

## 쾌속조형 기술과 진공성형법을 이용한 시작차량용 대형 중공 부품의 제작에 관한 연구

박경수\*(부산대 대학원 지능기계공학과), 양화준(현대자동차 울산시작팀)  
최경현(제주대 기계에너지생산공학과), 이석희(부산대 기계공학부)

A Study on the Manufacturing of Large Size Hollow Shape Parts for Prototype-Car  
using Rapid Prototyping Technology and Vacuum Molding

K. S. Park\* (Pusan National Univ., Graduate School), H. J. Yang(Hyundai Motor Company),  
K. H. Choi(Cheju National Univ.), S. H. Lee(Pusan National Univ.)

### ABSTRACT

Rapid Prototyping(RP) techniques have revolutionized traditional manufacturing methods. These techniques allow the user to fabricate a part directly from a conceptual model before investing in production tooling and help develop new models with significant short time. This paper suggests the new process to manufacture large size hollow shape parts for prototype-car using Rapid Prototyping technology and Vacuum Molding with the reduction of delivery time. In addition, This paper introduces the dividing and combining method to make large size RP master model in spite of the limit of the build chamber dimensions of commercialized RP systems and post-processing method to achieve sufficient surface quality.

**Key Words** : Rapid Prototyping(쾌속조형), Selective Laser Sintering(SLS), Vacuum Molding(진공 성형), Blow Molding(블로우 몰딩), Zinc Alloy for Stamping Blow Molding(아연합금형 블로우 몰딩)

### 1. 서론

신규차량의 개발단계에서 디자인 형상의 검증, 성능 및 안정도 검증의 목적으로 제작되는 시작 차량의 경우, 시험 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 양산차량과 같은 부품 제작공법을 그대로 적용하는 것이 일반적이지만<sup>(1)</sup>, 긴급한 설계변경에 대한 부품형상 및 기능의 조기 확인 필요성, 일부 수출 대상국가가 규정하는 우수방향조종(RHD : Right Hand Drive)차량과 같은 특이사항을 가진 차량의 제작 등의 경우에 있어서는 제작 부품의 긴급도, 수량 등을 고려하여 양산부품의 성형과 상이한 변형된 제조방법이 사용되기도 한다. 이러한 경우에 있어서도 변형된 제작공정에 의해 제작된 부품이 차량의 전체 외관 및 조립성능을 만족시킬 수 있도록 하는 치수정밀도 및 차량의 시험 목적에 부합되는 신뢰성 있는 결과를 이끌어 낼 수 있도록 하는 기계적 특성의 확보는 필수적이다.<sup>(2)(3)</sup>

본 논문에서는 신속한 제작이 요구되는 시작 차량용 대형 중공형상 부품의 마스터 모델을 쾌속조형(이하 RP) 장치 중의 하나인 SLS 로부터 제작된 조형부품을 이용하여 진공성형용 몰드의 반형(Half Model)을 제작하며, 성형된 진공성형품 반형을 접착하는 방법으로 단시간 내에 제작할 수 있는 방안을 제안한다. 아울러 일반적으로 수치제어공작기계(CNC)보다 가공 크기가 작은 RP 성형품을 이용하여 대형 부품을 제작하기 위한 제품의 분할 및 접합 방법, 그리고 틀링 등을 위해 수행되는 후처리 공정에 대해 다루기로 한다.

### 2. 주요공정

시작 차량용 중공형상 부품을 성형하기 위해서 사용되는 일반적인 방법은 블로우 성형법이며, 성형 부품의 크기, 수량 등에 따라 수지형 블로우 몰드 및 아연합금(ZAS : Zinc Alloy for Stamping)형

블로우 몰드의 두 가지 방법이 사용되는데, 대형 부품의 경우에는 양산에 사용되는 성형기와 동일한 사양의 성형 장비가 요구되며, 고가 장비에서의 성형성을 향상시키기 위해 몰드 소재로는 주로 아연합금형을 선택한다.<sup>(4)</sup> Fig. 1 은 본 논문에서 제안한 SLS 마스터 모델 및 진공성형법을 이용한 대형 중공형상 부품의 제작 방법과 아연합금형 블로우 몰드 제작 공정을 비교한 것이다.

