

# 급속광조형 마스터 모델을 이용한 제품 및 간이 금형 제작

박문선\*, 김대환\*\*, 강범수\*\*

## Fabrication of Mold and Part by Using SLA Master Models

Moon-Sun Park\*, Dae-Hwan Kim\*\*, Beom-Soo Kang\*\*

### ABSTRACT

The potential for growth and the future impact of Rapid Prototyping that it will have on the product development cycle are enormous. Since making tools, in industry, precedes making parts, Rapid Tooling becomes widely used in automobile, aerospace, electronic, and other industries. In this study, master models formed by Rapid Prototyping of Stereolithography have been applied for vacuum casting to obtain silicone patterns which have transformed into epoxy models. The epoxy models have been measured to check dimension errors, and tested their functions. These checking and measurement have provided information on plastic injection possibilities and data for die design. Temporary die making with the materials of Aluminum/Epoxy and powder injection metal (PIM) has also been discussed in terms of hardness, surface roughness, and SEM microstructures

**Key Words** : Concurrent Engineering(동시공학), Rapid Prototyping(급속제품제작), Vacuum Casting(진공주형), Rapid tooling(급속형제작), SLA(3차원형상제조술)

### 1. 서론

현재의 생산구조는 수요의 다양화에 대응하기 위하여 소품종 대량 생산에서 다품종 소량생산으로의 변혁기를 맞이하고 있다. 제품 양산에 따른 문제점의 파악 및 시험 과정을 거치기 위한 시작단계의 시작품(Prototype)제작은 양산 프로세스 상에서 발생할 오류의 검증 및 전반적 프로세스 시간 단축, 높은 품질의 제품 생산에도 상당히 중요하므로 이러한 시작품제작(Prototyping)단계를 자동화하려는 기술로서 최근 몇 년 사이에 대두되고 있는 기술이 급속제품제작(Rapid Prototyping(RP))<sup>[1]</sup>이다.

RP는 시작품(Prototype)단계를 자동화함으로써

제품 개발 사이클을 혁신적으로 감소시킴과 동시에 비싼 형제작(Tooling)의 필요성을 제거하여 비용의 절감을 이룰 수 있다. 제품의 다양성과 시작기간의 단축에 부응할 수 있는 시제품 제작, 급속제작방법의 기술혁신, 제품개발의 동시공학적(Concurrent Engineering)추구가 필수적으로 요구되어졌으므로 이와 같은 문제에 대한 유용한 대책으로 형 제작에 있어서 Rapid Prototyping (RP)<sup>[2][3]</sup>을 이용한 쾌속형 제작(Rapid Tooling)의 응용이 필요하게 되었고, RP 기술의 하나인 SLA방법도 널리 쓰이게 되었다. 최근에는 금속재료를 사용하는 RP기술로 직접형(tool)을 만드는 방법들도 시도되고 있다.<sup>[4][5][6]</sup> 쾌속형 제작(Rapid tooling)에는 여러 가지 방법이 사용되

\* 대우정밀(주)

\*\* 부산대학교 항공우주공학과

고 있는데 주로 사용되는 방법들로는 실리콘 주조(Silicone casting), 에폭시 주조(Epoxy casting), 금속 분사형(Metal spraying), 석고형주조(Plaster casting), 정밀주조(Investment casting), 진공주조(Vacuum casting)등이다.<sup>[7][8]</sup>

본 연구에서는 CAD시스템으로 모델링한 제품을 이용하여 마스터 모델을 제작한다. 이 모델을 이용하여 실리콘형을 제작하고 이 형으로부터 수지형 제품을 제작하여 치수 오차를 측정하였다. 그리고 이 제품으로 기능시험을 완료하였으며, 플라스틱 사출 가능성을 모의 실험하기 위해 마스터 모델로부터 내부 인서트(Insert)와 금속 분말 수지형의 결합품을 제작하여 치수검토 및 기능시험을 완료하여 플라스틱 사출 가능성 및 금형설계 기초자료를 확보하였다. 마지막으로 간이형제작 부분에서는 김범수<sup>[9]</sup>이 연구한 Aluminum/Epoxy 금속 간이형과 7% Ni-Fe를 사용한 간이형을 제작하여 금형의 주요 요소인 경도, 표면조도, SEM조직 등의 특성을 비교하였다.

