

# 세라믹의 제조 공정

## 1. 제조공정의 소개

- 1) **원료의 조합 및 분쇄** : 정제된 고순도의 원료를 사용하여 화학적으로 합성하는데 혼합된 재료를 볼밀에 투입한다.
- 2) **조립** : 분말을분무하여 순간적으로 열풍에 건조 시켜 과립상태의 분말을 제조한다.
- 3) **성형** : 각 사양에 적합한 성형방법을 선택하여 생소재(GreenBody)를 만든다.
- 4) **1차 가공** : 생소재를 최종 제품에 근접한 형상으로 만든다.
- 5) **소결** : 재질 형상에 적합한 로를 선택하여 최적의 온도조건에서 소결을 한다.
- 6) **2차 가공** : 세라믹 특성을 고려하면서 다이아몬드 휠을 이용, 고정도의 정밀 치수가공을 한다.
- 7) **측정** : Submicron 의 Flatness, Roughness 를 Nanometer 및 3차원 측정기로 측정 관리한다.

## 2. 제조공정 설명

### 1) 조합 및 분쇄

조합은 잘 정제된 원료를 Water 와 유기물인 Binder, Lubricant 등을 섞어서 정해진 시간 동안 Mixing 을 행하는 공정이다.

분쇄는 Ballmill 에서 행해지며, Ballmill 의 내부는 Alumina Ceramic 으로 Coating 이 되어있다.

원하는 재질 물성을 갖기 위해서는 분쇄된 원료의 Particle Size, Size Distribution, Shape 등이 중요하다.

평균입자 명은 99.7% 경우는 Submicron, 96% 는 1~3 Micron 으로 관리되고 있다.

## 2) 조립(Granulation)

조립을 하는 방법 중 일반적으로 Spray Dryer 을 사용하는 것이 가장 효과적이고 경제적이다. M.P.S(Mean Partical Size)는 60~80  $\mu\text{m}$  관리되고, Power Size Distribution 2-Band Type 이다.

### 【Spray Dryer】

일명 「분무건조」라고 한다.

잘 Mixing 된 내장(slurry)을 열풍으로 순간건조 시켜 비교적 일정한 형태와 크기의 구형의 Powder 를 생산한다.

분무건조는 성형용 세라믹 파우더를 준비하는데 가장 폭 넓게 사용 되어지고 있다. 내장은 흐름성이 좋고, 높은 밀도의 가장 최적의 Powder 를 생산하기 위하여 엄격한 조건하에서 건조하여야 한다.

## 3) 성형

구형화 된 Powder 를 일정한 형틀에 넣은 후, 압력을 가해 원하는 성형체를 만든다.

### 성형의 유형

분말성형 (Dry Press)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 큰 부피의 제품에는 한정이 있으나, 매우 적합한 제조법</li> <li>. 원하는 형상의 몰드 속에서 상.하 서로 반대되어지는 방향에서 압축</li> </ul>
정수압 성형 (CIP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 적은 수량이나, 대형기물을 제작할 경우에 매우 경제적이고 적합</li> <li>. 1차 가공(Pre-Sinter Machinning)을 요하는 복잡한 형상의 제품에 적용</li> <li>. 신축성이 좋은 고무 제품의 Tool System 에서 모든 방향으로 압축성형-파스칼의 원리 이용</li> <li>. 밀도가 균일하고 NNS(Near Met Size)가 가능한 성형체</li> </ul>
주입성형 (Slip Casting)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 원하는 형상을 기공이 많은 몰드(석고)에 슬립으로 주입</li> <li>. 몰드(석고)의 수분 흡수에 의하여 고형화 시키는 방법.</li> </ul>
압출성형 (Extrusion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>. 가소형 유기바인더가 포함된 세라믹 파우더를 높은 압력을 가하여 금형(DIE)을 통하여 뽑아냄</li> </ul>

	. Die Opening 의 형상에 따라서 원형 또는 사각의 Tube 를 성형
사출성형 (Injection Molding)	. Heated Plasticized Ceramic Body 를 높은 압력으로 Die 를 통과시킴.
Hot Isostatic Press (Gas Pressing Sintering)	. Sintering 와 Isostatic Pressing 이 동시에 실행되는 방식 . 압력 매체로 불활성 가스를 사용 . Cost 가 높고 재료의 특성을 극대화 시킬 경우에만 적용

**【Cold Isostatic Pressing - 수압성형】**

▶ 성형의 장점

모든 방향에서 균일한 압력이 가해짐. (파스칼의 원리)  
밀도가 균일하다.

▶ 금형(Mold)

소성 후 원하는 규격을 얻기 위하여 소성시 발생하는 수축율을 감안하여 제작하여야한다.

우수한 금형의 선택이 성형공정의 중요요소가 되고 안정된 Green Body 상태를 얻어낼 수가 있다.

**4 ) 1차 공정 - Green 가공**

**【개 요】**

분말성형체를 소결하기 전에 가공하는 것을 의미한다.

Ceramics 는 소 결 후 경도 및 강도가 높으므로 소성 후 가공이 난이하다.

형상이 까다롭거나, 소결 후 가공을 할 수 없는 부위를 소결전 선반이나 밀링 등 각종 공작기계를 이용하여 Turning, Milling, Drilling 등의 기계가공 기술에 의하여 복잡한 형상의 제품을 만들 수 있다. (소성시 수축율이 크기 때문에 정확한 수축율을 계산, 진원도, 평행도 등을 고려하여 작업을 하여야 한다.)

