

## VLM-ST 공정의 완전 자동화를 위한 2 단계 절단 경로 데이터 생성 방법에 관한 연구

이상호\*, 안동규\*\*, 김효찬\*, 양동열#, 박두섭\*\*\*, 채희창\*\*\*

### Generation of Cutting Path Data for Two Steps of the Cutting Process in Full-Automated VLM-ST

Sang-Ho Lee\*, Dong-Gyu Ahn\*\*, Hyo-Chan Kim\*, Dong-Yol Yang#,  
Doo-Seob Park\*\*\*, Hee-Chang Chae\*\*\*

#### ABSTRACT

A novel rapid prototyping (RP) process, a full-automated transfer type variable lamination manufacturing process (Full-automated VLM-ST) has been developed. In the full-automated VLM-ST process, a vacuum chuck and a rectilinear motion system transfer the EPS foam material in the form of the plate with two pilot holes to the rotary supporting stage. The supplied material is then cut into an automated unit shape layer (AUSL) with a desired width, a desired length, a desired slope on the side surface, and a pair of reference shapes, which is called the 'guide shape (GS)', including two pilot holes in accordance with CAD data through cutting in two steps using a four-axis synchronized hotwire cutter. Then, each AUSL is stacked by setting each AUSL with two pilot holes in the building plate with two pilot pins, and subsequently, adhesive is applied onto the top surface of the stacked AUSL by a bonding roller and pressure is simultaneously given to the bottom surface of the stacked AUSL. Finally, three-dimensional shapes are rapidly and automatically fabricated. This paper describes the method to generate guide shapes in AUSL data for the full-automated VLM-ST process. In order to examine the applicability of the method to generate guide shapes, three-dimensional shapes, such as a piston shape and a human head shape, are fabricated from the full-automated VLM-ST apparatus.

**Key Words** : Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing(가변 적층 쾌속조형), Automated Unit Shape Layer(AUSL, 자동화용 단위 형상 층), Guide Shape(GS, 안내 형상)

#### 1. 서론

다양한 소비자의 기호에 부응하기 위해서 제품 개발 기간의 단축이 필수적이다. CNC 나 와이

어 EDM 과 같은 전통적인 기계 가공에 토대를 둔 제품 개발 방법만으로는 이러한 시장의 요구를 만족시키는 것이 어렵기 때문에, 제품의 다양성과 시작기간 단축이 필수 불가결한 자동차, 가전, 전

접수일: 2003 년 5 월 24 일; 게재승인일: 2003 년 11 월 14 일  
\* 한국과학기술원 기계공학과  
\*\* 조선대학교 기계공학과  
# 교신저자: 한국과학기술원 기계공학과  
Email dyyang@kaist.ac.kr Tel. (042) 869-3214  
\*\*\* 전북대학교 기계항공시스템 공학부

기/전자 등의 산업 분야에서 제품 개발 기간과 비용을 단축시키려는 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 따라서, 시제품의 설계 및 개발의 동시공학적인 추구가 가능하고, 소요 비용 및 시간을 획기적으로 단축함으로써 시제품 다양성, 납기 등에 대한 제품 적응력을 제고할 수 있는 시제품 제작기법으로 패속조형기술(Rapid Prototyping Technology)이 도입되었다.

패속조형 공정이란 종이, 왁스, ABS 및 플라스틱, 금속분말, 금속와이어 등의 여러가지 비금속, 금속의 재료를 사용하여 3 차원 CAD 데이터로부터 3 차원 형상의 시제품 또는 몰드를 곧바로 2 차원의 얇은 층을 한층씩 적층하여 3 차원 형상을 조형하는 공정을 일컫는 것이다<sup>1,3</sup>. 1987년 미국의 3D System 사에 의해서 광조형법(Stereolithography)이 처음 개발된 이후로, 현재 20 여 가지 이상의 패속조형공정들이 상용화 되었으며, 새로운 공정 개발을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