## 2. 진공 주형의 원리

본 연구의 마스터 모델 성형에 진공주형을 사용하므로 먼저 간단히 진공주형의 원리 및 공정을 설명한다. 진공 주형은 모델을 액상 실리콘 수지 혹은 금속 분말 등의 필러를 섞은 액상 수지형 재료로 충전하고, 혼입한 공기와 미충전 부분의 잔류공기를 진공상태에서 탈포한다. 대기압하에서 고화시킨 후, 형의 재료를 분할하여 모델을 꺼내고 모델 형상의 캐비티를 제작한다. 이렇게 제작된 실리콘 고무형에 에폭시나 액상분말 혼합수지를 진공주형한 후 항온기 내에서 경화시켜 실리콘 고무형에서 탈형하면 마스터 모델과 동일한 형상의 간이형이나 제품을 얻을 수 있다.

## 3. 진공주형을 이용한 탄약 받침쇠 제작

기존 제품은 플라스틱 사출 성형품으로 사용되고 있으며 수요자의 성능 향상 요구로 인해 이의 반영 및 검증을 신속히 대응하며 최적의 설계조건 및 성능 확인을 하여 시행착오적인 방법을 배제하고 경쟁력있는 신속한 제품 개발의 욕구를 만족시킬 수 있는 동시공학적인 개념 정립에 이바지하고자 한다.

모델은 Parametric Technology社의 Pro/Engineer를 사용하여 모델링후 STL형식으로 전환을 거쳐서 3D systems社의 SLA-250 장비를 사용하여 제작하였다. Fig.1의 (a)는 모델링된 탄약 받침쇠의 형상이며 (b)는 STL 형식으로 변환된 형상이다. 그리고 제작된 탄약 받침쇠 모델은 (c)과 같다.

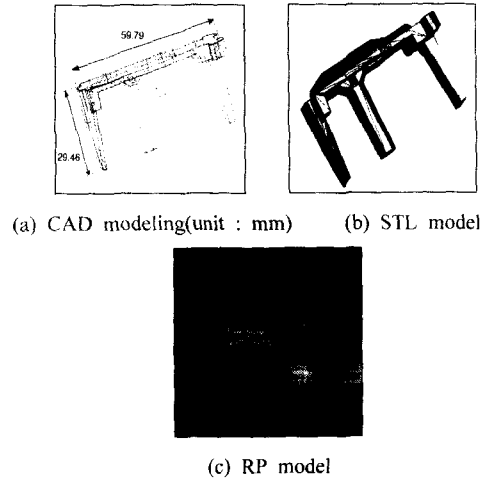


Fig. 1 Magazine follower model

위의 공정에서 얻은 마스터 모델을 이용하여 진공주형(Vacuum Casting)공정을 통하여 실리콘 고무형을 제작하였다. Fig.2는 제작된 실리콘 고무형의 형상이다. 마스터모델의 제작시간은 축의 방향에 따라 차이가 있으나 약 3시간, 그리고 진공주형공정을 포함하여 2일정도가 소요되었다.

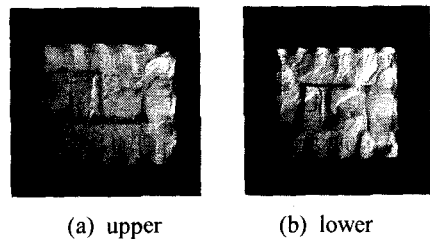


Fig. 2 Silicone pattern by vacuum casting

실리콘 고무형을 이용하여 시작품을 제작하였는데 사용된 재료는 진공주형용 폴리우레탄 수지인 Pu-01A/B로 주요 물성치는 Table 1과 같다. Fig.3은 최종적으로 나온 제품의 모습으로 도면(Fig4)에 따라 RP 제작품과 실리콘 고무형에 의한 시작품을

주요치수를 측정하여 비교하였다. Table 2는 검사 데이터를 나타내며 RP 및 시제품 모두 요구 규격에 잘 일치하고 있다. 이 시제품의 기능 시험을 위해 실제로 사용중인 탄창에 Fig.5와 같이 조립하여 사용하여 300회이상의 작동시험에 아무 이상이 없었다.

