자크기 및 모양
- 타일의 함수율: 함수율이 고체입자 집중(입자들이 상호간에 접촉할 때에만 정지하는 수축)을 떨어트릴 때, 이 집중은 빈 모세관을 좁히고 이들의 일부를 막으며 방해로 증가시킨다.
- 성형된 타일의 온도
- 수축속도 및 범위, 증발기능으로서
- 증발될 액체의 표면장력/대기 증기압, 흡습상태, 상대습도 간의 관계

수축 동안에 모세관은 좁혀지고 이들 중 일부는 막힌다. 이 때문에 타일 바디를 통한 물의 방산에 대한 저항은 증가된다. 몇몇 연구자들에 의하면 이 저항은 모세관 직경의 4배 힘에 반비례한다. 그러나 모세관의 크기보다 더 방산에 영향을 주는 것은 모세관의 모양과 이 모양은 주변 입자의 크기 및 구조에 의존한다는 것이 발견되었다.

결론적으로 방산은 타일의 표면에서 증발이 있을 때에만 일어날 수 있다.

증발은 액체의 표면장력과 시스템을 덮고 있는 대기 증기압(atmospheric vapor pressure) 간의 비에 의존하기 때문에 방산속도 또한 이 비에 의존한다는 것은 명확하다.

방산속도(Diffusion Speed)는 다음에 의존한다.

- 공기온도: 보다 높은 공기온도는 보다 많은 양의 물을 부유상태로 유지시킬 수 있다.
- 공기속도
- 공기의 흡습상태: 주어진 온도에서 타일에서 제거될 수 있는 물의 양을 결정.

- 공기 흐름방향을 감안하여 매단 물체의 각도 및 공기에 노출된 표면적
- 물체에서 액체의 방산속도
- 증발될 액체의 표면장력/분위기 증기압 간의 관계

공기량, 온도 및 속도의 제어는 흡습상태를 알게 되면 보다 쉬워진다.

이상에서 건조공정은 서로 다른 온도에서 공기의 흡습 상태에 의해 조건이 정해진다. 합리적인 건조기의 사용은 이 때문에 공기중의 수분 특히 임계구간에서 유의 깊게 관리되어야 한다. 증발은 냉각에 영향을 주기 때문에 고체의 온도는 공기의 건조상태에 의존하는 범위보다 낮아야 한다.

장치는 2가지 유형의 온도계를 사용한다. 한가지는 구를 감싸지 않은 것이고 분위기 공기온도를 측정하며 다른 한가지는 항상 젖어있도록 구를 면으로 감싸 놓은 것이다.

이 2가지 구(bulb)들은 이 상황에서 물증발은 모두 중지하기 때문에 분위기 온도가 포화(100% 상대습도)일 때만 동일 온도값을 제공한다. 반대로 분위기 공

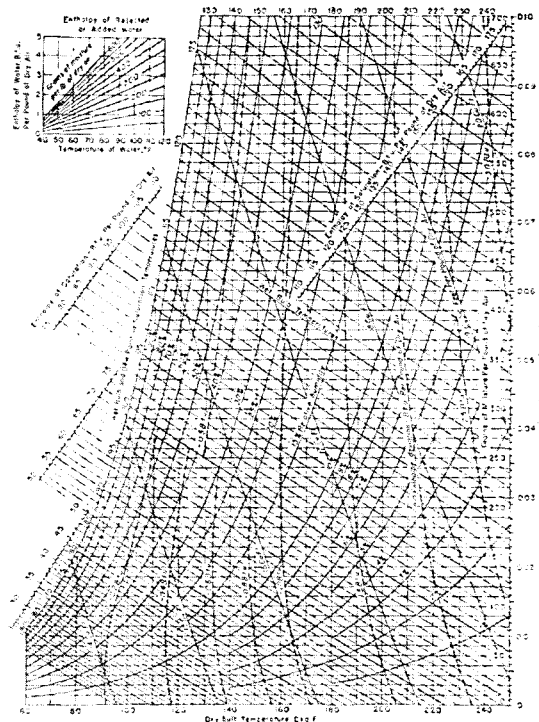


Fig. 2. 건조도표(Psychometric chart).

기가 완전히 건조되어 있는 상태이면 이 두 가지 온도의 차이는 아주 크게 된다.

습구와 건구(wet bulb and dry bulb) 온도측정은 항압(恒壓) 총 1기압에서 공기-수증기 혼합물의 습도를 보여 주는 계측도표를 연구자들에게 제공 가능하게 한다(Fig. 2).

