

<기술논문>

쾌속 3차원 조형법을 이용한 시작기술 및 시작금형 제작기술 개발

박 근* · 이상찬* · 정준호* · 양동열** · 윤재륜***

(1995년 11월 18일 접수)

Development of Prototyping and Die/Mold Manufacturing Technology using Rapid Prototyping (SLA)

Park, K., Lee, S. C., Jung, J. H., Yang, D. Y. and Yoon, J. R.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속 3차원 조형법), SLA(3차원 형상 인쇄술), Die/Mold Technology(금형기술), Investment Casting(인베스트먼트 주조), Injection Molding(사출 성형), Die Casting(형주조)

Abstract

Rapid prototyping is a new prototyping technology which produces three dimensional part models directly from CAD data and has been extensively applied to various manufacturing processes. There are many types of rapid prototyping systems due to their building principles and materials. In this work, Stereolithography Apparatus(SLA) which is the most widely-used rapid prototyping system is introduced to achieve die/mold technology innovation. For the purpose, the prototyping technology using SLA is developed such that patterns of which shapes are quite complicated are successfully produced with high accuracy. Using these patterns, prototype die/molds are efficiently manufactured; a turbocharger rotor, a fan and a wheel pattern are made, and the molds of the investment casting, the injection molding and the die casting are manufactured respectively. The casting products are produced using these molds, and it turns out that these methods are quite effective for manufacturing products of complicated geometry from the viewpoint of efficiency and productivity.

1. 서 론

금형은 소성가공, 주조, 사출성형 등 많은 생산 분야에서 핵심적인 요소이며 급격한 산업발전과 소비자들의 욕구의 다양화로 제품의 주기가 짧아짐에 따라 보다 신속한 금형제작기술이 요구된다. 현재

대부분의 금형은 CAD/CAM에 의한 NC 가공으로 제작된다. 그러나 복잡한 3차원 형상의 경우 CAD 모델로부터의 NC 데이터 생성과정 및 곡면가공 등에는 많은 시간이 소요된다. 본 연구에서는 이러한 문제점에 직면하여 금형의 생산성을 높이고 다 품종 소량생산에 효과적으로 대처하기 위한 방안으로 쾌속 3차원 조형법(rapid prototyping; RP)을 사용한 금형제작기술을 개발하고자 한다.

쾌속 3차원 조형법은 3차원 형상의 제품을 높이에 따른 2차원 단면 데이터로 분할하여 각각의 단

*한국과학기술원 기계공학과

**회원, 한국과학기술원 기계공학과

***회원, 서울대학교 섬유고분자공학과

면을 제작하고 이를 적층함으로써 원하는 형상의 제품을 생산하는 시작품 생산방식이다. 초기의 쾌속 3차원 조형법은 제품의 형상 검증이나 조립성 평가 등의 목적으로 개발되었으나 점차적으로 각종 금형 설계를 위한 시작품 제작에 응용되고 있으며, 나아가서는 기능성 재료를 사용한 실제품 제작에도 사용되고 있다.⁽¹⁾ 쾌속 3차원 조형법에는 사용 재료와 적층 방식에 따라 여러가지 공정이 개발되어 있는데 본 연구에서는 이중 세제적으로 가장 널리 사용되고 있는 SLA(stereolithography apparatus)를 사용하였다.

SLA는 특정 파장의 빛에 노출되면 액체상태에서 고체상태로 경화되는 광경화수지(photosensitive polymer)와 레이저를 사용하여 원하는 형상을 제작하는 방법이다. 이는 1981년 미국 3D systems社에 의해 개발된 이후 실용화 연구를 거쳐 1988년에 본격적으로 보급되어 현재 세계적으로 10여개의 회사에서 제작된 500여개의 장치가 보급되어 있다. 본 연구에서는 한국금형기술 주식회사에서 보유하고 있는 SLA 500 시스템(3D systems社 제품)을 사용하였다.

현재 미국, 일본 등의 선진국에서 SLA를 응용하여 자동차, 전자, 항공업, 의학 등 각종 분야에서 다양한 기술개발에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다.^(2,3) 최근들어 국내에서도 SLA 시스템 개발 및 이를 응용한 금형제작기술 개발과 관련된 연구가 진행되고 있으며,⁽⁴⁻⁷⁾ 이러한 추세는 앞으로도 계속될 전망이다. 본 연구에서는 SLA 시스템을 응용한 시작품제작기술과 정밀도 향상, 구조 및 사출성형 금형제작기술 개발의 적용에 관한 연구를 진행하였다.

