

# 쾌속조형 원리를 이용한 대형 모델의 제작

Fabrication of a Large Object by Rapid Prototyping Technics

최 홍 석\*

Choi, Hong-Seok

## ABSTRACT

In order to reduce the lead-time and cost, the technology of rapid prototyping(RP) has been widely used. This paper describes the methodology to fabricate a large object by using the principle of rapid prototyping. By laminating thick and sloping polystyrene foam plates, we can make the large model which has three dimensional, continuous surfaces faster and easier than conventional processes. Estimated error was much smaller than other RP products which have stepped effect. For accuracy improvement and post processing, machined metal plates are added between the thick plates. To keep the continuity of surface and strengthen the model, pilot holes and guide rods are applied. By the methodology described in this paper, a missile body with flush air intake was fabricated.

주요기술용어(주제어) : 쾌속 조형(Rapid Prototyping), 후판 적층 조형공정(Thick Layered Manufacturing), 가변 적층 쾌속 조형 공정(Variable Lamination Manufacturing : VLM), 오차 계산(Error Estimation)

## 1. 머리말

제품의 설계부터 생산까지 소요되는 시간과 비용을 줄이기 위하여 쾌속 조형 공정(RP : Rapid Prototyping)이 도입되었다. 쾌속 조형 공정은 일정한 두께를 지니는 얇은 층을 쌓아 3차원 형상을 제작하는 방법으로, 플라스틱, 종이, 광경화성 수지 등이 그 재료로 사용된다. 쾌속 조형 공정을 이용해서 시작품을 빠른 시간 내에 제작할 수 있으므로 설계의 검증과 조립성 평가를 설계 초기단계에서 수행하여 오류를 수정할 수 있으므로 시행착오가 줄게 되고, 제품의 개발에

드는 시간과 비용을 절감할 수 있다<sup>[1]</sup>. 무기체계의 개발과정에서도 설계 단계에서 쾌속 조형 공정을 이용해서 시제품을 제작하여 초기 설계에 대한 검증이 가능하고, 축소 모형이 아닌 실물 크기의 모델제작이 가능하다면 배치설계 단계에서 모델을 제작하여 배치 결과의 검증뿐만이 아니라 각 장비의 조립/정비 편의성까지 평가가 가능하여 향후 개발 및 운용과정에서 발생할 오류를 초기에 발견하여 수정할 수 있고, 공동시험 등에 사용될 수도 있다.

1986년에 미국에서 개발된 ‘광조형법(SLA : Stereo Lithography Apparatus)’ 공정을 필두로 다양한 쾌속 조형 공정들이 개발되어 상용화되었다. 이들은 전통적인 가공방법과는 달리 레이저를 조사하거나 노즐에서 재료를 분사하는 등의 특수한 방법을 사용하여, 장비 내부에서 성형과 적층이 이루어지기 때문에 제

† 2007년 2월 14일 접수~2007년 4월 27일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : charisma@add.re.kr

작할 수 있는 형상의 크기가 크지 않으며, 아주 얇은 층을 적층하여 3차원 형상을 제작하므로 층 방향 높이에 비례해서 전체 조형 시간과 비용이 증가하게 되어<sup>[2]</sup>, 크기가 큰 대형 모델을 제작하는 데는 어려움이 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 두꺼운 단위 층을 적층하여 전체 조형시간을 대폭 줄이려는 후판 적층 조형공정(Thick Layered Manufacturing)<sup>[3]</sup>에 관한 연구가 진행되고 있으며, 단위 층의 두께가 두꺼워짐으로 인해 더 커진 계단형상의 단차를 해결하기 위하여 다양한 절단 방법을 이용, 측면에 경사를 부여하여 형상을 제작하려는 연구도 진행되고 있다. 국내에서도 2000년에 조형 시간을 획기적으로 단축시키고, 형상 정밀도를 향상시킬 수 있으며, 후처리 공정이 거의 필요 없는 새로운 개념의 가변 적층 쾌속 조형 공정(VLM : Variable Lamination Manufacturing)이 제안되었다. 특히, 스티로폼을 이용한 단속형 가변 적층 쾌속 조형 공정(VLM-ST)은 두꺼운 두께를 가진 스티로폼 판재를 4축 선형 열선 절단기를 사용하여 측면 경사를 가진 형상으로 절단하여 순서대로 접착/적층함으로써 3차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다<sup>[4~5]</sup>. VLM-ST 공정으로 모델을 제작하게 되면 기존의 쾌속 조형 공정을 이용하는 것 보다 더 큰 모델을 더 빠른 시간에 제작할 수 있다는 장점이 있다. 별도의 적층공간에서 적층하는 공정의 특성 때문에 제작형상의 높이에 관계없이 제작이 가능하지만, 열선 절단공간의 제약으로 제작 가능한 형상의 크기가 제한된다.

