

금속분말 혼합수지를 이용한 쾌속형 제작에 관한 연구

김범수*, 배원병**, 정해도**

A Study on the Rapid Tooling Using Metal Powder Filled Resin

Peom Su Kim *, Hae Do Jeong **, and Won Byung Bae **

ABSTRACT

The rapid Tooling technique is classified into two methods: one to directly utilize the model which was made by rapid prototyping technologies for dies, and the other to make a transferred type using the model as a master model and create dies and molds using it.

In this study, the Al powder filled resin was made several mixed ratios and meshes sizes, and applied to slurry casting. And, variation of mechanical characteristics such as the shrinkage rate, the tensile strength, the elongation, the hardness, and surface roughness, are measured to compare. Consequently, as higher is the powder mixed ratio and as smaller is the grain size of the powder, the mechanical characteristics of the final mold are improved. Finally, the metal short fiber which can be fabricated easily and cheaply, if the self-excited vibration of an elastic tool, was also applied to slurry casting. It has been found that the hardness gets higher, while the shrinkage rate lower, if mixed with short fiber.

Key Words : Concurrent Engineering(동시공학), Reverse Engineering(역추적 공학), Rapid Prototyping & Tooling (쾌속조형 및 금형제작), Al Powder Filled Resin(알루미늄분말 혼합수지), Slurry Casting(액상분말 주조)

1. 서론

최근 소비자의 욕구 다양화로 인해 제품의 형상이 점차 복잡해지고, 제품의 수명 주기는 짧아져 상품 개발 기간의 단축화가 가속화되고 있다. 이러한 상품 개발 기간을 단축하기 위해 수개월 단위로 걸리는 금형 설계 및 제작 기간을 줄일 필요성이 커졌다. 이를 위해 제품 개발의 컨셉트를 결정하는 단계로부터 구체적인 의장 설계, 상품 설계, 금형 제작, 생산 준비 등의 업무를 동시에 병행적으로 진행할 수 있게 하는 동시 공학(concurrent engineering)과 기존 제품의 3 차원 측정

기를 이용한 3 차원 CAD 데이터화를 통해 금형을 제작하는 역추적 공학(reverse engineering)^{(1), (2)}의 중요성이 부각되고 있다. 이러한 동시공학과 역추적 공학을 통한 상품 개발 단기간화의 열쇠가 되는 것이 제품 설계의 3 차원 CAD 화와 쾌속모형 및 금형제작기술이다.

쾌속모형제작(rapid prototyping)이란 절삭 가공과 정반대인 부가(附加) 가공으로 한 층, 한 층을 적층하여 3 차원 형상의 모형을 제작하는 기법이다. 쾌속모형제작기술은 부가 가공이라는 특수성으로 인해 절삭 가공으로는 불가능한 형상의 모형도 제작 가능하게 한다.

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

그리고, 패속금형제작(rapid tooling)이란 패속모형제작기술을 이용하여 제작된 모형을 직·간접으로 이용하여 단시일 내에 금형을 생산하는 것을 말한다.⁽³⁾

본 연구에서는 액상분말 주조기법을 이용하여 금속분말의 혼합량과 입도에 따른 금속분말 혼합수지형의 기계적 특성 변화를 조사하였으며, 단섬유를 액상분말주조법에 적용하였다. 그 기계적 특성으로는 알루미늄 분말을 이용한 액상분말주조에서 문제점으로 지적되었던 수축률과 금형 소재의 중요한 성질이 되는 인장강도 및 연신율, 경도, 표면 거칠기를 측정하였다.

또한, 분말 소재는 제조 기술이 복잡하여 국내에서는 주로 수입에 의존하여 가격이 상당히 비싸고, 필요한 분말을 구하기가 어렵다는 문제점을 해결하기 위해 분말 이외의 소재를 액상분말주조법에 적용하려 하였다. 그 방안을 여러모로 모색하는 동안 절삭가공 시 발생하는 칩을 이용하는 방법을 생각하게 되었다. 그러나, 칩은 그 형태가 아주 다양하여 적용이 어려웠다. 그런 중, 복합재료 등에 널리 이용되고 있는 단섬유를 탄성공구의 자려진동 현상을 이용하면, 다양한 지름과 길이로 단섬유를 제작할 수 있음⁽⁴⁾을 알게 되었으며, 이를 액상분말 주조법에 적용하여 기존의 금속분말 혼합수지형과 그 특성을 비교·검토하게 되었다.

2. 형 제작

2.1 액상분말 제작

본 실험에서 액상분말 주조에 적용될 액상분말을 알루미늄 분말을 기본으로 하여 에폭시를 혼합하여 알루미늄분말 혼합수지(AFR, Aluminum powder Filled Resin)를 만들었다. 사용된 에폭시 수지는 액상분말주조의 특성상 점도가 아주 낮은 것을 선택하였다.

