

# 금속분말 강화수지를 이용한 쾌속금형 제작

김범수\*, 배원병\*\*, 정해도\*\*\*  
(1998년 7월 6일 접수)

## Rapid Tooling by Using Metal Powder Reinforced Resin

Peom Su Kim, Won Byung Bae and Hae Do Jeong

**Key Words:** Concurrent Engineering(동시공학), Rapid Tooling(쾌속금형제작), Slurry Casting(액상 분말주조), Metal Powder Reinforced Resin(금속분말 강화수지), Vacuum Casting(진공 주조)

### Abstract

As dies and molds have become more and more complicated in the recent years, the demand for lower cost and shorter production time is also growing stronger. Rapid prototyping and Tooling technologies are expected to be used for more rapid and lower cost tool fabrication. However the rapid tooling methods have not yet reached the level of application to the manufacturing of metallic dies and molds which require high dimensional accuracy. As the rapid tooling technology, there are the slurry casting, the powder casting, the direct laser sintering, and so on. Generally, in the slurry casting, the alumina powder and the water soluble phenol were mainly used. However, the mechanical properties of the phenol were not good enough to apply to molds directly. In this study, pure epoxy and two types of aluminium powder reinforced resin are applied to the slurry casting. The mechanical and thermal properties are better than phenol because the epoxy is the thermosetting resin. And mechanical characteristics such as shrinkage rate, hardness, surface roughness are measured for the sake of comparison. Metal powder reinforced resin molds are better than the resin tool form the viewpoint of shrinkage rate and hardness. Finally, it has been shown that the application possibility of this process is high, because the manufacturing time and cost savings are significant.

### 1. 서론

금형의 형상이 복잡해지고, 고정도를 요구하게 되어 감에 따라 금형을 더 싸고 빠르게 제작할 필요성이 더해가고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해 동시공학(concurrent engineering)<sup>(1)</sup>이라는 개념이 대두되고 이를 실현하기 위한 방편으로 쾌속금형제작기술에 대한 기대가 커지고 있다.

쾌속금형제작기술에는 진공주형(vacuum casting), R/P 모델을 왁스형으로 직접 이용하는 정밀주조(investment casting),<sup>(2)</sup> 실리콘 고무형을 이용한 분말주조(powder casting),<sup>(3)</sup> 액상분말주조(slurry casting),<sup>(4)</sup> 분말을 직접소결하는 방법<sup>(5)</sup> 등이 있다. 이 중 Noguchi 등은 액상분말주조에 강도 등의 이유로 알루미늄 분말을 주로 사용하였다. 그러나, 알루미늄 분말만을 이용하면 그 수축률이 상당히 크다고 지적하고 있다. 따라서, 여러 가지 분말을 개별적으로 혹은 혼합하여 적용할 필요가 있다.

본 연구에서는 쾌속금형제작기술로 진공주형법을 이용하여 순수 수지형과 금속분말강화수지형을 제작하는 공정을 소개하고, 최종 간이형의 수축 오차와 경도 및 표면 거칠기를 측정하여 비교, 검토하였다.

\* 회원, 부산대학교 대학원 정밀기계공학과  
E-mail : wonbae@hyowon.pusan.ac.kr  
TEL : (051)510-2313 FAX : (051)514-7640

