

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

금속금형제작 (2); 알루미늄 분말 혼합수지를 이용한 간이형 제작과 그 특성

김범수*, 임용관*, 배원병**, 정해도**

Rapid Tooling (2); Al Powder Filled Resin Tooling and Its Characteristics

P. S. Kim*, Y. G. Im*, W. B. Bae**, H. D. Jeong**

ABSTRACT

In the previous study, the powder casting was attempted as the rapid tooling. The powder casting was the process to cast dry powder into the casting mold transferred from R/P model and infiltrate the liquid binder to solidify the powder. And then, the melted copper was infiltrated to control the shrinkage rate of the final mold. Consequently, the shrinkage rate was under 0.1% through that process. The mechanical characteristic was also excellent.

Generally, in the slurry casting, the alumina powder and the water soluble phenol were mainly used. However, the mechanical property of the phenol was not good enough to apply to molds directly.

In this study, aluminium powder filled with epoxy is applicated to the slurry casting to solve these problems. The mechanical and thermal properties are better than phenol because the epoxy is the thermosetting resin. We achieved a successful result that the shrinkage rate is shortened about 0.047%. Furthermore, the manufacturing time and cost savings are significant. Finally, we assume that the developing possibility of this process is very optimistic.

Key Words : Rapid Prototyping(급속조형), Rapid Tooling(급속금형제작), Slurry Casting(액상분말주조), Al Powder Filled Resin(알루미늄 분말 혼합수지), Vacuum Casting(진공 주형)

1. 서론

최근 들어 소비자의 욕구가 다양해짐에 따라 상품 개발

을 단기간에 성취 가능하게 하는 동시공학(concurrent engineering)이라는 개념이 널리 도입되고 있다. 이러한 동시공학을 가능케 하는 기술 중의 하나가 급속모형제작

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** 부산대학교 기계공학부

및 급속금형제작기술이다.

급속모형제작(rapid prototyping)이란 기존의 절삭에 의한 모형의 제작과는 기본 개념부터 바뀐 한 층씩 적층하여 모형을 제작하는 기법이다. 그 주요 기술로는 광 조형법, 분말 소결법, 잉크 제트법, 수지 압출법, 시트 절단법 등이 있다⁽¹⁾. 또한 급속금형제작(rapid tooling)이란 급속모형제작기술을 통해 제작된 모형을 이용하여 그 전사형을 만드는 것을 말한다. 급속금형제작기술의 예로는 진공 주형(vacuum casting)을 이용한 실리콘 고무형, R/P 모델을 왁스형으로 직접 이용하는 정밀 주조(investment casting), 실리콘 고무형을 이용한 분말주조(powder casting)⁽²⁾, 액상분말주조(slurry casting)⁽³⁾, 분말을 직접 소결하는 방법⁽⁴⁾ 등이 있다. 이 중 Noguchi 등은 액상 분말주조에 강도 등의 이유로 알루미늄 분말을 주로 사용하였다.⁽⁵⁾ 그러나, 알루미늄 분말만을 이용하면 그 수축률이 상당히 크다고 지적하고 있다. 따라서 여러 가지 분말을 개별적으로 혹은 혼합하여 이용할 필요가 있다.

본 연구에서는 알루미늄 급속분말을 수지에 섞어 액상분말형태로 만들어 이를 실리콘 고무형에 주입하여 급속으로 간이형을 만드는 공정을 소개하고, 이 때의 치수 오차와 형상 오차를 측정하였으며, 아울러 금형이 가져야 할 중요한 성질인 경도와 표면 조도를 측정하여 검토하였다.

Table 1. Aluminium filled resins used in the experiment

소 재	분말 입도	분말함유비 (중량비)	점 도 (cps)
AFR-1	1000 mesh	40%	102500
AFR-2	320 mesh	40%	75000

2. 급속 알루미늄 혼합 수지형의 제작

2-1 사용된 소재

새로운 급속금형제작기술로 알루미늄 분말을 열경화성 수지인 에폭시 수지에 골고루 섞어서 액상분말의 형태로 만든 후 이를 직접 이용하였다. 본 연구에서는 Table 1과 같이 점도가 다른 2가지 소재를 이용하였다. 두 소재에 사용된 분말은 각각 평균 입도가 1000mesh와 320mesh이다. 그리고, 점도의 차이는 사용된 에폭시 수지의 특성에 의한 것이다. 분말 입도와 점도의 차이가 제작된 금형의 특성에 어떠한 영향을 미치는가를 비교하기 위해 서로 다른 입도와 점도를 가진 두 소재를 선택하였다.