혼합량별 특성 변화를 알아보기 위해 혼합된 알루미늄 분말은 공기 중에서 분무하여 고화시킨 것으로 형상은 불규칙하고, 평균 입경이 154.31 μm 인 AAL-100으로 순수 알루미늄이다. 이 알루미늄 분말을 각각 20wt%, 40wt%, 60wt%로 에폭시 수지와 혼합하여 혼합량에 따른 액상분말의 침전량을 검토하고, 액상분말주조에 적용하여 형을 제작하였다. 이 때, 알루미늄 분말은 65wt%까지 혼합이 가능하지만, 점도가 너무 높아 액상분말 주조가

Table 1 Mesh sizes of used Al powders

Powders	Mean mesh size
AAL-80	209.80 μm
AAL-100	154.31 μm
AAL-325	20.20 μm

불가능하였다. 따라서, 본 연구에서는 AFR-65%는 제외하였다. 액상분말은 알루미늄 분말에 에폭시 수지를 조금씩 혼합하여 액상분말을 제작한 후, 경화제를 혼합하여 만들었다. 혼합량에 따라 액상분말과 최종 간이형을 각각 AFR-20%, AFR-40%, AFR-60%라고 명명하였다.

혼합분말의 입도별 영향을 알아보기 위해 사용된 분말들을 Table 1에 나타내었다. 세 가지 분말 AAL-80, AAL-100, AAL-325를 분말 혼합량에 따른 침전량의 검토를 통해 알아낸 액상분말 주조 가능 최대 혼합량인 60wt%로 에폭시와 혼합하여 AFR 몰드를 제작하였으며, 그 몰드들을 각각 AFR-80, AFR-100, AFR-325라 부른다. 여기서, AFR-100은 분말 혼합량에 따른 특성 평가 실험에서의 AFR-60%와 동일한 소재이다.

액상분말 제작에 이용될 단섬유는 봉재의 선반 가공을 통해 직접 생산하였다. Fig. 1과 같은 형상의 공구를 제작하면, 강성이 부족하여 절삭가공 시에 자려진동을 발생시켜 칩을 단섬유 형상으로 만들 수 있다. 탄성 공구의 자려진동에 의한 단섬유 제작 시 절삭 속도는 단섬유의 직경에 가장 큰 영향을 끼치고, 절입량은 단섬유의 길이를 결정한다.

Fig. 2에 절삭 가공 시 단섬유와 칩의 생성 영역을 나타내었다. Fig. 2을 보면, 절삭 속도와 이송 속도를 크게 할수록 섬유 생성 영역이 넓어짐을 알 수 있다. 절삭 속도는 선반의 주축 속도와 피삭물의 직경에 의해 결정되므로 단섬유를 안정적으로 제작하기 위해서는 주축 속도는 가능한 빠르게, 피삭물은 직경이 가능한 큰 것을 이용하여야



Fig. 1 Elastic tool

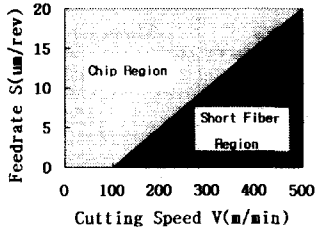


Fig. 2 Short fiber formation region

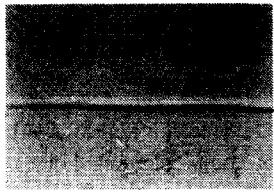


Fig. 3 Photograph of Al/ short fibers

한다. 그러나, 주축 속도는 선반의 사양에 의해 결정되는 것이므로, 직경이 큰 봉재를 구하는 것이 중요하다. 본 실험에서 단섬유 제작에 사용된 봉재는 직경이 130mm 인 Al 7075 이고, 각각 주축 속도와 절입량을 1150rpm 과 3mm 로 하였다.

제작된 단섬유의 형상을 Fig. 3 에 접사 사진으로 나타내었다. 알루미늄 분말, AAL-100 과 알루미늄 단섬유를 각각 에폭시와 혼합하여 액상분말의 형태로 만들었다. 그러나, 제작된 단섬유는 중량에 비해 부피가 아주 크기 때문에 단섬유만을 혼합할 경우, 5wt% 이상은 혼합하는 것이 불가능하였다. 따라서, 알루미늄 분말 55wt%와 알루미늄 단섬유 5wt%를 함께 혼합하여 전체 첨가물의 혼합량이 60wt%가 되도록 하여 액상분말을 제작하였으며, 알루미늄 분말만을 이용한 경우와 그 특성을 비교하였다. 분말만을 혼합한 것을 AFR-P, 단섬유와 분말을 함께 혼합한 것을 AFR-P/F 로 부른다. AFR-P 는 AFR-60%와 AFR-100 과 동일한 것이다. Fig. 4 에 AFR-20%, AFR-40%, AFR-60%, AFR-P/F 의 혼합비를 나타내었다.