본 논문에서는 쾌속조형 원리를 응용하여 기존의 제작 방법이나 쾌속조형 공정으로는 제작이 힘든 비교적 큰 모델을 제작하는 방법론에 대하여 기술한다. 두꺼운 스티로폼 판재를 적층하여 형상을 만드는 원리에 착안하여 연속적인 3차원 곡면 형상을 지닌 대형 모델을 기존 공정들에 비해 더 빠른 시간에 제작할 수 있도록 하였다. 두꺼운 스티로폼 층 사이에 정밀하게 기계가공된 금속 판을 추가하여 정밀도를 유지할 수 있도록 하였고, 형상 내부에 적층용 파일럿 홀(pilot hole)과 안내봉을 적용하여 측면 형상의 연속성을 유지하고 뒤틀림을 방지하였다. 또, 제안된 방법론을 적용하여 유도탄 동체의 일부 모델을 직접 제

작하는 과정과 제작된 형상을 보여줄 것이다.

## 2. 대형 모델의 제작 방법

유도무기를 포함한 대부분의 비행체의 외형은 3차원 곡면으로, 곡률의 변화가 심하지 않고 연속적이다. Hope등은 층 경계면에서의 CAD모델과 실제 적층될 형상과의 1차원적인 차이를 오차로 정의하여 분석하였다<sup>[3]</sup>. 본 논문에서는 계단 형상과 측면 경사 적용형상의 오차를 정량적으로 비교하기 위해서 구(sphere)형상의 단면에 대하여 2차원적으로 오차를 정의하여 비교하였다.

그림 1과 같은 1/4원을 일정한 간격 h로 적층할 경우에 대해 계산하였다. 1/4원의 넓이(Ac)에서 직사각형의 넓이(Ast)와 사다리꼴의 넓이(Asl)를 각각 빼것을 오차로 정의하였다.

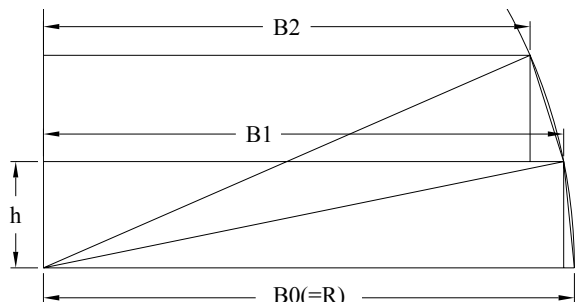
$$B_i = \sqrt{R^2 - (ih)^2} \quad (1)$$

$$Ast = \sum_{i=1}^n (B_i \times h) \quad (2)$$

$$Est = Ac - Ast = \frac{\pi R^2}{4} - h \sum_{i=1}^n B_i \quad (3)$$

$$Asl = \sum_{i=1}^n \frac{(B_{i-1} + B_i) \cdot h}{2} \quad (4)$$

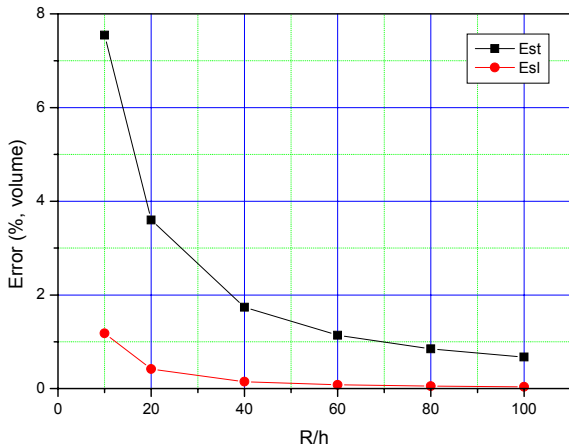
$$Esl = Ac - Asl = \frac{\pi R^2}{4} - h \sum_{i=1}^{n-1} B_i - \frac{(B_0 + B_n) \cdot h}{2} \quad (5)$$