적당한 건조를 위해서는:

- 온도-흡습 과정 변수들의 세심한 평가
- 적합한 바디 배합

아래의 사항들을 이행 시키는:

- 수축의 감소 및 변형 제한
- 건조응력에 견디고 후속공정에서 취급 가능한 굴곡 강도

이 때문에 바디배합에 감한 해줄 필요가 있는 중요 변수들로는:

- 가소성 물질의 비율: 이들은 건조바디의 결합력을 향상 시키지만 수축도 증가된다.
- 점토의 광물학적 특성: 건조 동안에 치밀해지고 불침투성의 조직으로 만들어지는 이들의 자연 상태로 점토를 해교시킴. 이들은 급속건조를 허용하는 보다 열려 있는 침투성 구조를 형성하기 위해 몇몇 어려움을 가

진 양이온들을 흡수한다.

- 비가소성 물질의 비율: 이들은 미소성된 바디의 굴곡 강도에 나쁘지만 수축 자체에 도움을 준다(특히 입도 분포가 미립일 때).
- 흡수율: 수축 및 가소성 증가. 실제로 미립입자는 바디의 흡습치에 비례한다.
- 성형압: 보다 높은 압력은 침투성과 물 방산을 억제하여 건조거동에 영향을 준다.
- 타일 크기: 이것은 아주 중요하다. 건조는 큰 표면적/용적비 경우 보다 빨리 진행된다(보다 얇은 타일은 건조가 빠르다).

기계(Machines)

세라믹 타일 산업에 사용되는 건조기는 수직형 및 수평형 2가지가 있다. 이들 이면의 기술적 개념은 근본적으로 같지만 건조로 내부의 열의 흐름은 굴곡강도에 밀접한 관련이 있는 수축에 영향을 주는 사이클 시간에 있어 큰 차이가 있다. 기계 상의 작업조건 및 공기변수(최고 온도, 속도, 체적 및 흡습값)는 따라서 이 두 타입의 건조기 상에서 당연히 차이가 있게 된다.

급속 수직형 건조기(Rapid vertical driers)

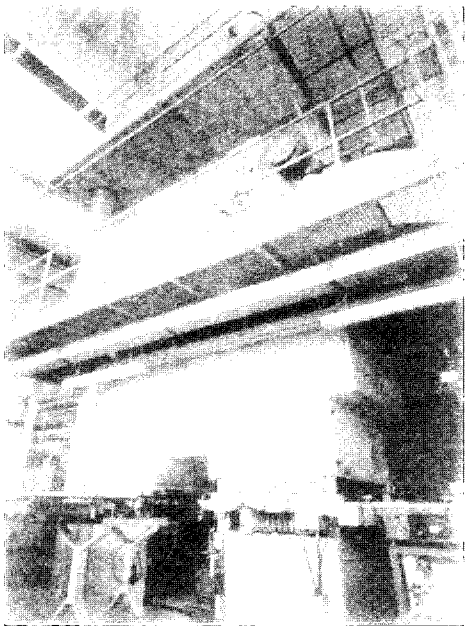


Fig. 3. 급속 수직형.