2. SLA 시작품의 제작 공정

2.1 SLA 시스템의 원리

SLA는 레이저 및 컴퓨터, 광경화수지를 응용한 일종의 3차원 인쇄장치로 그 기본 원리는 원하는 3차원 형상의 단면을 높이에 따라 적층하여 입체 형상을 만든다는 점이다.⁽⁸⁾ 여기서 광경화수지는 특정 파장의 레이저에 노출되면 액체상태에서 고체상태로 경화되는 특성을 갖고 있다. 원하는 제품의 형상을 CAD 시스템에서 3차원적으로 모델링하고 이를 무수히 많은 얇은 층의 형태로 분할하여(소프트웨어적으로 가능) 분할된 단면정보에 따라 광경

화수지를 적층하여 원하는 형상의 제품을 제작한다. 여기서, CAD 시스템은 SDRC社의 I-DEAS Solid Modeling을 사용하였으며, SLA의 표준 입력화일인 STL 화일의 작성을 위해서는 대상 제품을 3차원 입체(object)로 표현해야 한다.

Fig. 1의 (a)는 SLA 시스템의 기본 구성을 나타낸다. 용기 안에는 액상의 광경화수지가 담겨 있고 수직으로 이동가능한 테이블이 경화된 수지를 지지해주며 적층과정에 따라 높이를 변화시켜 준다. 한편 상부의 레이저는 X-Y 평면내에서 단면의 형상에 따라 이동해가며 표면의 수지를 경화시킨다. Fig. 1의 (b)는 광경화성 수지의 적층과정을 보여주고 있다. 우선 테이블이 한 층의 두께(레이저에 노출되었을 때 경화되는 길이, 약 0.1~0.5 mm)만큼 아래로 이동하고 레이저가 상응하는 단면 형상에 따라 수평이동을 하며 한 층의 경화가 완성된다. 그 다음에 테이블이 한 층의 두께만큼 아래로 이동하고 전단계에서 경화된 수지 위에 새로운 단면이 경화되어 적층된다. 이러한 일련의 과정을 계속 반복해가며 원하는 3차원 형상의 제품이 완성된다.

2.2 SLA 시스템의 특징

이러한 SLA 시스템은 기존의 기계가공에 의한 제품 제작과정과 비교해볼 때 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- (1) 공구가 들어갈 수 없는 복잡한 내부구조를 가진 제품도 한번의 공정으로 신속하게 제작할 수 있다.
- (2) 2축반(半)의 제어로 구동되기 때문에 장치의 구조가 상대적으로 간단해진다.

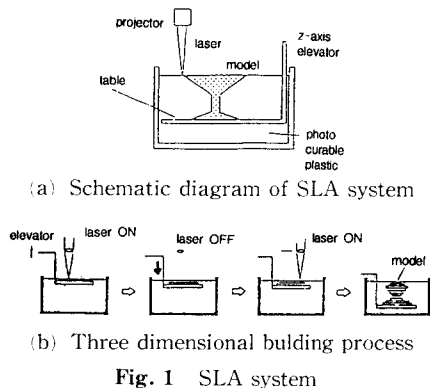


Table 1 Material property of the resin (XB5154)

Tensile strength	35 N/mm ²
Tensile modulus	1100~1200 N/mm ²
Elongation at break	11~19 %
Impact strength	20~25 kJ/m ²
Hardness	78 Shore D
Glass transition temperature	83°C

(3) 비접촉 가공이므로 공구의 교환 및 관리가 필요없어 야간 무인 운전이 가능해진다.

(4) 결삭칩이 발생하지 않고 소음이 없기 때문에 사무실 환경에서도 작업이 가능하다.

(5) 기계 조작에 관한 전문지식이 필요없어 순위 온 조작이 가능하다.

그러나 레이저를 사용함에 따라 장비가 비싸다는 단점이 있고 경화된 수지의 수축 및 변형, 표면의 계단형상 등에 의한 정밀도의 저하 등 제품 제작에 적용하기 위해서는 극복해야할 문제점이 남아있다. 다음 장에서는 이러한 관점에서 시작품의 정밀도 향상에 관한 내용을 언급하도록 하겠다.