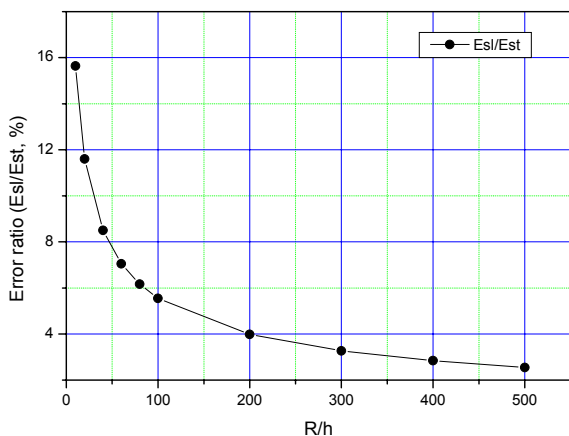
[그림 1] 오차 계산

식 (3), (5)를 이용해서 계산된 오차를 R/h 에 대하여 나타내었다. 그림 2를 보면 같은 층 두께에서 측면 경사를 적용했을 때의 오차가 더 작은 것을 알 수 있다. 층 두께에 비해서 곡률이 커지게 되면 계단 형상의 오차도 감소하지만 측면 경사 형상의 오차는 더 큰 폭으로 감소하여, 계단 형상 오차의 수% 수준으로 떨어지게 된다(그림 3).

결국 계단 형상의 층 두께를 줄여서 측면 경사 형상과 비슷한 오차를 얻으려면 수십 배의 두께 차이가 생기게 된다. 따라서 상대적으로 곡률이 큰 형상을 제작할 경우 측면 경사를 적용하면 형상오차가 현저히 줄어들게 되고, 더 두꺼운 층을 사용할 수 있게



[그림 2] 오차 비교 : 계단 형상과 측면 경사

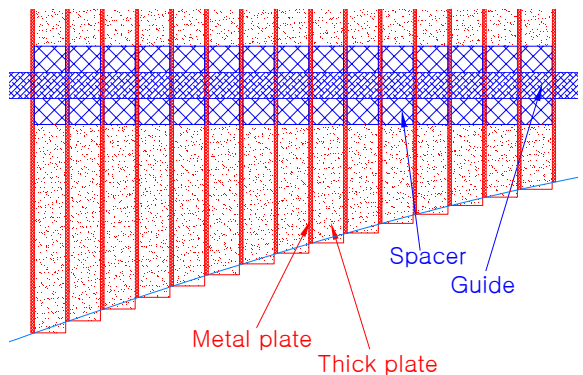


[그림 3] 오차의 상대적 크기

되어 제작 시간과 비용도 줄어들게 된다.

후판 적층 조형공정에서는 측면 경사의 구현을 위해 4축 이상의 제어가 필요한 열선 절단기 또는 워터젯(Waterjet)을 사용하며, 절단 경로상에서 경사를 구현하기 위한 제어 명령은 전용 소프트웨어를 통해 3차원 표면정보로부터 계산된다. 따라서 측면 경사의 구현 자체가 후판 적층 조형공정의 핵심내용이며, 이를 새롭게 구현하려면 많은 시간과 노력이 필요하게 된다.

본 연구는 별도의 장비나 소프트웨어를 개발하지 않고 패속조형의 원리를 이용하여 간단하게 형상을 제작하는 목표를 가지고 시작하였기 때문에 간단한 방법으로 측면 경사를 구현할 방법이 필요하다. 절단용 툴과 전용 소프트웨어를 개발하지 않고 측면 경사를 구현하려면 먼저, 측면 경사가 없는 계단형상을 만들고 후가공을 하여야 한다. 형상보다 크게 절단하여 적층한 후 후가공하여야 하는데, 재료로 사용할 스티로폼은 가공이 잘 되므로 후가공 과정에서 과도하게 가공되어 원하는 형상과 다른 형상이 될 가능성이 있다. 후가공을 돕기 위해서 스티로폼 층 사이에 금속(알루미늄)판 층을 추가하였다. 빠르고 신뢰성 있는 적층을 보장하기 위해서 파일럿 홀(pilot hole)과 안내봉의 개념을 도입하였다. 매 층마다 2곳 이상의 일정 위치에 파일럿 홀을 가공하여 안내봉이 파일럿 홀을 관통하게 하는 방식으로 적층할 수 있도록 하였다. 파일럿 홀과 안내봉을 사용함으로써 측면 형상의 연속성을 유지할 수 있고, 적층 방향으로의 강성을 보장할 수 있다. 형상이 커지고 무거워지면서 발생할



[그림 4] 적층 개념

수 있는 높이 방향의 오차를 줄이기 위해 금속 판 사이에 두꺼운 와셔 형상의 스페이스(spacer)를 넣어서 층간 간격을 유지하도록 하였다.

그림 4에 적층개념을 나타내었다. 그림에서 형상의 바깥쪽으로 돌출된 스티로폼은 후가공 과정에서 제거된다. 본 장에서는 위에 열거된 개념들을 중심으로 대형 모델의 제작방법에 대하여 기술한다.

