

무가압 분말 충전 성형법을 이용한 알루미나 세라믹스의 제조: (I) 무가압 분말 충전 성형법 개발 및 성형체 특성 관찰

박정현 · 성재석 · 이상진
연세대학교 세라믹공학과
(1993년 10월 6일 접수)

Preparation of Alumina Ceramics by Pressureless Powder Packing Forming Method: (I) Development of Pressureless Powder Packing Forming Method and Characterization of Green Body

Jeong-Hyun Park, Jae-Suk Sung and Sang-Jin Lee

Dept. of Ceramic Engineering, Yonsei University

(Received October 6, 1993)

요 약

기존 성형법들의 단점들을 보완하고자 분말 충전과 결합제 용액 침투 방법을 이용한 무가압 분말 충전 성형법이라는 새로운 성형법에 대해 연구하였다. 분말 입자 크기 및 형상이 다른 여러 종류의 알루미나 분말을 출발 물질로 충전 실험을 통하여 본 성형법에 적합한 몇가지 분말을 택하여 성형체를 제조하였다. 그 결과 일축 가압 성형체에 비해 성형 밀도가 낮았으나, 충전 밀도가 높은 분말의 경우 비슷한 값을 나타냈다. 성형체내의 결합제는 균일하게 분포하고 있었고, 본 성형법으로 복잡 형상 제조가 가능하였다.

ABSTRACT

To overcome the demerit of conventional forming method, new forming method, pressureless powder packing forming method, was investigated. This technique is performed by powder packing followed by the infiltration of binder solution. Various alumina powders were used as starting materials and the powders showing good packing condition through powder packing experiment were chosen. The green densities prepared by this new forming method with these powders were lower than those of specimens by pressing method, but, nearly same density was obtained in case of green body prepared with the powders having high packing density. The distribution of binder in a green body was homogeneous and it was possible to make a complex shape form by this forming method.

1. 서 론

세라믹스를 제조하기 위해서는 여러 단계의 공정을 거쳐야하고, 최종 세라믹스의 물성은 이때의 각 단계별 공정 기술에 크게 의존하게 된다. 따라서 고기능성의 세라믹스를 얻기 위해서는 새로운 물질 자체의 개발 뿐만 아니라 공정 기술의 개발이 필요하게 된다. 특히 세라믹스를 사용하는데 요구되는 조건이 가혹해짐에 따라 균일한 조직을 갖고, 최종 제품에 알맞는 모양과 치수를 갖도록 하는 성형 기술의 개발은 공장화 및 실용화 측

면에서 그 중요성이 커지고 있는 실정이다.

기존의 성형법으로는 가압 성형법, 주입 성형법, 가소 성 성형법으로 크게 구분할 수 있다¹⁾. 가압 성형법은 간편한 공정으로 인하여 가장 널리 사용되고 있는 방법이나, 가압시 성형체내에 존재하게 되는 잔류 응력이 응력 구배 및 밀도 불균일성을 초래하게 되어 소결시 불균일한 수축으로 인한 기물의 휨 현상등을 일으킬 수 있고, 복잡 형상 제조가 어렵다는 단점이 있다²⁾. 또, 경도가 크고 각진 입자 모양의 분말 원료 성형시 금속 플드의 손상이라는 문제가 발생하게 된다. 주입 성형법과

가소성 성형법은 원료 분말에 여러 유기 첨가제를 혼합하여 유동성이나 가소성을 부여하고 이를 이용하여 성형한다는 까다로운 공정이 요구되어 이러한 성형법의 이용이 가능한 원료 분말은 한정되어 있으며, 또 성형체 내에 존재하는 과량의 유기 첨가물에 의해 소결시 여러 문제점들을 일으킬 수 있게 된다^{2,3)}.

이러한 기존 성형법들의 단점을 극복해 보고자 무가압 분말 충전 성형법(pressureless powder packing forming method ; PLPP forming method)이라는 새로운 성형법을 고안하고, 분말 입자 및 형상에 따라 여러 종류의 알루미늄을 선택하여 본 성형법으로 성형한 후 그 특징에 대하여 알아보았다.

2. 무가압 분말 충전 성형법

본 성형법의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 기존의 성형법에서 나타나는 문제점으로 기물내의 응력 구배 존재와 복잡 형상 제조가 어렵다는 점등이 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 가압에 의한 불균일성을 제거하기 위해 일정 몰드내에 원료 분말들을 진동만을 이용하여 충전시킨후 결합제로써 성형 강도를 갖도록