2.3 광경화성수지의 특성

광경화성수지는 특정 파장의 빛을 받게 되면 액체에서 고체로 경화되는 특성이 있다. 특히 빠른 속도의 레이저를 받으면 빛에 노출된 부분만 굳어지고 노출되지 않은 부분은 액체로 남아 재사용이 가능하며 노출시간, 빛의 주사속도, 재료의 특성 등에 따라 경화되는 길이의 조절이 가능하다.⁽⁹⁾ 또한 층과 층 사이에 우수한 접착력이 있어 층을 쌓아 3차원 형상을 만들기가 용이하다. Table 1에는 본 연구에서 사용한 광경화성수지(Resin XB5154)의 물성치를 나타내었다. 이는 아크릴계열의 수지로 경화시 변형이 적고 비교적 기계적 성질 및 가공성이 우수하여 금형제작을 위한 시작품 제작으로의 사용이 적합하다고 판단된다.

3. SLA 시작품의 정밀화기술 개발

모든 패속 3차원 조형법에서 공통적으로 발생되는 문제점이 바로 시작품의 정밀도 문제이다. SLA의 경우도 각 단면을 제작하고 적층하는 과

정, 후경화과정에서 수축과 휨이 발생하여 제품의 치수가 원하는 CAD 데이터와 오차가 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 유한요소해석에 의한 시작품의 변형예측과 이에 따른 오차 보정방식을 통해 제품의 정밀도를 향상시키기 위한 연구를 진행하였다.

3.1 형상변형의 유한요소해석⁽⁸⁾

레이저에 의해 경화되는 광경화성수지의 수축을 보사하기 위해 열변형률 개념을 도입하여 수지의 방향에 따른 수축률을 열변형률로 가정하였다. 해석시 사용한 지배방정식은 다음과 같다.

$$-\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_k} = \rho f_i, \quad \text{in } \Omega \quad (1)$$

이때 변위-변형률 관계식과 응력-변형률 관계식은 각각 다음과 같다.

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{ij} + u_{ji}), \quad \text{in } \Omega \quad (2)$$

$$\sigma_{ij} = -\beta_{ij}(T - T_0) + E_{ijkl}\epsilon_{kl}, \quad \text{in } \Omega \quad (3)$$

여기서,

$$E_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk})$$

$$\beta = k \alpha \delta_{ij}, \quad k = \lambda + \frac{2}{3} \mu$$

$$\lambda = \frac{E\mu}{(1-2\nu)(1+\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

이며 위 식을 유한요소 수식화하여 사용하였다. 이때 광경화성수지의 경화는 아랫부분부터 윗쪽으로 진행되므로 각 층의 수축해석을 순차적으로 진행하여 경화물의 잔류응력 및 플랫폼 분리시의 변형을 예측하였다. 한편 후경화과정을 살펴보면 외부에서 내부로 순차적으로 경화가 이루어지므로, 외부에 열 흡수체가 있는 것으로 간주하여 매 시간간격마다 절점의 온도를 계산하여 각 시간간격의 온도차를 열응력해석에 이용하였다. 지배방정식은 다음과 같으며 이를 유한요소 수식화하여 사용하였다.

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + f \quad (4)$$

해석은 축정의 용이성을 위해 Fig. 2와 같이 준 2차원적인 형상에 대해 진행하여 실제 변형형상과 비교하였다. Fig. 3에 제품의 높이에 따른 변위에 대해 해석결과와 실험결과를 비교하였다. 여기서 해석결과에 의한 변위가 상대적으로 약간 낮게 평

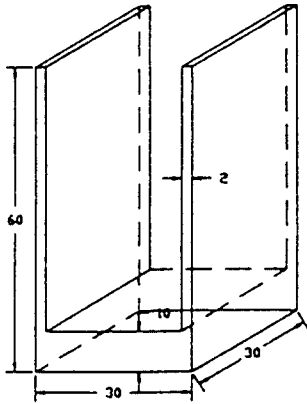


Fig. 2 Test model (channel shape)

