

## 금속조형기술을 이용한 쾌속정밀주조 금형 및 시제품 제작

박문선\*, 김대환\*\*, 곽정기\*\*, 황상문\*\*\*, 강범수\*\*

### Die Making and Product Prototype Fabrication in Investment Casting by SLA Rapid Prototyping Technique

Moon-Sun Park\*, Dae-Hwan Kim\*\*, Jeong-Gi Kwak\*\*, Sang-Moon Hwang\*\*\*, Beom-Soo Kang\*\*

#### ABSTRACT

In this study, a stereolithography apparatus (SLA) prototype is used as a master model to be transformed into the silicone pattern by vacuum tool forming. The tool for the first prototype is fabricated by using this silicone pattern. Following this procedure, a temporary tool with metal powder and epoxy for wax injection is prepared for the die set of quick change type which consists of upper and lower base dies, and an insert die. The die set of quick change type appears to be very effective in casting operation by changing tools rapidly. The original wax pattern is formed through the die set, and is made of lost-wax. Finally the lost-wax pattern is applied to investment casting. The final casting product is checked regarding its dimensional accuracy.

**Key Words** : Rapid Tooling (쾌속금형제작), Investment Casting (정밀주조), Vacuum Casting(진공주형), Reverse Pattern (반전형), Quick Change Type (신속교환형)

#### 1. 서론

제품의 다양성과 시작기간의 단축에 부응하기 위하여 시제품 제작, 금형제작방법의 기술혁신, 제품개발의 동시공학(Concurrent Engineering)등이 추구되고 있다. 이에 대한 유용한 대책으로서 형제작에 있어서 쾌속제품제작(Rapid Prototyping, RP)을 쾌속금형제작(Rapid Tooling)에 응용하게 되었다<sup>[1][2][3]</sup>. RP기술이 시제품을 제작하는 범위를 넘어서 여러 가지 방법으로 형을 만드는데 이바지하고 있으며 최근에는 금속재료를 사용하는 RP기술로 직접 형을 만드는 방법들도 시도되고 있다<sup>[4][5][6]</sup>. 정밀

주조(Investment Casting)에서는 한 개의 왁스원형에서 하나의 주조품만이 만들어지므로 대량생산에는 문제점이 있으나 복잡한 형상을 정밀하게 제작할 수 있어 다품종 소량생산에 장점을 가지는 주조법이다<sup>[7~12]</sup>. 이러한 점에서 정밀 주조의 특징, 이점 등을 잘 이해하고 처음부터 이 방법을 택한다면 시간, 비용 등의 손실을 막을 수 있을 것이다. 최근 정밀 주조는 눈부신 발전을 이루었고 그 특징을 살려서 항공기 기체 부품, 내연기관 부품, 차량 부품, 계측기 부품, 전기 장치 부품, 화기 부품 등 각종 용도와 목적에 따른 수요가 급격히 늘어가고 있으며, 특히 고도의 높은 정도와 신뢰성을 요구하는

\* 대우정밀공업(주)

\*\* 부산대학교 항공우주공학과

\*\*\* 부산대학교 기계공학부

방위산업 제품의 생산 확대에 따른 정밀 구조의 이용 비율이 높아지게 될 것으로 보인다.

본 연구에서는 RP기술의 하나인 Stereolithography 장비(SLA)를 통해 시작품을 제작하고 이를 마스터 모델(Master Model)로 하여 진공 주형법을 통하여 실리콘형을 뜨게 된다. 이 실리콘형을 이용하여 다시 한번 진공 주형법으로 최초 시작품의 형을 제작한다. 이 형으로 금속분말 및 수지를 혼합한 왁스사출용 간이형을 제작하고 모듈화된 기초 금형에 이 간이형을 인서트형으로 조립하는 신속 교환형(Quick Change Type)의 정밀주조 금형을 개발하였다. 이를 사용하여 왁스원형을 제작하고 로스트 왁스(Lost Wax)법을 사용한 정밀주조에 응용하였다. 그리고 그 결과로 나온 제품의 치수를 확인하여 정밀도를 비교 검증하였다.