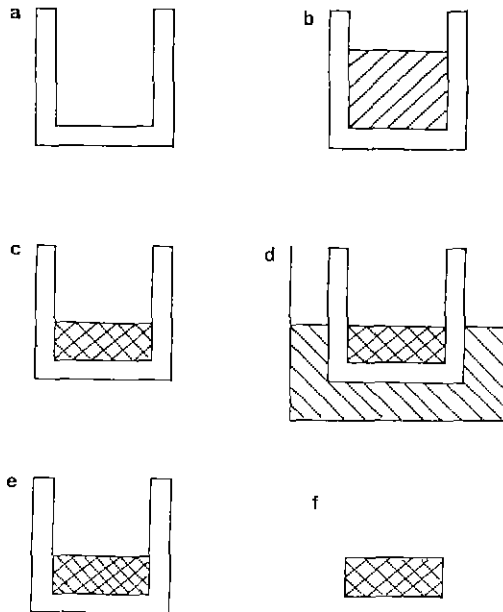


Fig. 1. Schematic illustrating pressureless powder packing (PLPP) forming method. (a) gypsum mold, (b) pouring powder, (c) packing by vibration, (d) infiltration of binder solution, (e) drying, (f) final green body

하는 방법을 고안하였다. 본 실험에서는 성형체 내에 결합제의 고른 분포를 위해 몰드로서 석고를 사용하고 용액 상태의 결합제를 석고 몰드를 통하여 침투시키는 방법을 사용하였고 이때 석고 몰드의 형상 제어가 용이하므로 이에따라 복잡형상제조가 가능하여진다.

충전에 대한 연구는 이미 오래전에 구형의 입자를 모델로 하여 행하여졌으나^{4,5)} 이는 주로 입자 자체의 특성에 대하여 연구된 것으로 아직까지는 다른 분야로의 응용이 활발하지 못한 상태이다. 액상의 형태로 확산 및 모세관력을 이용하여 2상을 침투시키는 방법은 균일한 분포를 할 수 있다는 장점으로 인하여 여러 형태로 연구되어 왔으며^{6,7)} 이러한 침투 방법을 결합제 첨가시 본 성형법에 적용하여 보았다. 본 성형 방법으로 기물내 응력 구배를 줄이고, 복잡 형상 제조를 용이하게 하며, 난 성형성 물질의 성형을 쉽게하고, 간편한 공정으로 인하여 비용의 절감등의 효과를 기대할 수 있게 된다.

3. 실험

본 실험의 총괄적인 공정도를 Fig 2에 나타냈다. 출발 물질로는 입자 크기와 입자 형상에 따라 7가지의 알루미늄을 사용하였고 그 표기법과 입자 크기를 Table 1에 나타냈다. 입자의 형상은 SEM(Jeol, JSM 35-CF, Japan)으로 관찰하였고 MICRON PHOTO SIZER(Model SKC-2000S, Seishin Enterprise Co. LTD., KOREA)를 이용하여 입도 분포를 관찰하였다. 습기로 인한 입자간 응집 현상을 방지하기위해 모든 분말은 200°C 에서 24시간

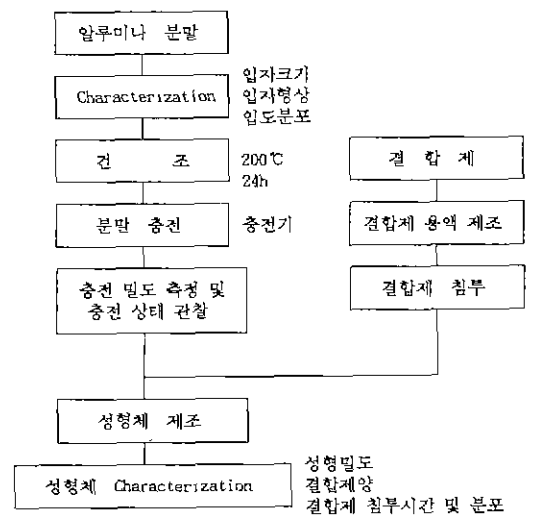


Fig. 2. Overall experimental flow chart.

Table 1. Particle Size and Shape of Alumina Powders Used in This Experiment

Alumina Powders		Powder Size	Powder Shape
Calcined Al ₂ O ₃	C-1	0.4 μm	round
	C-2	1.8 μm	round
	C-3	18.7 μm	round
	SD*	21.5 μm	spherical
Fused Al ₂ O ₃	F-1	-325 mesh	angular
	F-2	-220 mesh	angular
	F-3	-100 mesh	angular

SD*: 21.5 μm is granule size

동안 진조시킴후 실린더 형태의 유리판에 붓고 진동기를 이용하여 충전시킨 후 그 높이를 측정하여 충전 밀도를 계산하였다.

충전 실험을 통하여 본 성형법에 적절한 분말을 선택한 후 무가압 분말 충전 성형법에 의해 성형한 후 성형 밀도를 측정하고 이를 60 MPa의 압력을 가하여 디스크 형태로 밀축 가압한 성형체와 비교하였다. 이때 성형시 사용한 결합제 용액의 점도는 B형 점도계(Model DV-II, Brookfield, U.S.A)를 이용하여 측정하였다. 결합제 용액의 침투 시간에 따른 성형체내 잔존 결합제 양을 측정하기 위해 각 시편을 1시간에서 4시간까지 침투 시간을 달리하여 침투시켜 성형체를 제조하고 이를 열처리하고 무게 감량을 측정하여 결합제 양을 조사하였다. 그리고, 각 성형체를 지름에 대한 높이의 비가 0.8이 되도록하여 같은 모양으로 제조한 후 수직, 수평 방향에 따른 결합제 분포를 관찰하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 입자 종류에 따른 충전상태 고찰

