

# SLS 조형품을 이용한 수지형 블로우 몰드 제작 및 시작차 부품성형에 관한 연구

양화준\*, 황보중\*, 이석희\*\*

## A Study on Manufacturing Resin-based Blow Mold using SLS Parts and Forming Prototype-car Parts

Hwa-Jun Yang\*, Po-Jung Hwang\* and Seok-Hee Lee\*\*

### ABSTRACT

Rapid Prototyping(RP) models are no longer used only for design verification. Currently, parts built utilizing layer manufacturing technology can be employed as functional prototypes and as patterns or tools for different manufacturing processes such as vacuum casting, investment casting, injection molding, precise casting and sand casting. This trend of Rapid Prototyping application meets the requirement of concurrent engineering and its range covers a more spreaded area. The aim of this paper is saving the manufacturing lead time and cost of plastic parts having hollow space shapes used by prototype-car. Using rapid prototype patterns, made by the Selective Laser Sintering(SLS) technique, a new approach of manufacturing resin-based blow mold is discussed. It has a great potential for making prototype-car parts with the batch size of under 200 parts, in case of rapid modification due to a subsequent design changes in developing stage. So, the process proposed in this research shows reduction of process time and manufacturing cost when compared with the conventional process such as a Zinc Alloy for Stamping(ZAS) mold.

**Key Words** : Rapid prototyping(쾌속조형), Concurrent engineering(동시공학), Selective laser sintering(선택적 레이저 소결법), Blow mold(블로우 형).

### 1. 서론

현재 소품종 대량생산에서 다품종 소량생산으로 변화된 산업구조에서 제품 개발 사이클을 감소시키고, 특히 시작단계에서의 개발비를 절감하기 위해서 쾌속조형(Rapid Prototyping : RP)의 적용은 점차 확대 되어가고 있다.<sup>(1)</sup>

쾌속조형의 일반적인 성형원리는 3차원 형상데이터를 성형방향에 대한 2차원 단면데이터로 근사화 한 후 파트를 아래층부터 적층시켜 3차원 형상으로 성형하는 것이다. 대표적인 프로세서로는 광경화수지에 레이저빔을 주사하여 적층 조형하는 방식의 Stereolithography Apparatus(SLA), 분말성 재료에 레이저빔으로 선택적으로 열을 가하여 소결시켜

\* 부산대학교 대학원

\*\* 부산대학교 기계공학부 및 기계기술연구소

조형하는 방식인 Selective Laser Sintering(SLS), 가는 노즐로 왁스나 수지를 압출하여 가는 선모양으로 수지를 고화시키면서 면상으로 주사시킴으로 적층 조형하는 Fused Deposition Modeling(FDM), 종이나 시트 재료를 단면 데이터에 의거하여 절단하고 차례대로 접합하여 적층시키는 Laminated Object Manufacturing(LOM) 등이 있다.<sup>(2)(3)(4)</sup>

초기 단순히 3차원 형상 데이터의 확인에 적용했으나, 지속적인 기술발전에 힘입어 표면정도와 치수정밀도가 향상됨에 따라 소수 시작품의 제작 및 검사, 진공주형(Vacuum Casting), 실리콘 주조(Silicone Casting), 에폭시 주조(Epoxy Casting), 사형 주조(Sand Casting)의 원형모델, 정밀주조(Investment Casting)의 패턴 등과 같이 쾌속형(Rapid Tooling) 제작에 활용되고 있다.<sup>(1)(5)(6)(7)(8)(9)</sup>

이와 같은 RP의 응용 경향은 시제품 개발시의 동시공학(Concurrent Engineering)적인 요구를 만족시키고 있으며, 최근 직접 RP 프로세스를 이용한 다양한 형 제작과 RP 파트를 이용한 쾌속형 제작에 관한 연구들이 보고되어지고 있다.