\*\* 회원, 부산대학교 기계공학부

\*\*\* 부산대학교 기계공학부

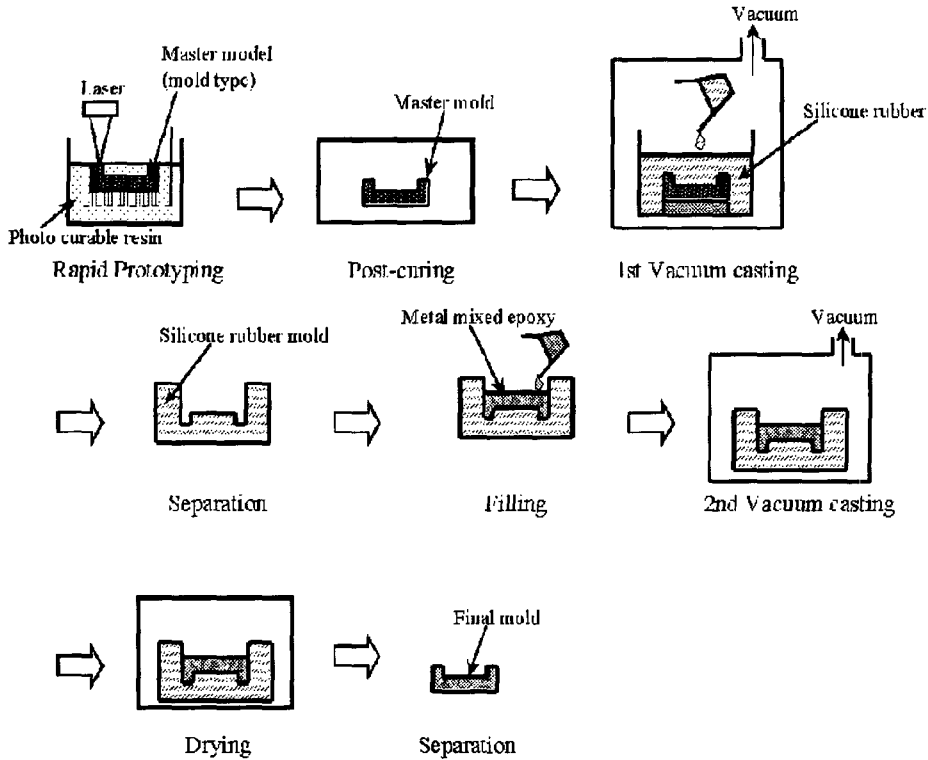


Fig. 1 The process for aluminium filled resin tooling

## 2. 캐속 간이형 제작

### 2.1 사용된 소재

새로운 캐속금형제작기술로 알루미늄 분말을 열경화성 수지인 에폭시 수지에 골고루 섞은 액상분말의 형태로 만들어 진공주형법을 통해 간이형을 제작하였다. 본 연구에서는 Table 1과 같이 점도가 다른 2가지 액상분말 소재와 에폭시 수지를 이용하였다. 두 액상분말 소재에 사용된 분말은 각각 평균 입도가 1000mesh와 320mesh이다. 점도의 차이는 사용된 에폭시 수지의 특성에 의한 것이다. 사용된 분말의 입도와 점도의 차이가 제작된 금형의 특성에 어떠한 영향을 미치는가를 비교하기 위해 두 액상분말 소재를 선택하였고, 분말을 혼합할 경우의 특성 향상을 확인하기 위해 순수 에폭시 수지형도 제작하였다.

Table 1 Materials used in the experiment

Materials	Grain size (mesh)	Powder content (wt%)	Viscosity (cps)
Epoxy	.	.	500
AFR-1	1000	40%	102500
AFR-2	320	40%	75000

### 2.2 공정

Fig. 1은 본 연구에서 이용된 캐속금형제작공정의 개략도이다. 먼저 광조형기 SLA-250을 이용하여 직접 간단한 금형 형상의 마스터 모델을 제작하였다. 그 외형과 모델링 치수는 Fig. 2와 같다. 이 마스터 모델은 음각형상으로 되어있다. 이렇게 제작된 마스터 모델을 후경화를 통해 단단하게 굳힌 후, 진공 주형법으로 실리콘 고무형을

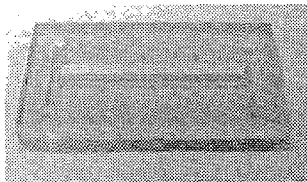
제작한다. 제작된 실리콘 고무형은 양각의 형상(반전형)을 갖는다. 진공 주형법은 각종 수지 제품의 제작시에 많이 사용되는 방법으로 수지와 경화제를 골고루 섞어 진공 상태에서 탈포를 하고, 이를 미리 제작된 실리콘형 등에 부어넣고 경화시켜 제품을 얻는 방식이다. 이렇게 제작된 실리콘 고무형에 알루미늄 분말 혼합수지와 에폭시 수지에 각각 경화제를 잘 섞어 실리콘 고무형에 채워넣고, 진공 주형기 내에서 10~100분 정도 탈포시킨 후, 항온기 내에서 2~3일 정도 경화시킨다. 경화된 알루미늄 분말 혼합수지형과 에폭시 수지형을 각각 실리콘 고무형에서 탈형시키면 마스터 모델과 동일한 음각 형상의 간이형을 얻을 수 있다.

포가 모여 성형이 잘 되지 않았으며, 형 내부에 많은 기공이 존재함이 육안으로도 확인되었다. 그러나, 알루미늄 분말을 혼합한 경우 모서리 부분도 완벽하게 성형이 되었으나, 사용된 소재에 따라 외부에 기포가 조금씩 남았다. 외부 기공은 진공 주형 시의 탈포 공정이 상당한 영향을 끼치는 것이므로 탈포 공정에 많은 주의를 기울여야 한다.