Table 1 Material properties of PU-01A/B

점도	A재	CPS	2200	압축 강도	JISK 7208	kg/mm <sup>2</sup>	-
	B재	CPS	100	충격 강도	JISK 7110	kg.cm	45-50
혼합비	A/B	중량비	10:5	경도	ASTM 2204	shore D	75-80
가사 시간	30 ( /100g	분(分)	2	신율	JISK 7113	%	100
이형 가능 시간	60 (	분(分)	40	곡예 탄성율	JISK 7203	kg/mm <sup>2</sup>	72
비중	JISK 6911	-	1.17	열팽창 계수	JISK 6911	mm/mm/°C	122 1
	JISK 7113	kg/mm <sup>2</sup>	5.5	열변형 온도	JISK 7207	°C	185
곡예 강도	JISK 7203	kg/mm <sup>2</sup>	4.3	수축율	-	%	0.3

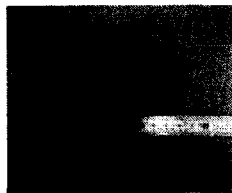


Fig. 3 The proto sample by silicone pattern

Table 2 Measured data of magazine follower(unit: mm)  
(Measuring locations are shown in Fig.4)

측정위치	설 계 치	측정 데이터	오차(%)
1	17.14 <sup>+0.12</sup>	17.07	0.408
2	59.79 <sup>+0.12</sup>	59.83	0.067
3	57.02 <sup>+0.12</sup>	57.10	0.140
4	12.34 <sup>+0.12</sup>	12.28	0.486
5	29.46 <sup>+0.12</sup>	29.45	0.034

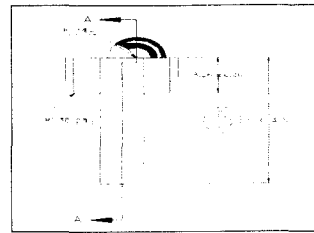
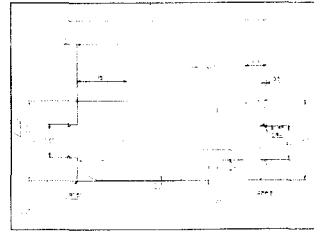


Fig. 4 The drawing of magazine follower (unit : mm)

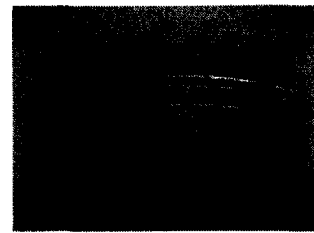


Fig. 5 Magazine and magazine follower

#### 4. 사출 성형용 권총용 부품 제작

저비용, 고성능의 제품을 요구하는 소비자 요구에 부응하기 위해 민수용 권총시장에서도 플라스틱 사출 성형용 권총부품이 유명한 전문업체에서부터 많이 시도되고 있다. 이를 위해 기계가공에 의한 제품을 마스터 모델로 진공 주형법을 이용하여 실리콘 주형을 기계가공으로 사출 성형용 인서트(Insert)를 제작하여, 사출성형 가능성을 검토하고 외관 형상 검토 및 예비기능 점검용으로 사용하고 자 한다. 기계가공으로 제작된 부품의 형상은 Fig.6에 나타나있다. 이는 N/C 장비로 제작된 부품으로 기존 사용되어지고 있는 부품이다. 기계가공을 통한 모델을 마스터 모델로 진공주형공정을 통해 Fig.7에서 보여지듯이 실리콘 고무형을 제작하였다.



