

포토 폴리머의 직접 주조에 관한 연구

김우순*, 김동현⁺

(논문접수일 2006. 10. 11, 심사완료일 2006. 11. 10)

A Study on the Direct Casting of Photo-polymer

Woo Soon, Kim*, Dong Hyun, Kim⁺

Abstract

Rapid prototyping technologies have been widely used to reduce the development cost of new products. Manufacturing industries are nowadays characterized by the flexibility and complexity of products. This is due to the rapid development of manufacturing technology and diverse needs of customers. In this paper, the best burning out and casting condition for getting casting product of resin pattern(photopolymer) have been examined experimentally. In general, the burning out and casting conditions have effect on the casting products. Using the direct casting, we directly produced the jewelry. And in this paper, we used only gypsum. Many study of casting for resin have been used to dental investment. A dental investment is good for resin casting, but dental investment is too hard and not useful on the jewelry casting. Therefore we need to find the way of resin casting by gypsum.

Key Words : Resin casting(레진 주조), Jewelry casting(귀금속주조), Rapid Prototyping (쾌속조형), Casting(주조), Gypsum(석고)

1. 서론

디자인을 위한 쾌속조형기술은 국내외 시장에서 경쟁이 치열해지고 있으며 설계형상의 확인, 시작품의 제작, 금속에 응용, 동시공학등 제조업 분야에 많이 사용되고 있다. 최근에는 여러 가지의 제품에 대응하는 기술들이 개발되고 생산 가공 자동화 시스템 장비들이 제작보급됨에 따라 다양한 산업분야에 적용범위는 점점 확대되고 있는 상태이다. 특히,

귀금속산업에의 적용을 위한 쾌속조형기술^(1,2)은 장비 기술의 발달과 함께 정교한 디자인을 실현할 수 있게 되었으며 단순한 시작품을 만드는 한정적 범주에서 벗어나 실질적이고 상업적인 활용 측면으로 그 응용 범위를 확대해 나가고 있다. 이런 추세를 더욱 발전시키기 위해서는 귀금속 제품 생산의 핵심인 레진의 직접 주조를 실현하는 것이 중요하다. 직접주조(Direct Casting)란 쾌속 조형물을 직접 주조하는 방법을 말한다. 일반적인 귀금속 가공 기법인 정밀주조⁽³⁾

* 원광대학교 지역기술혁신센터 (knamba@jempal.com)

주소: 570-749 전북 익산시 신용동 344-2

+ 원광대 기계자동차공학부

에서는 완전 연소재인 Wax를 소재로 사용하기 때문에 주조에 노하우를 갖춘 기술자라면 업종 특성에 맞는 주조 프로세스를 파악하면 어렵지 않게 주조 기술을 습득할 수 있으나, 레진(Resin)의 경우에는 연소 조건이 까다롭고 완전 연소가 되지 않을 뿐만 아니라 레진이 연소 임계 온도에서의 열팽창에 대한 고려, 최적의 연소 온도, 최적의 연소 온도에 알맞은 매몰재, 최적의 연소 조건을 만족 시키는 소성로 등이 복합적으로 고려되어야 최상의 결과물을 얻을 수 있다.

레진의 재질⁽⁴⁾은 아크릴과 왁스의 혼합 재질인 포토폴리머(photo-polymer)로서 석고를 이용할 때 버닝 아웃(burn-out)시 발생하는 열팽창 및 불꽃 등에 의해 매몰재가 약화되거나 깨어지는 현상을 보인다. 과거 치과용 인산염계 매몰재를 사용하여 레진의 캐스팅을 성공시킨 예들은 있어 왔으나 이 경우 굳은 매몰재를 해체하는 과정이 너무 어려워 귀금속 등 일반 업체에서 사용하기에는 무리가 있으므로 석고(gypsum)으로 통칭되는 일반 석고계 매몰재를 이용하여 캐스팅할 수 있는 조건을 찾는 것이 필요하다. 하지만 일반 석고는 치과용 매몰재에 비하여 고온 소성이 불가능하고 강도도 약하므로 소성시 석고(gypsum)를 무너뜨리지 않을 수 있는 세심한 소성 스텝(step)이 필요하다. 또한 제품 생산성, 단가, 작업 편의등을 고려할 때 치과용 매몰재나 백금용 매몰재를 사용하는 것은 난점이 많으므로 석고를 이용한 주조 조건을 찾아내는 것은 중요한 일이다.