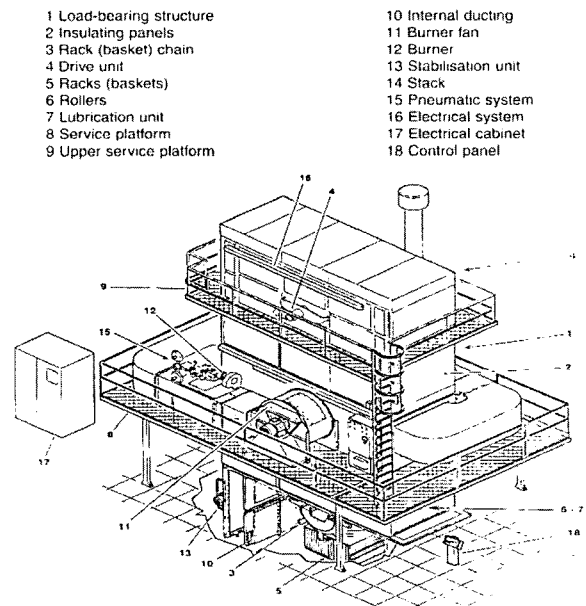


Fig. 4. 수직형 건조기의 주요 부분을 보여 주는 단면도

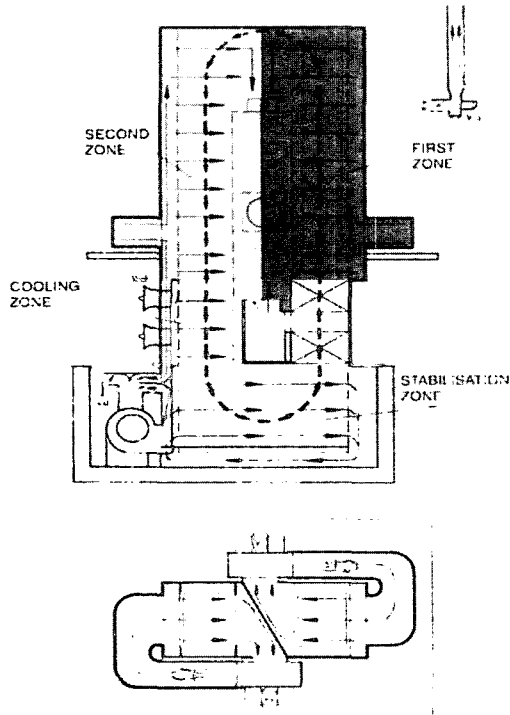


Fig. 5. 냉각장치가 있는 열풍 순환도

고성능 급속 수직형 건조기들이 자동 타일제조 라인에 이상적이다. 이들은 최적의 기술적 결과를 득할 수 있도록 설계되었다: 낮은 함수율, 균일한 온도분포, 양호한 제품 굴곡강도 및 에너지 절약형(Fig. 3) 자동식 수직형 건조기는 타일을 운반하는 롤러가 설치된 바스켓들을 이동 시키는 체인 구동 시스템이 있는 수직 골조로 되어 있다. 타일들은 자동으로 적재된다 서로 부딪힘이 없어 롤러들이 회전될 때 바스켓 상에.

버너에 의해 생성된 열풍과 송풍팬이 대류방식으로 타일들을 건조 시킨다. 이 공정은 후속 생산공정(시유, 소성 등)에 적합한 제품을 득하게 한다. 즉

- 낮은 함수율
- 양호한 굴곡강도
- 설정온도

Fig. 4는 수직형 건조기의 주요 부분을 나열한 것이다. 대신 Fig. 5는 출구에 배출장치와 냉각장치가 있는 수직형 건조기에 대한 도면이다. 건조기 조작조건(열풍온도, 습도 및 흐름비)은 3개의 다른 부분으로 구성된 건조기

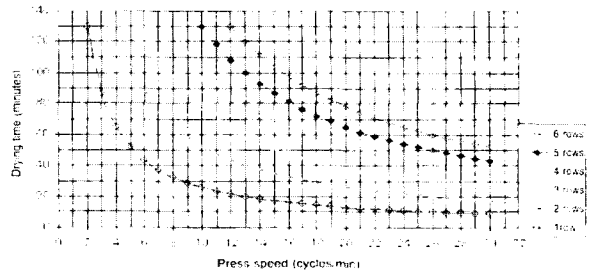


Fig. 6. 프레스 생산량과 건조시간 간의 관계.

Table 1. 여러 가지 크기 및 두께에 대한 건조시간

UNFIRED SIZE (mm.)			APPROX. DRYING TIME (min.)
width	length	thickness	
161	161	6	30
161	215	7	35
215	215	7	35
269	269	8	41
215	323	8	44
323	323	8	44
355	355	9	49
323	430	9	50
430	430	10	53
538	538	11	58
645	645	12	64

와 3개의 독립된 장치에 의해 제어된다. 첫 번째 구간(건조기에 타일이 인입되고 상승되는)에서 타일은 버너 및 송풍 팬에 의해 발생된 타일 면에 수평으로 이동하는 열풍 흐름에 노출된다. 흡배출 격자는 열풍의 분배 및 건조기 내부에서 여러 층에 있는 바스켓에 직접 불어 주는데 사용된다.

일단 열풍이 바스켓 상에 붙어지면 대기로 배출 시키는 송풍 팬에 의해 일부분(소량 조정가능)은 방출되고 팬에 의해 나머지 대부분은 내부 덕트를 통해 재순환된다.

두 번째 구간에서 순환(타일이 아래로 내려가는)은 아직 첫 번째 구간과 유사하지만 이 구간은 별도의 팬과 버너 그리고 흡배출 담퍼가 있다.