2-2 공정

Fig. 1은 본 연구의 급속금형제작공정의 개략도이다. 먼저 광 조형기인 SLA-250을 이용하여 직접 간단한 금

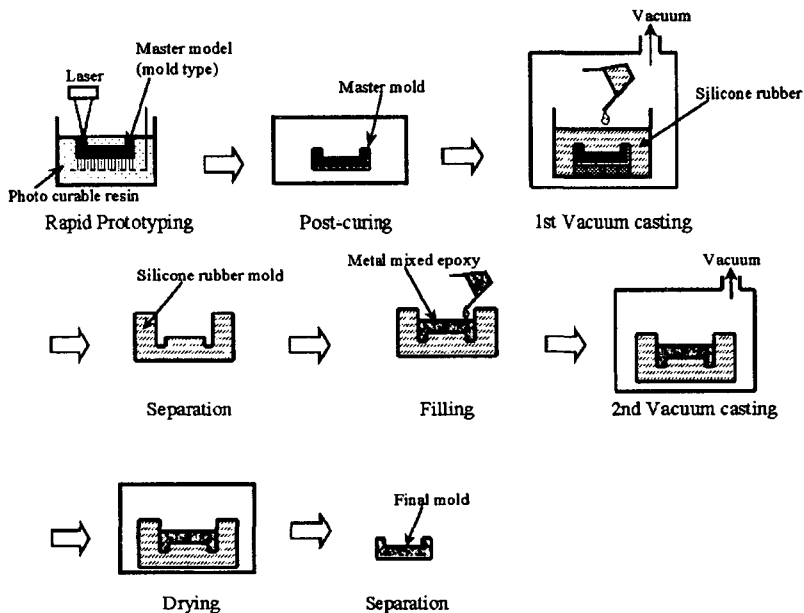
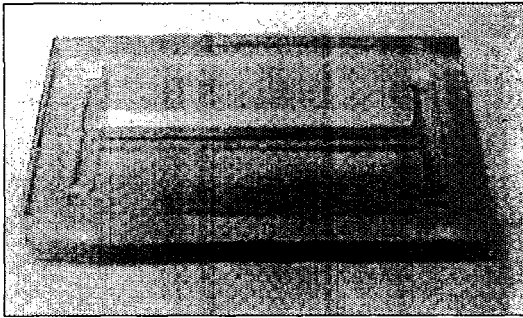
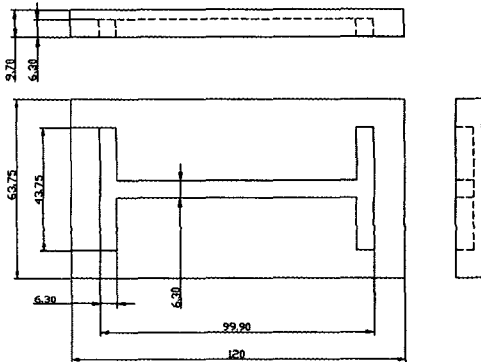


Fig. 1 The process for aluminium filled resin tooling



(a) Master model made by SLA-250

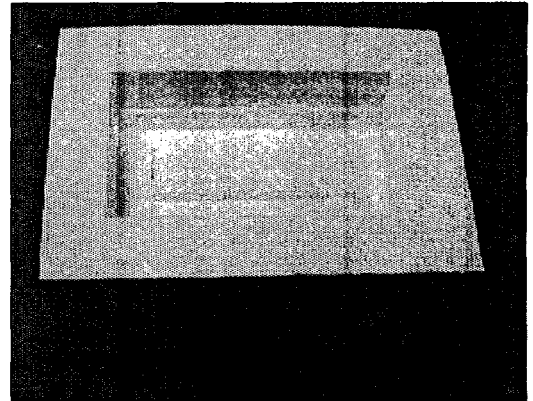


(b) Dimensions of the master model

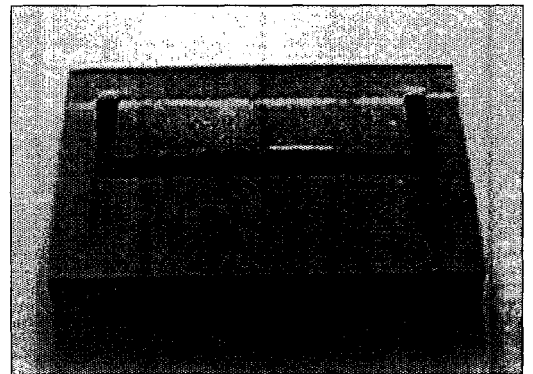
Fig. 2 The external shape and dimensions of the master model