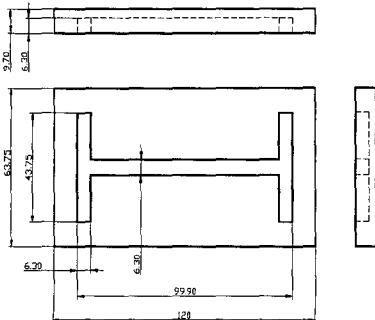
Fig. 4는 제작된 알루미늄 혼합 수지를 이용한 간이형을 절단하여 절단면을 폴리싱하여 표면을 금으로 도금하고 이를 배율 1,000배로 SEM촬영한

### 3. 외형 및 내부 조직사진

Fig. 3은 각각 진공주형을 통해 만들어진 실리콘 고무형과 3가지 소재(Epoxy, AFR-1, AFR-2)를 각각 적용하여 제작된 최종 간이형의 외형 사진이다. 에폭시만을 이용할 경우, 모서리 부분에 기

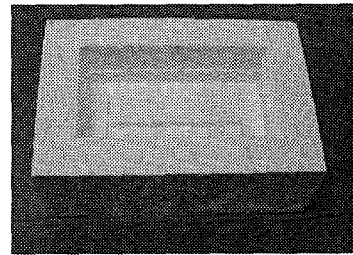


(a) Master model made by SLA-250

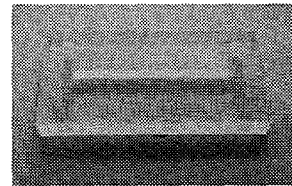


(b) Dimensions of the master model

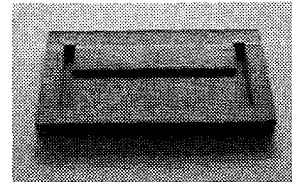
Fig. 2 The shape and dimensions of the master model



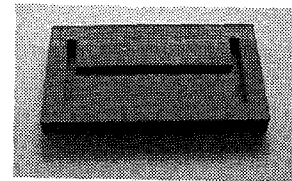
(a) Silicon rubber mold



(b) Epoxy mold



(c) AFR-1



(d) AFR-2

Fig. 3 Silicon rubber mold and final molds

사진이다. 그 배율은 1,000배이다. (a)에서 하얗게 빛나는 부분이 내부 기공이고, 검은 부분에 에폭시 수지이다. (b)와 (c)에서 흰 부분이 알루미늄 분말이고, 그 이외의 검게 나타난 부분이 에폭시 수지이다. 그리고, 등근 검은 부분 외곽이 밝게 희게 나타나는 부분은 기공이다. 이 기공은 기계적 성질에 악영향을 끼치므로, 충분한 탈포 공정을 통해 제거되어야 한다. AFR-1이 AFR-2보다 SEM 사진을 통해 전체적으로 조직이 균일함을 알 수 있다.

Fig. 5는 공구현미경으로 표면에서 기공의 유무를 점검한 것이다. Fig. 5에서 보이듯이 각각 50배의 배율로 확인하였다. 검게 나타난 부분이 기공이다. 또한, SEM 사진과 공구현미경 사진을 비교하여 볼 때, 점도가 높은 AFR-1은 표면에 기공이 많이 포함되어 있지만 AFR-2에 비해 비교적

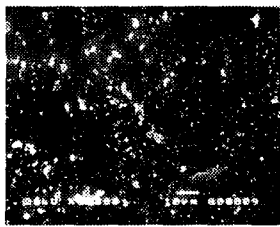
작은 크기의 기공을 함유하고 있으며, 점도가 상대적으로 낮은 AFR-2는 표면에는 기공이 많이 발생하지 않지만, 그 내부에 AFR-1보다 더 크고, 많은 기공이 있음을 알 수 있었다.

알루미늄 분말 혼합수지를 이용하여 최종의 간이형을 제작하는데 걸린 시간을 계산 해보면, 먼저 마스터 모델을 제작하는데 1일 그리고, 실리콘 고무형 제작에 1일, 간이형 제작에 2일로 총 4일 정도면 가능하다. 복잡한 형상을 가진 형이라도 마찬가지이다. 그 예로 시험 제작한 골프공 몰드( $\phi 53.2 \times 28$ )를 들 수 있다. 골프공 몰드는 절삭 가공하기에도 상당히 어려운 형상을 가지고 있음을 알 수 있다.(Fig. 6)

#### 4. 측정 결과

##### 4.1 수축 오차

수축 오차는 최초 마스터 모델과 최종 간이형의 치수 차이를 비교한 것이다. 실리콘 고무는 온도 변화에 따라 수축, 팽창이 크기 때문에 이 영향을 제거하기 위해 실리콘의 경화 온도 및 알루미늄 분말 혼합수지와 에폭시 수지의 경화 온도를 같게 하였다.