본 실험에 사용한 7가지 알루미늄 분말의 SEM 사진을 Fig. 3, 4에 나타냈다. Fig. 3에 나타난 하소 알루미늄 분말은 모두 둥근 형상을 하고있었다. C-1은 평균 입자 크기가 0.4 μm인 분말로 입자간의 Van der Waals 힘에 의해 싹한 응집 상태를 나타내고 있고, C-2 분말 역시 응집 상태를 보이고 있다. 그러나 C-3는 입자가 수십 μm의 크기로 입자 하나가 aggregate 상태를 이루고 있으며 입자간 응집 현상이 나타나지 않았다. SD 분말은 분무 건조 과정을 통하여 구형에 가까운 과립 상태를 나타내며 이들간 응집 현상은 없었다. Fig.4 에는 3가지 용융 알루미늄 분말 사진을 나타냈다. 입자가 모두 불규칙한 각형이나 판형의 모양을 하고 있었고, F-1의 경우

약간의 응집 현상이 관찰되었으나 나머지 분말들은 초기 응집 상태를 나타내지 않았다.

습기에 의한 입자 부착 현상을 배제하기 위해 충분히 건조시킨 각 분말들을 진동기를 이용하여 충전시켜 충전 실험을 하였다. 이러한 진동에 의한 충전시 치밀화 과정은 입자의 time-consuming random diffusion에 의한 것이 아닌 입자의 rotation에 의해 이루어지며⁸⁾ 결국 충전에 필요한 시간은 수 초 이내라고 연구된 바 있고 이에 따라 본 실험에서는 약 30초 동안 충전시켰다. 충전 밀도와 초기 시료 양과의 관계는 Vogl.⁹⁾에 의해 연구되었고 본 실험에서는 분말의 양을 20 g으로 고정하고 실험하였다.

각 분말들의 충전 밀도 및 충전 상태를 Table 2에 나타내었다 용융 알루미늄의 경우 하소 알루미늄에 비해 충전밀도가 높았다. 일반적으로 불규칙하고 각진 형상의 입자보다 구형의 입자 경우 충전 밀도가 높게 되나¹⁰⁾ 본 실험에서 이와 다르게 나타난 것은 형상에 의한 영향보다 입자 자체의 특성 차이가 더 큰 영향을 미쳤기 때문이라 생각된다. 즉, 이 두 종류의 알루미늄은 분말 제조 공정상의 차이로 인하여 용융 알루미늄 입자내에는 미세 기공이 존재하지 않아 용융 알루미늄 입자 하나의 밀도가 하소 알루미늄보다 더 크고 이것으로 인해 충전밀도의 차이가 난 것으로 생각된다.

그리고 입자 크기의 영향을 보면 두 종류의 알루미늄 모두 입자 크기가 크고 충전 상태가 균일할 경우 충전 밀도가 높게 나타났다. 이는 입자 크기가 작을 경우 입자간 부착에 의한 bridging 이나 clumping 현상¹¹⁾으로 인해 충전 상태가 불균일해지고 이로 인해 밀도가 낮아진 것으로 생각된다. 그러나 C-1의 경우 입자 크기가 가장 작지만 충전 밀도가 높게 나타난 것은 입자들이 처음부터 응집 상태를 이루고 있고 이러한 응집체들이 하나의 큰 입자처럼 작용했기 때문이라 생각된다. 일반적으로 이러한 응집체는 가압 성형시 가압에 의해 파괴되지만 압력이 없는 진동만으로 충전시킨 경우에는 응집 상태를 그대로 유지하거나 오히려 응집 상태를 심화시키게 된다. 따라서 진동에 의한 분말 충전시 충전 밀도에 영향을 미치는 크기는 1차 입자 크기가 아닌 응집체의 크기임을 알 수 있었다.

충전 밀도를 높이기 위해 단일 분말들을 혼합한 후 혼합 분말의 충전 밀도 및 충전 상태를 Table 3에 나타내었다. 혼합 입자에 대한 충전 밀도 효과는 구형 입자를 모델로 여러 사람에 의해 연구되었다^{9,10)}. 이러한 연구 결과에 따라 각 분말들을 일정 무게비로 혼합하여 충전한 결과 F-1, F-2, F-3의 3가지 분말을 혼합하였을