2.2 형 제작 공정

Fig. 5 에 본 연구에서 이용된 쾌속금형제작공정의 개략도와 액상분말 주조공정을 나타내었다. 먼저 3차원 모델러인 Pro/Engineer 를 이용하여 간단한 형상의 금형을 모델링하고, 이를 쾌속조형기

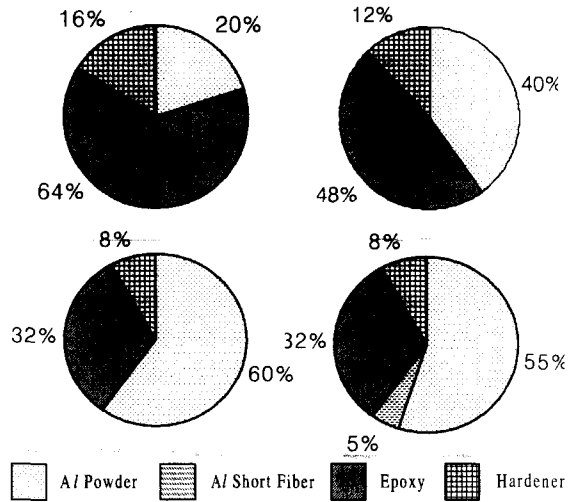


Fig. 4 Mixed ratios of AFRs

의 하나인 광조형기 SLA-250 을 이용하여 음각 형상을 갖는 마스터 모델을 제작하였다. 이렇게 제작된 마스터 모델을 후경화를 통해 단단하게 굳힌 후, 진공 주조법으로 전사 공정을 통해 반전형인 양각 형상을 갖는 실리콘 고무형을 제작한다. 진공 주조법은 각종 수지 제품이나 모형 복제에 이용되는 실리콘 고무형을 제작하는데 이용되는 기술로 액상의 각종 수지나 실리콘 고무에 경화제를 골고루 섞어, 진공 주조기 내부에서 진공으로 내부의 기포를 제거한 후, 경화를 시켜 목적하는 제품을 얻는 기법이다. 이렇게 제작된 실리콘 고무형에 이형 처리를 하고, 알루미늄 분말과 에폭시 수지를 혼합량별, 입도별, 단섬유 혼합 등의 함량 비별로 혼합한 알루미늄 분말/단섬유 혼합수지를 5~10 분간 예비 탈포하고, 경화제를 골고루 섞어 부어 넣은 후, 진공 주조기 내에서 10~30 분 정도 탈포를 하고, 열풍 건조기 내에서 일정한 온도로 24 시간 정도 경화를 시킨다. 경화된 금속분말 혼합수지형을 실리콘 고무형에서 탈형시키면 마스터 모델과 동일한 음각 형상의 간이형을 얻을 수 있다. 이 때, 액상분말주조 시 탈포 과정이 불충분하면 금속분말 혼합수지형의 표면에 기공이 잔재할 수 있고, 탈포 시간을 과도하게 하면 탈포 도중 수지가 경화하여 형 제작이 실패한다는 점에 주의해야 한다.

금속분말 혼합수지를 액상분말주조법에 적용

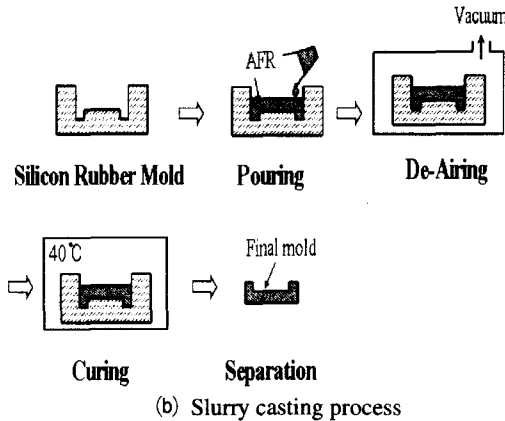
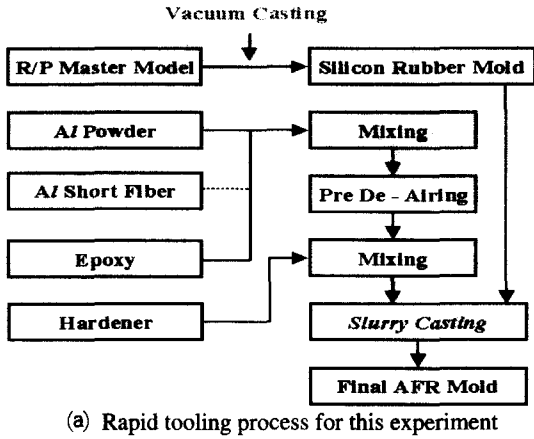


Fig. 5 The process for AFR tooling

하여 최종 간이형을 얻는데 걸리는 시간을 계산해보면, 마스터 모델을 제작하는데 1일, 실리콘 고무형 제작에 1일, 최종 간이형 제작에 1일로 총 3일 정도면 가능하다. 또한, 이 제작 시간은 아무리 복잡한 형상을 가진 형이라도 마찬가지이다. 이는 기존의 절삭 가공을 이용하면, 보통 보름에서 한달 이상 소요되는 금형 제작 기간과 비교해 볼 때, 획기적인 금형 제작 기간의 단축임을 알 수 있다.

3. 형 제작 결과 및 기계적 특성 평가

3.1 제작된 금속분말 혼합수지형

Fig. 6은 각각 분말 혼합량별 액상분말주조된 AFR-20%, AFR-40%, AFR-60%의 간이형 사진이다.