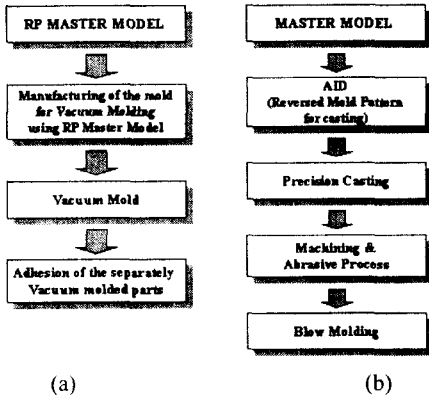


Fig. 1 Comparison between suggested method (a) and conventional method for manufacturing of large size hollow shape using ZAS blow mold(b)

## 2.1 마스터 모델의 제작

### 2.1.1 성형 부품의 특징

본 논문에서 제작하는 부품은 엔진으로부터 얻은 열 및 에너지를 이용하여 차량 실내의 온도 및 습도를 조절하기 위한 역할을 하는 히터-통풍 덕트 연결부(Heater to Air Ventilation Duct connector)이며 인스트루먼트(Instrument Panel)에 장착되어 있으며, 음향장치, 온도조절 장치 등을 제어하기 위한 전기적 배선 및 기타 주변부품과의 간섭을 방지하기 위해 Fig. 2와 같은 형상을 가진다.

### 2.1.2 마스터모델의 분할 및 성형

본 성형 대상 부품은 CATIA 로 모델링하였다. 부품의 장측 치수가 1200mm 이상이므로, 본 논문에서 사용하는 SLS 장비인 Sinterstation 2000에서는 일회에 성형이 불가능하다. 따라서 Fig. 3와 같이 7 개로 분할하여 제작한 후 접합하여 마스터 모델을 완성하는 방식을 채택하였다. 그리고 분할된 부품간에는 마스터모델 접합 공정에서의 정확한 위치 선정, 접합면에서의 접합강도유지 등을 위해 사다리꼴 모양의 끼움구조를 부여하였다.

아울러 마스터 모델로부터 반전된 형상의 몰드

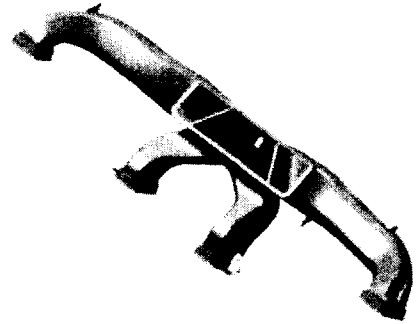


Fig. 2 Feature of heater to air ventilation duct connector



Fig. 3 Feature of divided CATIA data

를 제작하여 진공성형용 몰드를 완성하기 위해서는, 몰드로부터 마스터모델을 제거하는 공정이 이루어져야 하는데, 일반적으로 두 개의 진공성형용 몰드를 제작한 후 마스터모델을 파쇄하는 방법을 사용하므로, RP 마스터모델의 두께는 2mm 정도로 하여, 형상이 유지될 수 있고, 파쇄가 용이하도록 한다. 성형이 완료된 부품은 미리 만들어 놓은 끼움 구조를 바탕으로 접합되는데, 끼움 부위 측면의 표면 거칠기가 불량할 경우 완벽한 조립이 불가능하므로, 끌 등을 이용한 약간의 후가공 공정을 거쳐 조립이 진행된다. Fig. 4는 SLS로부터 분할 제작이 완료된 성형품을 하나씩 접착하여 최종 부품을 완성하는 과정을 나타낸 것이다.



Fig. 4 Adhesion of separately build SLS subparts

### 2.1.3 접합된 SLS 마스터모델의 후처리

RP 장치에 의해 제작된 부품의 표면 조도를 향상시키는 연구는 크게 장비 자체에서의 성형 자세 및 레이저 조사 제어를 변형하는 방법과 조형된 부품을 후가공 하는 두 가지의 방법으로 대별할 수 있는데, 성형 방법의 변화를 이용한 표면 조도 개

선 효과는 한계가 있고, 성형 시간을 과도하게 증가시킬 수 있으므로, 본 논문에서는 성형된 부품을 후가공하는 방안을 채택한다.

RP 부품의 후처리 방법은 마모(abrasion) 및 코팅(coating)의 두 가지로 대별할 수 있는데 일반적인 선택기준은 소재의 기계적 강도에 의한 것이다. SLS 프로세스로부터 제작된 마스터 모델은 기계적 강도가 비교적 우수하여 수작업에 의한 마모 공정이 용이하지 않으므로 레진을 이용한 코팅법을 적용하기로 한다. 표면조도의 개선을 위해 본 연구에서는 다음과 같은 3단계의 공정을 사용하였다.

우선, 조형 부품 표면 조도를 단시간에 전체적으로 향상시키기 위해 하도(Undercoat)를 도포하였다. 하도는 주재와 경화제를 혼합하는 2 액형 우레탄계 소재의 사용하였으며, 도포 후 경화된 하도소재는 사포를 이용하여 사상하였다.