따라서 본 연구에서는 패속조형기에서 추출된 photopolymer 재질을 석고(gypsum)을 이용하여 직접 주조하는데 있어 최적의 소성 스텝(step)과 이에 적합한 주조 환경을 찾아 실제 산업 현장에서 손쉽게 RP출력물을 직접 주조할 수 있도록 하고자 하였다.

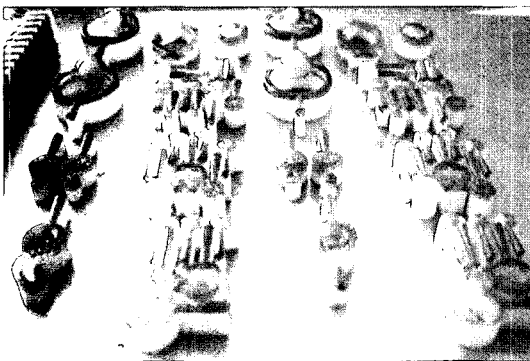


Photo 1. Sample of resin parts

2. 귀금속 주조

CAD 프로그램을 이용하여 3차원 설계하고, 패속조형기를 이용하여 레진 패턴 조형물을 제작하였다. 패속조형기는 프린터 방식으로 적층하는 장비를 사용하였으며 이를 통하여 photopolymer 재질의 원형을 제작하며 Photo 1과 같다.

귀금속 업계에서는 트리(tree)구조로 여러 패턴들을 한꺼번에 처리하도록 주형을 구성한다. 이 작업은 매우 경험적 기술을 바탕으로 탕구(Sprue)와 탕도(runner) 및 게이트(gate)를 잘 연결해야 한다. 또한 부피가 큰 제품의 경우에는 게이트(gate)와 탕도(runner)를 잘 연결하여 용융 합금의 유동성뿐만 아니라 잔여물의 제거에 도움이 될 수 있는 방향으로 구성하여야 한다⁽⁵⁾.

매몰시에 유입되는 공기의 탈포 및 플로우 오프(flow off)까지 고려한 트리(Tree)구조를 만들어야 하므로 이는 매우 경험이 많은 경험 기술이 요구된다. 또한 레진은 재료의 고유의 특성상 트리(Tree)구조로 사용되는 왁스(Wax)와는 다른 성질을 갖고 있기 때문에 패속 조형물에 손상을 주지 않고 양질의 완제품을 얻기 위해서는 CAD 디자인에서부터 추가하여 정교한 작업을 하는 것이 필요하다. 또한 RP로 출력된 photopolymer 재질의 출력물은 주로 제품 생산용 원본으로 사용되는 경우가 대부분이므로 귀금속 원본 제작에 주로 사용되는 은 합금(Ag 92.5% + Cu 7.5%)을 사용하여 주조하였다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig. 1은 실험장치인 진공가압주조기 및 원심주조기를 나타내고 Table 1은 실험장치의 제원을 나타낸다.