별도의 팬이 하부 안정구역에 제어하고 최종구역은 실제 건조사이클을 제공한다. 상당한 자원이 이 구간의 개발 및 완벽화에 투입되었고 이로 인해 균일한 타일온도 요구에 부합되게 되었다.

안정화를 이루기 위해 타일은 두 번째 구간에서 배출되는 열풍과 외부 찬 공기를 혼합시켜 일정한 온도로 유지되는 열풍에 노출되도록 해줄 필요가 있다. 모듈레이팅

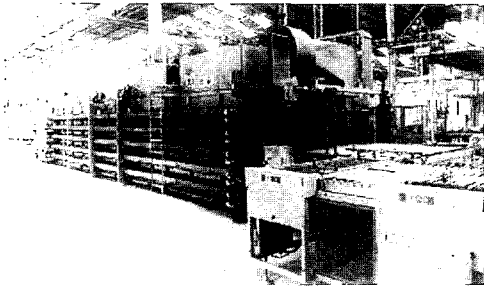


Fig. 7. 다단형 수평식 건조기.

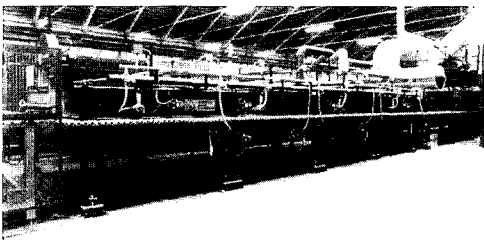


Fig. 8. 수평식 건조기(1단형).

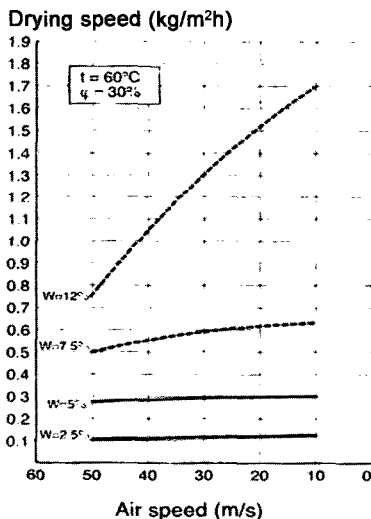


Fig. 9. kg/m²h(W=타일 습도%)로 표현되는 공기속도 및 건조 속도 간의 관계.

밸브에 의해 양이 조정되는 이 “안정화(Stabilization)” 공정은 후속 생산공정(시유, 솔루블 솔트 시유, 건식연마 등)에서 요하는 타일 특성이 되도록 제어한다.

건조 사이클은 일반적으로 두 번째 구간에 낮은 온도(최종 온도에 가까운)가 설정될 수 있도록 하기 위해 즉시 고온(타일들이 초기에 신속한 수분증발에 견딜 수 있다는 가정하에)에 타일들을 노출 시킨다. 이것은 안정화 효과와 제품의 굴곡강도를 극대화 시킨다.

타일이 균열에 예민한 경우 사이클은 적합하게 조절할

수 있다. 이것은 온도가 점진적으로 상승되도록 하기 위해 열풍속도를 감소시켜(담파를 경유) 초기 타일 가열 구간을 만들어 줌에 의해 달성할 수 있다. 또한 나가는 타일 온도(65°C)를 아주 낮게 유지시키기 위해 건조기는 건조로 내 상부 열풍이 하부 건조구간으로 유입되도록 2축 팬을 장착할 수 있다. 이것은 또한 배출되는 타일 온도가 40~50°C에 도달 시키는 것이 가능하다. 유연한 타일 적재 및 하역과 다양한 타일 크기의 수용은 바스켓 상에 타일 들이 정확하게 정렬되어 실리는 것이 가능한 미끄럼방지를 위한 양 축 롤러 구동 시스템 및 회전을 제어하는 엔코더가 있는 인입 및 인출 롤러에 의해 제공 된다.

바스켓 이동은 체인 구동 모터에 있는 인버터에 의해 제어된다. 이 시스템은 최대 정확도를 제공하고 또한 과 부하를 방지 시킨다. 게다가 모든 바스켓 경로를 따라서 설치된 가이드들은 항상 올바르게 바스켓이 위치를 잡도록 하여 준다.

바스켓들은 체인에 고정된 특수 암들에 의해 지지된다. 이들은 마찰저항이 없이 이동되도록 하여 주고 이로 인해 에너지 소비를 감소 시킨다. 두꺼운 단열은 열손실을 최소화 시킨다. 이들 건조기의 잠재력을 아래 도표 및 그래프에 나열하였다(Table 1 및 Fig. 6).