하도를 이용한 사상작업이 완료된 후, 전도가 높은 소재의 하도 도장작업의 특성상 미세한 기포가 존재할 수 있고, 일정크기 이상의 기포는 제거하기 어려우므로, 신속하게 건조되는 1 액형 퍼티 소재를 기포 발생부위에 브러쉬, 고무끝 등을 이용하여 닦고 고온 사포를 이용하여 사상한다.

기포 제거작업이 완료되면, 툴링이 가능한 정도의 표면의 최종적인 처리를 위해 점도가 낮은 투명 라커를 도포하여 우수한 표면조도를 가진 피막을 형성한다.

## 2.2 몰드 제작

### 2.2.1 분할면의 선정 및 작업

분할면의 선정은 몰드 제작의 초기 공정이며, 전체적인 몰드 구조, 비용, 일정, 성형제품의 품질 등을 좌우하는 중요한 작업이다. 본 논문에서는 다음과 같은 기준에 의해 분할면을 결정하였다.

첫째, 주변 부품과의 조립을 위해 설계된 추가적인 결합구조는 분할면에 포함 시킨다.

둘째, 진공성형용 판재형상 소재를 성형기의 펌프에서 생성된 흡입압력을 이용하여 몰드에 흡착시키기 위해서는 시트와 몰드 사이의 공간이 밀폐되어야 한다. 공기누설의 우려가 있는 형상은 몰드의 제품 외곽부에 공기누설 방지용 댐을 제작한다.

셋째, 분할면 선정에 있어서 약간의 언더컷은 무시할 수 있다.

### 2.2.2 반(Half)형 제작 공정

분할면 작업이 완성되면 분할용 치구위에 고정된 마스터모델 위에 내열성수지 적층 작업을 수행한다. 내열성 수지는 진공성형 공정에서 발생하는 150°C 정도의 고온에서 몰드 표면의 손상이 발생하

지 않도록 하는 역할을 한다. 수지의 적층이 완료되면 진공성형 공정에서 발생하는 높은 흡입압력에서 몰드가 훼손되지 않도록 Fig. 5 와 같은 보강용 프레임을 설치하고 외곽틀을 제작하며 외곽틀과 보강구조, 제품부의 보강구조 사이를 보강용 수지로 적층하여 몰드 강도가 유지될 수 있도록 한다. 완성된 몰드 구조 및 형상은 Fig. 6와 같다.

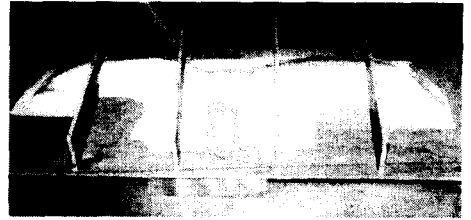


Fig. 5 Feature of mold reinforcement structure

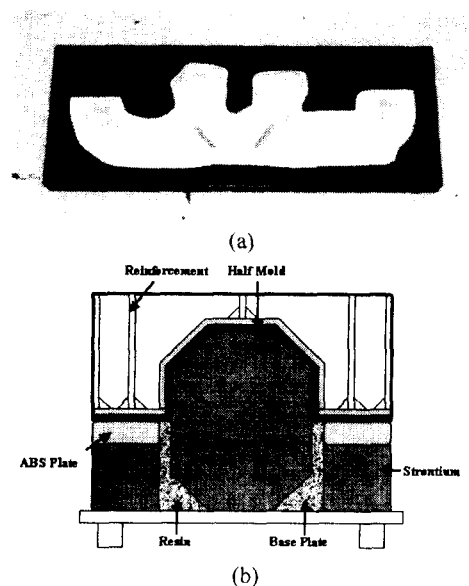


Fig. 6 Schematic diagram of half mold for vacuum molding(a) and feature of the first half mold.(b)

두 번째 반형을 만들기 위해서는 마스터 모델을 이미 완성된 첫 번째 반형에서 분리시키지 않고 분할용 치구에 고정된 상태로 몰드작업을 수행한다. 몰드 제작을 위한 작업 순서는 첫 번째 반형 제작을 위한 방법과 동일하며 두 번째 반형의 제작이 완료되면 두 몰드를 분리하고, 한 쪽 몰드에 고정되어 있는 마스터 모델을 파쇄한다.