Table 1 Specifics of experimental apparatus

Item	(a)	(b)
Power	12 kw	7 kw
Maker	Induthum	Linn
max pressure	3000 mbar	-
max temperature	1600℃	2000℃
vacuum	1000 mbar	1000 mbar
protection gas	Ar	Ar
vibration	Yes(30sec)	no

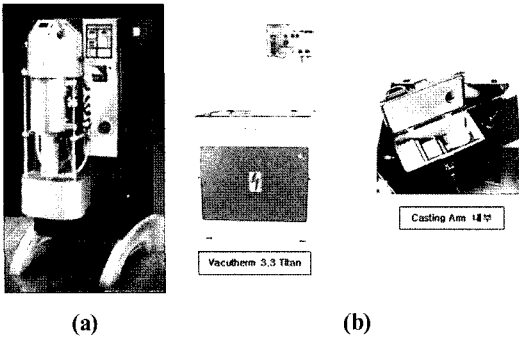


Fig. 1 Vacuum pressure Casting machine(a) and Spinning Casting machine(b)

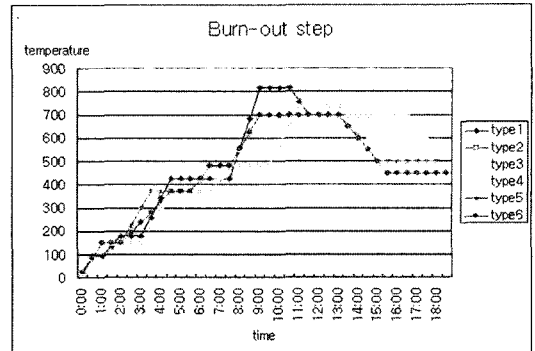


Fig. 2 Burn-out step

레진은 사용 목적에 따라 각기 다른 특성으로 그 혼합물이 결정되어 있고, 현재 개발된 레진의 종류가 약 600여종에 달하는 것으로 알려져 있다. 또한 복합 화합물로 구성되어 있어 wax와는 달리 필연적으로 잔여물(ash)가 남고, 이 잔여물은 주조물에 치명적인 결함 또는 표면 거칠기를 극대화시키는 요인으로 작용하므로 이 잔여물을 최소화시키는 것이 직접주조(Direct Casting)의 관건이라고 할수 있다.

직접주조에 있어서 가장 중요한 부분은 용해작업으로서 제품에 가장 큰 영향을 줄 것으로 사료된다. 따라서, 본 연구에서는 온도 변화에 따른 잔여물의 정도를 측정하기 위하여 전기로를 사용하였다. 이는 다른 용해로에 비해 필요한 고온도를 용이하게 얻을수 있으며 조작이 간단하고 온도조절이 정확하기 때문이다. 또한, 성분 조정이 확실하고 용융금속의 불순물 흡수도 적으며 산화작용에 의한 용융금속의 손실이 적은 장점이 있다. 사용한 소성로로서의 제원은 독일 Linn사에서 제조한 소성로로서 최대온도 1200℃이다.

3.2 실험방법

귀금속 제품을 위한 디자인은 라이노 캐드, 주얼리 캐드로 디자인된 3D 데이터를 인비전 RP를 이용하여 photopolymer로 출력한 후 이를 석고에 매몰하여 2시간 상온에서 굳힌 후 소성, 은(92.5%)과 구리(7.5%)합금을 사용하여 원심주조기와 진공가압주조기를 이용하여 주조하였고 주조한 은 원본을 석고분쇄기를 이용하여 분쇄한 후 표면을 측정하고 분석하였다.

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 2은 각각의 소성 스텝(step)을 나타낸 것으로 타입

1(Type 1), 타입 2(Type 2), 타입 3(Type 3)이상으로 나누어서는 중간 스텝의 안정온도와 최고온도를 달리하여 실험하였고 이를 토대로 타입 3 이후 부터는 온도 상승 step을 최적화하여 고정시키고 최종 온도를 다르게 하여 주조시 최적의 플라스크 온도를 찾고자 하였다.