SLS 프로세스의 경우에는 사용분말의 범위를 폴리머에서 폴리아미드가 코팅된 구리 분말이나, 금속분말로 확대하여 이를 적층 조형 시킨후 바로 사출성형용 형이나, 인서트등의 이용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(10)(11)(12)(13)(14)</sup>

Palmer 등<sup>(15)</sup>은 SLA의 셀구조 조형품에 알루미늄 혼합에 에폭시 수지를 침투시켜 사출성형용 형제작시의 설계법을 실험적으로 연구하였고, Yarlagadda 등<sup>(16)</sup>은 절삭가공으로 가공하기 어렵고 형상이 복잡한 금형을 SLA로 제작하여 마스터 모델로 삼고 실리콘 주조와 전기주조법(Electroforming)를 이용하여 방전가공(Electric Discharge Machining) 용 전극(Electrode)을 제작하여 방전가공으로 형(Tool)을 제작하였다. Masood 등<sup>(17)</sup>은 FDM 프로세스에 금속과 폴리머의 혼합소재를 사용하여 사출성형용 형을 제작하였다.

본 논문에서는 설계 변경에 따라 신속한 수정이 요구되고 200개 이하의 소량생산이 주를 이루는 시작차(Prototype-Car)의 부분품 제작 시 중공형상의 플라스틱 부품제작을 위해 SLS 프로세스로 그 부품을 적층조형하고 이를 마스터 모델로 이용하여 수지형 블로우 몰드를 제작하여 성형하는 공정을 제안한다. 이러한 공정법은 일반적인 제작방법인 아연합금(ZAS : Zinc Alloy for Stamping) 형으로 제

작하여 성형하는 방법에 비해 일정단축 및 제작비용의 감소와 허용치수 오차를 만족함을 보여 유용성을 확인한다. Fig. 1은 제안한 공정법이 적용 가능한 시작차의 중공 플라스틱 부품의 예를 보여주고 있다.

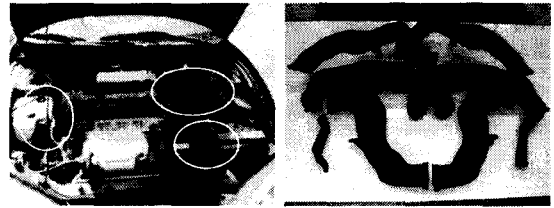


Fig. 1 Usage of blow molded parts in prototype-car

## 2. 주요공정

자동차 시작 시 중공형상의 부분품을 성형하기 위해서 블로우 성형법이 사용되며 아연 합금형 블로우 몰드가 일반적으로 사용된다.

다음은 본 논문에서 제안한 RP 마스터 모델을 이용한 수지형 블로우 몰드제작 공정과 아연 합금형 블로우 몰드 제작 공정을 비교한 그림이다.

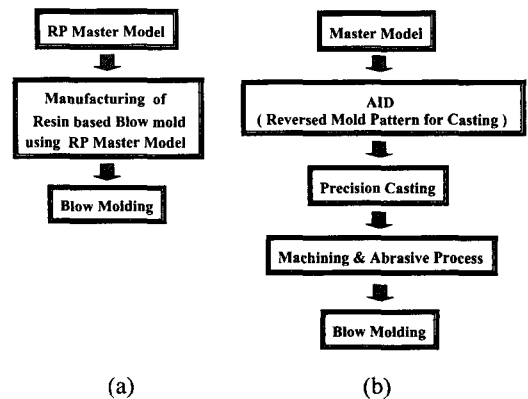


Fig. 2 Comparison between resin-based blow mold process (a) and ZAS blow mold process (b)

Fig. 2 (b)의 아연합금형 블로우 몰드의 제작 및 성형 공정은 기계 및 수가공으로 마스터모델을 제

작한 후 이를 반전시켜 몰드 형상으로 만든다. 이는 몰드의 가형상으로 정밀구조의 패턴으로 이용되며 구조 후 기계가공과 연마공정을 거쳐 몰드가 완성된다. 이에 비해 Fig. 2 (a)의 수지형 블로우 몰드의 제작 및 성형공정은 SLS 프로세스로 마스터 모델을 제작한 후 이를 패턴으로 이용해 수지를 적층시켜 몰드를 제작한다.

이러한 공정법은 아연 합금형 블로우 몰드 제작 및 성형 공정에 비해 공정수가 적어 납기 및 비용면에서 유리하다.