## 2. 캐속 광조형 마스터 모델 제작

먼저 3-D CAD 모델링 시스템을 이용하여 모델링 후 STL형식으로 변환하고 캐속조형시스템을 통하여 마스터 모델을 제작한다. 이렇게 제작된 마스터 모델로부터 진공주형 공정을 통하여 실리콘 고무형을 제작하고 고온(85~90℃), 진공(750mmHg)하에서 왁스형을 만들어 정밀주조 공정에 응용하였다. 본 연구에서 정밀주조 공정은 세라믹 셸 몰드법을 사용하였으며, 왁스형을 왁스 트리에 부착하여 슬러리 코팅 공정을 거치는데 이때 알루미늄 제품의 경우 2~3회, 합금강이나 철 계열의 경우 왁스형의 크기에 따라 7~10회에 걸친 슬러리 코팅으로 용탕시의 내압에 의한 파손을 고려한 적절한 두께의 코팅을 실시한다. 슬러리 코팅이 끝나면 고온에서 왁스를 녹여내어 세라믹 셸 몰드를 제작한 후, 왁스가 없어진 공간에 고온의 금속 용탕을 부어 넣고 냉각시킨다. 코팅된 슬러린이 세라믹 몰드를 깨어내고, 트리에 붙어 있는 탕구부를 절단하고 가공하여 원하는 금속소재의 마스터모델을 얻을 수 있다. Fig. 1은 본 연구의 전체적인 공정을 개략적인 그림으로 나타내고 있다. 정밀주조를 하고자 하는 부품의 모델링은 Parametric社의 3-D CAD software인 Pro/ENGINEER<sup>®</sup>를 이용하였고 3-D Systems社의 SLA-250기종을 이용하여 마스터모델을 제작하였다. Fig. 2는 마스터모델을, Fig. 3은 사용한 부품의 모델링 및 STL 파일들을 나타낸다. 조형조건과 수지의 종류, 마스터모델의 물성치는

Table 1에 나타내었다.

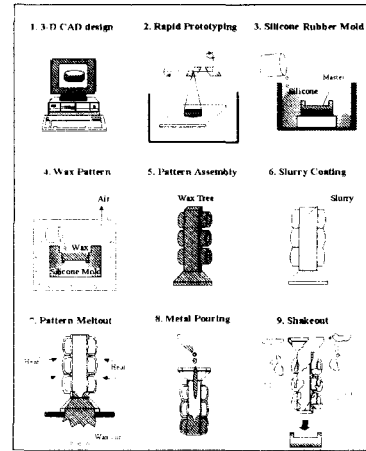


Fig. 1 Investment casting process using master model

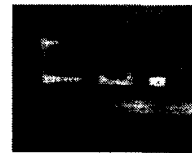
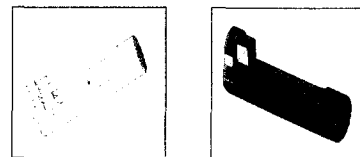
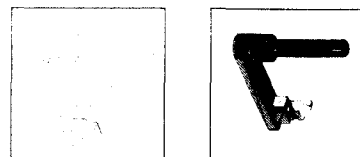


Fig. 2 RP master models by SLA



(a) Catch magazine



(b) Slide stop

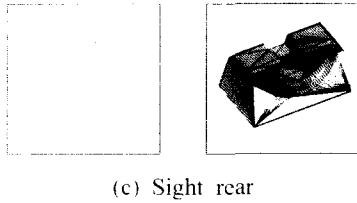


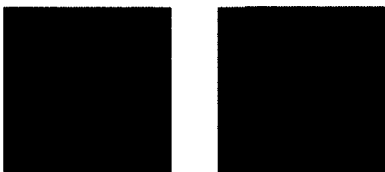
Fig. 3 CAD modeling and STL file

Table 1 building condition of RP model by SLA

Machine	SLA-250(3D Systems)
Building condition	Chord height : 0.0088 mm
	Slice thickness : 0.1 mm
	Hatching distance : 0.15
	Hatching spacing : 0.075
Material	SL 5170

### 3. 신속 교환형의 왁스사출용 금형 제작

제작된 마스터모델을 이용하여 실리콘 고무로 진공주형(Vacuum Casting)공정을 통하여 Fig. 4와 같은 마스터 금형(Master Die)을 만들고 이 마스터 금형으로부터 진공주형을 통해 반전형(Reverse Pattern)의 실리콘 고무형을 만든다. Fig. 5는 마스터 금형을 반전하여 만든 반전형 금형이다.



(a) Catch magazine (b) Slide stop & sight rear

Fig. 4 Master patterns by vacuum casting

반전형 금형에 금속혼합 분말수지를 이용하여 인서트형의 금형을 제작하는데, 이때 사용되는 재료는 Al/Epoxy, 7% Ni-Fe/Epoxy를 사용하였다. 그리고 Fig. 6은 인서트형으로 기계가공으로 기초 금형에 맞게 제작된 금속분말형 금형을 나타낸다.