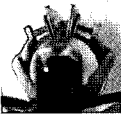
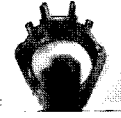
일반적으로 레진(photopolymer) casting 시에 나타나는 결함은 소성 단계에서 레진의 팽창과 burning 시의 결함이 주원인이다. 이것에는 매몰재 벽 부분이 파손되어 나타나는 표면손상, 용융 온도가 너무 높거나 낮아서 발생하는 주조체의 조직 이상과 주입 불량, 플라스크(flask온도(소성 최종 step의 온도))가 적절하지 못 할 때 금속이 끓어오른 듯한 표면상의 이상현상등의 결함이다. 본 연구에서는 이런 문제점을 극복하여 양호한 주조체를 얻기 위해 각 원인별로 최적조건을 찾았다.

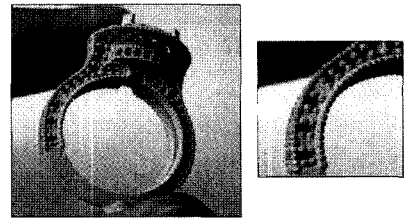
4.1 용융 온도 변화에 따른 결과

각 금속 혹은 합금은 용점에 따라 적절한 용융 온도를 갖는다. 일반적으로 귀금속에서는 용점보다 150~200℃ 정도 높은 온도에서 주조하는 것이 좋다고 알려져 왔으나 레진 캐스팅의 경우 소성 특성상 레진과 접촉하는 부분의 석고 강도가 약해지는 현상을 나타내므로 이 경우 가장 적절한 용융온도(melting temperature)를 파악하는 것이 매우 중요하다.

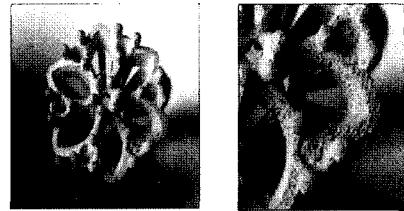
Table 2는 용융온도 980℃, 1020℃, 1050℃에 따른 실험결과를 나타낸 것으로 온도영역에 따른 결과는 큰 차이를 보이지는 않았고 1020℃에서의 결과가 가장 우수하게 나타났다. 980℃와 1050℃의 비교에서는 1050℃에서의 결과가 더 나은 결과를 보였다.

Table 2 Results of casting by melting temperature

Melting temperature	Results of casting
980 (°C)	
1020 (°C)	
1050 (°C)	



(a)



(b)

Fig. 3 Results of type 1(a) and type 2(b)

Table 3 Relationship of Furnace step and temperature

step	type 1	type 2	type 3~6
1	heat 30 min 90°C	heat 1 hour 149°C	heat 1 hour 149°C
2	hold 30 min	hold 2 hour	hold 1 hour
3	heat 1 hour 177°C	heat 1h 30m 371°C	heat 1h 30m 371°C
4	hold 1 hour	hold 2 hour	hold 2 hour
5	heat 1h 30m 425°C	heat 1 hour 482°C	heat 1 hour 482°C
6	hold 3 hour	hold 2 hour	hold 1 hour
7	heat 1h 30m 816°C	heat 1h 30m 732°C	heat 1h 30m 700°C
8	hold 1h 30m	hold 2 hour	hold 4 hour
9	cool 1 hour 700°C	cool 30 min 700°C	cool 1h 30m 450~600°C
10	hold 3 hour	hold 3 hour	hold 3 hour

4.2 소성 스텝과 최고 온도 변화

Table 3은 타입1(Type 1), 타입2(Type 2)와 타입3,4,5,6 간의 스텝 변화를 나타낸 것이다.

타입 1(Type 1)에서는 425°C에서의 온도 안정을 위한 소성 스텝으로 초기부터 425°C까지는 비교적 빠른 온도 상승을 유도 하였고 그 이후 최고점인 816°C까지의 온도 상승역시 빠르게 하였다. Fig. 3는 타입 1과 2의 결과를 나타내었다.