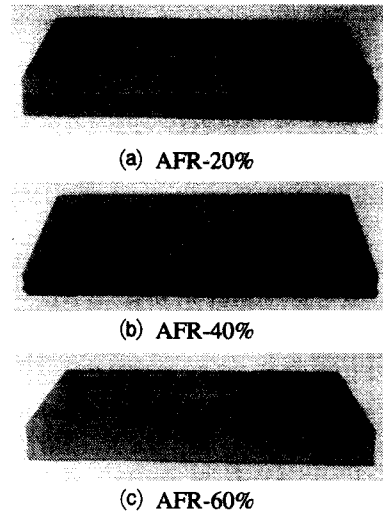


Fig. 6 Final AFRs for changing powder mixed ratio

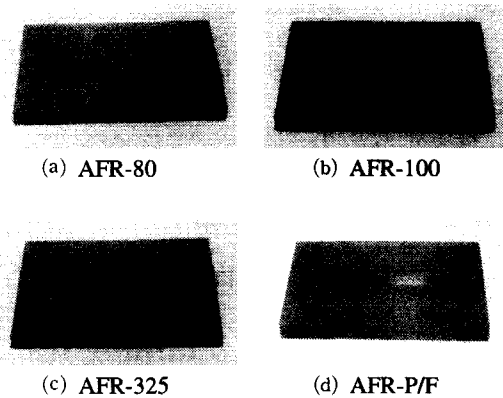


Fig. 7 Final AFRs for changing mesh size and mixing short fiber

분말이 혼합된 경우에는 표면뿐만 아니라, 모서리 부분도 완벽하게 성형되었다. 그러나, 분말이 각각 20wt%, 40wt% 혼합된 AFR-20%와 AFR-40%에서는 침전층이 확연하게 나타났고, 분말이 60wt% 혼합된 AFR-60%에서는 침전층도 나타나지 않았다.

Fig. 7은 각각 혼합 분말 입도별로 액상분말주조된 AFR-80, AFR-100, AFR-325와 분말/단섬유 혼합수지를 이용한 AFR-P/F 간이형 사진이다. 사진들을 통해 세 가지 모두에서 성형은 성공적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 입도가 가장 큰 AFR-80을 혼합하여 제작된 간이형 AFR-80은 표면에 얼룩 같은 무늬가 심하게 나타났으며, 육안으로도

분말을 확인할 수 있을 정도이다. 반면, 가장 미세한 분말인 AAL-325를 혼합하여 제작된 AFR-325는 아주 미려한 표면 상태를 나타내고 있다. AFR-100의 경우는 그 중간쯤의 표면을 나타내었다. 또한, AFR-P/F의 경우, 표면을 자세히 보면, 단섬유의 모양을 확인할 수 있다.

3.2 내부조직사진

내부 조직을 확인하기 위해 제작된 각 AFR 간이형들을 절단하고, 표면 연마 및 세정을 거쳐 공구현미경으로 관찰, 사진 촬영하였다.

Fig. 8은 각 간이형 AFR-20%, AFR-40%, AFR-60%의 침전부를 공구현미경으로 관찰, 사진 촬영한 것이다. 그 배율은 50 배이다. 회고, 등글게 나타난 것들이 알루미늄 분말이고, 그 외의 검은 부분이 에폭시 수지이다. Fig. 8(a)에 나타낸 AFR-20% 간이형의 경우를 보면, 굵은 분말들이 먼저 쌓이고, 그 위에 작은 분말들이 쌓임을 알 수 있다. 또한, 침전층이 아주 확인하다. 그리고, Fig. 8(b)의 AFR-40% 간이형에는 침전층 위에 떠 있는 분말들이 상당히 많으며, 이는 침전층을 AFR-20% 간이형보다는 희미하게 보이게 하지만, 침전층이 존재함은 분명하다. Fig. 8(c)의 AFR-60% 간이형은 침전층 없이 작고 큰 분말들이 고루 분포하고 있다.

Fig. 9는 각각 AFR-80, AFR-100, AFR-325, AFR-P/F의 내부 사진으로 역시 공구현미경을 이용하여 배율 100 배로 촬영한 것이다. 이를 통해 각 입도의 분말들의 분포를 알 수 있다. Fig. 9(d)의 사진에서 회고 길쭉한 것이 알루미늄 단섬유이다.

3.3 수축률

수축률은 최초 광조형기를 통해 제작된 마스터 모델과 최종 간이형의 치수 차이를 비교한 것이다.

