

# 성형 은 점토 소재의 미세구조와 경도 변화

송오성, \*김경아  
서울시립대학교 신소재공학과  
\*(주)쥬얼테크  
songos@uos.ac.kr

## Microstructure Property of Silver Clay

Ohsung Song, \*Kyungah Kim  
University of Seoul  
\*Jewel Tech

### 요 약

기존의 금속조형물은 만드는 공정으로 주조-후처리 또는 정밀 기계가공방법은 많은 시간과 노력이 필요한 단점이 있었다. 최근에 귀금속 성형점토 (PMC)라는 마이크로 크기의 분말과 바인더가 혼합되어 마치 점토와 같이 직접 수공 또는 치공구를 이용하여 완성하고 650-850°C 정도의 저온에서 소결하여 단시간 안에 최종 조형물을 만들 수 있는 신공정이 개발된 바 있다. 본 연구에서는 선진사와 비슷한 1~3µm급의 분말을 1:1로 혼합하고 고흥 바인더를 첨부하여 기존 선진사와 동등하거나 우수한 미세조직과 표면경도를 확보하고 조형미가 있는 시작품을 만드는 데 성공하였다.

### 1. 서론

귀금속성형점토(precious metal clay ; PMC)란 금 또는 은 등 직경 20µm이하의 귀금속 분말을 유기바인더와 혼합하여 일단 상온에서 원하는 성형체로 제작하고 곧장 650°C~850°C 정도의 온도에서 소결시켜 최종 귀금속 형태의 원형이나 장신구를 빠른 시간에 단순한 공정으로 제조할 수 있는 비교적 최근에 개발된 신소재이다.

PMC를 이용한 성형체는 기존의 디자인-왁스성형-석고 플라스크몰드-주조-후처리공정으로 이어지는 복잡한 금속공예품의 제조공정을 획기적으로 단순화시킬 수 있고, 비전문가도 매우 손쉽게 1시간 안에 최종 제품 또는 작품을 완성시킬 수 있어서, 최근에는 초중고등학교의 특별활동에서 조형실습물이나 일반인들의 평생교육의 한 분야로 각광받고 있으며 전문공예 분야에서도 작품원형의 제작에 활용하는 작가군이 늘어나는 등 수요가 증가하고 있다.

제품의 구성은 아토마이징법으로 구현된 0.5~20µm 정도의 구형 순은 또는 순금 분말이 binder 역할을 하는 수용성 셀룰로오즈, 계면활성제, 오일, 물로 구

성되어 있다. 주요 구성성분이 인체에 유해하지 않아 손이나 치구를 이용하여 손으로 직접 성형체를 찰흙과 같은 공작원리로 단시간에 제작하고 곧장 650°C~850°C 정도의 전기로 또는 프로판 토오치를 이용하여 소결시키고 이때 바인더는 기화하고 최종적으로 기존 주조공정에 비해 미세한 결정립에 의한 고강도 최종 성형체를 얻는 특징이 있다. 이러한 공정 편리성 때문에 고부가가치(g당 은이 1,000원 정도 임에 비해 g당 10,000원 정도)가 가능한 상황이다.

PMC는 1990년 일본 Mitsubishi Materials Corporation이 특허출원하여 원천기술화한 소재로 분말귀금속의 입자형태, 입자분포, 소결조건을 이용하여 최종 제품의 목적하는 기계적 특성을 조절하는 것이 가능하며, 공예용 PMC는 일본의 相田화학공업 주식회사에서 「art clay」란 상표로 독점적으로 공급하고 있어서, 국내의 늘어나는 수요를 고려할 때 기존 원천 특허가 침해되지 않는 범위에서 새로이 기존 PMC의 품질을 증가하는 PMC가 개발되어야 할 필요성이 있다.

새로이 개발되어야 할 PMC는 인체에 무해하고 소

성 시 유해원소나 가스가 방출되지 않는 환경친화적인 소재이어야 하며, 가능하면 저온에서 소결되어 에너지 면에서 유리하면서도 고온 유해 가스배출이 억제되어야 하고, 최종적으로 완성된 표면에 분말소결에 의한 결함이 적어서 표면후처리에 도 이러한 표면 성상은 유리하고 기계적 강도를 유지할 수 있어야만 한다.

이러한 배경에서 본 연구는 국내의 (주)쥬얼테크가 개발한 저온소결용 1 $\mu$ m 미립 은 분말을 이용하여 분말조성물과 소성온도에 따른 미세구조와 경도 변화를 알아보는 기초적인 실험을 진행하였다.