주조 실험한 결과 구멍이 막혀 나온 것으로 보이는 현상이

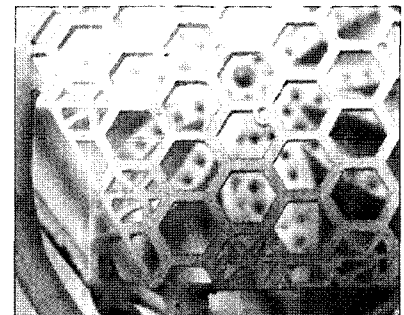


Fig. 4 Results of type 3

발생하였으며 이것은 구멍 위치에 있던 석고 기둥이 부러져 나가서 생긴 것으로 판단된다.

타입 1(Type 1)의 결과가 가장 좋지 않게 나타난 것은 일반적으로 photopolymer의 burnout온도로 알려져 있는 300~400°C대 에서의 일정온도유지시간이 짧기 때문인 것으로 보인다.

타입 2(Type 2)는 실험한 타입중 전체의 모양이 가장 완만한 온도 상승을 유지 하였고 371°C와 482°C에서 온도가 균일해지도록 하였으며 최고 온도는 732°C로 셋팅하여 실험하였다. 이 경우, 타입 1에서처럼 구멍이 막혀 나온 부분이 존재하며 구조체의 표면에 결함이 발생하였다

Fig. 4는 타입 3(Type 3)의 소성스텝에 따른 결과를 보여 주고 있다. 타입 3 이상에서는 371°C로의 온도 상승과 이

온도영역 에서의 균일온도유지를 엄격하게 적용하였고 초기 149℃와 482℃ 에서의 온도 상승과 균일온도유지시간을 줄였다. 또한 최고온도를 700℃로 하고 이 시간대에서의 균일온도유지 시간을 4시간으로 늘렸다.

이 경우 구멍이 막혀 나온 곳은 거의 나타나지 않았고 석고가 무너지는 현상도 나타나지 않았다. 다만 사진에 나타나는 흠으로 보이는 것들은 주조체의 표면이 끊은 것처럼 보이는 현상으로 이것은 플라스크 온도와 관련한 것으로 사료된다. 타입2(Type 2)와 3(Type 3)의 비교에서 똑같이 371℃대에서 일정온도유지시간을 주었고 다른 온도에서의 일정온도유지시간은 타입2가 더 안정적이었는데도 타입 3의 결과가 더 좋은 것은 최고 온도에서의 문제점인 것으로 판단된다.

4.3 플라스크 온도변화에 따른 결과

일반적으로 주조체 표면의 끊는 현상은 주로 flask 온도(소성 최종step의 온도)에 의해 나타난다. 타입1, 2는 flask 온도를 700℃로 타입 3(Type 3)은 600℃ 타입 4는 550℃ 타입 5는 500℃ 타입 6은 450℃인 경우를 각각 나타내며 타입 3부터 6까지는 flask온도 외에는 같은 소성 조건을 유지하도록 하였다.

Fig. 5는 타입에 따른 플라스크 온도변화가 주조체에 미치는






Flask Temperature (°C)	Results of casting
700	
600	
550	
500	
450	

Fig. 5 Results of casting by flask temperature

는 현상을 나타낸 것이다.

주조 실험결과, 플라스크 온도가 저온으로 진행할수록 더 나은 표면 상태를 보였다. 처음 700℃에서 주조한 것들에서는 끊어오른 듯한 현상이 많은 부분에 나타났으나 점점 빈도 및 범위가 줄어들어 450℃에서는 거의 나타나지 않았다. 다만 이 현상은 550℃이하에서는 극히 미세한 차이를 보이며 반지 같은 비교적 단면적이 넓은 주조체에서만 이 차이를 구별할 수 있고 가는 형상의 주조체에서는 550이하에서는 거의 차이가 없었다.

Table 4는 플라스크 온도에 따른 주조체결과를 평가 분석한 것이다.