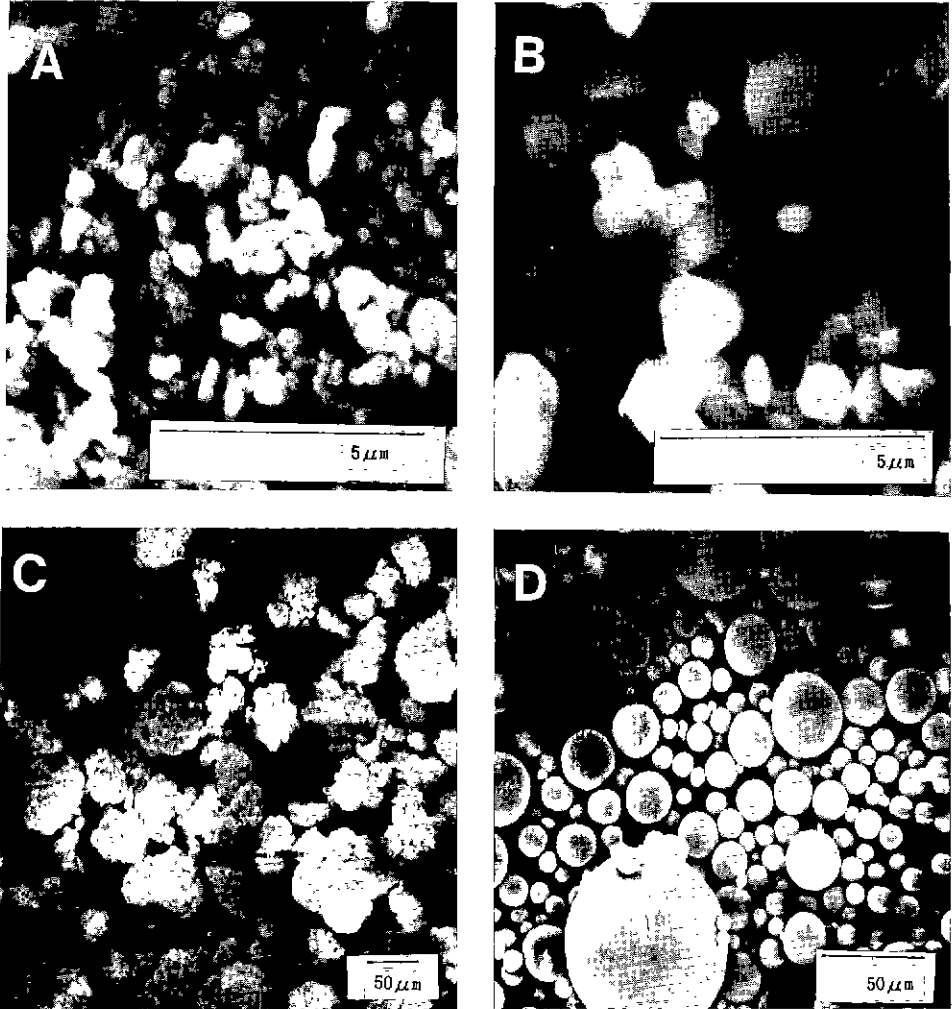


Fig. 3. SEM photographs of calcined alumina powders (a) C-1, (b) C-2, (c) C-3 and (d) SD.

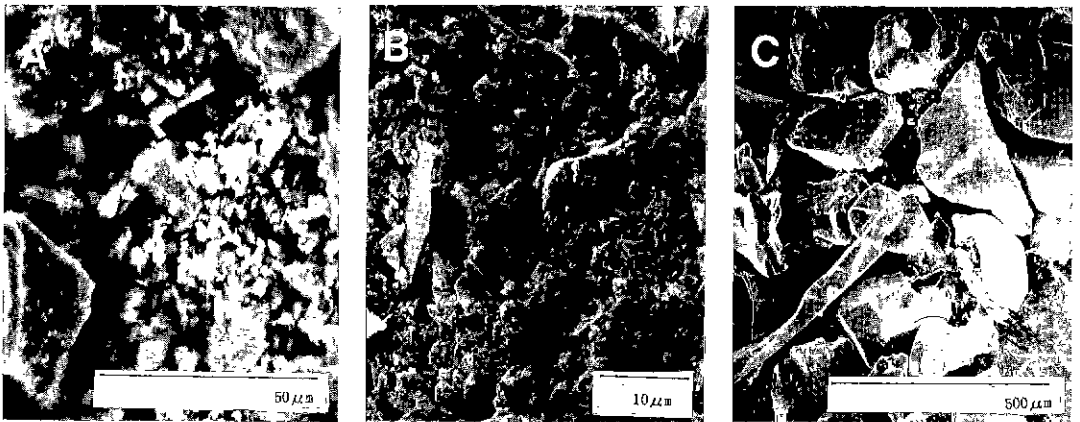


Fig. 4. SEM photographs of fused alumina powders (a) F-1, (b) F-2, (c) F-3.

Table 2. Packing Density and Packing Condition of Alumina Powders

Alumina Powders		Packing Density*	Packing Condition*
Calcined Al ₂ O ₃	C-1	1.28 (32.3%)	×
	C-2	0.94 (23.8%)	×
	C-3	1.06 (26.6%)	○
	SD	1.26 (31.7%)	○
Fused Al ₂ O ₃	F-1	1.63 (41.1%)	△
	F-2	2.05 (51.2%)	○
	F-3	1.94 (48.8%)	○

Packing density*: unit-g/cm³

Packing condition**: ○—homogeneous packing, no agglomeration, ×—non-homogeneous packing, agglomeration, △—intermediate packing condition