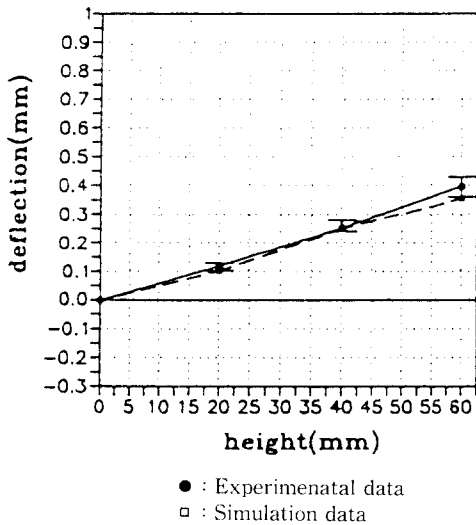


Fig. 3 Deflection of a channel w.r.t height

가되었으나, 오차의 양을 고려해볼 때 타당한 결과가 얻어졌다고 보여진다.

3.2 형상오차의 보정

앞절에서 언급한 바와 같이 경화과정의 유한요소 해석을 통해 시작품의 변형에 의한 형상오차를 예측할 수 있었다. 본 연구에서는 예측된 형상오차를 초기 제품의 설계에 반영하기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다. 우선 해석 혹은 실제 제작으로 얻어진 제품의 형상을 기존의 CAD 데이터와 비교하여 형상오차를 정의하고, 이것을 역으로 보정하여 제품의 설계를 수정해준다. 이러한 방법은 특히

고정밀도의 제품 제작시에 원하는 정밀도에 도달할 때까지 반복적으로 적용이 가능하다.

제안된 방법의 유용성을 평가하기 위해 Fig. 2의 제품 제작에 적용해 보았다. Fig. 4의 (a)는 경화 후 변형된 단면의 형상이고, (b)는 (a)의 변형오차를 역으로 보정하여 수정한 형상이다. 이때 변형 형상을 쉽게 구분하기 위해 변위를 5배로 과장하여 도시하였다. Fig. 5에 각각 초기 형상 및 Fig. 4의 (b)와 같이 수정된 설계안을 사용하여 제품을 제작하였을 때의 단면의 변위를 비교하였다. 수정된 설계에 의해 제작된 제품의 경우 오차가 1/10 이상으로 감소하여 성공적인 오차보정이 이루어졌음을 알 수 있다.

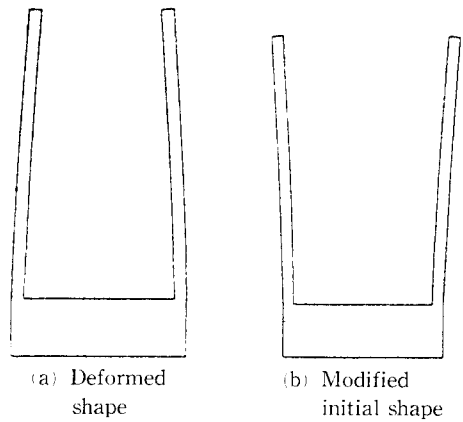


Fig. 4 Shape of each cross-section

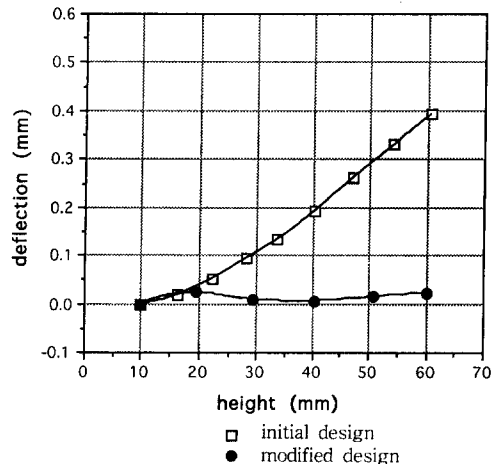


Fig. 5 Comparison of deflection

4. SLA 시작품을 이용한 금형제작

본 연구에서는 SLA 시작품을 원형(pattern)으로 사용하여 인베스트먼트 주조와 사출성형, 형주조의 3가지 공정에 대해 금형을 제작하고 제품을 생산함으로써 제안된 방법으로 제작된 금형의 실용성을 검증하였다. 각 공정에 대한 금형제작과정과 SLA 시작품의 응용방법도 다음과 같다.