형 형상을 갖는 마스터 모델을 제작하였다. 그 외형과 치수는 각각 Fig. 2의 (a), (b)와 같다. 이 마스터 모델은 음각형상으로 되어있다. 이렇게 제작된 마스터 모델을 후경화를 통해 단단하게 굳힌 후, 진공 주형법으로 실리콘 고무형을 제작한다. 진공 주형법은 각종 수지 제품의 제작시에 많이 사용되는 방법으로 수지와 경화제를 골고루 섞어 진공 상태에서 탈포를 하고, 이를 실리콘 고무형 등에 부어넣고 경화시켜 제품을 얻는 방식이다. 이렇게 제작된 실리콘 고무형에 알루미늄 혼합 수지와 경화제를 잘 섞어 채워넣고 진공 주형기에서 10~100분 정도 탈포시킨 후, 항온기 내에서 2~3일 정도 경화시킨다. 경화된 알루미늄 혼합 수지형을 실리콘 고무형에서 탈형시키면 마스터 모델과 동일한 음각 형상의 간이형을 얻을 수 있다.

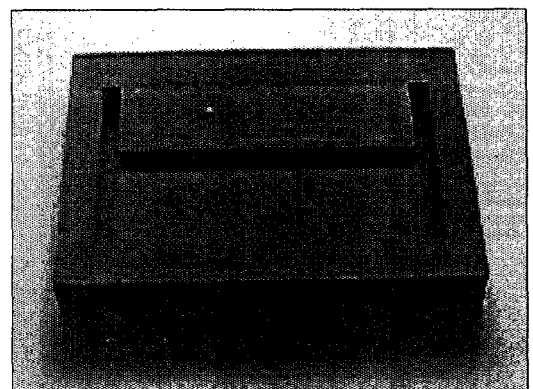
Fig. 3의 (a), (b), (c)는 각각 진공주형을 통해 만들어진 실리콘 고무형과 2가지 소재(AFR-1, AFR-2)를 각각 적용하여 제작된 최종 간이형의 외형 사진을 나타낸다. 탈포의 정도에 따라 표면에 기공이 많거나 적어지기 때문에 진공 주형 시 탈포를 잘 시켜야 한다. 본 실험에서는



(a) Silicon rubber mold



(b) AFR-1

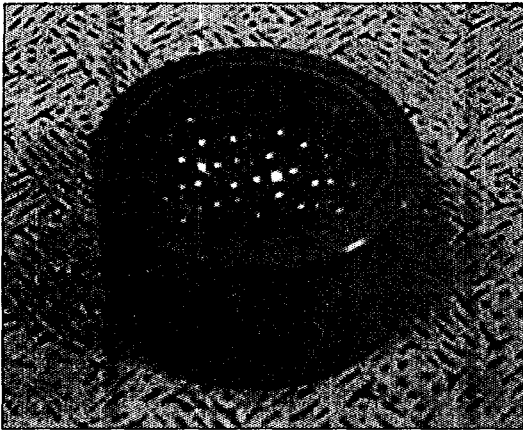


(c) AFR-2

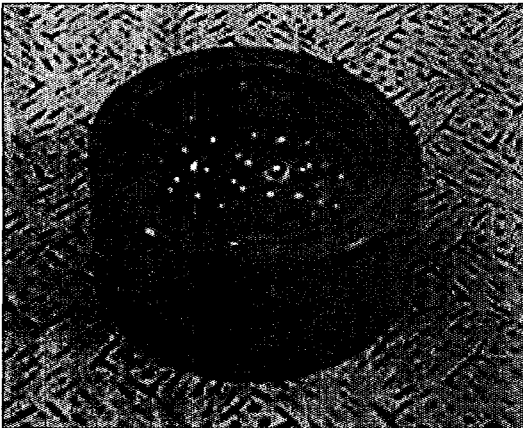
Fig. 3 Silicone rubber mold and final molds

기공을 가능한 제거하기 위해 충분히 탈포를 하였다.

알루미늄 혼합 수지를 이용하여 최종의 간이형을 제작하는데 걸린 시간을 계산해보면, 먼저 마스터 모델을 제



(a)AFR-1



(b)AFR-2

Fig. 4 The example of the Aluminium Filled Resin Tooling

작하는데 1일 그리고, 실리콘 고무형 제작에 1일, 간이형 제작에 2일로 총 4일 정도면 가능하다. 복잡한 형상을 가진 형이라도 마찬가지이다. 그 예로 Fig. 4의 골프공 물드를 제작한 예를 들 수 있다.