#### 가. 모델의 평가 및 층 두께 결정

제작을 위해 가장 먼저 해야 할 일은 모델의 평가이다. 각 방향에 따른 형상의 변화정도와 불연속적으로 변하는 곳이 있는지 등을 체크하여야 한다. 형상의 변화정도가 가장 작은 쪽으로 적층 방향을 결정하고, 적층 방향에 따른 형상변화 정도를 판단해서 일정 이하의 형상오차를 유지하면서 최대한 빨리 제작이 가능하도록 한 층의 두께를 결정하여야 한다.

Rattanawong등은 몇 가지의 기본형상에 대해서 적층 방향에 따른 부피 오차를 계산하였다<sup>[6]</sup>. 이 결과를 참조하면 제작할 형상과 기본 형상들간의 유사성을 고려하여 적층 방향을 결정할 수 있다. 추가로, 형상이 불연속적인 곳과 적층 방향과 평행한 면의 존재여부 등을 고려하여야 하며, 이들이 존재하는 곳이 층간 경계면이 되도록 하여 형상오차를 방지할 수 있다.

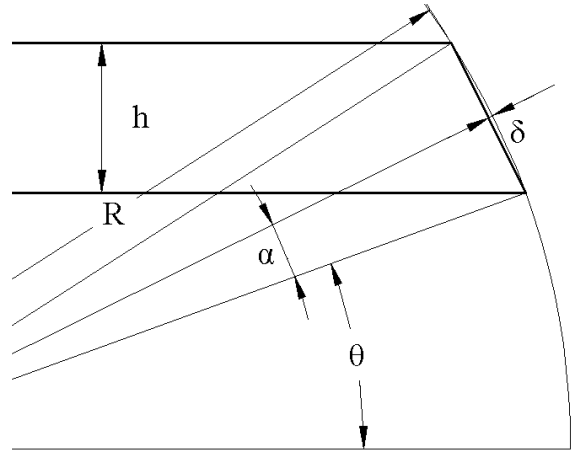
적층방향이 결정되면 층의 두께를 결정할 수 있다. Kulkarni등은 계단 형상의 모서리 부분과 실제 CAD 모델간의 거리를 오차로 정의하였고, 계산된 오차가 일정한 공차보다 작아지는 층 두께를 채택하였다<sup>[7]</sup>. 측면 경사 형상에 대해서도 아래와 같이 오차를 정의할 수 있다.

경사면과 실제 모델과의 거리를 오차( $\delta$ )로 정의하면 그림 5의 기하학적 관계에 의해 아래와 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$h = R(\sin(2\alpha + \theta) - \sin\theta) \quad (6)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(1 - \frac{\delta}{R}\right) \quad (7)$$

곡률반경 R과  $\theta$ 를 CAD상에서 측정하여 대입하면 층의 두께(h)를 구할 수 있다. 하나의 단면에 대해 여러 지점에서 두께를 계산하여 그 중 가장 작은 값



[그림 5] 형상 오차 정의

을 대표값으로 선택하게 되고, 각 층의 두께의 대표값을 비교하여 가장 작은 값을 층의 두께로 선택하여야 한다. 위의 방법은 계산량이 많고, CAD모델로부터 많은 정보를 추출하여 사용해야 하므로 별도의 프로그램으로 구현이 가능할 것이다. 간단하게 그림 2의 오차계산 결과를 이용하는 방법도 생각할 수 있다. 형상오차의 상한이 결정되고, 모델이 가지는 곡률반경의 최소값을 이용하면 층의 두께를 간단하게 결정할 수 있다. 결정된 층의 두께를 가공에 사용하려면 가용한 재료의 두께도 고려해야 할 것이다.

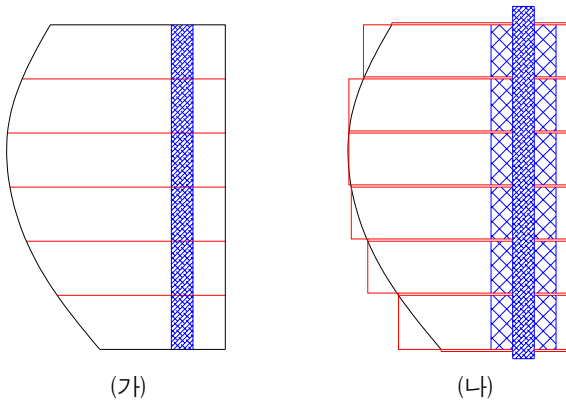
#### 나. 파일럿 홀(pilot hole) 위치 결정

파일럿 홀(Pilot hole)은 적층의 기준이 되며, 이곳을 지나는 안내봉은 전체 형상을 지지하는 역할을 수행하므로 파일럿 홀의 위치 결정은 중요하다. 최소 두 곳 이상 있어야 하며, 모든 층의 단면에서 형상 내부에 포함되어 적층 후에 외부로 드러나지 않아야 한다.