4.1 인베스트먼트주조

인베스트먼트주조(investment casting)는 한개의 왁스원형(wax pattern)에서 하나의 주조품만이 만들어지므로 대량생산에는 불적합이 있으나 기계가공으로 성형하기 어려운 매우 복잡한 형상을 정밀하게 제작할 수 있어 다품종 소량생산에 장점을 갖는 주조법이다.⁽¹⁰⁾ 본 연구에서는 SLA로 제작한 원형으로 마스터 몰드(master mold)를 제작하고 이를 사용하여 왁스원형을 제작하고 로스트 왁스법을 이용한 인베스트먼트 주조에 응용하였다. 예제로서 기하학적 형상이 복잡한 3차원 곡면으로 이루어져 있어 가공이 어려운 자동차용 터보차저 로터(turbocharger rotor)를 선정하였다.

Fig. 6은 터보차저 로터의 3차원 CAD 모델링으로 이를 사용하여 SLA 시작품을 제작하였다. Fig. 7은 SLA 시작품을 원형으로 사용하여 실리콘 고무로 제작한 마스터 몰드를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 형상이 복잡하여 여러 개의 파팅라인이 존재하기 때문에 여타의 방법으로는 금형제작이 상당히 어려워진다. Fig. 8은 SLA를 이용한 인베스트먼트 주조의 순차적인 모습을 나타낸 것이다.

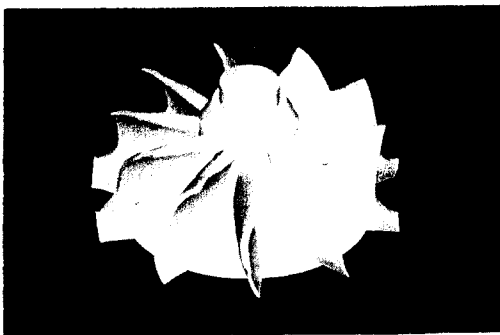


Fig. 6 CAD modeling of turbocharger rotor

(a)는 제작된 SLA 시작품, (b)는 표면의 단층을 제거하기 위하여 표면처리한 제품, (c)는 실리콘 고무로 만든 마스터 몰드에 의하여 만들어진 왁스 모형이고 (d)는 인베스트먼트주조에 의하여 최종적으로 얻어지는 주조품(재질: cast iron)이다. 이와 같이 복잡한 형상의 시작품을 SLA로 신속하게 제작하고, 이를 사용하여 기계가공으로는 만들기 어려운 터보차저 로터를 성공적으로 제작할 수 있었다.

4.2 사출성형 (injection molding)

대상 제품으로 표면이 3차원 곡면으로 이루어져 기계가공이 어려운 팬(fan)을 선정하였다. 우선 SLA를 사용하여 원형을 제작하고 표면처리를 수행한다. 그리고, 제작된 원형과 경화된 에폭시형의 분리를 위한 분할판을 특정한 틀 속에 고정시키고 알루미늄 분말을 80% 첨가한 에폭시수지를 주입한 후 일정 시간동안 경화시킨다. 이어서, 경화된 수지를 분리하여 원형을 제거하고 후가공과 몰드 베

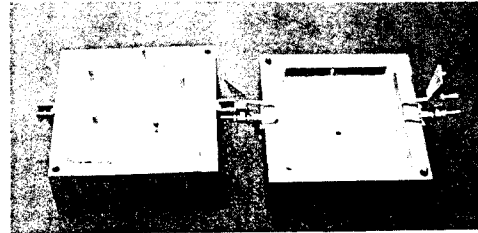
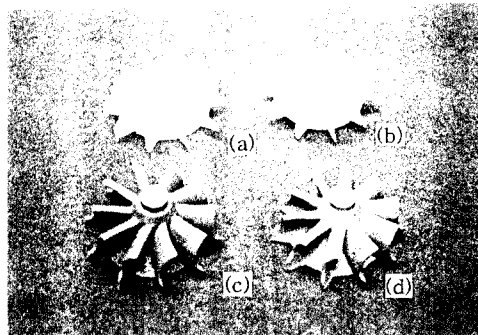


Fig. 7 Silicon rubber master mold



(a) SLA prototype
(b) Prototype with surface treatment
(c) Wax master from silicon rubber mold
(d) Final casting product

Fig. 8 Products at each process (investment casting)

이스와의 결합작업을 통하여 최종 금형을 제작한다. 여기서, 알루미늄 분말을 혼합하여 사용하는 이유는 에폭시 자체의 강도를 증가시켜 높은 사출압력과 고경압력에 충분히 금형이 견디게 하여 금형의 수명을 늘리기 위함이다. 또한, 사출공정시에 금형에 사출할 수지가 금형과의 열전달현상에 의하여 온도가 떨어지면서 고화가 일어나는데, 순수 에폭시는 열전달계수가 작은 이유로 고화가 지체되어 생산성이 떨어지게 되므로 에폭시의 열전달계수를 높이기 위하여 알루미늄 분말을 혼합하여 사용하게 된다.