2000년에 Yang 과 Ahn<sup>5,8</sup>은 기존의 패속 조형공정의 문제점인 긴 조형시간, 2 차원의 얇은 층의 적층에 의한 측면 계단 형상, 추가적인 후처리 공정 등을 극복할 수 있는 새로운 개념의 가변적층 패속조형공정(Variable Lamination Manufacturing using expandable polyStyrene foam: VLM-S)을 제안하였다. 현재 연구 개발된 VLM-S 공정은 재료 공급 방식에 따라 VLM-SP 공정<sup>5,6</sup>과 VLM-ST 공정<sup>8,9</sup>으로 나누어진다. VLM-ST 공정은 다시 적층 방식에 따라서 반자동형 VLM-ST 공정과 완전자동형 VLM-ST 공정으로 나누어서 개발 중이다.

본 연구에서 다루는 완전 자동형 VLM-ST 공정에 앞서 개발된 반자동형 VLM-ST 공정은 평형사변형 메카니즘을 가진 4 축 동시 제어되는 선형 열절단 시스템으로 4 mm 이하의 재료를 주어진 3 차원 CAD 데이터와 일치하도록 절단한 다음, 오프라인에서 파일럿 판과 적층 기준 형상을 이용하여 수동으로 적층/접착함으로써 3 차원 형상의 제품을 빠르게 제작할 수 있다. 그러나, 적층/접착공정이 수동으로 수행됨으로 정확한 적층이 어렵고 제품 제작 과정이 사용자와 독립적이지 못하기 때문에 무인화가 불가능하다는 단점을 가지고 있다. 이러한 반자동형 VLM-ST 공정의 단점인 수동 적층/접착으로 인한 사용자 의존성을 극복하여 완전자동화된 무인화 시스템을 구현하기 위하여 완전 자동화된 VLM-ST 공정을 개발하고 있다.

3 차원 CAD 모델로부터 VLM-S 공정의 절단 경로 데이터를 자동으로 생성하는데는 “VLM-Slicer<sup>4</sup>”라고 불리는 전용 CAD/CAM 소프트웨어를 개발하였다. VLM-SP<sup>5,6</sup> 공정을 위한 절단 경로 데이터인 단위 형상 조각 (Unit Shape Part, USP)을 생성하는 경우, VLM-Slicer USP Version<sup>7</sup>으로 명명하였고, 반자동형 VLM-ST<sup>8,9</sup> 공정을 위한 절단 경로 데이터인 단위형상층 (Unit Shape Layer, USL)을 생성하는 경우, VLM-Slicer USL Version<sup>10</sup>으로 명명하였다. 완전자동형 VLM-ST 공정은 기존의 VLM-Slicer USL Version 과 다른 절단 경로 데이터를 요구한다. 완전자동형 VLM-ST 공정을 위해서 절단 경로 데이터인 자동화용 단위형상층 (Automated Unit Shape Layer, AUSL)을 생성하는 CAD/CAM 시스템을 ‘VLM-Slicer AUSL Version’이라 한다.

본 연구에서는 완전 자동형 VLM-ST 공정을 위해서 AUSL 데이터 생성 방법을 개발하고자 한다. 특히, 실제적으로 완전 자동화가 가능하도록 하는 안내형상(Guide Shape) 생성 방법을 제안/구현한 다음, 실제 3 차원 형상에 적용/제작함으로써 제안된 AUSL 데이터 생성 방법의 타당성과 적용성을 검증하고자 한다.

## 2. 완전 자동형 VLM-ST 공정 및 장치

완전 자동형 VLM-ST 공정은 두개의 적층 기준 형상을 가진 안내형상 개념을 도입함으로써 반자동형 VLM-ST 공정에서 한 개의 적층 기준 형상을 가짐으로써 절단 중에 발생하는 단위형상층 생성 중 회전이나 비틀림의 문제를 극복할 수 있을 뿐만 아니라, 반자동형 VLM-ST 공정의 또 다른 문제점인 수동 적층/접착으로 인한 사용자 의존성을 완전히 제거하고 완전자동화된 무인화 시스템을 구현할 수 있다.