수평식 건조기(Horizontal driers)

초기 급속건조기들에서 얻어진 경험은 아주 낮은 잔여 함유율(4~7%)을 가진 성형된 타일을 건조시키는데 프레스와 건조기가 마주 보는 몇 가지 기본 개념에 대한 보다 큰 이해를 야기 시켰다.

1. 환기: 열풍은 균일한 가열과 타일 표면으로부터 효과적으로 수증기가 제거되도록 하기 위해 타일 면과 반드시 평행 이어야 한다.
2. 건조공기 온도: 증발속도에 중요한 역할을 한다.
3. 수분 증발속도: 수직건조기의 경우보다 열풍의 상대 습도 및 속도에 덜 영향을 받는다.

수평식 건조기는 롤러로 구동되는 1단에서 5단까지 제작이 가능하다. 이들은 버너에서 발생된 그리고 킬른에서의 폐열에 의해 만들어진 열풍을 단열된 각 단계 공급시키는 구조이다(Figs. 7 및 8 참조).

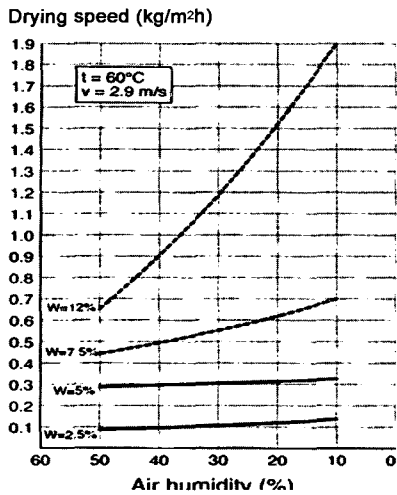


Fig. 10. $\text{kg/m}^2\text{h}$ (W=타일 습도%)로 표현되는 공기습도(%) 및 건조속도 간의 관계.

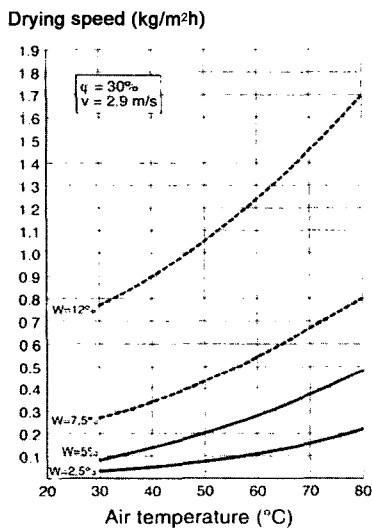


Fig. 11. $\text{kg/m}^2\text{h}$ (W=타일 습도%)로 표현되는 공기온도(°C) 및 건조속도 간의 관계.

Figs. 9, 10 및 11은 주요 타일 건조에 영향을 주는 인자들 도표이다. 이들은,

- W: 중량% 타일 함수율
- V: 평면 타일 표면을 덮고 있는 공기의 속도
- Wr: 건조공기(역자 주: 열풍)의 상대습도
- T: 건조공기의 온도

주: 건조속도란 1시간 동안에 타일 표면 1m^2 의 표면에서 날라가는 물의 무게(kg)를 의미한다. 그래프들은 샘플들이 아주 높은 함수율(예: 12%)을 가진 경우 보다 높다는 것을 보여 준다.

또한 성형된 타일의 함수율이 아주 낮으면(5-7%) 건조공기의 상대습도는 더 이상 중요하지 않다는 것에 주목할 것. 이것은 특히 건조기 가동 및 정지 시에 때때로 급속 건조기를 단속적으로 조작할 수 있고 그리고 상대습도를 크게 변경 시킬 수 있다는 이점으로 된다.

수평건조(급속 사이클)에서 타일은 기술적 관점에서 1권에 언급된 이론적인 건조설명에 언급한 것처럼 더 또는 덜 영향을 받는다.

그러나 만약 성형된 타일 함수율이 아주 낮으면 모세관에 수분이 아직 있더라도 물을 증기로 변화 시키도록 타일 온도를 100°C 이상으로 승온시키는 비정상적인 건조 사이클을 사용하여 증발을 가속 시킬 수 있다.

증발조건(Evaporating conditions)

Table 2는 처리온도 기능에서 어떤 물질의 최대수분 증발속도를 보여 주고 있다.