## 2.3 진공성형 공정 및 성형 조건

진공성형을 위한 첫 단계 작업은 진공성형기에 몰드를 장착하는 것이다. 몰드와 진공성형기의 접촉면이 완전 밀폐될 수 있도록 장착해야 한다. 몰

드가 장착되면, 진공성형 소재를 클램프에 장착한다. 소재의 장착이 완료되면, 소재가 진공 성형 공정에서 충분한 유연성을 가질 수 있도록 예열한다. 본 논문에서 적용한 성형 조건은 Table 1 과 같으며 본 논문에서는 ABS 수지를 이용하여 성형한다.

Table 1 Operating conditions of vacuum molding with respect to materials

	ABS	PP
Standard Condition (Thickness : t, Temperature : °C)	2.5t/23°C	2.5t/23°C
Shrinkage	8/1000	16/1000
Heating Temperature(°C)	250	300
Heating Time(sec)	155	180
Transfer Time(sec)	4 ~ 5	4 ~ 5
Mold Uploading Velocity (mm/sec)	100	100
Cooling(with fan) Time(sec)	80	150

예열된 진공 성형용 소재는 엘리베이터에 몰드가 장착된 성형부로 이송된다. 성형부로 이송된 소재가 클램프에 고정되면, 엘리베이터는 상승하고 몰드 표면이 판재형상 소재가 장착된 평면을 통과하여 예비성형이 이루어지며, 곧 이어 진공성형기에 장착되어 있는 펌프가 몰드와 성형소재 사이의 공기를 흡입한다. 흡착이 완료되면 성형된 소재를 팬을 사용해 냉각한다. 냉각이 완료된 소재는 몰드로부터 분리되며, 제품 형상부의 경계를 따라 절단한 후 주변부를 제거한다. 두 개의 반형 몰드로부터 각각 성형된 진공성형품을 분할면을 따라 접합하여, 최종적인 부품형상을 얻는다. 이상에서 언급된 진공성형 공정에 의해 완성된 부품형상은 Fig. 7 과 같다.



Fig. 7 Feature of manufactured part

### 3. 실험결과

#### 3.1 형상오차

Fig. 8 은 제안된 방법으로 제작된 부품의 형상 오차를 비교하기 위해 중요 치수 부분을 나타내고 있다. Table 2 는 설계치수와 제안된 방법인 진공성형으로 성형된 샘플링 치수들의 평균값을 나타내

고 있다. 설계품의 설계치수에 진공 성형된 제품의 수축률 0.8%를 고려하여 SLS 파트를 제작하였다.

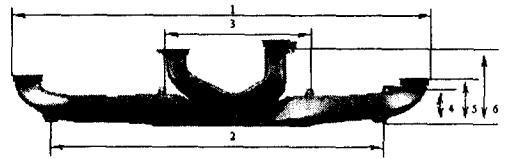


Fig. 8 Sample dimensions of a model

Table 2 Design Dimension and Molded Part Dimension

	Design Dimension(mm)	Molded Part Dimension(mm)	Shrinkage (mm)
1	1298.16	1297.68	-0.48
2	1033.88	1033.52	-0.36
3	452.99	452.78	-0.21
4	110.80	110.68	-0.12
5	159.40	159.25	-0.15
6	265.32	265.08	-0.24

### 4. 결론

본 연구에서는 쾌속 조형 기술과 진공 성형법을 이용한 시작차량용 대형 중공 부품의 제작을 하는 공정을 제안하였다. 제안한 공정이 산업현장에서 유용하게 사용되어질 수 있는지를 알아보기 위해 기존의 아연합금형 블로우 몰드와의 비교를 통해, 대형 블로우 몰딩 부품의 공차가 1mm 내외임을 고려하면, 제안된 진공성형법으로 제작된 제품은 만족할 만한 품질을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 CNC 보다 가공 크기가 작은 RP 부품을 이용하여 대형 부품을 제작하기 위한 제품의 분할 및 접합 방법과 툴링을 위해 수행되는 후처리 공정 중 코팅법을 다루었다.

### 참고문헌

1. T. Nakagawa, 정해도, 적층조형 시스템 3 차원 카피 기술의 신전개, 성안당, 1998.
2. 장태식, RP 를 이용한 자동차 시작품개발기술, 제 3 회 부산경남 자동차 테크노센터 워크샵 및 급속조형기술 박람회, pp. 34-38.
3. P.F. Jacobs, "Strealolithography Accuracy, QuickCast™ & Rapid Tooling," ICALCO, p. 194, 1995.
4. 양화준, 황보중, 이석희, SLS 조형품을 이용한 수지형 블로우 몰드 제작 및 시작차 부품성형에 관한 연구, 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 7 호, pp. 124-131, 2000.