

급속금형제작 : 분말주조에 의한 Perfect Shape에의 도전

임용관, 김범수(부산대학 원), 정해도, 배원병(부산대),
Hiroyuki Noguchi, Takeo Nakagawa(IIS, Univ. of Tokyo)

Abstract

The business of manufacturing is increasingly becoming time-compressing, precise and long-life oriented, owing to various needs from the consumers and harsh global competition. With the emergence of the layer laminate manufacturing methods, it is possible to produce prototypes directly from 3D CAD and additive process, the production time and cost have shortened dramatically. However there are some problems like surface-step, dimensional deviation and warp. A newly developed powder casting is suitable for rapid-manufacturing metallic tools. Powder casting can serve as a promising rapid tooling method because of high density characteristics and low dimensional shrinkage below 0.1% during sintering and infiltration. By this process, we have realized significant time savings bypassing the wait for prototype tooling and cost savings eliminating the expense of conventional prototype tooling process.

Keywords : layer laminate manufacturing, surface-step, powder casting, rapid tooling, dimensional shrinkage, sintering, infiltration, prototype tooling

1. 서론

오늘날의 산업계는 소비자의 다양한 욕구에 따라 소량의 다양한 제품이 생산되며 그에 따라서 제품의 사이클은 점점 짧아지고 디자인 또한 빠르게 변화하고 있어서 제품개발에서 가장 큰 비중을 차지하는 시작모형제작과 시작금형제작의 비용과 시간을 가능한 한 단축하지 않으면 안되게 되었다. 이러한 이유로 최근 여러가지의 RP(Rapid Prototyping)를 통한 시작모형제작과 RPM(Rapid Prototyping & Manufacturing)기술을 통한 시작품제작이 이루어지고 있다. RP에는 SL(Stereo Lithography), LOM(Laminated Object Manufacturing), FDM(Fused Deposition Method) 등의 급속시작모형의 제작기술, RPM 기술로서는 궁극적인 금형으로서의 강도도 가질 수 있는 SLS(Selective Laser Sintering), LENS(Laser Engineered Net Shaping), Rapid Tool, 등의 다양한 종류가 있다.¹⁾

그러나, 절삭공정에 비하여 직접 분말을 녹이거나, 메탈-폴리머 분말을 통한 급속금형제작하는 공정 등이 널리 실용화되지 못한 근본적인 한계는 소결공정에서 일어나는 3% ~ 4%에 이르는 형상오차와 뒤틀림현상 때문이었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 RPM의 일환으로서, 분말

주조(Powder Casting)에 의해 Perfect Shape를 실현할 수 있는 급속금형제작기술을 확립하였다. 즉, 광조형을 통해서 제작된 마스터모형을 이용한 소프트툴링(soft tooling)공정을 통해 실리콘고무형을 제작하고, 그 고무형에 분말을 넣고 바인더를 충전시켜 대기중에서 건조 후 소결과 함침공정을 적용한 결과 높은 형상정밀도와 밀도를 가진 급속금형을 얻을 수 있었다.

2. 분말주조에 사용된 분말과 바인더

본 실험에서는 파우더의 밀도를 높이기 위해서 Table 1과 같이 Atomized process로 만들어진 일반

Table 1. 분말의 종류와 평균 입자직경

	평균입자직경 (μm)	충진율 (vol%)
A: Large size (Stainless steel)	66	61
B: Small size (Stainless steel)	5	39
A(82.5%) + B(17.5%)	-	67

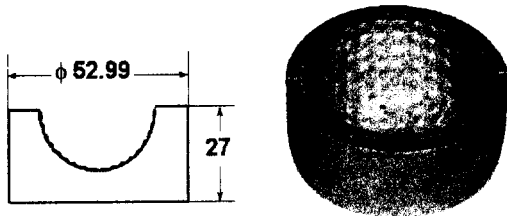
스테인레스 분말과 스테인레스 미분말 두가지 입도의 구형의 분말을 사용하였다.

바인더는 높은 밀도의 분말에 효과적으로 침투할 수 있도록 되도록이면 낮은 점도의 바인더를 쓰는 것이 바람직하며, 또한 디바인딩(debinding)시 금형의 형상변화를 일으키지 않아야 한다. Table 2에 나타낸 점도 100 CPS/25°C의 수용성 페놀 바인더를 사용하였으며, 바인더 그대로 분말에 혼합하여 사용할 수도 있으나 본 실험에서는 물에 희석하여 사용하였다. 물의 희석비율은 바인더의 점도를 변화시키며 점도는 바인더의 분말에의 침투성에 큰 영향을 미친다.²⁾