Table 3. Packing Density and Packing Condition of Powder Mixture

Alumina Powders		Packing Density	Packing Condition
Calcined Al ₂ O ₃	C-1+C-2	1.05 (26.6%)	×
	C-2+C-3	1.07 (27.7%)	△
	C-1+C-3	1.20 (30.1%)	△
	C-1+C-2+C-3	1.07 (27.7%)	△
Fused	F-1+F-2	1.89 (47.6%)	△
	F-1+F-2+F-3	2.39 (60.2%)	○

경우 가장 큰 충전 밀도를 나타내었다. 이 혼합 분말(이후 PM이라 약칭한다.)은 용융 알루미늄 분말로 이루어져 있어 차체 충전 밀도가 높았으며, 다른 혼합 분말에 비해 응집 현상이 없는 균일한 충전 상태를 나타내고 이러한 충전의 균일성으로 위에서 설명한 혼합 이론이 잘 적용되었기 때문에 최대의 충전 밀도를 나타내었다고 생각된다. 이상의 충전 실험을 통해 충전을 이용하는 분성형법에 적절한 분말로 3가지 단일 분말(C-3, SD, F-2)과 1가지 혼합 분말(PM)을 선택하였다

Fig. 5, 6에는 선택한 4가지 분말의 입자 크기 분포를 나타냈다. Fig. 6을 보면 평균 입자 크기는 F-2가 8.1 μm, PM이 11.4 μm이고 두 분말 모두 넓은 범위의 입자 분포를 나타내고 있음을 알 수 있었다. Fig. 5에는 C-3, SD 분말의 입자 크기 분포와 Andreason¹¹⁾이 제안한 이상적인 분포를 함께 나타내었다. Andreason의 실험에 의하면 충전 밀도는 입자 크기 및 형상 뿐만 아니라 입자 크기 분포에도 영향을 받게되고 입자가 최대의 충전율

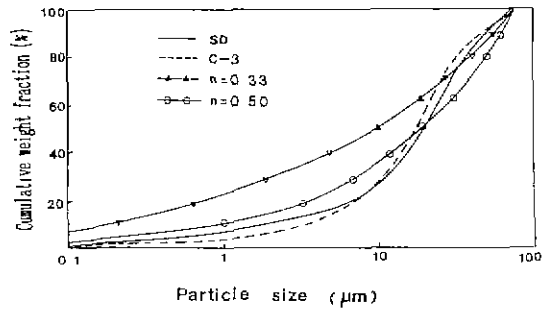


Fig. 5. Particle size distribution of SD, C-3 powders.

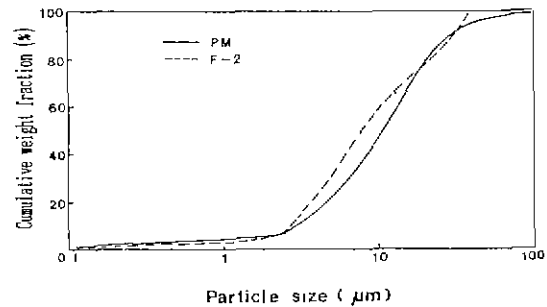


Fig. 6. Particle size distribution of F-2, PM powders.

하기 위해서는 n 값이 0.33과 0.50 사이에 존재하여야 한다고 되어있다. 이러한 연구 결과는 구형의 입자를 모델로 한 것이므로 비교적 구형에 가까운 C-3, SD 분말에 적용한 결과 두 분말의 분포 모두 Andreason bound를 벗어나고 있었다. 따라서 상용 알루미늄 분말의 충전 밀도를 높이기 위해 입자 크기 분포를 조절하는 공정 또한 필요함을 알 수 있었다.

4.2. 본 성형법에 의해 제조된 성형체 관찰

본 성형법에 의해 성형체 제조시 결합제로는 MC(Methyl Cellulose)를 증류수에 0.5 wt% 농도가 되도록 용해시켜 용액상태로 제조하여 사용하였다. 본 성형법에서 결합제 용액은 우선 석고 몰드내로 침투하고 이후 충전된 분말대로 스며들게 된다. 일반적으로 다공성 물질내로 액체의 침투가 일어날 경우 단위 시간, 단위 면적당 흘러들어가는 부피는 $\eta^{1/2}$ (η : 점도)에 반비례하게 된다¹²⁾. 결합제 용액 농도가 작을 경우에는 부피 흐름 속도는 증가하나 최종 성형체 내의 결합제 양이 부족하게 되어 성형 강도가 떨어지게 되고, MC 결합제 용액의 농도가 1 wt% 일 경우에는 점도가 148 cP로 큰 증가를 보여서 용액의 부피 흐름 속도를 낮추고 용액 침투가

Table 4. Green Density of Alumina Powder with Different Forming Method (PLPP Forming, Pressing Forming)

Alumina Powders		Green Density (g/cm ³)	
		PLPP forming	Pressing forming
Calcined Al ₂ O ₃	SD	1.54 (38.8%)	2.18 (54.9%)
	C-3	1.08 (27.3%)	1.65 (41.6%)
Fused Al ₂ O ₃	F-2	2.17 (54.6%)	2.63 (66.2%)
	PM	2.40 (60.6%)	2.49 (62.8%)

어려워지게 된다. 이러한 현상들을 고려하여 0.5 wt%의 농도를 선택하였고 이때의 점도는 15.2 cP를 나타내었다.