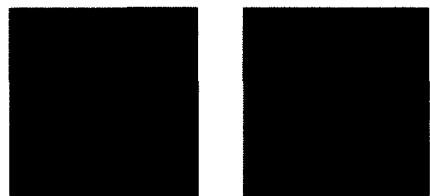


(a) Catch magazine & sight rear



(b) Slide stop

Fig. 5 Reverse pattern by vacuum casting



(a) Al+epoxy (b) 7% Ni-Fe+epoxy

Fig. 6 Insert die

7% Ni-Fe분말은 이미 상용화된 것으로 평균밀도가 2000mesh이고, 이 분말들과 에폭시를 골고루 섞어 액상분말 혼합수지를 제작하여 이용하였다. Table 2는 7% Ni-Fe의 주요 구성성분이며 이 때의 분말 함유비는 중량비 90%이다.

Table 2 Composition of 7% Ni-Fe powder

Item	Composition(%)
Ni	7.0
Si	0.20 (max)
C	0.005(max as sintered)
	0.2 (case hardened)
Fe	balance

기초 금형은 알루미늄과 합금강을 사용하여 제

작하고, 제작하고자 하는 왁스형 크기를 모듈화하여 각 모듈별 공간을 확보한다. Fig. 7의 (a)와 (b) 기초 금형을 나타내며, 다음으로 제작한 금속분말 수지형을 기초 금형에 조립하여 왁스 사출용 금형을 완성한다. (c)와 (d)는 기초 금형의 상,하단에 조립한 상태를 나타내는 그림이다. 이렇게 모듈화된 기초 금형을 사용함으로써 사전에 왁스형 크기만 결정되면 쉽게 신속 교환형의 금형을 완성할 수 있다.

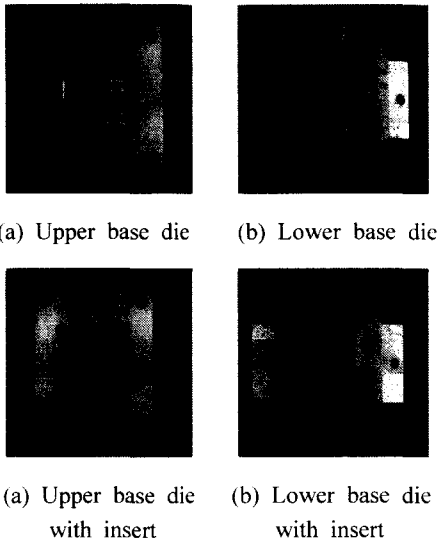


Fig. 7 Base die with insert die for wax pattern

#### 4. 왁스형(Wax Pattern)의 성형

왁스는 녹는점 이상의 온도에서 미리 충분한 유동성을 확보할 수 있도록 액체 상태로 가열하여 1차 탈포를 실시한다. 실리콘 몰드 또한 액체 왁스를 주입할 때 액체의 유동성이 떨어지지 않도록 녹는점 이상으로 예열한 다음 액체 상태의 왁스를 예열된 실리콘 고무형에 주입하고 가열된 상태(85~90℃)에서 진공으로 2차 탈포한다.

본 연구에 사용된 왁스는 필라(Fillar)가 첨가된 왁스로서 필라를 첨가하지 않은 왁스보다 모델의 모서리 부분이나 날카로운 부분을 잘 표현할 수 있는 이점이 있지만, 자동성형용 금형에서 왁스형을 제작할 경우 필라가 첨가된 액체상태의 왁스를 계속적으로 유동시키면서 강제 사출시키므로 필라가

왁스 전체에 분포되어 있어 성형성을 향상시킬 수 있으나, 거의 수평사출과 같은 상태에서 탈포공정을 행하게 되면 필라가 집전되어 탈왁스(De-waxing)공정에서 첨가된 필라들이 불순물로 작용하기 때문에 탈왁스 공정시 주의를 요하는 단점이 있다. 사용된 왁스의 주요 특성은 Table 3과 같다.