3. 측정 결과

3-1 수축 오차

수축 오차는 최초 마스터 모델과 최종 간이형의 치수 차이를 비교한 것이다. 실리콘 수지는 온도차에 따라 수축, 팽창이 크기 때문에 이 영향을 제거하기 위해 실리콘의 경화 온도와 알루미늄 혼합 수지의 경화 온도를 모두 40℃로 일정하게 하였다. 각 측정 위치는 Fig. 5에 나타난 것과 같고, 최종 간이형에 선을 그어 표시를 한 후 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 그 측정결과를

Table 2. The rate of shrinkage of the final mold

소재	측 정 치 (mm)						평 균 오 차 (mm)	오 차 (%)
	a	b	c	d	e	f		
AFR-1	a	63.75	63.70	63.75	63.70	63.70	63.72	-0.047
	b	119.85	119.85	119.85	119.85	119.90	119.86	-0.117
	c	99.90	99.85	99.85	99.85	99.90	99.88	-0.020
	d	6.30	6.25	6.30	6.30	·	6.2875	-0.198
	e	43.75	43.75	43.70	43.70	·	43.725	-0.171
	f	6.30	6.30	6.30	6.25	·	6.2875	-0.198
AFR-2	a	63.65	63.60	63.55	63.60	63.60	63.61	-0.220
	b	119.70	119.70	119.75	119.70	119.75	119.72	-0.233
	c	99.60	99.65	99.70	99.65	99.65	99.65	-0.250
	d	6.25	6.25	6.25	6.25	·	6.25	-0.794
	e	43.60	43.60	43.60	43.60	·	43.60	-0.457
	f	6.30	6.30	6.25	6.30	·	6.2875	-0.198

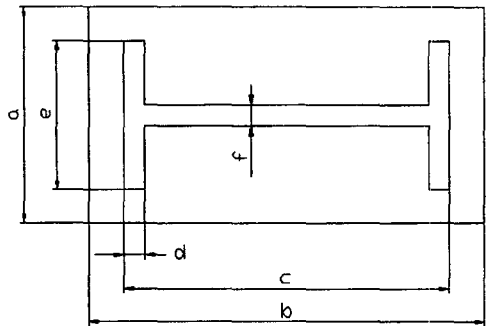


Fig. 5 Measured position of a, b, c, d, e, f, respectively

Table 3 Vickers hardness of the final mold

소재	측 정 치 (HV)						평 · 균 (HV)
	a	b	c	d	e	f	
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	

Table 2에 정리하였다. 여기서, a, b, c, d, e, f는 Fig. 5의 도면에 나타내었다. 간이형의 크기와 상관없는 오차를 나타내기 위해 백분율로 나타내었다. 수축 오차에 관해서는 점도가 높은 AFR-1이 AFR-2보다 약 5배정도 작음을 알 수 있었다.

3-2 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 측

Table 4 Surface roughness of the final mold

	R _a (μm)	R _q (μm)	R _{max} (μm)
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
AFR-1	0.182	0.234	1.52
	0.093	0.128	1.06
	0.121	0.167	1.12
	0.135	0.218	1.53
AFR-2	0.107	0.136	0.70
	0.156	0.199	1.07
	0.171	0.210	0.99
	0.150	0.180	0.80

정한 위치에 따라 경도값이 조금씩 차이가 났지만 평균값으로 비교를 한다면 AFR-1이 더 큰 경도값을 가진다.

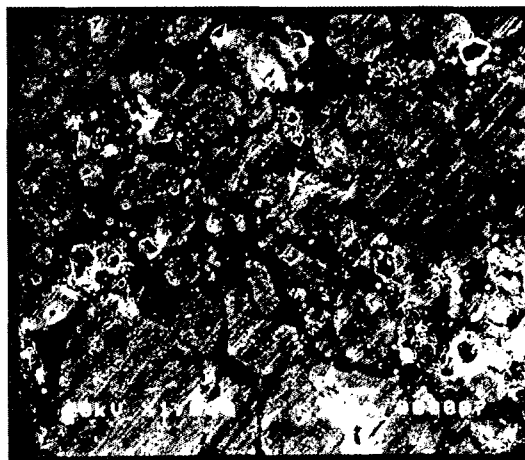
3-3 표면 조도

표면 조도의 측정된 값은 Table 4와 같다. Table 4에 의하면 R_a는 AFR-1이 AFR-2보다 작은 값을 가지고, R_{max}는 AFR-2가 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. 이는 AFR-1의 경우 너무 미세한 분말과 점도가 높은 수지가 사용되어서 분말들이 서로 응집되어 있었기 때문이라고 사료된다.