(a) Epoxy

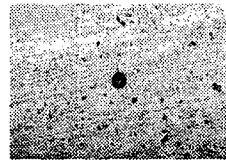


(b) AFR-1

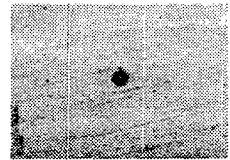


(c) AFR-2

Fig. 4 SEM photograph of final molds( $\times 1000$ )

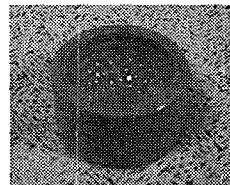


(a) AFR-1( $\times 50$ )

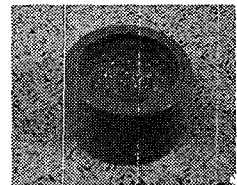


(d) AFR-2( $\times 50$ )

Fig. 5 Pores on the surface



(a) AFR-1

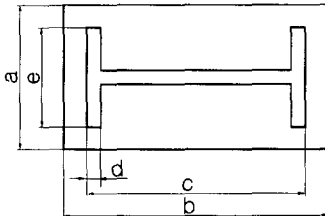


(b) AFR-2

Fig. 6 The example of complex shaped molds

**Table 2** The rate of shrinkage of the final mold

Materials		Exact values (mm)	Measured values (mm)				Average (mm)	Shrinkage rate (%)
a	Epoxy	63.75	62.98	62.69	62.69	62.95	62.83	-1.447
	AFR-1		63.75	63.70	63.75	63.70	63.72	-0.047
	AFR-2		63.65	63.60	63.55	63.60	63.61	-0.220
b	Epoxy	120.00	118.46	118.16	118.16	118.32	118.28	-1.438
	AFR-1		119.85	119.85	119.85	119.85	119.86	-0.117
	AFR-2		119.70	119.70	119.75	119.70	119.72	-0.233
c	Epoxy	99.90	98.37	98.57	98.49	98.38	98.45	-1.449
	AFR-1		99.90	99.85	99.85	99.90	99.88	-0.020
	AFR-2		99.60	99.65	99.70	99.65	99.65	-0.250
d	Epoxy	6.30	6.11	6.12	6.14	6.15	6.13	-2.698
	AFR-1		6.30	6.25	6.30	6.30	6.29	-0.198
	AFR-2		6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	-0.794
e	Epoxy	43.80	43.2	43.15	43.21	43.19	43.19	-1.398
	AFR-1		43.75	43.75	43.70	43.70	43.73	-0.171
	AFR-2		43.60	43.60	43.60	43.60	43.60	-0.457



**Fig. 7** Measured positions

각 측정 위치는 Fig. 7에 나타낸 바와 같고, 최종 간이형에 선을 그어 표시를 한 후 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 그 측정결과를 Table 2에 정리하였다. 간이형의 크기와 상관없는 오차를 나타내기 위해 백분율로 나타내었다. 측정 결과를 보면, 에폭시 수지만을 이용한 경우보다 알루미늄 분말을 혼합할 경우 그 수축률이 확연히 줄어드는 것을 알 수 있으며, 점도가 높은 AFR-1이 AFR-2보다 약 5배정도작음을 알 수 있었다.

**Table 3** Vickers hardness of the final molds

Materials	Measured values (Hv)					Average (Hv)
	Epoxy	2.5	2.5	5.4	5.5	5.6
AFR-1	35.5	33.1	35.7	34.6	38.6	35.50
AFR-2	33.9	34.5	26.2	24.8	28.0	29.48

4.2 경도

Table 3은 최종 간이형의 경도를 측정한 값을 나타낸다. 간이형을 절단한 후 표면연마 및 세정을 거쳐 시편을 준비한 후 경도를 측정하였다. 사용된 장비는 MICROMET 2100으로 비커스 경도를 나타낸다. 각 측정된 위치에 따라 경도값이 조금씩 차이가 났지만 평균값으로 비교하였다. Table 3을 보면 분말이 혼합된 수지를 사용한 두 경우 모두 에폭시 수지만을 이용한 경우보다 경도가 확실히 향상되었다. 그리고, 점도가 서로 다른 AFR-1과 AFR-2를 비교하면 AFR-1이 AFR-2보다 큰 경도값을 나타내었다.