### 2.1 SLS Process를 이용한 마스터 모델 제작

본 연구에 적용된 모델은 자동차 실내 온도 및 습도 조절을 위해 사용되는 측면 이슬제거 통풍구 (Side Defroster Hose)이다. 먼저 DASSAULT™사의 3-D CAD 시스템인 CATIA로 모델링 한 후 쾌속조형기의 표준 입력 파일 형식인 STL 파일로 변환한다. 이 때 STL 파일의 검증 및 수정은 Magics RP 프로그램을 이용한다. 다음으로 DTM™사의 SLS Process인 Sinterstation 2000으로 조형한다.

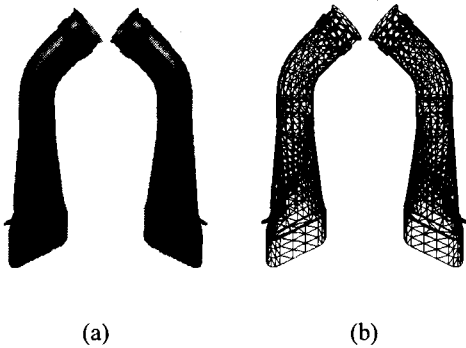


Fig. 3 The design of Side Defroster Hose (a) and STL model of Side Defroster Hose (b)

Fig. 3 (a)는 모델링 된 부분품을 나타내며, (b)는 STL 파일형식으로 변환된 부분품을 보여준다. Table 1은 마스터 모델 제작시 SLS 프로세스의 성형조건들과 사용 재료의 종류와 물성치를 나타낸다. Fig. 4는 조형이 완료된 SLS 파트를 보여준다.

Table 1 Operating conditions and material properties of NYLON

Operating Conditions		
Laser power (Watt)	8.1	
Heater (°C)	Left	105
	Right	105
	Center	135
	Build Chamber	107
Layer thickness (mm)	0.104	
Materials (NYLON)		
Specific Gravity, (20.°C)	1.04	
Moisture Absorption, (20.°C)	1.0 %	
Melting Point, °C	186	
DTUL, 0.45 Mpa, °C	163	
DTUL, 1.82 Mpa, °C	44	
Tensile Strength at Yield, Mpa	36	
Tensile Modulus, Mpa	1400	
Impact Strength; notched Izod, J/m	70	
Impact Strength; unnotched Izod, J/m	1370	

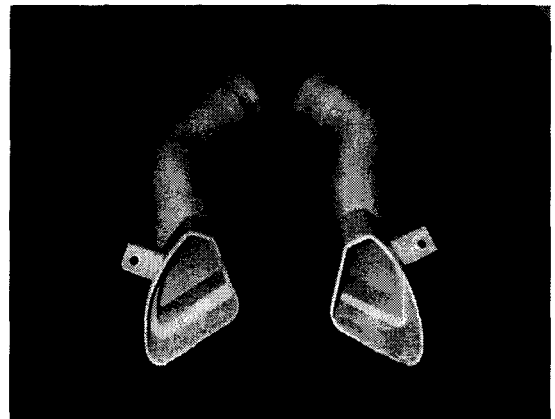


Fig. 4 Build parts of SLS process

### 2.2 수지형 블로우 몰드제작

#### 2.2.1 분할면 선정 및 작업

블로우 몰드를 포함한 모든 몰드제작에 있어서 가장 중요한 공정들 중 하나는 성형 후 효과적인 취출을 위해 몰드의 분할면을 설정하는 것이다. 분할면 설정이 잘못될 경우 제품형상이 완전하게 나

타나지 않는 미성형 현상과 성형품의 두께가 예비 성형물과 몰드 벽면까지의 거리에 따라 달라져 심한 경우 천공현상이 생기는 등 제품 품질에 치명적인 결함을 유발한다. 따라서 분할면 작업은 다음과 같은 기준에 의해서 이루어진다.

첫째, 리브 및 보스 부분을 분할면에 포함시켜야 한다. 보스나 리브가 분할면 상에 위치하면 블로우 성형 시 몰드 외곽쪽의 예비 성형물이 자연스럽게 보스나 리브를 형성할 수 있으나, 분할면 상에 위치하지 않을 경우 몰드 구조상 깊고 좁게 위치해 있는 보스나 리브 부위는 사실상 성형이 불가능하고, 가능하더라도 두께가 기준치 이하로 성형되거나 천공이 되기 쉽다. 제품이거나 몰드 구조상 분할면에 보스나 리브를 위치시킬 수 없는 경우에는 설계변경이나 성형기를 포함한 성형방안의 변경 등을 통한 문제 해결을 모색해야 한다.