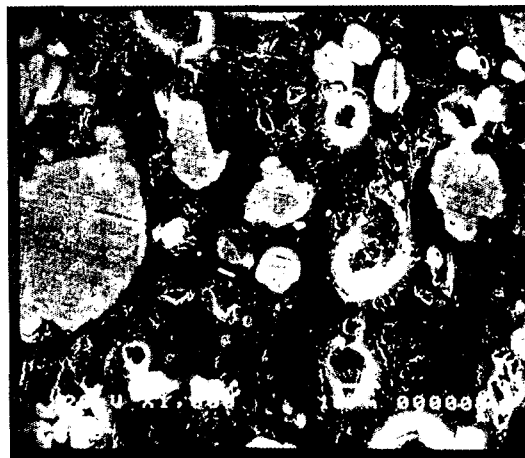
3-4 조직 사진

Fig. 6은 제작된 알루미늄 혼합 수지를 이용한 간이형을 절단하여 절단면을 폴리싱하여 표면을 금 도금하고 이를 SEM 촬영한 사진이다. 그 배율은 1000배이다. 여기서, 흰 부분이 알루미늄 분말이고, 그 이외의 검게 나타난 부분이 에폭시 수지이다. 그리고, 둥근 검은 부분 외곽이 밝게 회색 나타나는 부분은 기공이다. 이 기공은 기계적 성질에 악영향을 끼치므로, 충분한 탈포 공정을 통해 제거되어야 한다. 여기서, AFR-1이 AFR-2보다 SEM 사진을 통해 전체적으로 조직이 균일함을 알 수 있다.

Fig. 7은 공구현미경으로 표면에서 기공의 유무를 점검한 것이다. Fig. 7에서 보이듯이 각각 50배와 100배, 200배의 배율로 확인하였다. 검게 나타난 부분이 공극이다. 저배율로 보면 기공인지 구별이 잘 안가지만 고배율



(a)AFR-1($\times 1000$)



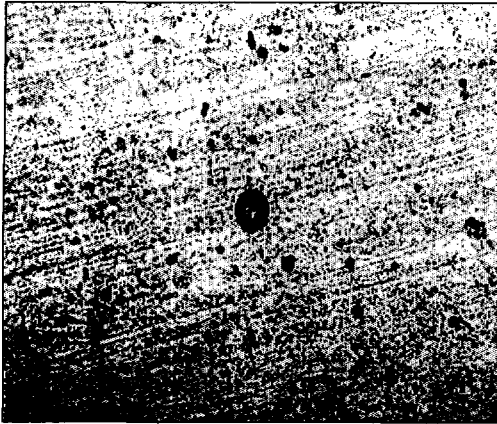
(b)AFR-2($\times 1000$)

Fig. 6 SEM photograph of the final mold

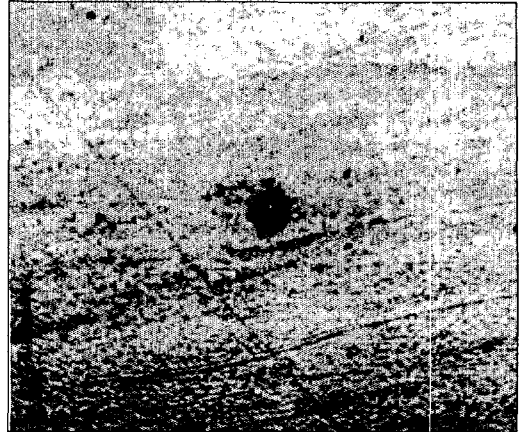
로 확인한 결과 기공임이 확인되었다. 또한, SEM 사진과 공구현미경 사진을 비교하여 볼 때, 점도가 높은 AFR-1은 표면에 기공이 많이 포함되어 있지만 AFR-2에 비해 비교적 작은 크기의 기공을 함유하고 있으며, 점도가 상대적으로 낮은 AFR-2는 표면에는 기공이 많이 발생하지 않지만, 그 내부에 AFR-1보다 더 크고, 많은 기공이 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