## 2. 실험방법

내경직경 1.6mm의 정형 장신구를 상정하여 두께 2mm로 만들고 Fig. 2(a)와 같이 직경 1 $\mu$ m와 3 $\mu$ m의 은 마이크로 분말을 부피비로 1:1로 삼입하고 0.5 $\mu$ m급 육각형 셀룰로오스를 혼합하고 오일과 혼합하여 준비된 시편을 성형한 후 650 $^{\circ}$ C에서 5분간 저온 소성하여 완성하고 중간부를 파괴시켜서 미세구조와 경도측정을 할 수 있도록 하였다.

소성 전후의 미세조직 이미지 FE SEM으로 촬영하고, 소성 후의 경도와 비중의 변화를 주조된 순은과 정은(sterling silver)와 비교하여 보았다.

경도실험은 비커스 경도시험기를 이용하여 500그램의 하중으로 15초간 0.3 $\mu$ m급으로 잘 연마된 시료표면에 탐을 넣고 5회 이상 반복하여 평균치로 경도값을 정하였다.

## 3. 실험결과 및 검토

Fig. 1(a)(b)에 국내 주얼테크의 #A형과 일본 「Art clay」 사 (이후 '일A')의 분말성향을 비교한 광발산 주사전자현미경 사진을 같이 나타내었다. 「일A」사는 0.5, 1, 3, 20 $\mu$ m급 4종류의 구형 분말을 혼합하여 사용하며 고상 바인더가 아닌 액상 바인더를 채용하여 현재 이미지에는 보이고 있지 않다. 반면 A형은 0.5 $\mu$ m와 3 $\mu$ m의 두 가지 종류의 입도와 고형 바인더가 혼합되어 있는 모습이다.

따라서 시작분말의 결정립의 크기가 작을수록 기계적인 강도면에서 유리할 것으로 보이며 「일A」사의 4종류의 분말 분포와 비교해서 유리하다고 예상되며, 반면 「일A」사에서는 고형바인더가 발견되지 않는 특징이 있었다.

Fig. 2(a), (b)에서는 650 $^{\circ}$ C에서 5분간 소결한 후의 쥬얼테크와 「일A」사의 표면을 확대한 광발산주사

전자현미경 이미지를 각각 나타내었다. 1, 3 $\mu$ m의 분말로 시작한 소결공정후 1-3 $\mu$ m의 결정립으로 생성된 반면(a), 0.5-20 $\mu$ m의 4개 비율로 시작한 「일A」사의 최종 미세조직은 약 5 $\mu$ m의 결정립으로 생성되었으며 특히대부분의 결정립이 반응용되어 표면이 재구성되는 현상이 일어나 binder에 의한 용점 저하 성분이 추가되었다고 추측되었다.

소성 후 미세구조간의 큰 차이는 없지만 결정립의 미세화에 의한 기계적 강도면에서는 쥬얼테크의 미립분을 사용한 경우가 유리하다고 판단되었다. 이러한 소결에 의한 성형체는 기존의 주조에 의한 미세구조가 0.5 $\mu$ m정도의 (c) 주조결함을 포함하게 되는 것에 비해 상대적으로 치밀한 미세구조를 보이는 특징에 비하여 결정립 간 소결 시 결함이 많아 경도와 비중의 저하가 예상되었다.

Fig. 3 에는 PMC소결체의 비중 변화를 나타내었다. 통상의 순은의 밀도가 10g/cm<sup>3</sup>에 비해 순은으로 제조된 PMC는 7.6g/cm<sup>3</sup>정도로 약 76%의 밀도를 가지고 있으며 미세구조 분석에서 알아본 바와 같이 내부에 소결에 따른 매우 많은 미세 가공이 발달하여 궁극적으로 비중이 작음을 알 수 있다. 그러나 이러한 사실을 PMC를 이용한 최종장신구 작품의 경량화를 의미하는 것으로 큰 기계적 강도가 필요하지 않은 장신구에 특성상 같은 무게로 좀 더 볼륨감 있는 제품 개발에 유리함을 의미하였다.

Fig. 4에서는 공정에 따른 비커스 경도의 변화를 나타내었다. 잘 알려진 바와 같이 주조된 순은은 비커스 경도값으로 약 37정도의 지수를 보이고, 주조된 정은은 구리와 의 합금에 의해서 급격히 향상된 85정도의 값을 보이고 있다. 반면 순은 분말로 제조된 PMC은은 20정도의 경도를 보이고 있는데 이는 미세구조에 의해 주조에 의해 생성된 순은에 비해 결정립이 1 $\mu$ m정도로 작으므로 아래 식(1)에 의해 적극적으로 향상된 것보다 소결시의 결함에 의해 경도가 작아진 것으로 보인다.