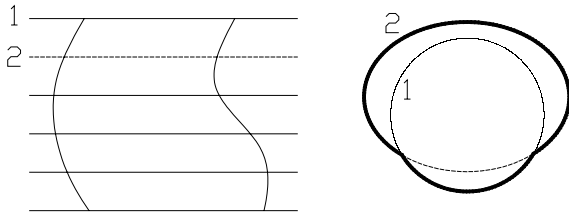
#### 다. 2차원 단면정보 생성

파일럿 홀의 위치까지 결정되면 금속판 층과 스티로폼 층의 절단경로에 해당하는 2차원 단면정보를 생성하여야 한다.

금속판 층은 일정한 간격(앞에서 정해진 층의 두께)으로 잘려진 모델의 단면을 그대로 이용할 수 있다. 또, 정해진 위치에 안내봉의 외경과 같은 크기의



[그림 6] 파일럿 홀의 적용과 적층 예상도



[그림 7] 스티로폼 층의 단면정보 생성에

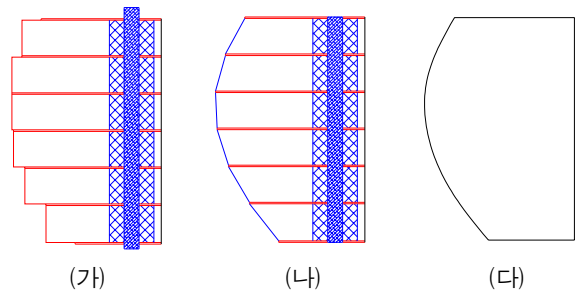
파일럿 홀을 적용해야 한다.

스티로폼 층의 경우는 층의 아래와 위의 단면을 겹쳐서 그린 상태로 비교해 보았을 때, 더 외곽에 있는 단면을 선택해야 한다. 그렇게 함으로 해서 그림 6의 (나)와 같이 제작을 원하는 형상보다 외부로 돌출된 형상(positive tolerance)을 얻게 되고, 후가공을 통해서 원하는 형상을 제작할 수 있게 되는 것이다.

그림 7과 같이 단면의 경계선이 서로 교차하게 될 경우는 외곽에 위치하는 선들을 연결하여 굵은 선과 같이 단면정보를 생성해야 한다. 스티로폼 층에는 안내봉이 지나감과 동시에 스페이서가 위치하게 되므로, 파일럿 홀 위치에 스페이서의 공간까지 고려해서 단면정보를 생성해야 한다.

라. 가공 및 적층, 후가공

앞 절의 단면정보를 바탕으로 금속판과 스티로폼 판재를 가공하고, 스페이서와 안내봉을 사용해서 적층하게 되면 그림 8의 (가)와 같은 형상을 얻을 수 있다.



[그림 8] 적층 및 후가공 예상도

금속판 층을 기준으로 스티로폼 판재의 돌출된 부분을 가공해서 제거하면 (나)와 같은 형상을 결과물로 얻을 수 있을 것이다.

3. 유도탄 동체 모델의 제작

가. 제작 형상

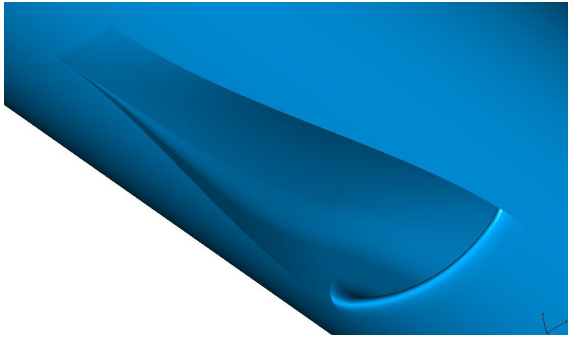
제작하게 될 모델은 플러쉬 흡입관이 적용된 유도탄의 동체부이다. 플러쉬 흡입관은 그림 9와 같이 하푼(Harpoon) 등의 대함유도탄에서 제트엔진을 위한 공기흡입구로 사용되고 있다.

제작한 형상은 사진 및 기타 자료를 참조하고, I-DEAS를 이용하여 3차원 모델링한 것으로 그림 10, 11과 같다.