Fig. 9의 (a)는 금형의 상향판을, (b)는 하향판을 나타낸다. Fig. 10은 제작된 금형으로 몰드 베이스는 금속으로 제작되고, 알루미늄 분말이 첨가된 에폭시 수지로 제작된 인서트에 중앙에 위치하게 된다. 캐비티 부분은 중앙에 위치한 인서트에만

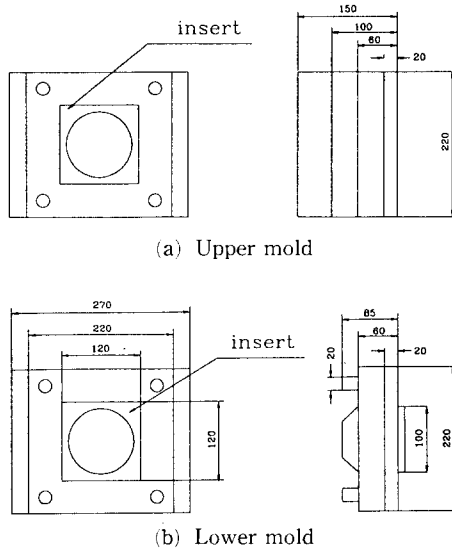


Fig. 9 Schematic diagram of injection mold



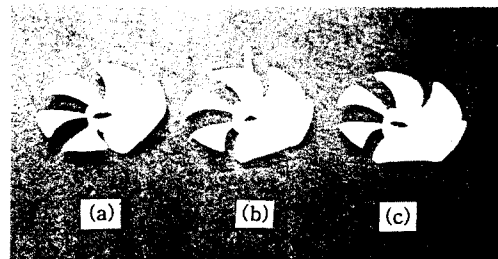
Fig. 10 Epoxy mold with aluminum powder

존재하기 때문에 이 부분만을 교체함으로써 용이하게 다른 형상의 금형제작이 가능하다. 그리고, 본 연구에서 제작한 금형은 연구를 목적으로한 소량의 사출품을 생산하기 위하여 설계되어졌기 때문에 이젝트 핀과 냉각라인은 설계에서 제외되었다.

Fig. 11의 (a)는 SLA 시작품에 표면처리를 한 형상이다. 본 연구에서는 사출용 고분자 수지로 폴리프로필렌을 사용하여 실험하였는데 (b)는 이러한 사출실험을 통하여 제작된 스프루와 런너를 포함한 사출품의 형상이다. 런너와 게이트는 상단 중앙에 4개가 위치하고 스프루는 그의 중앙에 위치하고 있음을 볼 수 있다. 또한 (c)는 런너와 스프루를 제거한 최종 제품의 형상이다. 본 사출실험조건을 살펴보면, 우선 에폭시 금형의 유동성이 금속 금형에 비하여 떨어지고, 냉각라인이 없기 때문에 금형의 온도가 상온인 상태에서 사출이 행해져 수지의 점도가 증가되는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고분자 수지의 사출온도를 기존의 사출온도보다 증가시킨 300℃로 하여 수지의 유동성을 증가시켰다. 그리고, 알루미늄 분말이 포함된 에폭시 금형의 강도가 금속에 비하여 떨어지므로 사출압력을 상대적으로 낮게 조정하여 사출실험을 행하였다. 제안된 방법에 의한 사출실험 과정, 제품 제작시간, 최종 사출품의 형상 및 정밀도 등 여러가지 측면에서 볼 때 기존의 사출성형공정에 비해 손색이 없는 만족스러운 결과를 보였다고 사료된다.