Fig. 6 The slide produced by NC machine



Fig. 7 Silicone pattern by vacuum casting



Fig. 9 The slide with the insert made from Epoxy+7%Ni-Fe powder by silicone pattern

원충의 작동시 문제가 될 수 있는 작동 무계에 대한 검토 및 모의 실험을 통하여 최적 무계를 선정하고 이에 적합한 사출 성형용 인서트를 설계하고 제작한다. 여기서 제작한 인서트형은 임의의 모델을 선정하여 제작하였으며 사용된 재료는 크롬-블리브덴강(SCM4)으로서 Fig.8과 같이 제작하였다.

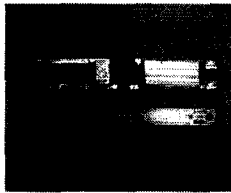


Fig. 8 Insert for the slide model

Fig.8의 사출 성형용 인서트를 기계제작한 실리콘 고무형에 위치시킨 후 금속분말(Al)과 에폭시를 6:4로 혼합한 혼합수지를 형에 주입하여 진공주형기에서 탈포를 시키면서 성형하면 Fig.9의 제품을 얻을 수 있다. 여기서 게이트부위를 기계 가공하여 제거하고 이를 상대부품에 조립하여 사격시험을 한 결과 70회동안 아무 이상없이 제기능을 발휘하였다. 이를 바탕으로 인서트를 사용하는 사출 성형품의 개발 단축 및 비용 절감을 위한 효율적인 시작품제작 시스템을 구축하였다. Fig.10은 도면에 따른 측정위치이고, Table 3은 설계치에 따른 오차를 나타내는 것으로 요구규격에 잘 일치함을 알 수 있다.

Table 3 Measured data of slide (unit : mm)  
(Measuring locations are shown in Fig.10)

측정 위치	설 계 치	master model	측정 데이터	오차 (%)
1	22.0 <sup>+0.25</sup>	21.85	21.8	0.91
2	11.0 <sup>+0.25</sup>	10.85	10.8	1.82
3	24.3 <sup>+0.25</sup>	24.10	24.08	0.90

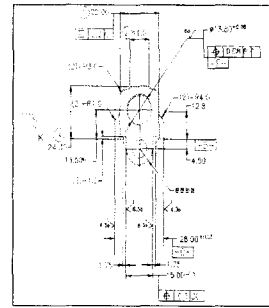


Fig. 10 The drawing of the slide (unit : mm)

## 5. 금속분말 혼합수지에 의한 간이형 제작과 특성 비교

### 5.1 진공주형을 이용한 형제작

사용된 수지와 금속 분말은 각각 열경화성 수지인 에폭시와 7% Ni-Fe분말이다. 7% Ni-Fe분말은 평균밀도가 2000mesh이고, 이 분말들과 에폭시를 골고루 섞어 액상분말혼합수지를 제작하여 이용하였다. Table 4는 7% Ni-Fe의 주요구성 성분을 나타내며 이때의 분말 함유비는 중량비 90%이다.

Table 4 Composition of 7% Ni-Fe powder

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

광조형기를 이용해 간단한 금형 형상의 마스터

모델을 제작하고 이 마스터 모델로 반전형상의 실리콘 고무형을 제작하는데 Fig.11의 (a)와 (b)는 H자형의 외형 사진이다. 이 반전형의 고무형에 액상 분말 혼합수지를 진공 주형한 후 항온기내에서 경화시켜 경화된 분말혼합 수지형을 실리콘 고무형에서 탈형하면 마스터 모델과 동일한 간이형을 얻는다. Fig.11의 (c)는 7% Ni-Fe으로 제작된 간이형의 모습이다. 본 공정을 이용한 최종의 간이형을 제작하는데 걸린 시간을 계산 해보면, 먼저 마스터 모델을 제작하는데 1일, 실리콘 고무형 제작에 1일, 간이형 제작에 2일로 총 4일 정도면 가능하다. 또한 제작 시간은 아무리 복잡한 형상을 가진 형이라도 마찬가지이다.