4.4 석고 종류에 따른 결과

본 연구에서는 귀금속 주조용으로 많이 쓰이는 gypsum investment중 3개를 선정하여 실험하였다. 귀금속 주조용으로 많이 쓰이는 것을 제조회사 별로 A, B, C를 구분하였고 석고(gypsum)의 강도 차가 명확히 구분하기 위하여 세밀한 타입의 RP출력물을 사용하여 실험하였다.

Photo 2는 실험에 사용된 RP의 시험용 출력물로서 극히 세밀한 6각형 망으로 이루어진 형태로 파손이 쉬운 각 석고

Table 4 Results of casting by flask temperature

Flask temperature (°C)	Results	
	Large section	Small section
700	X	△
600	△	○
550	○	◎(very good)
500	○	◎
450	◎	◎

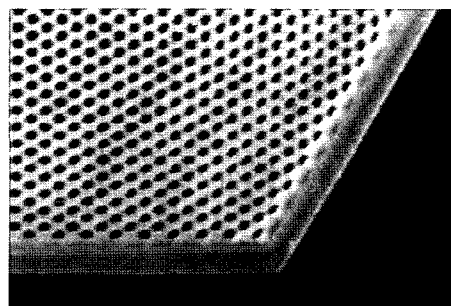





Photo 2 Resin part for casting

Table 5 Results of casting by Gypsum

Gypsum investment	Results
A	
B	
C	

(gypsum)의 강도를 알아보기 쉬운 형태로 판단되어 선정된 형태이다.

Table 5에서 A사의 제품은 전반적으로 모양은 유지되었으나 세밀한 부분이 얇은 막으로 덮여있는 부분이 여러 군데 나타난 결과를 보였다. 이 막은 구멍이 난 부분의 석고가 미세하게 갈라져 이 틈으로 용융된 금속이 들어가 나타난 형상으로 판단된다. 극히 미세한 형태이기 때문에 실험시 용융된 금속이 다 채워지지 못한 부분은 전반적으로 나타난 것이지만 용융된 금속이 들어간 부분을 기준으로 하여 막이 생긴 부분이 전체의 50%정도 되었다.

B사의 경우 석고(gypsum)의 강도가 가장 낮은 것으로 보인다. 거의 전체가 막혀 나왔고 이 경우 얇은 막이 생긴 부분 이라기 보다는 구멍 부분의 석고가 전부 깨어져 나가 아예 구멍이 막혀버린 현상을 보여준다.

C사의 경우는 막이 생긴 부분도 없지는 않았으나 거의 깨끗하게 주조 되었으며 표면도 아주 깨끗한 상태로 주조 되었다. 비록 100%는 아니지만 이 출력물의 세밀함의 정도가 귀 금속 제품에서 사용되는 가장 미세한 형태의 절반이 되지 않는 단면적임을 감안 할 때 귀금속을 위한 photopolymer의 주조시에 사용할 매몰재로 가장 적절하다고 판단된다.

4.5 주조방식에 따른 결과

일반 귀금속 제조시 제품 생산성에 유리한 이유로 진공 가압 주조가 많이 사용되고 원심주조는 특별한 경우에만 사용된다. RP로 출력하여 직접주조를 하는 경우는 주로 제품 생산 이라기보다는 제품 생산을 위한 시제품이나 원본 생산

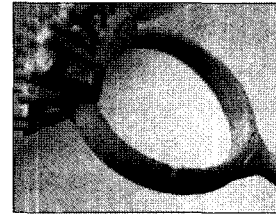


Fig. 6 Result by Vacuum pressure Casting machine

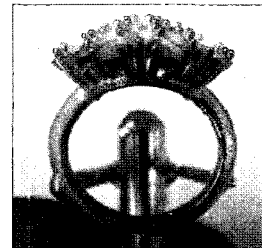


Fig. 7 Result by Spinning Casting machine

에 더 적합하므로 원심 주조와 진공가압주조의 결과를 비교 하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 진공가압주조기와 원심주조기로 실험한 결과이다.