최근 들어 다양한 소비자의 욕구를 충족시키기 위해 금



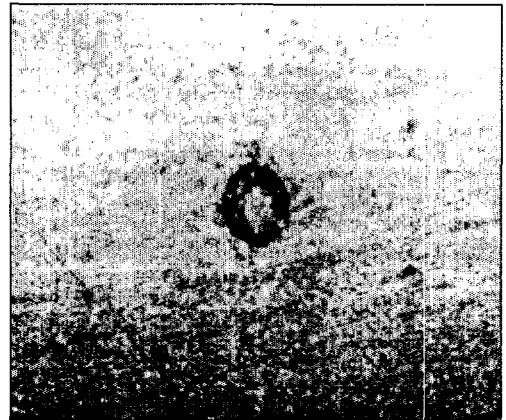
(a) AFR-1($\times 50$)



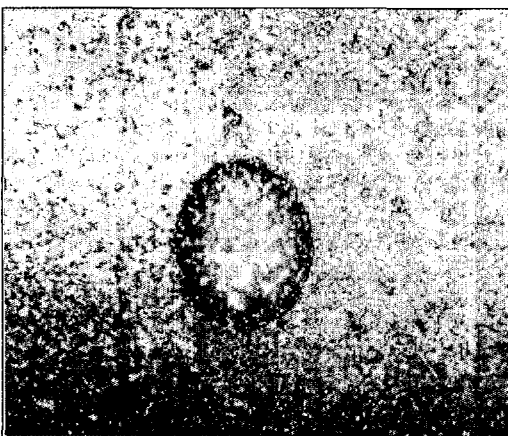
(d) AFR-2($\times 50$)



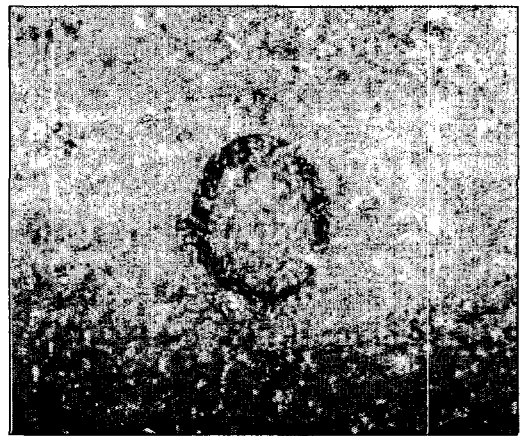
(b) AFR-2($\times 100$)



(e) AFR-2($\times 100$)



(c) AFR-1($\times 200$)



(f) AFR-2($\times 200$)

Fig. 7 Pores on the surface observed by a microscope

속조형이 시제품 개발 단계에 많이 이용되고 있다. 또한 그에 발맞추어 급속조형을 통해 개발된 모델을 마스터로 이용하는 급속금형제작기술도 개발되고 있다. 본 연구에서는 새로운 급속금형제작방법으로 알루미늄 혼합 수지를 이용하여 간이형을 제작하는 기술을 소개하였다. 그리고, 제작된 간이형의 몇 가지 기계적 특성에 관해 조사하였다. 그 결과를 간략히 요약하면 다음과 같다.

- (1) 알루미늄 혼합 수지를 이용하는 새로운 급속금형제작 방법으로 금형제작기간을 아주 짧게 줄일 수 있었다.
- (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 있었으나 이는 측정에 이용된 장비의 특성상 무시할 만한 값이다.
- (4) 미세 분말을 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 미세 분말을 사용한 AFR-1의 조직이

- AFR-2보다 더 균일하고, 점도가 낮은 AFR-2가 조직 내부에 더 크고, 많은 기공을 함유함을 알 수 있었다.
- (6) 공구현미경사진을 보면 점도가 높은 AFR-1이 점도가 낮은 AFR-2보다 표면에 더 많은 기공이 발생함을 알 수 있었다.

5. 참 고 문 헌

1. T. Nakagawa, 정해도, 적층조형시스템 3차원 카피 기술의 신전개, 성안당, pp. 9~26, 1998.
2. 임용관, 김범수, 정해도, 배원병, "급속금형제작 : 분말주조에 의한 Perfect Shape에의 도전," 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp. 191~194, 1997.
3. H. Noguchi and T. Nakagawa, "Application of Stereolithography to Ceramic Powder Molding," The 6th Stereo Lithography System Symposium, pp. 33~38, 1994.
4. F. Abe and K. Osakada, "Fundamental Study of Laser Rapid Prototyping of Metallic Parts," Int. J. of JSPE, Vol. 30, No. 3, pp. 278~279, 1996.