Table 2. 실험에 사용된 바인더의 사양과 혼합비

바인더	Type (제조회사)	혼합비율 (vol%)
수용성 페놀	Chem Rez 630 HSL (Ashland Chemical Company, USA)	45
경화제	Chem Rez 6016 (Ashland Chemical Company, USA)	10
물		45

3. 분말주조의 공정



(a) 금형의 치수 (b) 금형의 외관

Fig.1 금형의 치수와 외관

Fig. 1은 분말주조로 제작된 제품의 외관과 치수를 보여 주고 있으며 골프공의 사출성형용 금형으로 사용하고자 하는 것이 목적이다. Fig. 2는 분말주조의 전체적인 프로세스를 개략적인 그림으로 나타내고 있다. 먼저 금형형태의 마스터모델을 이용해 실리콘고무를 진공상태에서 공기를 탈포시켜 실리콘 고무형을 만든다. 금속분말을 실리콘고무형에 충전시키고, 구형의 분말을 실리콘고무형에 진동을 가하면서 충전한다. 이때의 금속분말은 입자크기가 서로 다른 스테인레스분말을 같이 혼합하여 밀도를 높이도록 하였다. 실리콘고무형에 충전된 분말과 결합제

를 진공주형기 속에 넣은 뒤 진공상태로 두어 분말 사이의 공기와 바인더에 용해되어 있는 공기를 탈포시킨다. 진공상태에서 바인더를 분말이 들어 있는 실리콘고무형에 주입한 다음 대기중에서 바인더를 침투시키고, 다시 8기압하에서 다시 한 번 더 침투시킨다. 가압한 다음 다시 진동을 주어 분말의 충전 밀도를 높일 수 있도록 하였다. 2회제의 진동이 끝나면 대기압 하에서 약 15시간 정도 바인더가 굳을 수 있도록 건조시킨다. 건조 후 고온에서 바인더를 태우고, 분말에 함께 혼합되어 있던 구리분말을 액상소결한 다음, 구리함침을 통하여 최종의 금형을 얻게 된다.

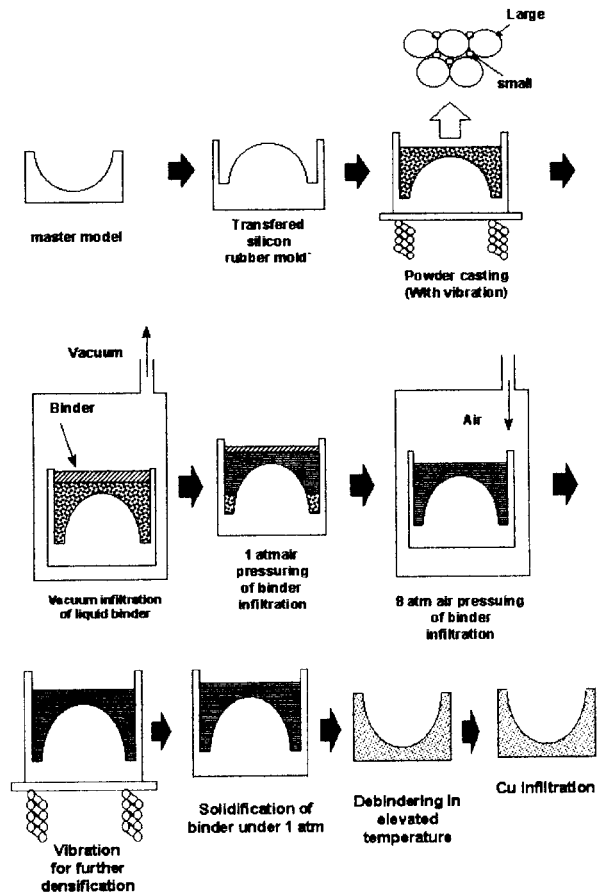


Fig.2 분말주조의 전체 프로세스

4. 테이블 진동에 의한 밀도의 증가

4-1. 바인더 침투후의 진동

금속분말을 이용한 금속금형제작에 있어서, 치수 정도와 가장 관계가 깊은 것은 제작과정에서의 분말

의 밀도이다. 분말입자간의 접촉이 긴밀하여야만 높은 분말의 밀도를 얻을 수 있고, 후공정에서의 치수 제어가 가능하기 때문에 본 실험에서는 바인더를 혼합함에 있어서 기존의 습식슬러리 캐스팅(Wet-type slurry casting)형태가 아닌 건식(Dry-type)을 채택 함으로서 높은 충전밀도를 얻을 수 있었다.

충진밀도의 향상과 고른 충진을 위해서 첫번째 진동은 파우더를 채운 실리콘 고무형에 주었으며, 두 번째 진동은 액상의 바인더를 혼합분말에 침투시킨 후 가한다. Fig.3에서와 같이 분말의 밀도가 변화하는 것을 알 수 있다.