### 5.2. 주요 특성측정 및 검토

형상 오차는 최초 마스터 모델과 최종 간이형의 치수 차이를 비교한 것이다. 실리콘 고무는 온도차에 따라 수축, 팽창이 크기 때문에 7% Ni-Fe 혼합수지형의 경화 온도를 40℃로 일정하게 하였다. 각 측정 위치는 Fig.11의 (d)에 나타난 것과 같으며, 버니어 캘리퍼스로 측정하여 Table 5에 측정치를 나타내었다. Table 6은 최종 간이형의 경도를 측정 한 값을 나타내는데 각 측정한 위치에 따라 경도값이 조금씩 차이가 났다. 7% Ni-Fe의 혼합된 수지를 사용한 경우 Al분말이 혼합된 수지를 사용한 경우보다 경도가 확실히 향상됨을 알 수 있다. 이때 사용한 측정기는 Micromet 2100 비커스 경도 측정기다.

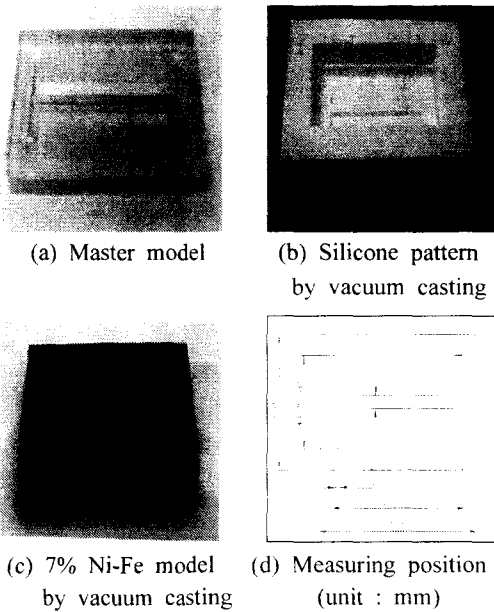


Fig. 11 Each H patterns

Table 6 Vickers hardness of the final mold

구분	측정치(HV)					평균	비고
Epoxy	2.5	2.5	5.4	5.5	5.6	4.30	
Al + Epoxy	35.5	33.1	35.7	34.6	38.6	35.50	중량비 40% (mesh:1000)
7% Ni-Fe + Epoxy	40.1	40.5	42.0	41.0	42.0	41.12	중량비 90% (mesh:2000)

Table 7은 표면조도 측정치로 분말의 함유량, 수지의 점도등에 따라 다르게 나타날 수 있으며 측정 데이터정도면 -1.7%수축을 허용하는 정밀주조형에 사용하는데 문제없으리라 생각된다. 7% Ni-Fe의 경우는 많은 양의 금속이 함유된 결과로 좀 더 거칠게 나타났다.

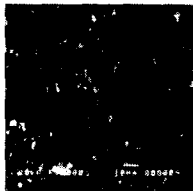
Table 5 Error percentages of measuring position between CAD modeling and 7% Ni-Fe model (Measuring locations are shown in Fig. 11 (d))

측정 부위	Al+epoxy					7% Ni-Fe+epoxy				
	측정치			평균	오차(%)	측정치			평균	오차(%)
a	63.75	63.70	63.75	63.73	0.03	63.74	63.73	63.73	63.73	0.03
b	119.85	119.85	119.85	119.85	0.125	119.84	119.87	119.85	119.85	0.125
c	99.90	99.85	99.85	99.86	0.04	99.90	99.85	99.90	99.88	0.02
d	6.30	6.25	6.30	6.28	0.317	6.28	6.28	6.28	6.28	0.317
e	6.30	6.25	6.30	6.28	0.317	6.29	6.28	6.28	6.28	0.317
f	43.75	43.70	43.75	43.73	0.045	43.65	43.65	43.70	43.67	0.183

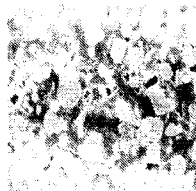
Table 7 Surface roughness of the final mold

