

# PMC 소결공정 안전성 평가

김경아 · 박병기 · 강영구\*

호서대학교 벤처전문대학원 · \*호서대학교 안전시스템공학과

## 1. 서 론

PMC(Precious Metal Clay)는 gold 또는 silver와 같은 귀금속 분말을 유기바인더와 결합한 신중 소재이다. 기존 은 장식·세공품 또는 미술공예품은 대부분 주조 또는 단조 과정에 의한 방식이나,<sup>1)</sup> PMC 기술을 이용하면 650℃ 이상의 온도에서 소결 후 순도 99.9% 이상의 다양한 형태의 제품을 제작할 수 있다.

또한 PMC를 이용한 제품은 디자인-왁스 성형-석고 플라스크몰드-주조-후처리의 복잡한 공정을 단순화시키고 성형성을 향상시킬 수 장점이 있다. 특히 도금 방식에 비해 귀금속 사용량을 약 1/25 정도로 절감하면서도 귀금속 입자가 균일하게 표면 coating된 완제품을 만들 수 있다.

그러나 PMC의 원천기술은 Mitsubishi Materials Corporation이 소유하고 있고, 공예용 PMC 또한 일본 相田화학공업주식회사에서 상표권을 독점하고 있기 때문에 신규 제품 개발을 위해서는 기존제품과는 다른 원료 조성, 성형 공정 및 품질 향상 기술이 필수적이다.<sup>2)</sup> 또한 PMC 소결 공정에서 발생하는 smoke 생성 제어 등 안전성 평가와 관련된 실험적 검증이 중요한 요소라 할 수 있다.

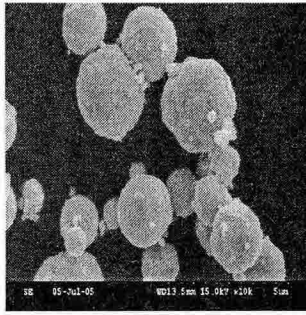
따라서 본 연구에서는 성형 가공성이 우수한 신규 PMC 제품을 제조하여 기존 제품과의 특성을 상호 비교하였다. 그리고 소결시 생성되는 smoke 및 화재 발생 위험성을 평가하여 PMC 소결 공정상 안전성을 확보함으로써 최종 세공품의 품질을 향상시킬 수 있는 기초 연구를 수행하였다.

## 2. 실험

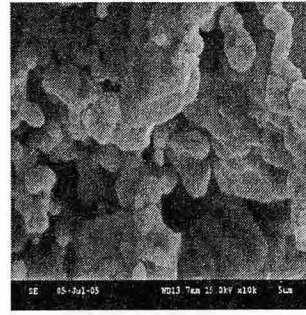
### 2-1. Raw materials

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 1 $\mu$ m와 20 $\mu$ m급 입자 크기의 silver powder를 precious metal로 사용하였다. 예비 실험을 통해 binder는 친수성 배합 공정에 적합한 Carbopol 934(BF Goodrich, USA)와 Aerosil 300(Degussa, Germany)을 사용하였다.

또한 관련 문헌을 기초로 binder catalyst는 Triethanolamine(TEA)을 사용하였으며, PMC 제품의 성형성을 향상시키기 위해 가소제로 PVA(Polyvinyl Alcohol)를 첨가하였다.<sup>3,4)</sup> 또한 소결 전 crack생성을 최소화 하기 위하여 계면활성제로 Glycerine을 사용하였다.



(a) 1 $\mu$ m



(b) 20 $\mu$ m

Fig. 1 SEM photos of silver powder used in this experiment

### 2-2. Manufacturing Process

성형체 배합 공정시 filler의 균일 분산을 위해 silver powder는 dry oven에서 100 $^{\circ}$ C, 24Hr 동안 건조하여 사용하였다. 함량별로 Carbopol 934, Aerosil 300을 물과 혼합하고 magnetic stirrer를 사용하여 1차 교반하였으며, binder의 점도를 증가시키기 위해 TEA를 소량 첨가하였다. 이후 surfactant, silver powder, plasticizer 순으로 기타 원료물질을 첨가한 후 conditioning mixer로 2차 교반을 하였다.

Table 1. Formulation of PMC raw materials

Sample No.	Silver	Binder				Surfactant	Plasticizer
		Water	Carbopol 934	Aerosil 300	TEA		
#1	90	7	0.8	-	0.2	0.5	1.5
#2	90	7	1	-	0.15	0.35	1.5
#3	90	7	1.2	-	0.1	0.2	1.5
#4	90	7	-	0.8	0.2	0.5	1.5
#5	90	7	-	1	0.15	0.35	1.5
#6	90	7	-	1.2	0.1	0.2	1.5
#7	90	7	0.4	0.4	0.2	0.5	1.5
#8	90	7	0.5	0.5	0.15	0.35	1.5
#9	90	7	0.6	0.6	0.1	0.2	1.5

### 2-3. Test Method

시편을 성형 후 650 $^{\circ}$ C에서 5분간 소성하고, 소성과정에서 발생될 수 있는 화염 및 smoke 생성 등을 관찰하였다. 경도 측정은 파단면을 비커스 경도 시험기를 이용하여 500g의 하중으로 15초간 0.3 $\mu$ m급으로 잘 연마된 시료표면에 팁을 넣고 5회 이상 반복 시험하여 평균치를 얻었다. 기존 일본제품과 주조를 통해 제조된 silver 제품의 경도 테스트를 병행하여 비교하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. Characteristics of flame and smoke