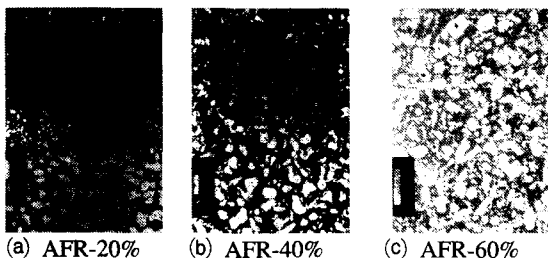


Fig. 8 Deposited appearance of final AFR molds (microscopic photographs, × 50)

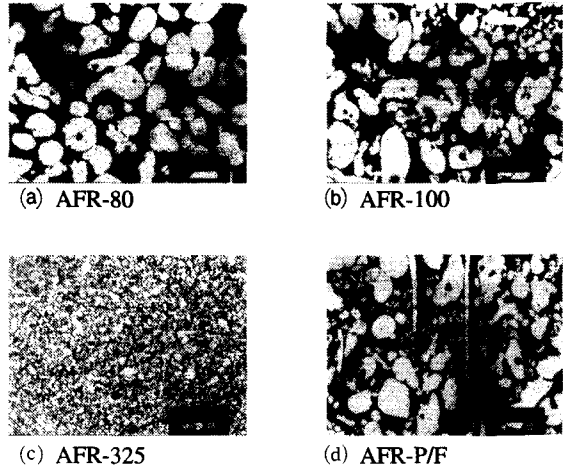


Fig. 9 Microstructure of final molds (× 100)

실리콘 고무형은 경화 시 온도차에 따라 수축, 팽창이 크기 때문에 이 영향을 배제하기 위해 실리콘 고무형의 경화 온도와 금속분말 혼합수지를 열풍 건조기 내에서 40℃로 일정하게 유지하였다. 각 측정 위치는 Fig. 10에 나타낸 것과 같고, 측정 오차를 줄이기 위해 최종 간이형의 표면에 선을 그어 표시한 후 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다.

Table 2에 최종 간이형의 수축률 측정 결과를 나타내었다. 각 표에서 측정치는 각 측정 위치별로 5군데를 측정하여 평균값으로 나타내었고, 정치는 광조형기로 제작된 마스터 모델의 치수이다.

Table 2를 보면, 분말 혼합량의 영향은 혼합량이 가장 많은 AFR-60%가 수축률이 가장 작으며, 그 수축률은 최소 0.119%로 나타났다. 이 결과를 통해, 분말 입도별 실험과 단섬유 혼합수지형에서의 혼합량을 60wt%로 결정하였으며, 수축률 등 기계적 특성 변화를 비교하기 위해 AFR-60%의 결과를 이용하였고, 이하 실험 결과의 AFR-100, AFR-P와 동일한 금속분말 수지형이다.

혼합분말 입도 측면에서는 혼합분말 입도가 작을수록 수축률도 작아진다는 것을 알 수 있다. 그리고, 본 실험에서는 가장 미세한 분말인 AAL-325를 혼합한 AFR-325형에서 수축률 0.091%로 가장 작은 결과를 얻었다.

단섬유 혼합 시 수축률은 최소 0.016%로 AFR-325의 0.091%보다 약 5배 작은 결과를 얻을 수 있었다. 이는 단섬유는 질량에 비해 그 부피가 상

Table 2 Shrinkage rate of final AFR molds

Materials		Exact value (mm)	Measured value (mm)	Shrinkage rate (%)
A	AFR-20%	63.75	63.41	-0.529
	AFR-40%		63.55	-0.314
	AFR-60%		63.67	-0.119
	AFR-80		63.64	-0.173
	AFR-100		63.67	-0.119
	AFR-325		63.69	-0.091
	AFR-P		63.67	-0.119
	AFR-P/F		63.74	-0.016
B	AFR-20%	120.00	119.33	-0.563
	AFR-40%		119.59	-0.344
	AFR-60%		119.73	-0.223
	AFR-80		119.70	-0.252
	AFR-100		119.73	-0.223
	AFR-325		119.75	-0.212
	AFR-P		119.73	-0.223
	AFR-P/F		119.88	-0.104

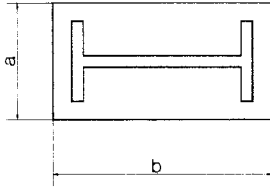


Fig. 10 Measured positions

당히 크기 때문이다.

이상의 수축률 측정 결과를 통해 수축률을 최소화하기 위해서는 분말의 혼합량은 가능한 높이고, 가능한 미세한 입도의 분말을 이용해야 한다.

3.4 인장 강도 및 연신율

인장 시험은 MTS Sintech 20/G 장비를 이용하여 0.02mm/sec의 속도 하에서 행하였다. 인장 시험편은 철삭으로 직경 6mm, 표점거리 28mm의 시험편을 제작하여, 이를 이용하여 실리콘 고무형을 만들고, 여기에 금속분말 혼합수지를 액상분말주조하여 제작하였다. 인장 강도와 연신율은 각 소재별로 3개씩의 인장 시험 후, 그 평균값을 취하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3에서 분말 혼합량 변화에 따른 결과를 보면, AFR-20%와 AFR-40%는 각각 38.0MPa,