둘째, 분할면의 굴곡은 되도록 크게 한다. 몰드의 상, 하 또는 좌, 우를 이루는 분할면의 흐름은 되도록 자연스럽게 해야 하는데 마스터 모델의 주위를 따라 급속한 분할면의 변화가 있을 경우 성형 공정에서 예비 성형물이 몰드의 날카로운 부분에 의해 찢어지는 경우가 있다.

셋째, 분할면의 선정에 있어서 약간의 언더컷은 무시하도록 한다. 수지를 적층하는 블로우 몰드의 경우에는 인서트 코어의 제작이 쉽지 않고, 성형이 완료된 블로우 제품은 중공형상이어서 성형 후 수축에 의한 몰드 벽면과의 약간의 간격이 있어서 파팅면을 기준으로 데이터상 약간의 언더컷이 있다 하더라도 실제 제품의 제작에는 문제가 되지 않는 경우가 많다. 그러나 언더컷이 있는 부분이 분할면으로부터 멀리 떨어져 있는 경우 제품의 취출에 영향을 미쳐 변형을 일으킬 수 있고, 제품과 몰드 벽면의 지속적인 마찰에 의해 몰드의 손상이 발생할 우려가 있으므로 인서트 코어를 설치하여 탈형시 제품과 인서트 코어를 일체형으로 취출하고 최종 제품을 인서트 코어로부터 제거해내는 이중 탈형 방식을 채택해야 한다.

네째, 분할면으로부터 양쪽 몰드의 벽면까지의 최대 거리가 균등하도록 설정해야 한다.

Fig. 5 (a)의 경우 성형된 제품의 두께가 일정하지만, Fig. 5 (b)와 같이 양쪽 몰드 벽면과 분할면의 거리 차이가 심할 경우 제품의 두께가 일정하지 못하고 심한 경우 파열이 발생할 수도 있다.

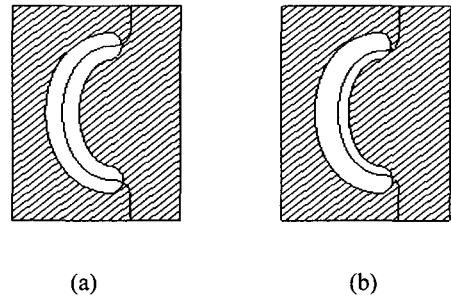


Fig. 5 Setting of correct parting plane (a) and incorrect parting plane (b)

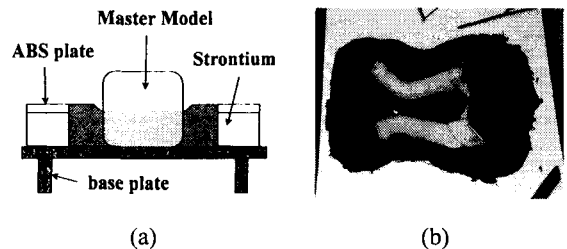


Fig. 6 Schematic diagram of parting plane structure (a) and operating figure (b)

Fig. 6은 위의 분할면 선정 기준에 맞추어 제작된 블로우 몰드의 첫 번째 반형의 대략적인 구조와 작업 사진을 나타내고 있다. 목재로 만들어진, 기준 판위에 마스터 모델의 절반정도 두께의 스티로폼을 얹고, 몰드 제작공정에서 적층되는 수지와의 이형 및 파팅면 외곽부형상 처리를 용이하게 하기 위해서 ABS 수지판을 접착한 후 마스터 모델과의 간격이 30~40 mm 정도가 유지될 수 있도록 절개한다. 다음으로 마스터 모델을 기준판 위에 얹고 ABS 수지판과 스티로폼 절단면과 마스터모델 사이의 공간에 수지로 채워 넣는데 미리 구상한 파팅면 형상을 고려하여 수지형상을 만들어간다. 이 때 만들어진 블로우 몰드는 반형의 네가티브 형상이 된다.