처리온도 기능에서 최대 증발속도($V_e \text{ MAX}$)($\text{Kg/m}^2\text{h}$)

대신에 Fig. 12는 처리온도 기능에서 어떻게 최대증발속도($V_e \text{ max}$ 전통 세라믹/ m^2h)가 변경되는 가를 그래프 형태로 제시하고 있다.

Table 2. 처리온도 기능에서 최대 증발속도($V_e \text{ max}$ $\text{kg/m}^2\text{h}$)

Body type (spray dried products)	Treatment temperature		
	180°	220°	260°
Red monoporosa. 5.3 mm thick, moist. cont. 4%	1.2	1.5	2
White single fire 8.8 mm thick, moist. cont. 4.7%	1.6	2.2	2.9
Red single fire 8.8 mm thick, moist. cont. 5.8%	1.7	2.4	3.1

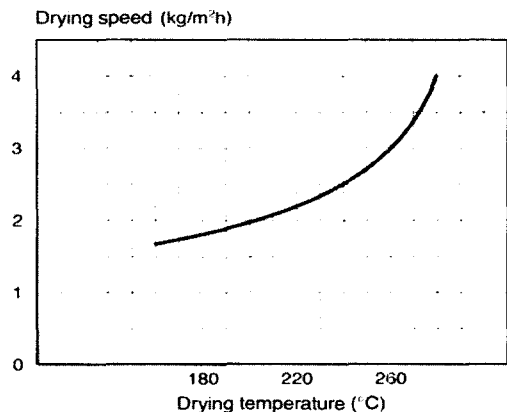


Fig. 12. 처리온도 기능으로서의 증발속도($\text{kg/m}^2\text{h}$).

서로 다른 규격 및 두께의 타일에 있어 도달 가능한 건조속도를 고려할 때 빠른 증발속도는 다른 건조 시스템(아래에 언급한)의 사용 없이 열풍 단독으로 사용하여 타일에 어떤 손상을 입힘이 없이 건조시킬 수 있다고 단언할 수 있다.

적외선(Infrared rays)

건조라기 보다는 차라리 단순한 가열이며 그 이유는 0.8~3 마이크로론의 파장을 가지는 전자기적(電磁氣的) 복사파가 세라믹 바디에 부딪히기 때문이며 물은 이 파장의 빛을 차단하기 때문에 불과 수 mm만 침투가 가능하다.

이 때문에 타일의 표면은 대류에 의해 내부로 확산되는 열에 비해 보다 빨리 가온된다. 항상 실제 건조는 수증기를 제거하는 어떤 열풍흐름을 요하는 반면 이것은 타일의 온도가 모세관에서 현저하게 물의 점도를 떨어 뜨리는데 충분한 그러한 곳에서만 신속하게 일어난다.

그러나 이 방법은 두 가지 중요한 결점이 있다. 첫째로 과열의 원인이 될 수 있는 고온의 복사열원 하에 타일을 놓아야 한다는 것이고 두 번째는 전력비가 높다는 것이다(역자 주 : 가열 열원으로 가스의 사용도 가능하며 대류열이 병행되지 않은 복사열만의 건조는 효율이 좋지 않음. 따라서 대부분의 타일공장들은 열풍건조 타일을 선호하는 경향임).

마이크로파(Microwaves)

세라믹 바디는 2.5 GHz 범위의 초음파로 가열할 수 있다. 이들은 특수하게 설계된 파장반사기를 통해 물질에 조사된다. 이중 극에 반항하는 습성이 있는 물 분자는 에너지를 방산시키며 이 때문에 즉시 타일 전체에 가열이 가능하다(비록 잡다하게 감안할 만한 부수효과가 있음에도 불구하고).

발생된 수증기는 열풍흐름에 의해 따라 나간다.

결점:

- a) 높은 설치비용
- b) 비록 효율이 높다고 하더라도 전기를 열원으로 하기 때문에 높은 건조비용이 든다.
- c) 초음파의 누출은 인체 중추신경에 손상을 줄 수 있고 여러 모로 위험하기 때문에 안전 및 위생 문제가

있다.

기술적 관점(Technological aspects)

급속 수평식 건조기의 기술적 관점은 전반적으로 수직형 건조기의 그것과 유사하다.