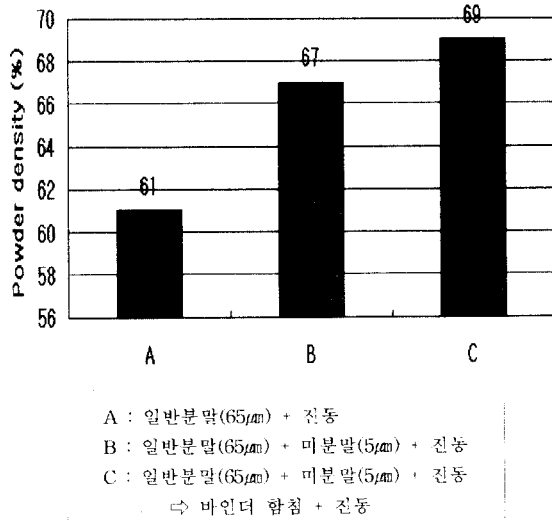


Fig.3 진동에 의한 분말밀도의 변화

4-2 진동에 의한 형상치수의 변화

Fig.4에서 바인더 침투 후 진동을 가하지 않은 형은 동함침 후 치수변화가 0.4% 수축하는데 반해 진동을 가한 형은 0.83% 팽창하는 것을 알 수 있다. 또한 Fig.5에서는 프로세스 단계별 형상치수의 변화를 측정하여 나타내었는데, 대기중 건조와 디바인딩의 공정에서는 형상치수변화가 그다지 크지 않지만 마지막 단계인 동함침 시 상당한 정도의 형상치수변화가 일어남을 알 수 있다. 이것은 분말 충전시에는 스테인레스분말입자 사이의 간격이 테이블진동에 의하여 상당히 조밀하였다가, 동함침시 모세관현상에 의하여 액상의 동이 스테인레스분말의 입자 사이에 침투하면서 분말입자사이의 간격을 넓히기 때문이라고 생각된다.

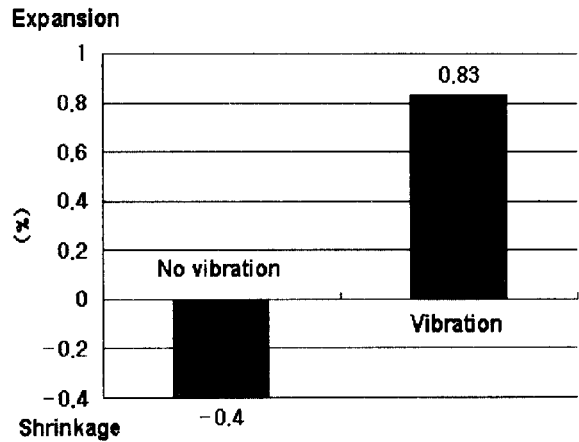


Fig.4 진동에 의한 형상치수의 변화(동함침 후)

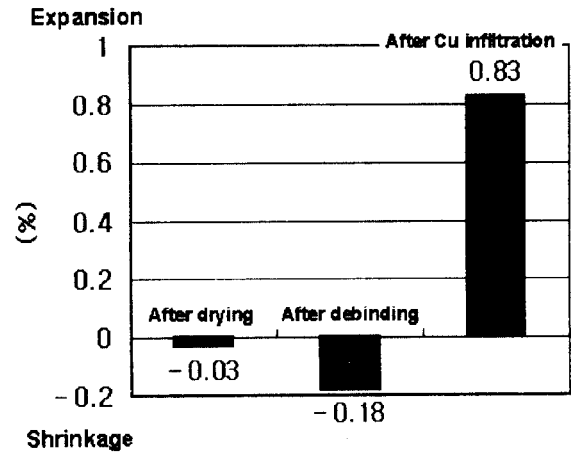


Fig.5 각 공정단계별 치수변화

5. 동분말의 첨가에 의한 치수변화의 제어

앞에서 언급했듯이 동함침시 형상의 치수가 증가한다는 사실로부터, 사용되는 재료나 공정을 적절히 조절함으로써 최종적인 형의 치수제어가 가능하게 됨을 알 수 있다. 분말의 밀도를 조절함으로써 동함침후 치수오차를 줄이기 위해서 예를 들면 디바인딩의 과정에서 사라지는 분말을 혼합한다든지 하는 등의 여러가지의 방법적인 시도가 이루어졌다.

본 실험에서는 혼합 스테인스분말 중에서 18 wt%의 스테인레스 미분말 대신에 평균입경 10 μ m의 순수 동분말과 스테인레스 미분을 5 : 5의 비율로 혼합하여 사용하였으며 그 조성은 Table 3에 나타내었다.