### 2.2.2 반(Half)형 수지 적층공정

분할 작업이 이루어진 ABS 수지판 및 적층한 수지층위에 몰드의 외곽면을 이를 프레임에 얹고

표면용 젤 코트, 중간 보강층, 외곽 보강층으로 구성한다. Fig. 7은 블로우 몰드의 수지층 구조와 작업사진을 나타내고 있다.

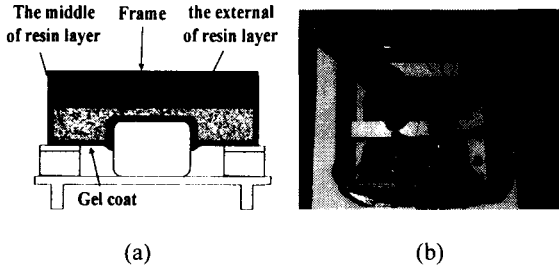


Fig. 7 Schematic diagram of resin build up structure (a) and build layer process (b)

마스터 모델의 표면에 최초로 적층되는 젤코트는 내열성이 우수한 수지로 주로 에폭시 계열의 수지에 알루미늄 분말을 혼합한 것으로 2~3 mm 정도의 두께로 적층한다. 특히 에폭시는 경화과정에서 발열반응이 일어나기 때문에 한꺼번에 두껍게 적층할 경우 몰드의 열변형이 발생하므로 주의해야 한다. 또 젤코트의 두께가 적정 수준 이하일 경우에는 몰드 전체의 열전도가 나빠져 성형 사이클이 길어지고, 몰드 표면층의 박리가 쉽게 발생하여 몰드 내구성이 저하된다.

중간 수지층은 젤 코트 층을 보호하는 역할을 하는데, 주로 입자가 작은 건조사에 바인더에 해당하는 수지를 혼합하여 20~30 mm의 두께로 적층한다. 입자가 작은 건조사를 이용하여 중간 수지층을 제작하는 이유는 얇게 적층된 젤코트 표면을 중간층의 입자가 침범하여 몰드면을 손상시키지 못하게 하기 위해서이다. 그리고 중간층 작업전 적층된 젤코트가 충분히 건조되어 몰드 표면의 손상이 일어날 우려가 없는지 검증해야 한다.

외곽 보강층은 몰드를 이루는 3가지 수지층 중 몰드 전체의 강도를 결정하는 역할을 하는데, 적층량이 많으므로 중간층 제작에 사용되는 건조사보다 작업성이 우수한 굵은 모래에 수지를 혼합하여 적층하여 제작한다.

이어서 몰드의 한쪽면이 완료되면 앞의 두 공정을 반복하여 맞은편쪽 몰드를 제작한다. Fig. 8은 완성된 수지형 블로우 몰드를 보여준다.

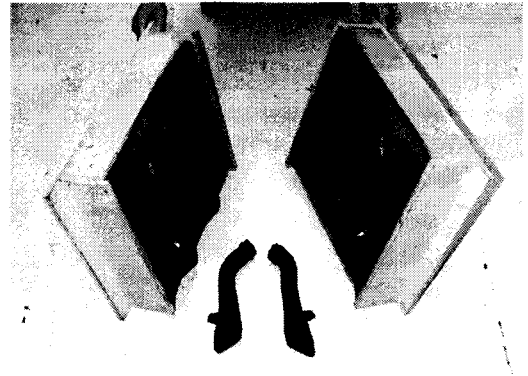


Fig. 8 Manufactured resin-based blow mold

### 2.3 블로우 성형 및 성형 조건

수지형 블로우 몰드 성형공정에 있어서 중요한 성형 조건들은 몰드의 온도와 예비 성형물의 온도 조절이다.

몰드의 온도의 경우에는 예비 성형물의 온도에 비해 현저히 낮을 경우 성형제품의 형상변형과 과도한 수축이 발생하므로 치수정밀도의 저하를 초래하게 된다. 반대로, 몰드의 온도가 현저히 높을 경우에는 예비 성형물의 온도가 상승하여 연성이 증가하여 형상변화가 심한 부분이나, 깊은 홈 등의 부분에 천공이 발생한다. 또 수축이 과도하게 발생해 치수정밀도를 저하시키며, 수지로 만든 젤 코트 층과 중간층과의 열팽창률 차이에 의한 몰드층 박리 현상이 일어나 몰드 수명을 단축시킨다.