먼저 바디 조성은 앞서 언급한 관점과 주요 건조 변수(건조시간, 속도, 습도 및 열풍 온도) 감안할 필요가 있다. 수직형 건조기에서 건조는 아래 사항들을 필요로 한다:

- 열-습도 과정 변수의 세심한 평가
- 적합한 바디 조성

아래와 같이 변화되는:

- 수축감소 및 한정된 변형
- 건조응력에 견디는 굴곡강도 및 후속 생산공정에서 취급이 가능한

올바른 바디 조성을 위해 고려해야 할 변수는 수직형 건조기에 언급된 사항들과 동일하다.

건조 사이클 및 타일 두께의 관계(Relationship between drying cycle and tile thickness)

건조기 크기 및 건조시간은 크게 보아 타일의 크기에 의한다. 시험설비는 타일 두께 및 가장 긴 측면길이의 기능으로서 적합한 건조 사이클을 주는 간단한 계산식의 완성을 도출하는 양산규모에서 득해지는 결과들과 비교 및 시험을 한다.

이 계산식은 아래와 같이 주어지며 2개의 다른 레이아웃을 인용하였다.

프레스 → 건조기 → 시유

$$T_{oe} = [(S)^{3/2} + (0.02 \times Lm)^{1.3}] \times Ko$$

Teo : 분단위 건조시간

Ko : 물질 계수

0.40 : 백색 및 적색 일회소성 바닥 타일

0.45 : 백색 및 적색 일회소성 벽 타일

0.55 : 포슬레인 타일(솔루블 솔트)

S : 총 두께(mm)

Lm : 가장 긴 변(mm)

프레스 → 건조기 → 저장

$$Toe = [(S)^{3/2} + (0.02 \times Lm)^{1.3}] \times Ko$$

Teo : 분단위 건조시간

Ko : 물질 계수

0.50 : 포슬레인 타일(무유, salt, pepper)

0.55 : 포슬레인 타일(large grain)

S : 층 두께(mm)

Lm : 가장 긴 변(mm)

일반 관찰(General observations)

제품의 손상 없이 아주 높은 증발속도의 사용이 가능하며 따라서 아주 빠른 사이클의 건조기를 만들고자 하는 확실한 유혹이 있게 된다. 아직 현재의 건조기들에서 가장 필요로 하는 기술적 변수는 배출되는 타일들의 일정한 온도 때문에 짧은 사이클 유지는 충분하지 않다는 것이다.

이것은 이 변수에서 어떤 변화가 시유 라인에서 진정으로 부합될 수 있기 때문이다. 긴 정지에 의해 복잡하게 된 공정에서 배출되는 타일 온도에 대해 특수 온도제어 장치에 의해 제어가 되는 온도로 공기의 사용은 건조 사이클은 어떤 지속에서만 가능하다.

열동력학적 관점에서 아주 높은 온도의 공기의 사용은 굴뚝에서 지나친 손실을 방지하기 위해 그러나 이것은 타일 자체에 바람직 하지 않은 응축을 야기 시키기 때문에 아주 높은 수증기를 함유한 채 작업을 하도록 제조자들을 압박하게 될 것이다. 이런 유형의 건조에 필요로 하는 키(key)로는:

- 1) 건조 사이클은 반드시 타일 두께에 적합하여야 하고 온도는 필히 지나치게 높지 않아야 한다.
- 2) 배출되는 타일의 온도는 제어해 줄 필요가 있다.
- 3) 구체적인 에너지 소모가 필히 포함되어야 한다.
- 4) 기계는 반드시 단순해야 하고 치밀하여야 한다.

일반적으로 말하면 모든 타입의 프레스는 각각의 성형 사이클에서 생산된 타일의 수의 배를 수용할 수 있도록 설계된 입구가 있는 프레스에 맞는 건조기를 가지고 있다. 이것은 보다 간단한 그리고 저렴한 공급장치를 만들

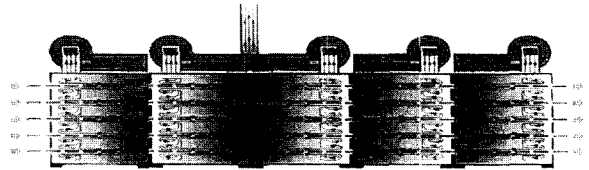


Fig. 13. 다단 수평식 건조기(공기흐름도).

게 하고 나아가서 면적도 감소하게 한다.

보다 넓은 단면부를 가지는 기계의 설치에 아주 좁은 측면공간 만이 사용 가능한 곳에서 롤러의 제거가 허용되는 한 장치에 의해 가능하게 되었다. 다단식 수평 건조기 시스템은 수십년 동안 열처리 산업에서 사용되어 온 것과 별 차이가 없으며 이미 분리식 배기 모델들(즉 건조기는 Fig. 13에 나열된 일련의 배기 셀처럼 설계되어 있다)에서 수직형 타일 건조기에 적용되어 왔다(부분적으로).