Table 4에는 충전 실험을 통하여 선택한 4가지 분말들을 본 성형법으로 성형체를 제조하고 성형밀도를 측정하였고 일축 가압 성형법을 이용한 성형체와 비교한 값을 나타냈다. 4가지 성형체중 SD 성형체는 입자가 분부 건조된 과립 상태로써 과립 내에 결합제가 존재하므로, MC 결합제 용액을 침투시켜 제조한 C-3, F-2, PM 성형체와 달리 물만을 침투시킨 후 건조시켜 성형하였다. 본 성형법에 의한 성형체들의 성형 밀도는 결합제 침투 및 건조시 약간의 수축으로 인하여 충전 밀도보다 약간 높은 값을 나타내었고, 성형체내의 밀도 구배를 줄이기 위해 압력을 가하지 않았기 때문에 성형 밀도는 가압 시편에 비해 낮은 값을 나타냈다. 그러나, 이러한 밀도 차이는 용융 알루미늄 성형체에서는 많이 줄어들었고, PM 성형체에서는 거의 비슷한 값을 나타내었다. 이는 용융 알루미늄의 경우 충전 밀도가 높았고, 불규칙한 각형의 모양으로 인해 가압 성형이 효과적으로 일어나지 못했기 때문이라고 생각된다. 그리고 용융 알루미늄 분말 가압 성형시 불규칙하고 경도가 큰 입자로 인하여 금속 몰드가 손상되는 문제점이 일어났으나, 본 성형법으로 이러한 현상을 방지할 수 있어서 용융 알루미늄과 같이 성형이 어려운 물질의 성형에 본 성형법이 효과적임을 알 수 있었다.

결합제 용액의 침투 시간에 따른 최종 성형체내의 잔존 결합제 양을 조사하고 이를 Fig. 7에 나타내었다. 이때 SD 성형체는 물을 침투시켰기 때문에 30분 이내의 짧은 시간 동안 침투가 완료되었으며 결합제 양도 일정하게 granule 내에 분포되어 있으므로 이를 제외한 3가지 성형체에 대해 침투 시간에 따른 성형체내 결합제 양을 관찰하였다. 그럼에서 보듯이 F-2, PM 성형체의 경우 침투 시간을 1시간에서 4시간까지 증가시켜도 잔존 결합제 양은 일정하였다. 그러나, C-3 성형체의 경우 2시간

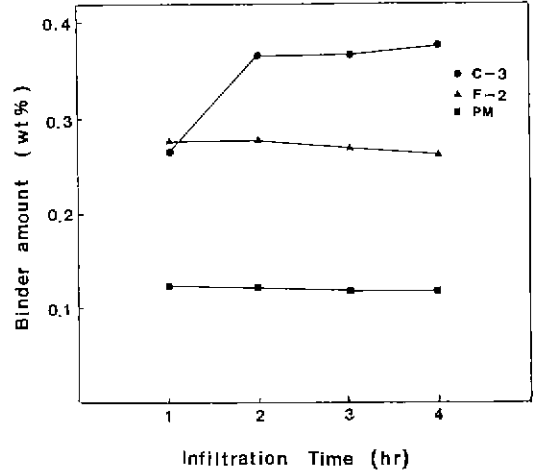


Fig. 7. Variation of binder content with infiltration time.

까지는 결합제 양의 증가를 보이고, 그 이후 일정한 값을 나타냈다. 침투가 완료된 후의 잔존 결합제 양은 C-3 성형체에서 가장 많았으며 PM 성형체 내에 결합제 양이 가장 적었다. 이러한 결과로써 본 성형 방법에 의한 결합제 침투시 임계 침투 시간이 존재하고 그 이후에는 결합제 양의 변화가 없음을 알 수 있었다.

본 실험에서와 같이 다공성 물질의 기공에 의한 모세관력에 의해 액체의 흐름이 생길 경우 침투는 다음의 Darcy's law^[2]을 따른다.

$$\frac{dV(x)}{dt} = - \frac{K \cdot \Delta P \cdot A}{\eta \cdot x}$$

즉, $V^2(x) = 2K \cdot \Delta P \cdot E \cdot S \cdot A^2 \cdot t / \eta$

η : 액체의 동적 점도

K : 다공성 물질의 평균 투과율

x : 거리

ΔP : 거리 x 에서의 압력차

A : 단위 면적

t : 시간

$V(x)$: 침투된 액체 부피

E : 다공성 물질의 기공률

S : 실제로 액체가 침투될 때 차지되는 기공 부피비

따라서 흡수되는 액체의 부피 속도는 ΔP , K , η 에 의존하게 된다. 본 실험에서 점도 η 은 일정하게 하였으므로 침투시 흡수되는 액체의 양 및 속도는 ΔP 와 K 에 따라 달라진다. C-3, F-2, PM의 분말중 C-3의 충전 밀도가 가장 작고, 따라서 C-3의 경우 가장 큰 기공률을 갖게