예비 성형물 온도의 경우에는 성형기의 히터 온도설정, 예비 성형물이 외부로 압출되기 전 노즐과의 마찰에 의한 온도 상승, 성형과정에서 공기와 접촉하는 시간에 비례하는 냉각량 등의 적절한 제어가 필요하다. 예비 성형물의 온도가 적정수준 이하로 유지될 경우에는 연성부족으로 인한 성형성 저하가 유발되는데, 이는 몰드온도를 높여서 어느 정도 개선시킬 수 있지만 수지층의 박리현상으로 몰드의 손상을 이끈다. 반면, 온도가 적정온도 이상으로 유지될 경우 화학적 내열온도를 지나서 탄화반응이 일어나 화학적 결합력을 약화시켜서 내구성이 저하된다. 또한 예비 성형물 내부에 가스가 발생하여 이로 인해 생긴 기포가 나타나 품질 및 성형의 저하를 초래한다.

이들의 적절한 온도제어를 위해서 수지형 블로

우 몰드의 냉각방법은 제작일정, 제작비용, 성형비용 등을 고려하여 외기와외의 열교환에 의한 공냉식을 택하였다. 몇 번의 시험을 거쳐 안정적인 치수정도를 유지하는 몰드온도(75-80℃)까지 냉각되는 시간을 측정하여 성형주기를 결정하였으며, 이를 통해 수지형 몰드의 온도와 예비성형물의 온도를 제어하였다. 이 경우 금속제 블로우 몰드의 성형주기보다 2배 이상 길어짐을 보였다.

Table 2는 성형 시 사용한 성형조건들과 재료의 물성치를 나타낸다.

Table 2 Operating conditions and material properties of HDPE(high-density-polyethylene)

Operating Conditions	
Parison Diameter	120 mm
Heater Temperature	220. C
Pressure	1.8 kgf/cm <sup>2</sup>
Molding Cycle Times	14 minutes
Materials : HDPE(high density polyethylene)	
Density, g/mm <sup>3</sup>	0.950
Melting Point, C	122
Melting Index, g/10 minutes	1.5~4.0
Tensile Strength at Yield, kgf/cm <sup>2</sup>	200
Elongation at Yield, %	8
Shear Modulus, kgf/cm <sup>2</sup>	6000
Izod-Impact Strength-notched, cm-kgf/cm	8

Fig. 9은 제작된 수지형 블로우 몰드를 이용한 성형공정을 보여주고 있으며, Fig. 10은 SLS 프로세스로 적층조형한 마스터 모델과 제작된 블로우 몰드로 성형한 제품을 보여주고 있다.

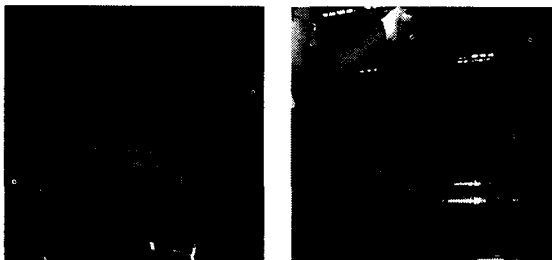


Fig. 9 Blow molding process using developed resin-based blow mold

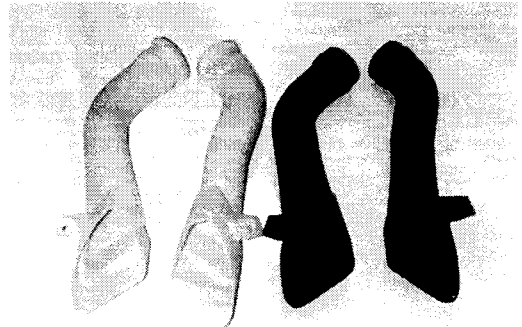


Fig. 10 Master model by SLS process and molded part by resin-based blow molding process

### 3. 실험결과

RP 마스터모델을 이용하여 제작한 수지형 블로우 몰드의 성형을 통해 제작한 부품과 설계품, SLS 조형품들의 주요 치수를 비교하고, 아연 합금형 블로우 몰드 제작 및 성형공정과 납기 및 비용에 대하여 비교한다.