Fig. 1(a)에 보여진 완전 자동형 VLM-ST 공정의 작동 순서는 다음과 같다.

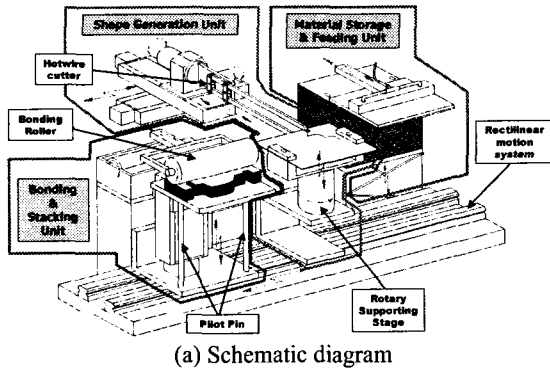
(1) 폼(Foam) 및 열가소성 수지, 열경화성 수지 등의 재료를 여러 가지 두께의 판재 형태로 진공척과 직선운동단위를 이용하여 단속적으로 공급한다.

(2) 공급된 판재를 4 자유도 선형 열절단 시스템과 회전지지대를 이용한 2 단계 절단으로 CAD 데이터에서 요구되는 폭, 경사 및 길이를 자유로이 절단하여 두개의 기준형상을 가지는 완전 자동

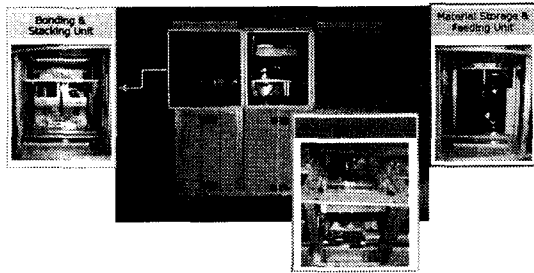
화용 단위 형상층 (AUSL)을 생성한다.

(3) 생성된 AUSL 의 상면에 접착제를 이용하여 접착제를 부착하면서 균일하게 압력을 가해 앞서 생성된 층과 현재 생성된 AUSL 을 접착 시킨다.

(4) (1)~(3)의 과정을 반복하여 원하는 3 차원 형상을 빠른 시간내에 제작한다.



(a) Schematic diagram



(b) Apparatus

Fig. 1 Full-automated VLM-ST Process

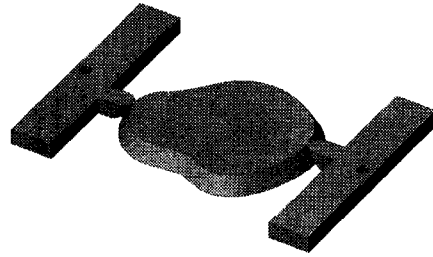
Fig. 1(b)에 보여진 것과 같이 완전 자동형 VLM-ST 장치는 재료 저장/공급부, 형상 생성부, 형상 접착/적층부, 그리고 시스템 제어부의 총 4 가지 세부 공정으로 구성된다.

### 3. AUSL(자동화용 단위형상층)

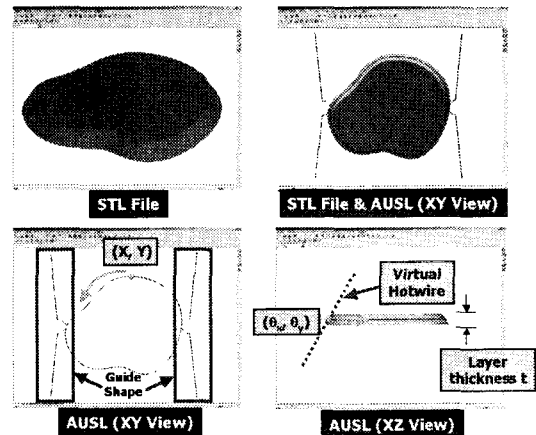
Fig. 2(a)에 보여진 바와 같이, AUSL 은 완전자동형 VLM-ST 공정에서 절단과 적층의 기본단위이다. AUSL 은 1mm 이상의 두께와 측면 경사, 안내형상(Guide Shape, GS)을 가진 3 차원 형상층이다.