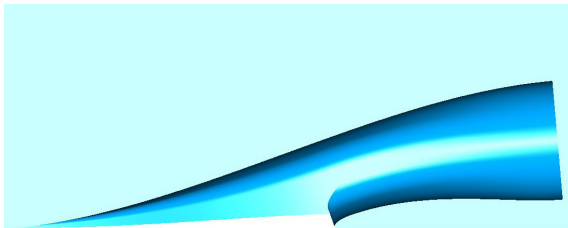
플러쉬 흡입관은 다른 형태의 흡입관과는 달리 유도탄 동체 내부에 존재하는 공기의 유로와 같은 개념



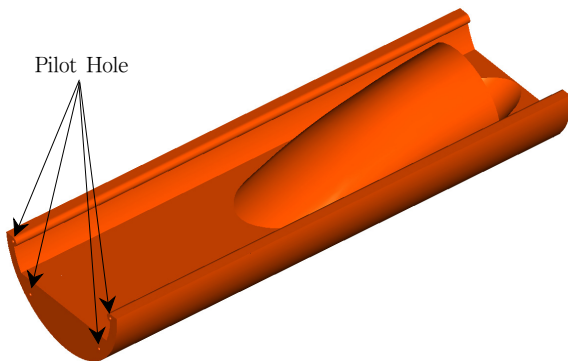
[그림 9] 하푼 유도탄의 플러쉬 흡입관



[그림 10] 제작 형상



[그림 11] 제작 형상(대칭면 단면형상)



[그림 12] 최종 제작 형상(파일럿 홀 적용)

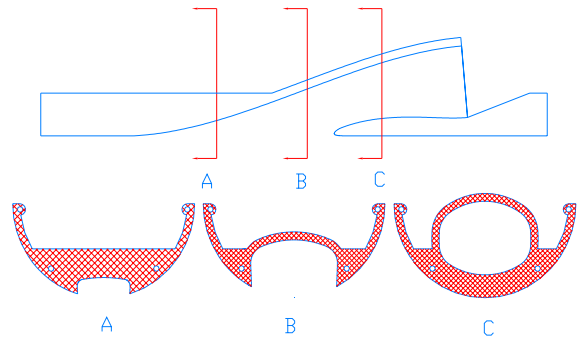
이므로 유도탄 동체와 함께 모델링, 제작되어야 한다. 그림 11은 유도탄 동체 내부의 플러쉬 흡입관을 나타낸 단면도이다. 흡입관 후방은 엔진 장착면으로 끝나며, 원래 모델에서는 기체 내부 깊은 곳에 위치하므로 가공 및 후가공에 불리하며 제작 후 흡입관 내부를 관찰하고 평가하기에도 좋지 않다. 따라서 그림 12와 같이 동체부와 흡입관 후방부를 제거한 형상을 제작하기로 하였다. 크기는 직경 350, 길이 1500mm 가량이다.

#### 나. 모델의 평가 및 층간 두께 결정

제작 형상의 외형은 cylinder 형상의 일부이며, 내부 형상도 유사하다. Rattanawong 등의 오차 계산결과<sup>[6]</sup>를 참조하면 cylinder 형상은 길이방향으로 제작할 경우 형상오차가 '0'이므로 적층방향은 길이방향으로 결정하였다. 층의 두께는 그림 2의 결과를 이용하여 결정하였다. 길이방향의 단면에서 구한 모델의 곡률반경의 최소값은 약 800mm이다. 그림 2에서 형상오차 0.2%를 적용하면 R/h는 40근처의 값이 되며, 층의 높이는 20mm로 결정할 수 있다.

#### 다. 파일럿 홀 위치 결정

파일럿 홀은 모든 층에서 형상 내부에 존재하는 곳으로 결정해야 하는데, 흡입관 양쪽 옆의 동체부가 이 조건을 만족하므로 흡입관 좌우에 각각 하나씩 배치하였다. 그리고 양쪽 측면 상단의 기체 스킨부가 취약할 것으로 판단되어 각각 하나씩 배치하였다. 이 과정에서 측면 상부에 파일럿 홀을 위한 부분이 추가되었고, 최종 형상은 그림 12와 같다. 그림 13에는 대표적인 단면 세 곳의 형상을 나타내었다. 파일럿 홀이 항상 형상 내부에 위치하는 것을 볼 수 있다.



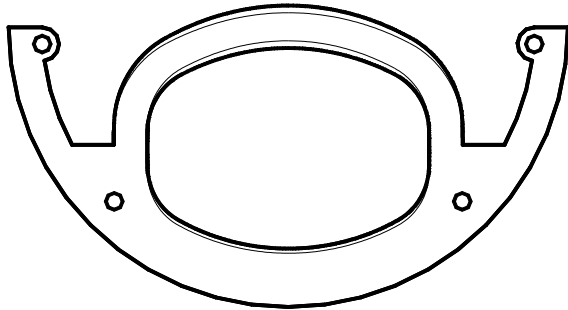
[그림 13] 대표적인 단면 형상

#### 라. 2차원 단면정보 생성

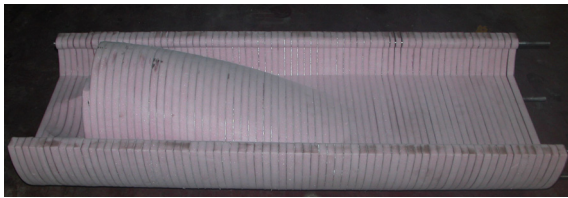
금속판 층과 스티로폼 층의 단면정보를 생성하기 위해서 모델을 20mm 간격으로 슬라이싱하여 단면을 추출하였다. 금속판 층은 해당 위치의 단면정보를 그대로 이용해서 제작하게 되며, 스티로폼 층은 2장의 '다' 절에서와 같이 외곽에 위치하는 선들을 이용해서 제작하여야 한다. 아래 그림 14의 단면들은 그림 13