4.3 형주조 (Die Casting)

대상 제품으로는 자동차용 알루미늄 휠을 제작하였다. 알루미늄 휠은 분할금형을 사용하여 주조공



(a) SLA pretotype with surface treatment
(b) Molding product (with sprue and runner)
(c) Final molding product

Fig. 11 Products at each process (injection molding)

정을 거쳐 생산되며, Fig. 12에 이러한 공정의 개략도를 나타내었다. 제작 공정은 금형내에 용융된 액상의 알루미늄 합금 재료를 주입한 후 외부의 가압 없이 중력을 이용한 저압주조로써 이루어진다. 주입후 금속의 온도가 낮아짐에 따라 액상의 금속이 고화되면 상부금형과 측면금형이 분리되고 제품을 제거하게 되는데, 이때 측면금형은 원주방향으로 몇개의 조각(segment)으로 분할되어 있는 상태이며 안내봉을 따라 상방향으로 비스듬히 이동하며 분리된다. 이중 상부금형과 측면금형은 축대칭 형상으로 형상이 균일화되어있고, 기계가공으로 손쉬운 제작이 가능하나 하부금형은 형상이 복잡한 3차원 형상으로 이루어져 있어 가공이 어렵다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 SLA 시작품을 이용하여 하부금형을 제작하고 상부금형과 측면금형은 기계가공(CAM)으로 제작하여 공정을 수행하고자 한다.

하부금형의 제작공정은 다음과 같다. 우선 CAD 모델링을 통해 SLA 시작품을 작성한다. Fig. 13과 Fig. 14에 각각의 형상을 나타내었다. 제작된 시작품을 원형으로 사용하여 바보를 응용한 흑연전극 제작공정인 하우스먼 공정(Hausermann abrading

process)을 거쳐 방전가공을 위한 흑연전극을 제작하게 되는데 이러한 과정을 간단히 설명해보면 다음과 같다.

우선 SLA 시작품을 사용하여 음각의 숫돌수지를 제작한다. 여기서 숫돌수지는 예복시계열의 고분자수지에 숫돌입자(silicon carbide; SiC)를 혼합하여 제작한다. 숫돌수지가 완성되면 이를 미세한 진동(약 0.25~0.8 mm)으로 요동시켜 흑연전극을 연마 가공함으로써 원하는 형상으로 제작한다. 이를 사용하여 방전가공을 통해 제품의 하부금형을 제작하게 된다. 이때 방전가공후의 흑연전극은 마모로 인해 정밀도가 저하되므로 재드레싱(redressing) 과정이 필요하게 되는데, 마모된 전극은 다시 하우스먼 공정을 응용함으로써 신속한 재드레싱이 가능해진다. Fig. 15는 이러한 공정을 거쳐 제작된 숫돌수지, 흑연전극, 하부금형, 주조품이다. 이러한 일련의 공정은 기존의 CAD/CAM 기술과 SLA

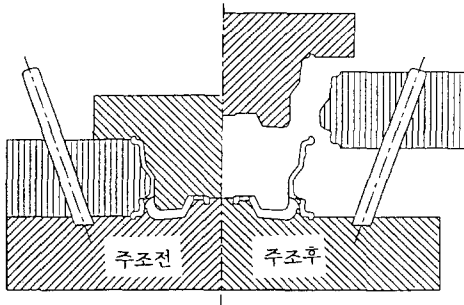


Fig. 12 Schematic diagram of the die casting



Fig. 13 CAD modeling of aluminum wheel

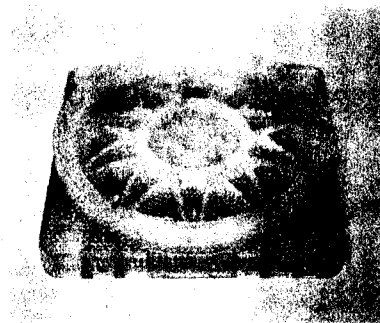
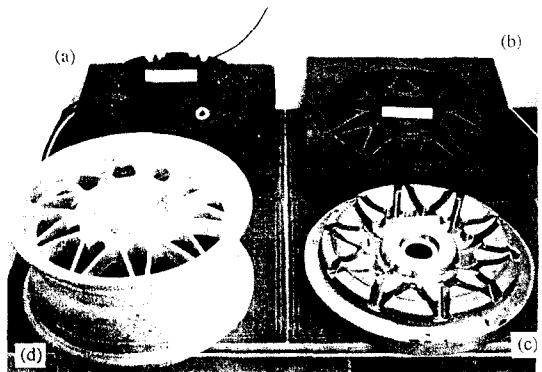


Fig. 14 SLA master for lower die



(a) Abrading die (b) Graphite electrode (c) Lower die (d) Casting product

Fig. 15 Products at each process (die casting)

응용기술을 복합적으로 적용하여 복잡한 형상의 금형 제작의 제작시간 및 경제적인 측면에서 성공적인 시도라고 판단된다.