한편, Fig. 2(b)에 보여진 바와 같이, AUSL 데이터는 한층의 절단 경로 데이터의 기본단위이다.

AUSL 데이터 파일에는 파일이름, 전체 자동화용 단위형상층의 수, 층 두께, 각 단위 형상 층의 2 단계 절단 경로의 좌표값, 각 점에서의 경사각, 열선 절단 속도(v)와 열선의 열량(0.3~0.8 W/mm), 안내 형상에 대한 좌표값등을 포함한다.



(a) Hardware concept



(b) Software concept

Fig. 2 Automated Unit Shape Layer

## 4. AUSL 데이터 생성

### 4.1 AUSL 데이터 생성 과정

VLM-Slicer AUSL Version 이 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터를 생성하는 절차는 Fig. 3 에 나타낸 것과 같이 크게 STL 파일로부터 중간 단면을 생성하는 CAD 프로세스와 중간 단면으로부터 실제 절단 경로 데이터인 AUSL 데이터를 생성하는 CAM 프로세스로 이루어진다.

#### (1) CAD 프로세스

① 3 차원 CAD 모델러에서 모델링한 3 차원

형상을 STL 파일로 변환한 다음, STL 파일의 삼각형 격자의 정보들을 읽어 들여 메모리에 저장한다.

② 읽어 들인 STL 파일의 삼각형 격자들로부터 일정한 두께(1 mm 이상) 간격으로 2 차원 단면 데이터(SLC data)를 생성하기 위해서 슬라이싱 작업(1 차 슬라이싱)을 수행한다.

③ 슬라이싱 작업을 통해 얻어진 2 차원 단면 데이터의 맨 아래 층부터 맨 위 층까지 순서대로 두 개의 이웃하고 있는 단면들 사이를 삼각형 격자로 둘러 싸서 측면 형상 복원(SRF data)을 수행한다<sup>11</sup>.

④ 선형열선절단기의 열선방향 중심이 두께를 가진 한 층의 중간 단면과 같은 평면상에 위치하도록 하기 위해서 복원된 형상에 대하여 층 두께(t)의 절반이 되는 지점에서 슬라이싱(2 차 슬라이싱)하여 중간 단면 데이터(MCG data)을 생성한다. 중간단면데이터는 각 층의 두께, 가공 윤곽 데이터(절단 중 선형열선절단기의 열선의 중심이 그리는 궤적), 각 모서리를 포함하는 삼각형의 법선 벡터 등을 포함한다.

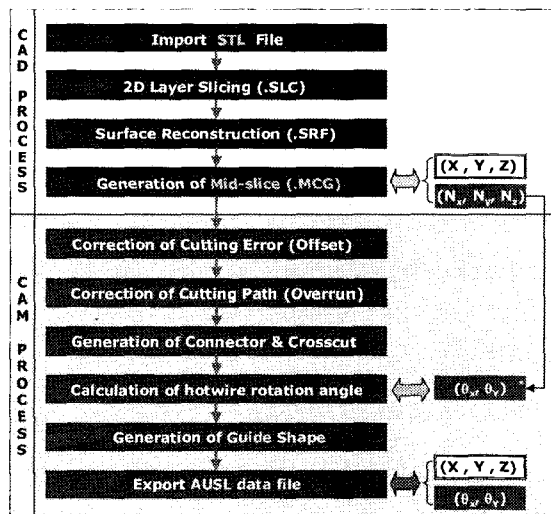


Fig. 3 Flowchart of VLM-Slicer AUSL Version

(2) CAM 프로세스

① 열선에 의하여 형상을 생성할 때 재료와 열선과의 접촉에 의해서 절단되는 것이 아니라 열선에서 발생하는 열에 의해서 재료가 녹으면서 절단이 발생하기 때문에 요구되는 치수를 얻기 위해서 열선 자체의 직경과 발생한 열에 의해서 녹는