41.0MPa 이었으며, 알루미늄 분말을 최대로 혼합한 AFR-60%가 가장 높은 43.0MPa로 측정되었다. 여기서, AFR-20%와 AFR-40%의 인장 강도가 낮은 것은 분말 혼합량이 적어 소재가 불균질한 상태가 되었기 때문이다. 또, AFR-60%는 분말 혼합량이 최대가 되어 액상분말이 균질 상태가 되었기 때문이다. 혼합 분말 입도 변화에 따른 결과는 가장 큰 분말인 AAL-80을 혼합한 AFR-80의 인장 강도가 46.0MPa로 가장 높게 나타났고, 연신율도 3.00으로 가장 크게 나왔다. 단섬유를 혼합한 AFR-P/F는 섬유강화플라스틱(FRP)과 같이 뛰어난 인장 강도 특성을 나타낼 것으로 예상하였으나, 31.0MPa로 알루미늄 분말 혼합수지들 중에서 가장 낮게 나타났다. 이는 파단면에서 단섬유들이 하중의 방향과 수평 방향으로 배열되어 있기 때문이다. 단섬유 첨가의 효과를 극대화하기 위해서는 한 방향으로 균일하게 배열되어야 하며, 본 실험에서는 임의로 단섬유를 혼합하였기 때문에 단섬유들의 배열이 균일하게 이루어지지 않아 인장 강도가 낮게 측정되었다.

Table 3 Results of the tensile test

Materials	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
AFR-20%	38.0	3.81
AFR-40%	41.0	3.43
AFR-60%	43.0	2.58
AFR-80	46.0	3.00
AFR-100	43.0	2.58
AFR-325	34.0	2.07
AFR-P	43.0	2.58
AFR-P/F	31.0	1.65

3.5 경도

각 금속분말 혼합수지들의 경도는 MICROMET 2100이라는 비커스 경도기로 측정하였다. 먼저, 각 간이형들을 장비에 장착 가능한 크기로 절단한 후, 표면연마 및 세정을 거쳐 시험편을 준비하여 경

도를 측정하였다. 각 소재별로 측정된 위치에 따라 경도값이 조금씩 차이가 났다. 그래서, 각 소재별로 일정 간격으로 5군데를 측정하여, 그 평균값을 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 11에서 분말 혼합량별 경도는 분말 혼합량에 따라 침전층이 나타났기 때문에, 침전층에 수직인 방향으로 일정 간격으로 5군데를 측정하였으며, 그 결과, 분말 혼합량이 증가할수록 경도가 증가하였다. 그러나, 측정 장비의 특성상, 약 5HV 정도는 오차로도 볼 수 있는 값으로, 분말을 혼합하면 경도가 증가하나, 그 혼합량에 따라서는 크게 차이가 나지 않은 것이다. 혼합분말 입도 변화에 따른 경도 측정값은 분말 혼합량별 실험의 경도와 마찬가지로 혼합분말의 입도가 다를 때, 경도의 차이가 나타나기는 하지만, 그 차이가 그다지 크게 나타나지 않았다. 이를 통해 분말 혼합수지형의 경우, 경도는 혼합분말이 입도에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 단섬유를 혼합한 AFR-P/F의 경도값이 38.3HV로 상대적으로 아주 크게 나타났다. 이는 단섬유의 성분이 Al 7075로 경도가 높은 소재이고, 경도 측정 시, 단섬유가 위치한 부분에서의 경도가 분말이 위치한 부분에서의 경도보다 더 크기 때문이다.

이상의 경도 측정을 통해, 경도는 수지에 금속 혼합물이 첨가되면 커지고, 그 혼합량과 혼합분말의 입도의 영향은 크게 받지 않으며, 단섬유를 혼합할 경우, 가장 크게 향상됨을 알 수 있었다.

3.6 표면 거칠기

표면 거칠기는 제작된 금속분말 혼합수지형이 간이형으로 적용될 때, 제품 표면의 상태가 되고, 여러 번의 전사 공정 시 어느 정도까지 면 상태가

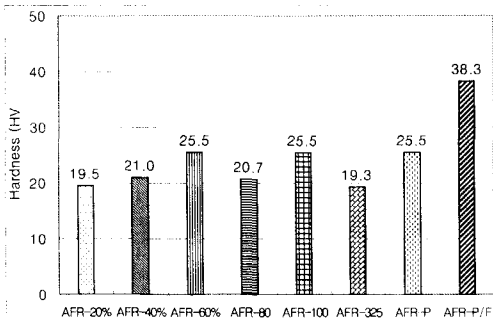


Fig. 11 Vickers hardness of final AFR molds

Table 4 Surface roughness of final AFR molds

(Unit : μm)	Ra	Rq	Rmax
Master model	0.040	0.051	0.20
AFR-20%	0.451	0.570	2.74
AFR-40%	0.322	0.388	1.80
AFR-60%	0.317	0.365	1.33
AFR-80	0.343	0.470	2.50
AFR-100	0.317	0.365	1.33
AFR-325	0.162	0.200	0.88
AFR-P	0.317	0.365	1.33
AFR-P/F	0.265	0.323	1.56