PMC 성형체를 제조하여 소성한 결과 Aerosil 300과 계면활성제를 첨가하였을 경우 soot, 연기 및 소성로 내부의 화염이 생성되는 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 반면 Carbopol 934를 단독으로 적용, 소성할 경우 부분적으로 미소 화염은 관찰되나 soot 생성이 현저히 저하되는 것을 알 수 있었다. 이것은 소성 후 crack 발생을 제어하기 위해 첨가한 계면활성제 성분이 연기 생성을 좌우하는 것으로 사료된다.

Table 2. Physical phenomena after firing

Sample No.	Physical phenomena
#1	Flame observation during 5 seconds
#2	Flame observation during 3 seconds after 10 seconds
#3	Slightly Flame observation after 30 seconds and non-crack formation
#4	Slightly flame observation
#5	Combustion after 30 seconds and dark smoke observation
#6	Spark observation
#7	A small amount of soot and dark smoke, overall flame observation during 5 seconds
#8	Flame observation
#9	Flame observation during 5 seconds after 20 seconds

#### 3-2. Vickers hardness Test

Fig. 2와 같이 PMC 성형체의 비커스 경도를 측정하였다. 주조 방식의 순은 경도값이 약 37정도, 주조 합금방식의 sterling silver가 85정도를 나타내는 것에 비해 PMC 제품은 소결 특성에 따라 20정도의 상대적으로 낮은 경도값을 나타내었다. 그러나 낮은 표면경도에 반해 후가공 공정인 표면연마와 brazing 특성 등 성형 가공성은 우수한 것을 알 수 있었다.

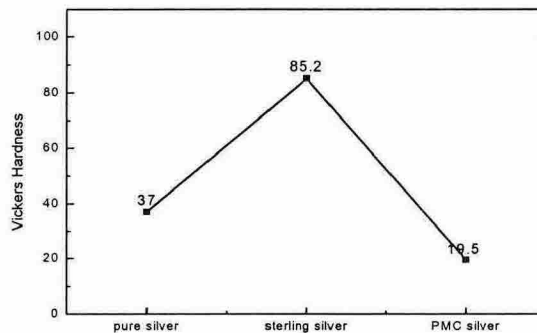


Fig. 2 Test results of Vickers hardness

### 3-3. Morphology

Fig. 3은 소성 전후 파단면 형상을 SEM을 이용하여 관찰한 것이다. 제작 시편의 경우 분산성이 다소 저하되는 점은 있으나, 기존 PMC 제품(相田화학공업주식회사, 日本)과 비교하여 유사한 morphology 특성을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

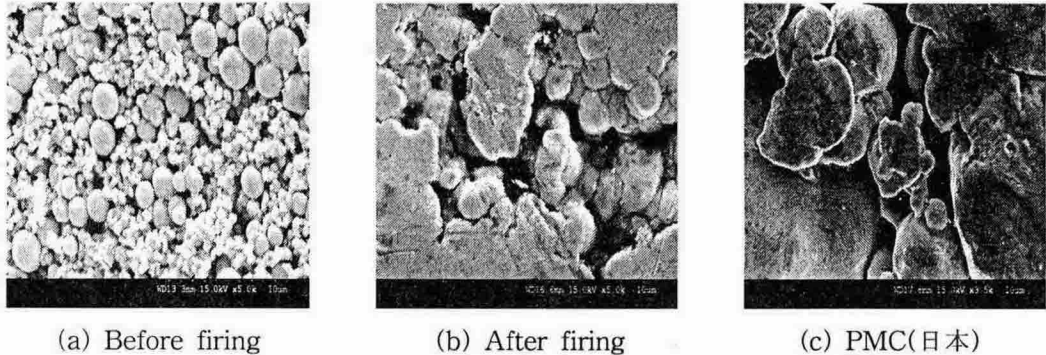


Fig. 3 Morphology of PMC samples

신규 원료물질을 도입하여 제조한 PMC 성형체를 대상으로 상기의 측정 및 분석을 수행한 결과 formulation에 따라 소성시 시간에 따른 smoke, soot 및 화염 생성을 억제할 수 있었다. 또한 작업 및 성형 공정이 간단하면서도 기존제품과 거의 동일한 금속세공품을 제조할 수 있었다. 따라서 기존 구조에 의한 방식보다 소량의 silver powder를 첨가하고도 동일한 성형 제품을 제조함으로써 전량 수입에 의존하고 있는 PMC 분야의 수입 대체효과가 예상되며, 향후 소성시 안전성에 대한 추가 보완 연구를 수행하고자 한다.

### 참고문헌

1. Mitsubishi Materials Corp, "Japanese firm develops a precious metal clay material", MPR, 1995.
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.
3. Y. Osada, K. Kajiwara, "Gels Handbook: Application", Academic Press, pp. 4~502, 2004.
4. Danilo DeRossi, Kanji Kajiwara, Yoshihito Osada, Aizo Yamauchi, Polymer Gels, Plenum Press, 1991.