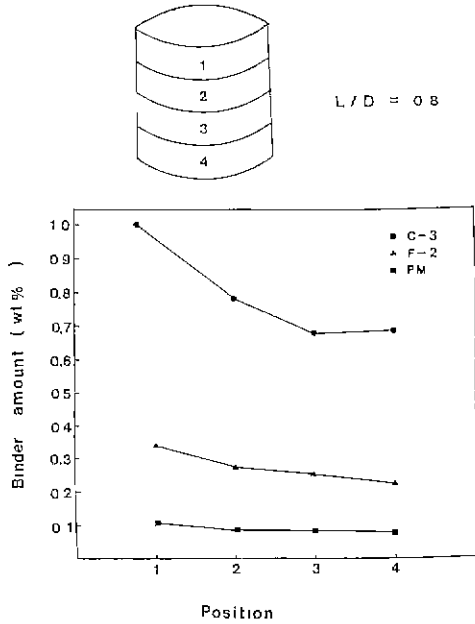


Fig. 8. Binder distribution in green body formed by PLPP forming method (vertical direction).

되며 입도 분포의 결과에 의하면 평균 입자 크기도 가장 크다. 따라서 이 분말로 충전되었을 때 형성되는 기공의 수력 반지름은 커지게 되고, 이로 인하여 ΔP 값은 작아지게 된다¹³⁾. 그러나, 기공률과 입자 크기가 크기 때문에 투과율 K값은 다음의 Meyer와 Smith의 식¹⁴⁾에 따라 커지게 된다.

$$K = \frac{\epsilon^4 \cdot d^2}{90(1 - \epsilon)^2}$$

ϵ : 기공률
 d : 입자 크기

흡수되는 액체의 부피 속도는 ΔP , K에 의존하게 되며, 입자의 크기 및 기공률 값을 대입하여 계산하면 K의 영향이 ΔP 보다 커서 V(x)를 지배함을 알 수 있다. 이에 따라 C-3의 부피 흐름 속도가 가장 클 것으로 생각되나, C-3의 낮은 충전 밀도와 입자의 aggregate 상태로 인하여 침투되는 용액의 양이 나머지 두 성형체에 비해 많기 때문에 잔존 결합제 양이 가장 크고, 침투가 완결되는 시간도 증가하였다고 생각된다. 따라서 본 실험에서 입체 침투 시간은 침투되는 용액의 양에 가장 크게 의존함을 알 수 있었다.

Fig. 8에서 본 성형체내의 결합제 분포를 조사하고 나타내었다. 이 실험에서는 3가지 성형체 모두 지름에 대한

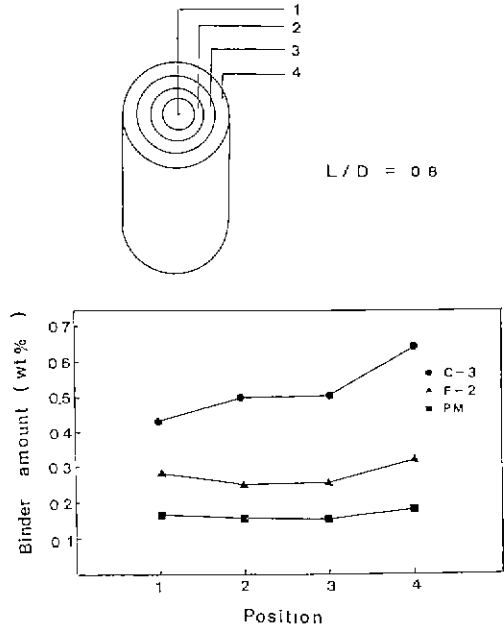


Fig. 9. Binder distribution in green body formed by PLPP forming method (radial direction).

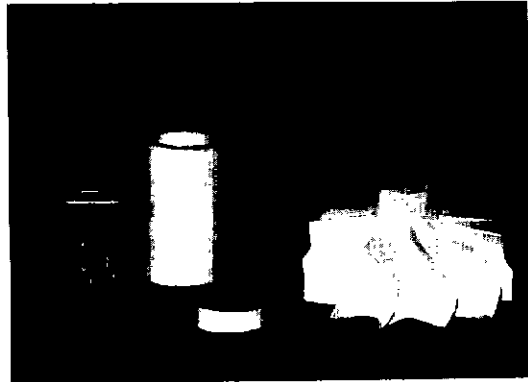


Fig. 10. Various green bodies formed by PLPP method.