Table 3 동분말 첨가시의 혼합분말의 조성

재료명	중량비율(wt%)	체적비율(vol%)	중량(g)
SUS(65 μ m)	82	83.2	492
SUS(5 μ m)	9	18	9.1
Cu(10 μ m)	9		7.66

이러한 순수 동분말을 혼합하여 형을 제작하고 각 단계마다의 치수변화를 Fig.6에 나타내었다. 건조와 디바인딩 공정에서는 각각 0.22%와 0.53%의 수축이 일어남을 알 수 있고, 분말중에 포함된 순수 동분말을 액상소결(liquid phase sintering)하는 과정에서 0.42%의 팽창이 일어났으며, 마지막 동합침공정에서는 0.26%의 팽창이 일어남으로서 결과적으로 골프공형의 치수변화를 0.07%의 수축으로 제어할 수 있었다. 또한 Table 4에서 보는 바와 같이 순수 동분말을 혼합하여 형을 제작한 것이 그렇지 않은 것보다 형 표면의 거칠기가 상당히 개선되는 것으로 나타났다.

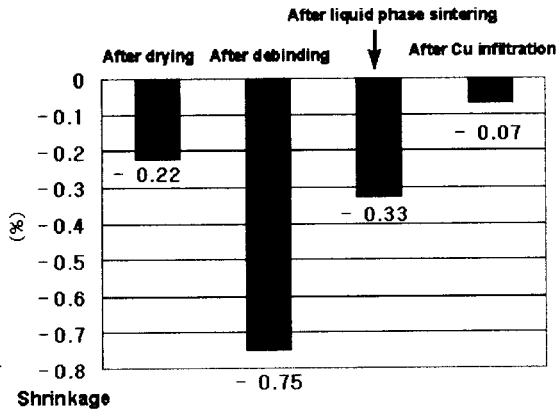


Fig.6 동분말 혼합에 의한 형상치수의 제어

Table 4 분말의 종류에 따른 형의 표면 거칠기

A	일반 SUS분말(65 μ m) + SUS 미분말(5 μ m)	Rmax	13(μ m)
		Rz	9
		Ra	2.2
B	일반 SUS분말(65 μ m) + SUS 미분말(5 μ m) + 순수동분말(10 μ m)	Rmax	6.5(μ m)
		Rz	4
		Ra	0.9

7. 결론

복잡한 자유곡면의 형상이나 일반적인 절삭이나 연삭의 방법으로는 가공하기 어려운 형상을 가진 금형의 경우, RP를 이용한 금속금형제작은 본래 취지의 시간적인 그리고 비용적인 측면의 장점뿐만이 아니라 제작상의 장점 또한 가지게 된다. 그러나 현재까지 RP(Laser lithography, LOM, FDM 등)에 의해 제작된 모델을 전사시켜 금속금형제작(3-D Keltool Process)을 시도하거나, 직접식 금속금형제작(SLS)에 의한 금속금형제작(Rapid Tooling)은 금형으로서의 강도나 치수정도에 있어서 수축이나 변형 등으로 인하여 절삭, 연삭 등에 의한 제거가공에 비하여 뒤떨어지는 것은 사실이다.

본 연구에서 개발한 분말주조법에 의한 통해서 RP를 이용한 금속금형제작을 시도함에 있어서 금속금형제작은 기존 방법의 시간적, 비용적인 장점을 유지하면서, 기존의 스테인레스 분말에 순수 동분말을 첨가하여, 최종 금형의 표면조도의 향상과 함께 치수변형을 0.1% 이하로 제어함으로써 앞에서 지적한 치수정밀도의 문제를 상당히 개선할 수 있었다. 또한 기존 분말주조가 습식의 슬러리 타입을 채택하고 있는데 반해 건식을 채택하여 작업성을 향상시켰고, 분말 충전시와 바인더 칩투 후 진동을 가함으로서 분말의 충전밀도를 높여 금형의 강도를 향상시킬 수 있었다.

Fig.7은 본 논문의 분말주조를 통해서 제작한 사출금형과 사출제품을 나타낸다.

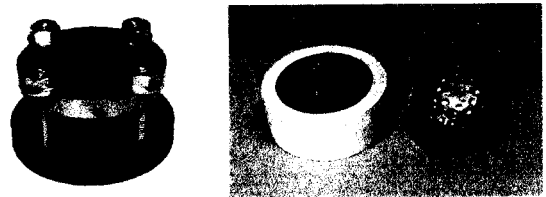


Fig.7 분말주조로 제작된 사출금형과 사출제품

참고문헌

1. 中川成雄, 丸谷洋二 : 積層造型 システム
2. Takeo Nakagawa, Hirouki Noguchi : Rapid Prototyping of Fine Ceramics - Slurry Casting Using Silicon Rubber Mold