Table 3 Characteristics of wax used to make wax pattern

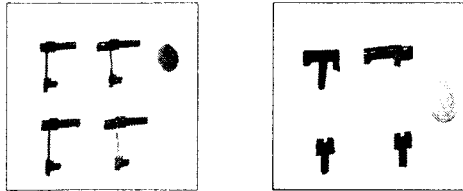
Items	Property
Wax type	Filled pattern wax
Filler type	Organic
Ring/Ball softening point	158 ~ 168 °F
Flow	max. 5% at 108 °F min. 80% at 125 °F
ASE Content	0.050% max
Hardness	6~8 dmm (150 gms Load)
Color	Green
Forms of supply	Flake, Slab, Billet
Maker	YATES Msnuf.co.(in U.S.A)

### 5. 주조품 제작

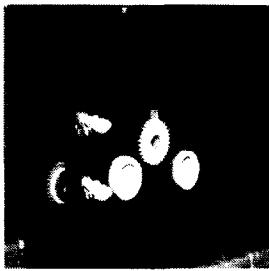
정밀주조법은 크게 2가지로 솔리드 몰드법과 세라믹 쉘 몰드법으로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 세라믹 쉘 몰드법을 사용하였다.

#### 5.1 왁스트리(Wax Tree)의 조립

먼저 금형을 조립하여 왁스형을 사출한 후 금형으로부터 왁스형을 분리하여 왁스 트리에 조립한다. 본 연구에서는 SLA로 제작한 원형의 수축시편과 실제 기어를 마스터모델로 하여 왁스형을 제작하여 트리로 조립하였다. 왁스형이 쉽게 용융될 수 있도록 적당한 간격을 유지하여 조립하였으며 부품이 먼저 응고하고 탕구압탕 부분이 후에 응고하도록 큰 부피의 부품을 아래로 하여 조립하였다. 또, 코팅시 기포가 왁스 모형에 부착되지 않고 슬러리가 잘 흘러내리도록 하였으며 부품의 불필요한 부분에 주입구를 설치하고, 탕구, 탕, 압탕 등이 부품과 잘 절단될 수 있도록 조립하였다. Fig. 8은 사출 금형으로부터 사출한 왁스형 및 왁스트리를 나타낸다.



(a) Slide stop wax pattern (b) Catch magazine & sight rear wax pattern



(c) wax tree

Fig. 8 Wax pattern

### 5.2 슬러리 코팅(Slurry Coating)

본 연구에서 사용한 세라믹 셸 몰드법은 내화물을 혼합한 슬러리로 모형에 일정한 두께로 도포하는 방법으로 제 1층을 형성하는 슬러리는 급격한 열충격을 받거나 용융상태의 금속과 접촉하거나 탈납시 급격한 가열을 받기도 하므로 열적, 화학적으로 안정하여야 하며 제 2층 이후의 보강층에는 강도와 통기성을 유지하는 슬러리를 사용한다. Table 4에는 본 연구에서 사용한 1, 2차 슬러리의 조성상태를, Fig. 9에서는 슬러리 코팅후의 왁스트리를 나타내었다.

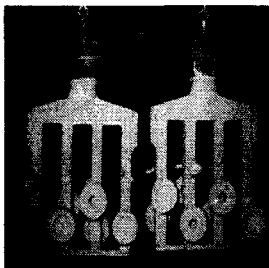


Fig. 9 Wax tree after coating slurry

Table 4 Composition of slurry

Item	Composition of slurry
1st slurry	Filler : Zircon Flour #325
	Binder : Colloidal Silica
	Wetting Agent : Victawet 12
	Antifoam Agent : Antifoam "B"
	Ph : 9.0 ~ 10.0
	Viscosity : 40 ~ 50 SEC
2nd slurry	Temp : 70 ~ 76°F
	Humidity : 60 ~ 65%
	Filler : Zircon Flour #325
	Binder : Colloidal Silica
	Wetting Agent : Victawet 12
	Antifoam Agent : Antifoam "B"
	Ph : 9.0 ~ 10.0
	Viscosity : 25 ~ 35 SEC
	Temp : 70 ~ 76°F
	Humidity : 60 ~ 65%

### 5.3 탈왁스와 소성(Burn-out)

탈왁스공정은 고압가마(Autoclave) 내에서 300°F로 가열하여 슬러리 코팅된 왁스트리 내의 왁스를 녹여 없애는 공정이며 이때의 탈납 시간은 10분 정도이다. 소성공정은 디왁싱 후 주형에 부착 잔존하는 왁스를 완전히 연소시키고, 주형에 강도를 주는 공정이다. 이 공정에서는 주형의 예열 및 통기도 수반되며 1140°C의 상태에서 실시한다. Fig. 10은 디왁싱후의 트리상태를 나타낸다.