의 단면 C 부근의 이웃한 단면들이다. 동체부는 완전히 겹쳐서 나타나며 흡입관부는 조금씩 틀리게 나타난다. 이 선들 중에서 더 외곽에 해당하는 선을 선택하고 스페이서의 크기를 반영하면 굵은 선과 같이 된다. 이와 같은 방법으로 76개의 금속판 층과 75개의 스티로폼 층의 단면정보를 생성하였다.



[그림 14] 단면 정보 생성



[그림 15] 전체 형상

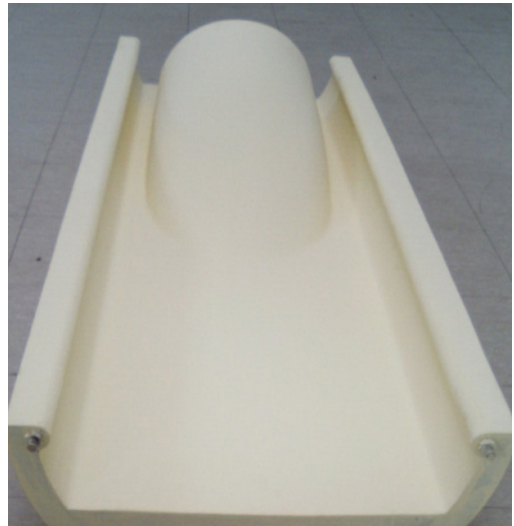


[그림 16] 흡입관 입구 형상

#### 마. 가공 및 후가공

앞 절에서 생성한 단면정보를 이용해서 금속(알루미늄)판과 스티로폼을 각각 가공하여 적층하였다. 그림 15~16은 적층 후 후가공까지 마친 모습이다. 스티로폼 층 사이의 금속판이 후가공에 큰 도움을 주어, 3차원 곡면이 잘 표현된 것을 볼 수 있다.

최종 마무리와 도색작업 등을 거친 결과물은 그림 17~18과 같다.



[그림 17] 최종 결과물



[그림 18] 흡입관 입구 형상

**바. 결과물에 대한 고찰**

3차원 모델에서 얻은 단면과 동일하게 가공한 금속 판을 기준으로 후가공 하였으므로 측면의 형상정밀도는 앞에서 예측한 것과 같이 0.2% 내외일 것이며, 적층 방향으로의 높이는 측정결과 1498~1507mm로 전체 높이 1500mm와 비교해서 ±0.5% 이내의 오차를 가진다. 높이방향의 오차는 일반적인 쾌속조형공정으로 제작된 결과물의 오차와 비교하면 우수한 결과이지만 높이가 불균일한 현상은 다른 쾌속조형 공정에서는 보기 힘든 현상이다. 제작에 사용된 스티로폼의 두께는 20mm, 알루미늄판은 2mm이다. 두 층을 합하면 22mm로 층간 간격 20mm보다 큰 값이 된다. 현장에서 사용되고 있는 스티로폼 판재의 두께가 균일하지 않으며(18~22mm가량), 층간에는 스페이서가 적용되어 있으므로 양쪽 끝에서 금속판을 눌러주면 금속판 간의 간격은 스페이서가 유지하고, 금속판 사이의 스티로폼은 압축되어 전체 형상에 영향을 미치지 않을 것으로 예상하였다. 안내봉의 끝단에 나사산을 가공하여 너트로 체결한 결과, 안내봉 부근에서는 알루미늄 판의 두께와 스페이서 두께의 누적 공차 수준에 해당하는 아주 작은 오차(1~2mm 수준)가 발생하였지만, 안내봉에서 먼 부분으로 갈수록 불룩하게 돌출되어 최대 7mm 가량의 오차가 발생하였다. 이 오차는 알루미늄 판이 스티로폼 판을 효과적으로 압축하지 못해서 발생하는 현상으로 추정되며, 파일럿 홀의 위치를 조정하거나 강성이 높은 금속판을 사용하면 상당부분 해소할 수 있을 것으로 생각된다.