전사되는 지를 나타내는 척도가 되므로 중요한 값이다. 본 실험에서는 제작된 각 실험별 최종 간이형들 표면의 여러 위치에서 다양하게 측정하여 최소의 값을 표면 거칠기로 취하였으며, 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5를 통해 분말 혼합량별 측정 결과는 분말 혼합량이 가장 많은 AFR-60%에서 Ra는 0.317 μm , Rq는 0.365 μm , Rmax는 1.33 μm 로 가장 낮게 나타났다. 동일한 혼합량으로 입도가 다른 분말을 혼합할 경우, 입도가 작은 분말을 혼합할수록 표면 거칠기 특성이 향상됨을 알 수 있다. 또한, AFR-325의 Ra와 Rq, Rmax 전부가 가장 낮은 표면 거칠기 특성을 나타내는 것은 미세한 분말들이 엉기지 않고, 아주 잘 혼합되었음을 나타낸다. 단섬유가 혼합된 AFR-P/F는 Ra와 Rq는 표면 거칠기가 더 작지만, Rmax는 더 크게 나타났다. 이는 제작된 단섬유가 사용된 분말에 비해 길이가 상당히 길고, 크기가 크기 때문에 상대적으로 작은 분말들이 단섬유 사이사이를 채우는 효과는 나타났으나, 단섬유가 많이 모인 곳에서는 특별히 큰 표면 거칠기를 나타냈기 때문이다.

이상의 표면 거칠기 특성을 볼 때, 실리콘 고무형은 전사 특성이 아주 우수하며, 분말을 혼합한 경우에는 혼합량이 많을수록, 혼합분말의 입도는 작을수록 그 특성이 향상됨을 알 수 있었다. 그러나, 이러한 표면 거칠기 특성은 전사 공정을

통해 제작된 최종 간이형들의 결과이므로, 우선 최초에 제작된 마스터 모델의 표면을 다듬는 후가 공 작업이 가장 중요하다.

4. 형 제작 적용 예

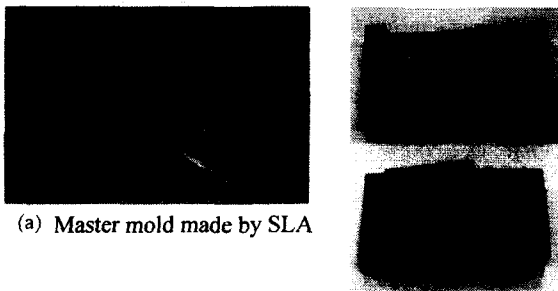
금속분말 혼합수지의 액상분말 주조를 통한 패속 형 제작 공정을 골프공 사출 금형과 터빈 블레이드와 브라운관의 모델 재료 실험용 금형의 제작에 적용하였다.

Fig. 12는 각각 골프공 간이형 제작에 이용된 마스터 모델인 실제 금형과 본 공정을 통해 제작된 최종 AFR 간이형 사진이다. 골프공 간이형의 제작은 본 공정을 통한 역추적 공학의 현실화를 보여주는 좋은 예이다. 이처럼 설계도가 없더라도 실제 제품이나 금형만 있으면, 전사 공정을 이용하여 금형이나 제품을 생산해 낼 수 있다. 또한, 골프공 금형은 표면에 딩플이 많아 기존의 절삭 가공으로는 생산하기 아주 어려운 금형으로 본 공정을 통한 제작 기간은 실리콘 고무형 제작 1일, 알루미늄 분말 혼합수지형 제작에 1일로 총 2일이었다.



(a) Real die(Master model) (b) AFR mold

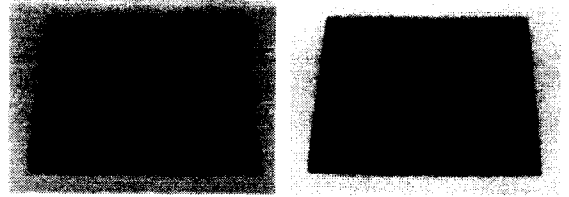
Fig. 12 Applied example 1 (golf ball mold)



(a) Master mold made by SLA

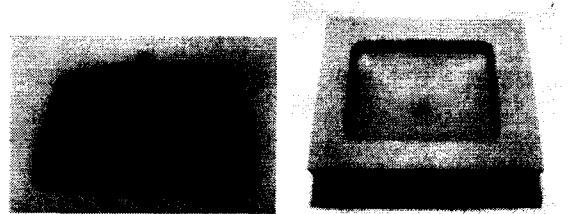
(b) AFR mold

Fig. 13 Applied example 2 (turbine blade mold)



(a) Mold shaped master model (b) AFR mold

Fig. 14 Applied example 3 (upper mold of CRT)



(a) Transferred shaped master model (b) AFR mold

Fig. 15 Applied example 4 (lower mold of CRT)

터빈 블레이드 간이형은 광조형기를 통해 금형 형상으로 Fig. 13(a)와 같이 제작되었다. 이는 실제 터빈 블레이드의 약 1/3 배 축소한 것이다. 광경화성 수지는 에폭시 수지 계열이기 때문에 모델 재료인 플라스틱인(plasticine)의 단조 실험에는 적용 가능하였으나, 연납(soft lead)의 단조 실험은 불가능하였다. 그 해결책으로 본 공정을 이용한 AFR 간이형을 제작하여 연납의 단조 실험을 수행하여 성형성과 성형 하중을 예측하는데 이용된다. 제작된 터빈 블레이드의 연납을 이용한 모델 재료 실험용 AFR 간이형의 사진을 Fig. 13(b)에 나타내었다.