구분	Ra( $\mu\text{m}$ )	Rq( $\mu\text{m}$ )	Rmax( $\mu\text{m}$ )
Master Mold (SL part)	0.130	0.161	0.61
	0.097	0.113	0.39
	0.033	0.041	0.20
	0.022	0.027	0.15
Al+Epoxy	0.182	0.234	1.52
	0.093	0.128	1.06
	0.121	0.167	1.12
	0.135	0.218	1.53
7%Ni-Fe+Epoxy	0.190	0.279	1.95
	0.164	0.268	2.01
	0.091	0.125	0.99

Fig.12는 각각 제작된 간이형들의 내부를 SEM 촬영한 것이다. (a)는 에폭시 만을 이용하여 제작된 간이형의 SEM 사진으로 밝게 빛나는 부분이 기공이고, 검은 부분은 에폭시 수지이다. 그리고, (b)는 7% Ni-Fe의 SEM 사진으로 흰 부분이 7% Ni-Fe분말이고, 그 이외의 검게 나타난 부분이 에폭시 수지이며, 둥글고 검으며 외곽이 밝게 나타나는 부분은 기공이다. 이 기공은 금형의 기계적 특성에 악영향을 끼치므로, 충분한 탈포 공정을 통해 제거되어야 한다. 기연구결과에 따르면 미세한 분말을 이용할 경우 미세한 기공이 많이 발생하고, 큰 분말을 이용하면 기공의 크기가 커짐을 알 수 있다. 또한 점도가 낮을수록 더 많은 기공이 발생했다. 탈포 과정에서도 더 많은 기공이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.



(a) Master model  
by epoxy



(b) 7% Ni-Fe model  
by 7% Ni-Fe + epoxy

Fig. 12 SEM photograph ( $\times 1000$ )

## 6. 결론

본 연구에서는 마스터 모델(Master model)을 사용한 진공 주형법으로 실리콘 고무형을 제작하였

고, 이 고무형을 통하여 제작한 제품의 적용 가능성을 검토하여 사출 성형품에서의 모의 실험을 수행하였다. 그리고 금속분말 수지 혼합형을 이용한 간이형으로의 활용을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 신제품 개발시 RP로 제작한 마스터 모델을 이용한 시제품 제작을 플라스틱 부품에 적용할 수 있음을 보였다.
- 2) 마스터 모델을 사용한 진공주형법으로 사출 성형품에 대한 적용 가능성의 판단, 개발기간 단축 및 비용절감을 위한 효율적인 시스템을 구축하였다.
- 3) 7% Ni-Fe혼합수지를 이용하여 금속간이형을 제작하는 기술을 소개하고 간이형의 기계적 특성을 조사하여 정밀주조 왁스성형에 적용할 수 있음을 제시하였다.

## 후기

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

## 참고문헌

1. F. J. Paul, Rapid Prototyping & Manufacturing, First Edition, Society of Manufacturing Engineers, 1992.
2. Proceedings of SIGGRAPH93, Anaheim, California, pp. 377-378 Aug 1-6, 1993.
3. S. Ashley, "Rapid Prototyping Systems," Mechanical Engineering, Vol. 13, No. 4, pp. 34-43, 1991.
4. T. Nakagawa, 정해도, 적층조형 시스템 3차원 카피 기술의 신전개, 성안당, 1998.
5. C. X. Feng, "From Rapid Prototyping to Rapid Tooling," ICRPM '98, July, pp. 367-373, 1998.
6. L. Ma, C. Wang, Y. Xiao, and S. Huang, "Rapid Tooling is Development Rapidly," ICRPM '98, July, pp. 363-366, 1998.
7. F. J. Paul, Stereolithography and other RP&M Technologies, Society of Manufacturing Engineers, 1996.

8. 최두선, 신보성, 신영우, 3차원 광조형법, 한국기계연구원 CAD/CAM 그룹, 1997.
9. H. Noguchi and T. Nakagawa, "Application of Stereolithgraphy to ceramic powder Molding," the 6th Stereolithgraphy System Symposium, pp. 33-38, 1994.
10. 김범수, 임용관, 배원병, 정해도, "알루미늄 분말 혼합수지를 이용한 간이형 제작과 그 특징," 정밀공학회지, Vol. 15, No. 8, pp. 39-45, 1998.