#### 3.1 형상오차

Fig. 11은 제작된 부품의 형상오차를 비교하기 위해 중요 치수 부분을 표시하고 있다.

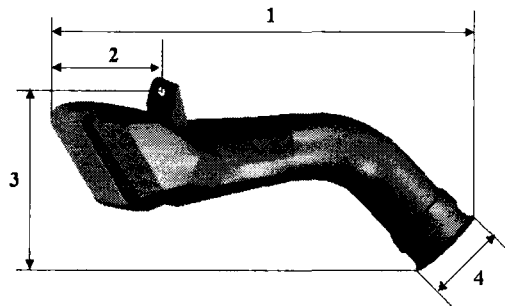


Fig. 11 Sample dimensions of model

Table 3은 설계품, SLS 조형품 그리고 수지형 블로우 몰드의 20회 성형한 제품의 샘플링된 치수

들의 평균값을 나타내고 있다. 설계품의 치수에서 수지형 블로우 성형품의 수축률을 2.5%로 고려하여 SLS 파트를 제작하였다. SLS파트를 마스터 모델로 이용하여 제작한 수지형 블로우 몰드로 성형한 제품과 SLS 파트와의 수축률도 나타내어 수지형 블로우 성형 수축률 적용기준을 제시하였다.

Table 3 Measured data of sample dimension

Type of models	Sample dimension (mm)			
	1	2	3	4
Original design	276.3	81.1	132.2	43.1
SLS part	283.3	83.2	135.5	44.2
Molded part	276.4	81.2	132.4	43.2
Rate of shrinkage between SLS part and Molded part ( % )	2.496	2.463	2.341	2.314

Table 4 Comparison between ZAS blow mold with resin-based blow mold processing time and cost

Processing time ( unit : hour )				
Seq.	Resin-based blow mold		ZAS blow mold	
1	Master model	35	Master model	80
2	Mold making	22	AID	18
3	Molding	12	Precision casting	29
4			Machining	4
5			Abrasive Process	3
6			Molding	8
	Total	69	Total	142
Cost ( unit : 10,000 Won)				
Seq.	Resin-based blow mold		ZAS blow mold	
1	Master model	190	Master model	220
2	Mold making	30	AID	25
3	Molding	42	Precision casting	80
4			Machining	18
5			Abrasive Process	3
6			Molding	28
	Total	262	Total	374

Table 3에서 보여지듯이 설계품과의 블로우 성형품의 치수를 비교해 볼 때, 자동차 의장부품의 허용 치수 공차인  $\pm 0.3 \text{ mm}$  에 만족하며 조립이나 기능상의 문제를 일으킬만한 치수 오차는 발생하지 않아 만족스런 결과를 보인다.

### 3.2 납기 및 비용

제안한 공정을 아연 합금형 블로우 몰드 제작 및 성형공정의 납기 및 비용과 비교하기 위해 산업 현장에서 사용되는 표준 외주 비용과 납기일정을 이용하여 Table 4 에 나타내었다.

일반적으로 신차 개발을 위한 시작차는 200대 정도 제작하는데 Table 4 는 시작차 부품 생산 시 가장 빈번한 생산단위인 50대 분을 기준으로 나타내었으며, 이는 잦은 설계변경을 고려한 결과다. 200대 분의 부품생산 시에도 납기 및 비용의 절감 효과는 확인되며, Table 4에서 보는 것과 같이 아연 합금형 블로우 몰드 공정에 비해 제안된 SLS 파트를 이용한 수지형 블로우 몰드 제작 공정은 납기는 절반가량 단축되었고, 제작 비용은 약 30%정도 절감할 수 있어, 유용한 방법임을 알 수 있다.

## 4. 결론

패속조형기의 지속적인 기술발전과 응용공정의 개발에 따라 소수의 시작품 제작 및 간섭 확인에서 패속 형 제작으로의 활용이 점차 확대되고 있다. 이러한 패속조형기의 응용 경향은 제품 개발시의 동시 공학적인 요구를 만족시키며 응용 범위 또한 확대되어가고 있다.

본 연구에서는 SLS 파트를 마스터 모델로 이용하여 수지형 블로우 몰드를 제작하는 신공정을 개발하였다. 또, 제안된 신공정을 자동차산업의 신차 개발을 위한 시작차 제작시 중공형상의 기능성 플라스틱 부품에 적용하여 기존 공정인 아연합금형 블로우 몰드에 비해 유용함을 확인하였다. 본 연구의 주요결과는 다음과 같다.