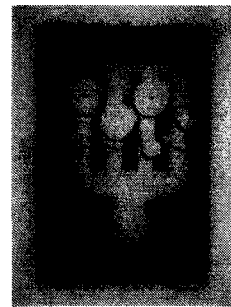


Fig. 10 Wax tree after de-waxing

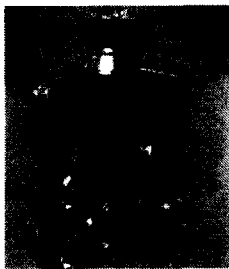
### 5.4 주조공정

본 연구에서 사용한 세라믹 셸 몰드의 경우엔 주형의 온도 강하 및 용융상태의 금속을 옮기는 중의 온도강하가 매우 크므로 이로 인한 결함인 불완

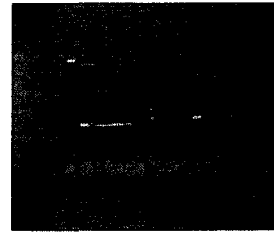
진 유입, 접합, 가스홀, 불순물 개재 등을 없애기 위하여 주형의 온도를 890~1140 C로 유지하였으며 주형의 온도강하를 막기 위해 건조한 모래로 감싸는 작업을 하였다. Fig. 11은 주조 공정후 절단 전·후의 최종제품이다. 이 때 사용된 재료는 주조성이 Table 5와 같은 SUS 304, SNCM 420이다. 주조성의 평가점은 비교적 간단한 형상의 주물에 의해 상당히 우수한 주조성을 가진 합금을 100으로 하여 그것들과 비교한 값이다. 기준 합금으로는 Fe계 합금 AISI 스테인레스강, 비Fe계 합금 Be-Cu 20C와 Al합금 356이 선정되었다. 유동성은 1-'매우 좋다', 2-'좋다', 3-'나쁘다'로서, 내수축 주소(耐收縮鑄集 : Fluidity Shrinkage)는 1-'수축주소가 가장 발생하기 힘들다', 2-'발생하기 힘들다', 3-'발생하기 쉽다'로서 그리고 내열간 구열성(耐熱間龜裂性 : Resistance to Hot Tearing)은 1→2→3의 순으로 일어나기 쉽게된다고 표시하였다.

Table 5 Castability rating of investment casting alloys

Alloy	Castability	Rating	Fluidity shrinkage	Resistance to hot tearing
AISI 302 (stainless steel)	100	1	1	1
Be Cu C20	100	1	1	1
Aluminum (356-A356)	100	1	1	1
SUS 304	100	1	1	1
SNCM 420	90	2	2	2



(a) Investment casting part with tree



(b) Investment casting parts after cutting

Fig. 11 Investment casting part

### 5.5 치수 및 정밀도

본 연구에서는 SLA에 의한 마스터모델, 왁스형, 주조품을 제작하였으며 각각 공정 단계별 치수와 오차를 제작된 부품중 Fig.12의 Slide Stop을 예로 비교하였다. Fig에서 표기부분이 정밀도를 비교한 부분이다. 그리고 주조품과 비교한 결과는 Table 6에 나타내었다. 각 데이터를 비교해보면 설계치수와 주조 공차영역내에서 만족한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 또한 사용된 재료에 관계없이 관련 치수가 거의 동일한 치수를 나타내었다. 특히 주조품의 경우 오차가 최대 2.75%가 나왔으나 RP모델을 기준으로 비교해보면 치수오차는 1.0% 이내이다. 이는 주조금속의 수축률 1.7% 내에 들어 있으며 금속성의 금형으로부터 왁스형을 제작한 경우와 비교해 볼 때 매우 양호한 결과로 볼 수 있다. 그리고 나머지 부품들에 대해서도 주조 공차영역인 ± 0.25mm 내에서 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 다만 표면조도의 경우는 SLA로 제작된 마스터모델을 이용한 주조품이 기계가공품의 마스터 모델을 사용한 것보다 수지의 적층단차로 인해 더 좋지 않게 나왔다.