여기서 각각의 셀들은 온습도 관점에서 건조기 자체의 순환 시스템, 열풍발생장치, 공기 흡입 및 배출포트(굴뚝으로 배출공기를 이동시키는)가 장착된 완전히 독립되어 있다.

재순환 공기는 구동 유니트 반대편 측벽을 통해 덕트처럼 생긴 호퍼를 경유하여 들어가고 나가며 이 때문에 좀 더 넓은 공간이 있는 그리고 서로 다른 층에서도 잘 균형된 공기 공급을 제공한다. 또한 시스템은 “하향식” 방출/건조 셀의 전체 길이를 덮는 인입 시스템을 채용하였다. 공기는 가변식 개구의 입구를 통해 흐르며 특별하게 위치한 덕트와 반사판들은 균일한 단부 흐름을 보장한다.

건조 동안에 타일은 타일 면들과 평행하여 흐르는 공기에 노출된다. 건조기 각 층은 처리 셀(treatment cell)이라고 불리는 비고정식 금속판에 의해 구분된다.

배출공기는 최대 열동력학적 효율(재순환 공기의 엔탈피-또는 총 열이 최소인 곳)을 얻도록 설계된 지점에서 배출된다.

이 때문에 이런 유형의 기계는 배출되는 타일 온도의 제어에 아주 유용한 최종 안정화 구간을 포함하는 적합한 건조곡선의 작성이 가능하다.

시유 라인이 정지된 경우에 타일은 건조기 내부에 있게 될 수 있다. 이것은 임의 설정 가능한 건조곡선을 통

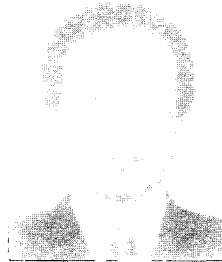
해 구해진 “유지온도(holding temperature)”로 설정된 변동 로직 때문에 배출되는 타일들의 온도 변화의 원인이 될 수 있다. 더욱이 내부 온도는 서보 모터로 구동되는 외기 공기 흡입 밸브에 의해 급격히 하강될 수 있다.

기존의 킬른에 사용되는 롤러 구동장치를 채용한 구동 장치는 밀폐형 오일조와 헤리컬 기어가 특징이다. 이 시스템은 아주 신뢰성이 높으며 실제로 보수유지가 필요 없다.

특진

- 절대습도(ABSOLUTE HUMIDITY): 건조공기 kg 당 수분량
- 상대습도(RELATIVE HUMIDITY): 공기의 증기압/포화증기압
- % 습도(PERCENTAGE HUMIDITY): 건조공기 kg 당 수증기 양/완전히 포화된 건조공기 1kg에 함유된 수 증기 양
- 증기압(VAPOR PRESSURE): 액체압과 평형인 증기압
- 표면장력(SURFACE TENSION): 표면적을 최소화 시키려는 액체의 표면에 작용하는 힘.
- 습구온도(WET BULB TEMPERATURE): 물에 구(球)를 함침시켜 구해진 온도로 공기에 노출된 표면. 공기로부터 물로 전달되는 예민한 열은 물의 증발잠열에 대해 평형으로 된다.

- 증발열(HEAT VAPORISATION): 일정 압력 및 온도에서 단위 액체의 증발에 소요되는 열에너지의 양. 또한 기화 엔탈피, 증발열 및 증발잠열로 알려져 있다.
- 비열(SPECIFIC HEAT): 어떤 화학적 또는 상변화(相變化) 없이 물체를 1°C 올리는데 소요되는 열량.
- 건구(습구)도표(PSYCHROMETRIC(OR HYGROMETRIC) CHART: 온도(X-축) 및 절대습도(Y-축)인 기체-증기 시스템(공기와 수증기와 같은)의 특정 조건을 표현하는 각 포인트: 상대습도, 습구온도 및 증발잠열 등과 같은 시스템의 다른 특성은 도표 상에 라인으로 지시되고 있다(Fig. 2).



허남석

- 1972년 중앙대학교 이공대학 화학공학과 졸업
- 1975년 대한 페인트 입사
- 1978년 현대차량 입사
- 1982년 대우중공업 입사
- 1986년 (주)삼현 입사
~현재 (주)삼현 부사장