효율적인 금형 생산이 가능할 것으로 전망된다.

후 기

5. 결 론

본 연구에서는 쾌속 3차원 조형법을 이용한 금형 제작기술을 개발하기 위해 SLA 시스템을 도입하였고 이를 사용한 시작품제작기술을 개발하였으며, 제작된 시작품을 사용하여 주조 및 사출성형용 금형을 제작하고 제품을 생산함으로써 제작된 금형의 타당성을 입증하였다. 이러한 연구 결과를 종합적으로 정리해보면 다음과 같다.

(1) SLA 시스템을 도입하여 기본 원리 및 특성을 고찰하고 기계가공으로 제작하기 어려운 복잡한 형상의 제품을 3차원 CAD 모델로부터 신속하게 제작할 수 있는 시작품 제작기술을 개발하였다.

(2) 유한요소해석을 사용하여 경화후의 시작품의 변형을 예측하였고, 이에 따른 오차 보정 방식을 제안하여 제품의 실제에 반영함으로써 제안된 방법의 타당성을 검증하였고, 제품의 정밀도를 향상시켰다.

(3) SLA를 사용하여 형상이 복잡해서 기계가공이 어려운 터보차저로터의 원형을 제작하였고, 이를 사용하여 실리콘고무 마스터 볼드를 제작함으로써 인베스트먼트 주조에 응용하였다.

(4) 캔의 시작품을 SLA를 사용하여 제작하였고 이를 원형으로 사용하여 에폭시수지와 알루미늄 분말을 혼합한 사출성형용 금형을 제작하였으며 이를 사용하여 실제 사출품을 성공적으로 생산할 수 있었다.

(5) 알루미늄 휠의 형주조 공정을 위한 분할금형 중 형상이 복잡한 하부금형만을 SLA 시작품을 응용한 하우저만 공정으로 신속하게 제작하였고, CAM에 의해 제작된 나머지 금형과 함께 사용하여 효율적으로 공정을 수행하였다.

이와 같이 SLA 응용기술을 금형의 설계와 생산에 직, 간접적으로 적용할 수 있으며 이러한 적용이 기존 공정의 난점을 보완, 개선할 수 있어 보다

본 연구는 한국과학재단, 국민은행과 한국금형기술(주)의 자금 및 장비를 지원받아 수행된 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 中川威雄, 1995, "레퍼드 프로토타이핑," 型技術, Vol. 8, No. 2, pp. 25~33.
- (2) 丸谷洋二, 1992, "광조형 시스템의 기초, 현황, 문제점," 型技術, Vol. 5, No. 12, pp. 2~7
- (3) Deitz, D., 1992, "Stereolithography Automates Prototyping," *Mechanical Engineering*, Vol. 112, Feb., pp. 34~43
- (4) 이우중, 홍유석, 이용한, 1993, "신속시작체제 정립 방안," 대한기계학회지, 제33권, 제4호, pp. 297~310
- (5) 박 근, 신민철, 양동열, 조종래, 김중수, "SLA 시금형을 이용한 터빈 블레이드 단조공정의 모델실험," 한국소성가공학회 '95년 춘계학술대회논문집, pp. 71~77
- (6) 이정훈, 이견우, "SLA를 이용한 신속 시작작업에서 최적 성형방향의 결정," 한국정밀공학회 '95년 춘계학술대회논문집, pp. 552~558
- (7) 홍삼열, 김준안, 김인훈, 양남열, 이원정, "Stereolithography의 조형정보 생성에 관한 연구," 한국정밀공학회 '95년 춘계학술대회논문집, pp. 440~444
- (8) 이정현, 1994, "삼차원 입체 인쇄 성형물의 변형모사에 관한 연구," 석사학위논문 한국과학기술원
- (9) Reisner, A., 1989, *Photosensitive Polymer*, John Wiley & Sons, New York
- (10) DeGarmo, Black, Kohser, 1990, "*Materials and Processes in Manufacturing*," Macmillan Publishing Company