대체로 진공 가압 주조 방식 보다는 원심 주조 방식이 더 나은 결과를 보이고 있다. 위 두 주조체 에서는 큰 차이를 보이지는 않으나 난발의 맨 끝 부분에서 크랙의 발생 유무가 약간의 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

실험을 계속 진행하는 동안 진공 가압 주조에서는 그 원인이 애매한 주조체의 깨어짐 현상이 간헐적으로 나타났는데 주로 그 위치가 주조체의 맨 끝 등 melt 가 주입시에 자유낙하 하여 부딪치게 되는 자리로 보이는 곳에 집중되는 현상을 보였다. 한편, 원심 주조에서는 그런 현상이 거의 나타나지 않았다. 진공 가압 방식은 용융금속 주입시에 용융금속이 자유낙하 하여 photopolymer 소성으로 약화되어 있는 석고 벽면에 충격을 주기 때문이라고 판단된다.

반면 원심 주조 방식은 자유낙하 없이 순수하게 모터에 의한 원심력으로 주조가 되는 것이기 때문에 처음 spinning을 시작할 때는 모터가 빠르게 돌지 않다가 차츰 RPM이 올라가므로 처음 주입할 때 진공 가압 방식에 비해 melt에 의한 충격이 적어 주조체의 결함이 나타나지 않는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 쾌속조형기의 출력물을 이용하여 귀금속 제품용 원본을 생산하는 프로세스를 구축하고 포토폴리머(photopolymer)재질을 석고 매몰재를 이용, 직접 주조하여 다음과 같은 조건 하에서 주조가 가능한 결과를 얻었다.

- (1) 포토폴리머(photopolymer)의 소성 스텝은 매몰재의 강도를 최대한 올릴 수 있는 방식으로 이루어져야 하며 300~400℃ 사이의 온도 상승과 유지가 중요하고 석고의 강도를 위해 700℃에서 4시간 가량의 안정 시간을 두어야 한다. 급격한 온도 변화는 석고(gypsum) 강도에 악영향을 미치므로 시간당 100℃ 정도의 온도변화가 적당하리라 판단된다.
- (2) gypsum의 재질 특성상 최고 온도를 720℃ 이상 올리는 것은 좋지 않으며 photopolymer 소성시 700℃의 최고 온도로도 양호한 주조체를 얻을 수 있었다.
- (3) 귀금속 원본을 위한 재료로서의 은(Ag92.5% + Cu 7.5%)에 대한 적절한 플라스크 온도는 단면적이 넓은 (반지 정도)제품 에서는 450℃가, 좁은 단면적을 가진 제품에는 550℃가 적절하다. 이 경우에 있어 적절한 용융 온도는 1020℃가 적절하고 단면적이 아주 좁을 경우 1050℃ 정도가 적절하다.
- (4) 포토 폴리머 직접 주조에 있어서 용융금속 주입시 충격

으로 석고 벽이 무너지는 현상을 방지하기 위해 진공 가압형 주조기 보다는 원심 주조기의 경우가 더 나은 결과를 보여주었다.

후 기

본 연구는 2005년도 원광대학교 교내연구비에 의해 연구 되었음.

참 고 문 헌

- (1) Walczyk, D. F. and Hardt, D. E., 1994, "A new rapid tooling method for sheet metal forming dies," *Proceeding of 5th International Conference Rapid Prototyping*, pp. 275~289.
- (2) Ransom & Randolph, 2001, *Application Instructions R& R Platinum Investment & Binder*.
- (3) Human Resource Development Service of Korea, 2005, *Lost Wax Investment Casting*, pp. 3~110.
- (4) 3D Systems, 2003, *Material Safety Data Sheet*.
- (5) Kim, D. H., 2002, "A Study of the Development of Center Post for the Productivity Reconsideration of Jewelry Casting," Doctor's thesis of Wonkwang Univ., pp. 22~37.
- (6) www.kerrlab.com