일반적으로 소결 전 원료입자가 작을수록 소결 후 최종 결정립의 크기가 작고 결정립의 크기에 따라 식(1)과 같이 강도가 증가하는 것으로 알려져 있다.

$$\sigma_{eff} = \sigma_i + kd^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서  $\sigma_{eff}$ ,  $\sigma_i$ 는 각각 재료의 최종, 최초 강도이고 d는 결정립의 평균직경이고 k는 비례상수이다.

따라서 PMC는 기존 은 소재나 은합금 소재에 비

해서 표면경도가 낮고 이에 따라 강도가 작지만 빨리 만들 수 있고 후가공으로 표면연마와 브레이징 등의 후처리가 용이한 장점도 있다고 기대된다.

4. 결론

국내에서 개발된 PMC는 기존 해외 선진사의 제품과 달리 1 $\mu$ m급 순은 분말과 고휘형 바인더를 채용하여 좀더 미세한 소결 결정립 구조를 가질 수 있었고, 통상의 주조제품보다 순은 조성을 유지하면서 획기적으로 공정시간을 단축하여, 경량이면서 빠른 표면가공이 용이한 특징이 있었다. 이러한 특징을 이용하여 기존 주조공정으로는 제조비가 많이 드는 Fig. 6과 같은 대형 팔찌 시제품을 성공적으로 제조할 수 있었다.

참고문헌

[1] Mitsubishi Materials Corp, "Japanese firm develops a precious metal clay material", MPR, 1995, 10.  
 [2] Korchagin A. I., Kuksanov N. K., Lavrukhin A. V., Fadeev S. N., Salimov R. A., Bardakhanov S. P., Goncharov V. B., Suknev A. P., Paukshtis E. A., Larina T. V., Zaikovskii V. I., Bogdanov S. V., Bal'zhinimaev B. S., "Production of silver nano-powders by electron beam evaporation", Vacuum, Vol. 77 pp. 485-491, 2005.

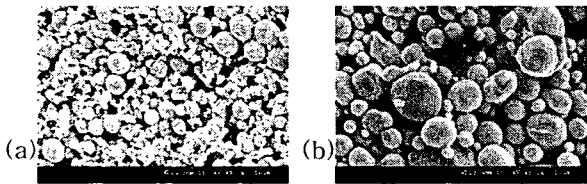


Fig. 1 소성 전 분말 FESEM 이미지 (a) 국내 주얼테크, (b) 일본 아트크레이.

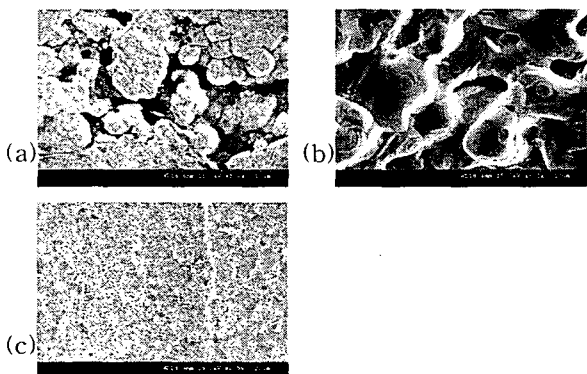


Fig. 2 650C-5분 소성 후 분말 FESEM 이미지 (a) 국내 주얼테크, (b) 일본 아트크레이, (c) 주조된 순은의 주조결함.

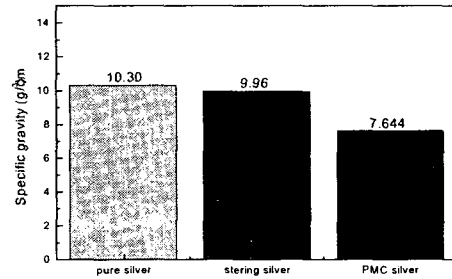


Fig. 3 은 종류에 따른 비중의 변화

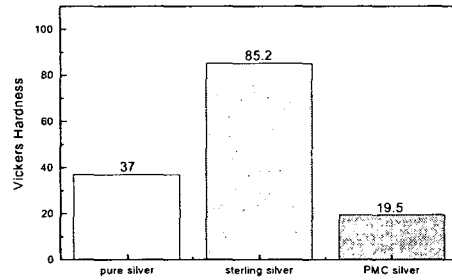


Fig. 4 은 종류에 따른 비커스 경도값의 변화

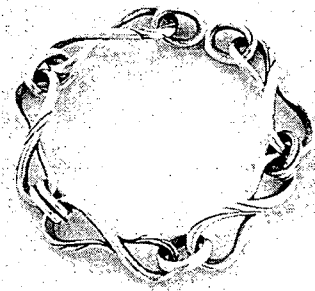


Fig. 5 Silver Clay를 이용하여 제작된 팔찌 시제품.