- 1) SLS 파트를 이용한 수지형 블로우 몰드 제작 및 성형법은 기존 공정법에 비해 납기 및 비용면에서 유리하여 설계변경이나 오류발견시 신속한 대응이 가능하며 시작품이나, 다품종 소량생산품 제작에 적합하다.

- 2) 제품 설계시 3-D CAD 시스템을 활용하는 변화된 제품개발 환경에 적합한 생산방법이다.
- 3) 수지형 블로우 성형법에 적합한 수축률을 제시 하였으며, 이를 적용하여 제작된 성형품이 자동차 의장 부품의 허용 치수오차를 만족함을 보였다.

### 참고문헌

1. T. Nakagawa, 정해도, 적층조형 시스템 3차원 카피 기술의 신전개, 성안당, 1998.
2. Paul C.H. Lin, C.Y.Chin, S.R Cheng and Jacob Chen, "Manufacturing Education for Rapid Prototyping," Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Industrial Engineering Applications and Practices, Vol. 2, 1997.
3. D.T Pham and R.S. Gault, "A Comparison of rapid prototyping technologies," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 38, No. 10-11, 1998.
4. 허성민, 장복근, 최경현, 이석희, SLS에서의 자동적인 조형자세 및 배치 결정에 관한 연구, 한국정밀공학회지, 제16권, 제11호, pp. 139-147, 1999.
5. 임용관, 정성일, 정해도, R/P 마스터모델을 활용한 정밀주조 공정기술의 개발, 한국정밀공학회지, 제 16권, 제 6호, pp. 52-57, 1999.
6. 최두선, 신보성, 김주한, FDM 쾌속 조형기를 통해 만들어진 ABS 파트를 이용한 직접 정밀 주조에 대한 연구, 한국정밀공학회지, 제16권, 제10호, pp. 59-67, 1999.
7. P.F. Jacobs, "Stereolithography Accuracy, Quick-Cast™ & Rapid Tooling," ICALEO, p. 194, 1995.
8. F. Prioleau, "Selective Laser Sintering - The Process and Its Materials," Proceedings of the ANTEC '93, Vol. 3, pp. 3231-3234, 1993.
9. L.L. Kimble, "The Selective Laser Sintering Process: A path to rapid plastic part development," Proceedings of the ANTEC '92, pp. 2431-2433, 1992.
10. Iuliano Luca, Settineri Luca and Gatto Andrea, "Advance in both rapid prototyping and rapid tooling techniques," proceedings of the Third Pacific Rim International Conference on Advanced materials and Processing, Vol. 1, pp. 1631-1636, 1998.
11. B. K. Paul and Baskaran, "Issues in fabricating manufacturing tooling using powder-based additive freeform fabrication," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 61, No. 1-2, 1996.
12. F. Abe and Osakada, "A Study of Laser Prototyping for Direct Manufacturing of Dies form Metallic Powders," Proceedings of the 5th International Conference on Technology of Plasticity, Vol. 2, 1996.
13. B. J. Arnold-Feret, "Laser Sintered Short Run Tooling for Injection Molding," Proceedings of the ANTEC '99, Vol. 1, pp. 1114-1117, 1999.
14. C. Nelson, "Creation of Plastic Prototypes and Molded Plastic Parts via Selective Laser Sintering," Proceedings of the ANTEC '99, Vol. 1, pp. 1109-1113, 1999.
15. A. Palmer and J. Colton, "Design Rules for Stereolithography Injection Molding Inserts," Proceedings of the ANTEC '99, Vol. 3, pp. 4002-4006, 1999.
16. Yarlagadda PKDV, Christodoulou P, Subramanian VS, "Feasibility studies on the production of electro-discharge machining electrodes with rapid prototyping and the electroforming process," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 89-90, pp. 231-237, 1999.
17. S. H. Masood, W. Q. Song, J. H. Hodgkin and C. Friedl, "Rapid Tooling for Injection Moulding Using Fused Deposition Modelling," Proceedings of the ANTEC '99, Vol. 1, pp. 1100-1104, 1999.