**Table 4** Surface roughness of the final mold

Materials	R <sub>a</sub> ( $\mu$ m)	R <sub>o</sub> ( $\mu$ m)	R <sub>max</sub> ( $\mu$ m)
Master Mold	0.033	0.041	0.20
Epoxy	0.083	0.099	0.47
AFR-1	0.121	0.167	1.12
AFR-2	0.150	0.180	0.80

#### 4.3 표면 거칠기

Table 4에 표면 거칠기의 측정치를 나타내었다. Table 4에 의하면 에폭시만을 이용한 경우가 분말을 섞은 경우보다 표면조도는 더 좋게 나타남을 알 수 있었다. 그리고, AFR-1은 R<sub>a</sub>값에서 AFR-2는 R<sub>max</sub>값에서 각각 작은 값을 가진다. 이는 AFR-2의 경우 분말이 고르게 분포하여 전체적으로 고른 표면조도를 나타내지만, AFR-1은 어떤 부분에서는 크게 나타나기도 하고, 더 작게 나타나는 등 균일하지 못함을 의미한다. AFR-1의 경우 너무 미세한 분말과 점도가 높은 수지가 사용되어서 분말들이 서로 응집되어 있기 때문이라고 사료된다. 분말이 혼합될 경우 표면 거칠기 특성은 나빠지지만 만족할 만한 값이었다.

## 5. 결론

최근 들어 다양한 소비자의 욕구를 충족시키기 위해 쾌속조형이 시작품 개발 단계에 많이 이용되고 있다. 또한 그에 발맞추어 쾌속금형제작기술도 개발되고 있다. 본 연구에서는 쾌속금형제작방법으로 알루미늄 분말 혼합수지를 이용하여 간이형을 제작하는 기술을 소개하였다. 그리고, 제작된 간이형의 몇 가지 기계적 특성에 관해 조사하였다. 그 결과를 간략히 요약하면 다음과 같다.

(1) 분말을 혼합한 경우가 순수 수지만을 이용한 경우보다 표면 거칠기를 제외한 모든 특성에서 우수하였다.

(2) 점도가 높은 AFR-1은 수축률이 최고 0.047%로 점도가 낮은 AFR-2의 0.22%보다 월등히 낮은 결과를 나타내었다.

(3) AFR-1과 AFR-2의 2가지 경우의 경도는 각각 평균이 35.50Hv와 29.48Hv로 약 6Hv 정도의 차이는 있었다.

(4) 미세분말을 혼합한 AFR-1은 분말들이 서로

응집된 부분에서 아주 큰 표면조도를 나타내지만, 전체적으로는 균일하였고, 큰 분말을 혼합한 AFR-2는 특별히 큰 표면조도는 나타나지 않았지만 전체적으로는 약간 거칠었다.

(5) SEM 사진에서 미세분말을 사용한 AFR-1의 조직이 AFR-2보다 더 균일하고, 점도가 낮은 AFR-2가 조직 내부에 더 크고, 많은 기공을 함유하였다.

(6) 공구현미경사진을 보면 점도가 높은 AFR-1이 점도가 낮은 AFR-2보다 표면에 더 많은 기공이 발생하였다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터의 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Jacobs, P. F., 1996, *Stereolithography and other RP&M Technologies*, ASME Press, New York, pp. 254~261.
- (2) Nakagawa, T., 정해도, 1998, 적층조형시스템; 3차원 카피 기술의 신전개, 성안당, 서울, pp. 155~171.
- (3) 임용관, 김범수, 정해도, 배원병, 1997, "급속금형제작 (1) : 분말주조에 의한 Perfect Shape에의 도전," 한국정밀공학회 '97년도 추계학술대회 논문집 1권, pp. 191~194.
- (4) Noguchi, H. and Nakagawa, T., 1994, "Application of Stereolithography to Ceramic Powder Molding," *The 6th Stereo Lithography System Symposium*, pp. 33~38.
- (5) Abe, F. and Osakada, K., 1996, "Fundamental Study of Laser Rapid Prototyping of Metallic Parts," *Int. J. of JSPE*, Vol. 30, No. 3, pp. 278~279.