**4. 맺음말**

쾌속조형 원리를 응용하여 기존의 제작 방법이나 쾌속조형 공정으로는 제작이 힘든 비교적 큰 모델을 제작하는 방법론에 대하여 기술하였다.

형상 오차 계산 결과 측면 경사를 가지는 단위 층을 적층했을 때와 동일한 두께를 가진 계단 형상을 적층했을 때를 서로 비교하면 곡률의 증가에 따라 부피오차가 수% 수준으로 감소(그림 3)하며, 측면 경사를 가지는 단위 층을 적층한 것과 동일한 수준의 정밀도를 유지하기 위해서는 곡률에 따라 1/10 이하의

두께를 가지는 계단 형상의 층을 적층하여야 하므로 (그림 2), 두꺼운 단위 층을 적층하여 제작하면 더 높은 정밀도를 유지하면서 제작 시간은 단축할 수 있다는 결론을 얻었다. 두꺼운 스티로폼 층 사이에 정밀하게 가공된 금속 판을 추가하여 정밀도를 유지할 수 있도록 하였고, 형상 내부에 파일럿 홀(pilot hole)과 안내봉을 적용하여 측면 형상의 연속성을 유지하고 뒤틀림을 방지하였다. 금속 판 사이에는 일정한 두께의 금속재질의 스페이서를 적용하여 적층 방향으로의 누적오차를 최소화하였다. 제안된 방법론을 적용하여 플러쉬 흡입관이 적용된 유도탄 동체의 일부 모델을 직접 제작하는 과정과 그 결과물에 대하여 기술하였다. 결과물의 형상정밀도는 우수하였지만, 적층방향 높이가 불균일한 현상도 발견하였다.

향후 연구방향은 크게 두 가지로 정밀도를 향상할 수 있도록 공정을 개선하는 것과 모델의 평가부터 단면정보 생성까지의 단계를 자동화하는 것이다. 먼저 공정 측면에서의 개선점을 살펴보면, 층 내부에 불연속적이거나 형상이 급격히 변하여 측면 경사로 모사되지 않는 경우가 있을 수 있다. 이 때는 불연속한 지점을 층의 경계에 위치하게 하거나, 형상 변화가 심한 부분은 국부적으로 얇은 층을 적용하여 형상의 정밀도를 향상시킬 수 있을 것이다. 유도탄 모델의 제작에서 나타난 적층방향 높이의 불균일 현상은 강성이 높은 금속판을 사용하거나 파일럿 홀의 위치를 조정하고, 일부 층에만 부분적으로 안내봉을 위치시키는 방법 등을 적용하면 개선될 것으로 생각된다. 또, 본 연구에서 수동으로 수행한 일련의 과정들을 자동화 할 수 있는 소프트웨어의 개발도 가능할 것이다. 지정된 포맷으로 3차원 모델을 읽어 들여서 좌표축 방향으로 형상의 변화정도 등을 평가하고, 적층 방향과 층간 두께, 파일럿 홀의 위치 등을 결정하고, 모델을 슬라이싱한 후, 각각의 단면정보를 생성하는 조건과 알고리즘을 확립하고 소프트웨어를 개발할 수 있을 것이다.

**참 고 문 헌**

[1] J. P. Kruth, "Material increase manufacturing



- by rapid prototyping techniques”, *Annals of the CIRP*, Vol. 40, No. 2, pp. 603~614, 1991.
- [2] A. Novc, S. Kaza, Z. Wang, C. Thomas, “Techniques for improved speed accuracy in layered manufacturing”, *Solid Free Fabrication Symposium Proceedings*, pp. 609~617, 1996.
- [3] Hope, R. L., Jacobs, P. A. and Roth, R. N., “Rapid prototyping with sloping surfaces”, *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 3, No. 1, pp. 12~19, 1997
- [4] 양동열, 이상호, 안동규, 최홍석, 박승교, “선형 열절단 시스템을 이용한 단속적 재료 공급식 가변 적층 쾌속조형 공정 및 장치”, 특허 2001-0070212, 2001.
- [5] 양동열, 이상호, 안동규, 최홍석, 박승교, “단속형 재료공급식 가변 적층 쾌속조형공정 및 장치 개발에 관한 연구”, *한국정밀공학회지*, 제19권, 제2호, pp. 95~105, 2002.
- [6] W. Rattanawong, S. H. Masood, P. Iovenitti, “A volumetric approach to part-build orientations I rapid prototyping”, *Journal of materials processing technology*, Vol. 119, pp. 348~353, 2001.
- [7] P. Kulkarni, D. Dutta, “An accurate slicing procedure for layered manufacturing”, *Computer-aided design*, Vol. 28, No. 9, pp. 683~697, 1996.