**【가공정비】**

- ▶ 선반기 : 원형제품 (봉/파이프/볼트/Ring)을 가공
- ▶ 밀링기 : 사각제품, Hole 작업 및 복잡한 형상의 제품을 가공
- ▶ C N C : 다양하고 복잡한 형상의 제품을 가공

**【가공공구】**

성형체 자체가 상당한 경도를 지니므로 일반 Steel 및 비철 공구로서는 가공이 안 되므로 소재에 따라 공구를 선택해야 한다.

비산화물계(Sic/Si<sub>3</sub> N<sub>4</sub> ) : 다이아몬드, CBN 공구

산화물계(Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> ,ZrO<sub>3</sub> ) : 초경공구, CBN, 다이아몬드

**【가공방법】**

성형체 자체가 분말의 결합 상태이므로 취급시 Crack, Chipping 에 주의하여 가공 Stress 로 인하여 소결시 Crack 및 물성저하가 일어나지 않도록 하여야 한다.

**5 ) 소성 (Sintering)**

성형체는 1600℃ 이상의 고온에서 소결되며 온도와 시간의 Profile 은 매우 주의 깊게 관리되어야 한다.

소결에 위한 치수관리 공차는 0.1~2 % 의 범위이며, 치수와 형상에 따라 변할 수 있다.

소성은 다음 3 단계로 나눌 수 있다.

1 단계	구형화 작업에서 사용된 유기물의 분해
2 단계	입자들 사이의 빈공간 즉 기공의 제거
3 단계	치밀화와 입자 성장

치밀화를 높이기 위해서는 가능한 높은 온도와 소결시간을 길게 유지하여 기공을 제거 해야 한다.

그러나, 과도한 입자성장이 이루어지면 기계적 강도는 떨어지므로 미세한 입자로 구성된 고밀도의 소모체를 얻기 위해서는 소결동정에 수반되는 여러 가지 요소들인 소결온도, 소결시간, 소결분위기 등의 효과적인 제어가 소결의 성패를 좌우하므로 세심한 관리가 필요하다.

세라믹스 제조에는 열처리 공정이 필수적이며, 전단계인 원료 분말조건, 혼합 및 성형 조건 등도 소결 조건과 매우 밀접한 관련이 있다.

**【소결의 개요】**

Green 상태의 Bar 를 원하는 일정한 형상으로 1 차 가공을 하고 로에서 소결을 하게 된다. 로에서는 Powder 분말들이 가열 또는 열처리에 위해 결합되어 단단해지는 과정을 의미하는 것으로 입자들 사이에 존재하는 공간 즉, 기공을 없애는 치밀화와 입자들이 접촉되어 성장하는 입자성장을 포함한다.

그리고, 소결체에는 결정입자, 입계, 기공이 존재하며 소결체의 특성은 입자를 구

성하고 있는 결정물질의 본질 뿐만 아니라, 입자가공을 포함한 미세구조에 현저하게 의존하고 소결의 구동력은 입자의 표면 에너지이므로 원료분체가 미세하게 될수록 표면적이 증가하여 소결속도가 크게 된다.

원료가 미세하면 치밀화를 위한 물질 이동거리가 짧고 입계도 많게 되어 가공의 확산이 촉진되며 치밀화 속도가 증가하게 된다.

### 【수축】

Powder 가 미세할수록 표면적이 크기 때문에 수분을 많이 흡착하여 가소성이 높아진다. 그러나, 미세한 Powder 가 많으면 수축율이 커지고, 균열의 원인이 되면 건조속도가 느리게 된다.

그러므로, 수축율을 적게 하고 균열을 방지하려면 미세입자를 적게 하여야 한다. 또, 건조 강도를 강하게 하려면 미세입자의 함유량 이외에 입도의 분포가 알맞아야 한다.

### 【소성시 Saggar 를 사용하는 이유】

성형품을 정확히 유지하고 화염/재/연기/기타 나쁜 영향으로부터 제품을 보호하는데 있다.

Saggar 는 측면 및 바닥 부분이 각각 두께이며 또 균일적이어야 한다.

균질적인 부분이 있으면 열분화가 균일하지 못하여 제품에 내부왜곡이 생기는 수도 있다.

## 6 ) 2차 가공(소결후 가공)

### 【개요】

소성후의 가공을 말한다.

정밀한 제품 및 우량의 표면을 얻기 위해서는 소성 후에 다이아몬드 연삭가공을 하여야만 한다.

치수공차는 최소 2  $\mu\text{m}$  까지 가공할 수 있으며 치수와 형상에 따라서 특별한 기술 (special Techine)을 사용하면 Submicron 까지 가능하다.

### 【가공장비】

원통 연삭기	원형 제품/내외경가공을 주로 한다.
성형/평면 연삭기	평면 및 성형작업을 주로 한다.
JIG 그라인딩	정밀한 Hole Position 이 정밀한 제품을 가공한다.

레이저	복잡한 형상 및 마킹용으로 적용 (레이저 장비는 지금으로는 작업의 제한성이 있음)
CNC	복잡하고 다양한 형상가공, 일반적으로는 어려운 가공을 진행한다.

### 【가공공구】

다이아몬드 공구를 사용하며 결합방식에 따라 Resin, vitros, Metal 전착으로 나누어 진다.

### 【가공방법】

가공 시 고열이 발생되므로 냉각수 공급을 충분히 하여야 한다.

취성이 약하므로 작업시 강한 충격이나, 무리하게 절입을 하여서는 안된다.

### 【경면 작업- Finishing 작업】

제품 용도에 따라 양질의 면을 요구하므로 그에 따라 작업을 한다.

가공기	Lapping M/C, Polishing M/C, Hand M/C (Freedom)
가동용제	SiC Powder, Diamond Powder
가공방법	습식작업을 원칙으로 한다.