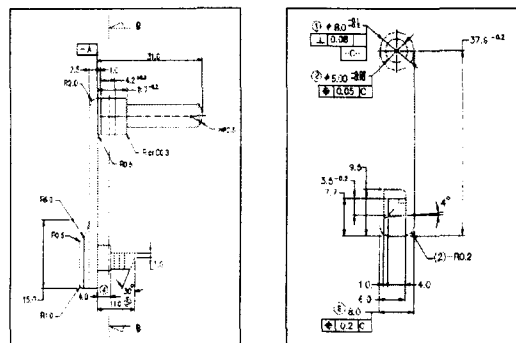


Fig. 12 Drawing of slide stop (unit : mm)

Table 6 Measuring data of stop slide(unit : mm)  
(Measuring locations are shown in Fig.12)

	Dim. (drawing)	RP master	Casting		error(%)		
			SUS 304	SNCM 420	RP master	Casting	
						SUS 304	SNC M420
1	φ8.0 <sup>0.1 0.2</sup>	7.90	7.83	7.85	1.25	2.125	1.875
2	φ5.00 <sup>0.02 0.10</sup>	4.94	4.90	4.92	1.2	2.0	1.6
3	8.0 <sup>0.25</sup>	7.88	7.85	7.86	1.5	1.875	1.75
4	4.0 <sup>0.25</sup>	3.92	3.89	3.90	2.0	2.75	2.5
5	11.0 <sup>0.25</sup>	10.9	10.80	10.80	0.91	1.818	1.818

### 6. 결론

본 연구에서는 진공주형을 이용한 실리콘형으로 부터 신속 교환형의 금형제작을 통하여 주조품을 얻는 방법을 개발하였다. 개발된 시스템을 활용하면 시간적·비용적 장점을 유지하면서 다품종 소량 생산에 대응할 수 있는 길을 확보할 수 있을 것이다. 이렇게 제안된 방법으로 왁스형 제작, 제품 제작시간, 제품의 형상 및 정밀도 등 여러 가지 측면에서 고려할 때 기존의 금형 제작법에 따른 정밀주조공정에 비해 손색이 없는 만족스런 결과를 보였다. 본 연구에서 얻은 결론을 정리하여 보면 다음과 같다.

- 1) 제품 개발시 CAD 시스템과 SLA를 이용하여 마스터모형을 제작하고 이를 사용하여 실리콘형을 제작함으로써 정밀주조에 응용하였다.
- 2) SLA를 이용한 마스터나 반전용 부품이 있을 경우, 구조 검토 및 제작 시도를 즉각 실시하고 오류를 파악하여 조치할 수 있다.
- 3) 금형 모듈화를 구축하여 신속한 왁스형 금형을 구축할 수 있다.
- 4) 이를 통하여 SLA 제작기술을 금형제작에 적용하면 다품종 소량생산에 적합한 정밀주조 금형체제를 구축할 수 있다.

### 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사 드립니다.

### 참고문헌

1. Paul, F. J., Rapid Prototyping & Manufacturing, Society of Manufacturing Engineers, First Edition, 1992.
2. Proceedings of SIGGRAPH 93, Anaheim, California, pp. 377-378, Aug. 1-6., 1993.
3. Ashley, S., "Rapid Prototyping Systems," Mechanical Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 34-43, 1991.
4. Nakagawa, T., 정해도, 적층조형 시스템 3차원 카피 기술의 신진개, 성안당, 1998.
5. Feng, C. X., "From Rapid Prototyping to Rapid Tooling," ICRPM'98, pp. 367-373, 1998.
6. Ma, L., Wang, C., Xiao, Y. and Huang, S., "Rapid Tooling is Rapid Developing," ICRPM'98, pp. 363-366, 1998.
7. Paul, F. J., Stereolithography and other RP&M Technologies, Society of Manuf. Engineers, 1996.
8. Investment Casting Handbook, Investment Casting Institute, 1968.
9. 일본주물협회 정밀주조연구부회편, 정밀주조법, 일간공업신문사, 1981.
10. Perry, Y. G., "Direct investment casting of RP Parts: Practical Commercial Experience," The Fourth International Conference on Rapid Prototyping, pp. 43-60, 1993.
11. 孟陽, 今村正人, 3차원 광조형모델의 로스트왁스 정밀주조에 적용, 일본정밀공학회 춘계강연대회 강연 개요집, 1992.
12. 丸谷洋二, "광조형 시스템의 기초, 현황, 문제점," 형기술, Vol. 5, No. 12, pp. 2-7, 1992.
13. 이우중, 이용한, 홍유식, "Rapid Prototyping system을 위한 형상정보변환 절차," 대한산업공학회지, Vol. 18, No. 1, pp. 63-80, 1992.
14. 3D systems Inc., Stereolithography Interface Specification, P/N 50064- SK01-00, 1988.