높이의 비가 0.8이 되도록 하여 같은 부피 및 같은 모양을 갖도록 하였고 결합제 침투 시간은 모두 입체 침투 시간 이후로 하여 침투가 완료되도록 하였다. 분포 결과를 보면 3가지 성형체 모두 높이에 따른 결합제 분포가 균일함을 알 수 있었다. 높이에 따른 차이가 가장 큰 C-3 성형체의 경우도 그 차이가 0.3 wt%의 작은 값을 나타냈다. 여기서 성형체의 윗 부분에 결합제 양이 약간 높게 나타나는 것은 건조 공정시 석고 몰드내에 존재하는 성형체의 윗 부분을 통하여 용매의 증발이 일어나고 이러한 현상이 윗 방향으로 일부 결합제 용액의 흐름을

유도했기 때문이라고 생각된다. Fig. 9는 성형체를 수평 방향으로 4부분으로 나누고 Fig. 8에서와 같은 방법으로 결합제 분포를 관찰하여 보았다. 수직 방향으로의 결과와 마찬가지로 수평 방향으로도 결합제가 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있었다. 각 성형체 모두 결합제 양이 1 wt% 이하의 적은 양이었지만 작업시 필요한 성형 강도를 충분히 가지고 있었는데 이는 결합제가 성형체 내에 고루 분포하고 있었기 때문에 가능하였다고 생각된다. Fig. 10에는 본 성형법에 의해 제조된 여러가지 모양의 성형체 사진을 나타냈다. 사진에서 볼 수 있듯이 본 성형법이 추구하고자 하였던 복잡 형상 제조가 가능하였고, 이상의 실험 결과로써 무가압 분말 충전 성형법이라는 새로운 성형방법의 실용 가능성을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

분말의 충전 및 결합제 침투 방법을 이용하는 무가압 분말 충전 성형법이라는 새로운 성형법에 대해 연구하여 성형체를 제조한 후 그 특성에 대해 알아보았고 결과는 다음과 같다.

1. 알루미늄 종류에 따라 충전 실험한 결과, 용융 알루미늄의 충전 밀도가 하소 알루미늄에 비해 높았으며, 입자 크기가 수십 μm 이상인 분말의 경우 입자간의 응집 현상이 일어나지 않았고 이에 따라 충전 밀도가 높고 균일한 충전 상태를 나타내어 이러한 분말들이 본 성형법에 적절한 분말임을 알 수 있었다.

2. 본 성형법에 의해 제조된 성형체의 성형 밀도는 일축 가압을 한 성형체보다 낮았으나, 충전 밀도가 높은 분말로 이루어진 성형체는 비슷한 밀도값을 나타냈다.

3. 충전된 분말내로 결합제 용액 침투시 분말 종류에 따라 각각의 임계 침투 시간이 존재하였다. 성형체내의 잔존 결합제 양은 1 wt% 이하의 소량이었고 결합제는 균일하게 분포하고 있었다.

4. 본 성형법으로 복잡한 모양의 성형체 제조가 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 교육부 신소재 분야 학술 연구

지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. David W. Richerson, "Shape Forming Process," p. 148-518, in *Modern Ceramic Engineering*, 2nd ed., Marcel Dekker, Ind., 1990.
2. H. Thurnauer, "Controlled Required and Problems Encountered in Production Dry Pressing," p. 62-70, in *Ceramic Fabrication Process*, edited by W.D. Kingery, MIT press, Cambridge, Mass., 1963.
3. James S. Reed, "Casting Process," p. 380-402, in *Principles of Ceramic Processing*, Wiley-Interscience, Inc., 1988.
4. A.E.R. Westman and H.R. Hugill, "The Packing of Particles," *J. Am. Ceram. Soc.*, **13**(10), 767-779 (1930).
5. R.K. McGreary, "Mechanical Packing of Spherical Particles," *J. Am. Ceram. Soc.*, **44**(10), 513-522 (1961).
6. M.S. Netut, A.W. Urganhart and H.R. Zwicker, "Formation of LanxideTM Ceramic Composite Materials," *J. Mater. Res.*, **1**(11), 81-89 (1986).
7. V. Beltran, A. Barba, J.C. Jarque and A. Escarding, "Liquid Suction by Porous Ceramic Materials," *Br Ceram. Trans. J.*, **90**, 77-80 (1991).
8. W.C. Bell, R.D. Dillinder, H.R. Lominac and E.G. Manning, "Vibratory Compacting of Metal and Ceramic Powders," *J. Am. Ceram. Soc.*, **38**(11), 396-404 (1955).
9. F.N. Rhines, "Dynamic Particle Stacking," p. 321-341, in *Ceramic Processing Before Firing*, edited by G.C. Onoda and L.L. Hench, Wiley Interscience, Inc., 1978.
10. James S. Reed, "Particle Packing Characteristics," p. 185-199 in *Principles of Ceramic Processing*, Wiley Interscience, Inc., 1988.
11. A.H.M. Andreason and J. Anderson, "About the Relationship between Density and Particles Spacing in Products made of Loose Particles," 210-218 (1930).
12. J.K. Wright and J.R.G. Evance, "Removal of Organic Vehicle from Moulded Ceramic Bodies by Capillary Action," *Ceram. Int.*, **17**, 79-87 (1991).
13. Y. Bao and J.R.G. Evanc, "Kinetics of Capillary Extraction of Organic Vehicle from Ceramic Bodies. Part I; Flow in Porous Media," *J. Eur. Ceram. Soc.*, **8**, 81-93 (1991).
14. Meyer, B.A. and Smith, B.W., Flow though Porous Media, p. 360-368, *Ind Eng. Fundam.*, **24** (1985).