Fig. 14는 각각 브라운관 상형 마스터 모델과 최종 AFR 간이형 사진이다. Fig. 14(a)의 마스터 모델은 먼저 허니 콤(honey comb)구조로 제작한 후, 에폭시 수지를 채운 것이다. 이는 터빈 블레이드 간이형의 마스터 모델 제작 시 가격이 상당히 비쌌기 때문에 가격을 줄이기 위한 방편으로 적용되었으며, 제작 가격을 절반 정도로 줄일 수 있었다.

브라운관 모델 재료 실험용 하형은 원래 오목 형상이지만, 이 오목 형상은 광조형 마스터 모델의 표면에 생기는 단차를 없애는 표면 다듬기 작업이 어렵기 때문에 Fig. 15(a)와 같이 볼록 형상으로 제작하였다. Fig. 15(a)의 마스터 모델 또한 허니 콤 구조로 제작한 후, 진공 주형으로 에폭시 수지를 채운 것이다. 이렇게 볼록 형상으로 제작된 마

스터 모델을 2 번의 실리콘 고무형 반전을 거친 후, 액상분말 구조하여, Fig. 15(b)와 같은 최종 AFR 간이형을 얻었다. 이처럼 실리콘 고무형을 2 번 반전하는 공정은 실제 제품을 가지고, 그 제품의 간이형을 제작하는 역추적 공학에 유용하게 적용될 수 있다.

이러한 적용 예를 통해, 절삭으로는 힘든 복잡한 형상을 가진 금형이라도 액상분말 구조를 통한 금속분말 혼합수지형 제작은 가능하고, 그 제작 기간도 3~4 일 정도로 아주 짧으며, 본 공정의 역추적 공학으로의 적용 방법을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 알루미늄 분말을 열 경화성 수지인 에폭시에 혼합하여 금속분말 혼합수지를 만들어 액상분말구조법에 적용하였다. 이 때, 분말의 혼합량과 입도의 변화에 따른 금속분말 혼합수지형의 기계적 특성 변화를 실험을 통해 조사하고, 탄성공구의 자력진동 현상에 의해 만들어지는 금속 단섬유를 본 공정에 적용하였다. 실험을 통해 제작된 금속분말 혼합수지형들의 수축률과 인장강도 및 연신율, 경도, 표면 거칠기를 측정하였다. 그 결과를 간략히 요약하면, 다음과 같다.

- (1) 수축률은 분말의 혼합량이 증가할수록, 혼합분말의 입도가 작아질수록 감소하여 AFR-325 에서 0.091%가 되었으며, 단섬유를 혼합한 AFR-P/F에서는 더욱 작아져 최소값인 0.016%로 나타났다.
- (2) 인장 강도는 분말이 많이 혼합될수록, 실험 범위 안에서 혼합분말의 입도가 클수록 향상되어 AFR-80 에서 최대인 46MPa 이었고, AFR- P/F에서는 단섬유의 불균일한 배열에 의해 순수 에폭시보다 낮은 31MPa 이었다. 단섬유 혼합의 효과를 키우기 위해 단섬유를 균일하게 배열하는 기술의 연구가 필요하다.
- (3) 연신율은 분말 혼합량이 증가할수록, 혼합분말의 입도가 작아질수록 저하되어 AFR-325 에서 2.07 이었고, 단섬유 혼합 시 더욱 줄어들었다.
- (4) 경도는 분말 혼합량이 증가하고, 단섬유를 혼합하면 향상되었으나, 그리 큰 차이는 나타나지 않아 분말 혼합량과 혼합분말의 입도 변화에 그리 영향을 받지 않았다.
- (5) 표면 거칠기는 분말의 혼합량이 증가할수

록, 작은 입도의 분말을 혼합할수록 작아져 AFR-325 에서 Ra 가 0.162 μm 였으나, 단섬유 혼합 시에는 오히려 특성이 저하되었다.

이상의 결과를 토대로 액상분말 구조법을 통해 제작된 금속분말 혼합수지형은 생산 현장에서 저압사출, 블로우 성형, 정밀구조를 위한 왁스형 사출용 금형과 박판성형의 펀치 등과 연구 목적으로의 모델재료(plasticine or 연납) 시험용 금형에 적용 가능할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. C. Martin Schuster, "3D LASER DIGITIZING SYSTEMS IN REVERSE ENGINEERING APPLICATIONS," ASME, The 4th International Conference on R/P, pp. 153~158, 1993.
2. G. Godin, P. Boulanger, M. Rioux, "DIRECT REPLICATION OF OBJECTS USING 3-D GEOMETRIC IMAGING AND RAPID PROTOTYPING," ASME, The 4th International Conference on R/P, pp. 159~168, 1993.
3. T. Nakagawa, 정해도, 적층조형시스템 3 차원 카피 기술의 신전개, 성안당, 서울, pp. 101~114, 1998.
4. K. Suzuki, T. Uematsu and T. Nakagawa, "Influence of Manufacturing Conditions on the Fiber Formation Region in Chatter Machining," Studies on Development of Advanced Materials, No. 6. pp. 71~78, 1991.