부분의 넓이 등을 고려하여 절단시 발생하는 오차를 최소화하기 위해서 중간 단면을 오프셋을 해주어야 한다<sup>12</sup>.

② 열선 절단기로 절단시에 절단 윤곽에 첨단(sharp edge)이 존재하는 경우, 순간적인 열선의 이동 속도 저하에 따른 열집중이 과도하게 되어 형상의 끝부분이 열에 의해 녹아서 원하는 형상을 얻을 수 없고, 국부적인 발포로 인해서 재료가 부분적으로 두꺼워지게 되어 적층 과정에서도 좋지 않은 영향을 미친다. 열선이 형상의 바깥쪽으로 더 지나가도록 오버런(overrun)을 부여함으로써 첨단에서의 열집중에 의한 형상 오차를 줄일 수 있도록 절단 경로를 수정해 준다<sup>12</sup>.

③ 반시계 방향의 단일 페루프를 생성하기 위해서 횡단선과 연결자를 이용하여 중간 단면을 단순연결 영역(simply connected domain)으로 만든다. 이것 때문에 공급되는 한장의 재료를 한번만 절단해서 한층 내의 모든 형상이 하나로 연결되어 있고, 일정한 두께를 가진 3 차원 단위 형상층을 만들 수 있다. 단순 연결 영역화를 할 때, 내부에 구멍이 있는 경우를 제외하고 한번 지나간 경로를 다시 지나 갈 수 없다<sup>12</sup>.

④ 단일 페루프를 형성하고 있는 중간 단면 데이터에서 주어진 가공 윤곽 데이터와 각 모서리를 포함하는 삼각형의 법선 벡터로부터 선형 열선 절단기의 회전각을 계산한다<sup>13</sup>.

⑤ 완전 자동화를 가능하게 하는 2 개의 안내 구멍(pilot hole)을 포함하는 안내형상(Guide Shape)을 생성한다.

⑥ 단일 페루프를 형성하고 있는 중간 단면 데이터에서 주어진 가공 윤곽 데이터와 중간 단면에 추가된 안내 형상, 그리고 계산된 선형 열선 절단기의 회전각 등의 완전자동화를 위한 3 차원 단위 형상 층의 정보는 AUSL 파일로 저장된다.

CAM 프로세스의 네번째 단계까지는 이미 본 연구에 앞서 수행된 선행 연구<sup>10-13</sup>를 통해서 여러 차례 언급 되었으므로 본 연구에서는 실제 완전 자동화를 위한 핵심 개념인 두 개의 안내구멍을 포함하는 안내형상 생성 방법에 대해서 집중적으로 다루고자 한다.

4.2 안내 형상 생성

Fig. 4 에 나타낸 바와 같이 '자동화용 단위 형

상층 (Automated Unit Shape Layer, AUSL)'은 절단과 적층을 안내/지지하여 완전 자동화를 가능하게 하는 안내형상(Guide Shape: GS)을 가지고 있다. 완전 자동형 VLM-ST 공정에서는 이러한 안내형상을 이용하여 각 층의 접착/적층을 완전히 자동으로 수행한다. 2 개의 안내핀(pilot pin)을 이용하여 각각의 AUSL 이 가지고 있는 2 개의 안내 구멍(pilot hole)에 맞추어 순서대로 적층판(building plate)에 적층하고 고정한다. 이때, 윗층에 돌출부(overhang)가 존재하는 경우, 아래 층의 안내 형상은 윗층에 대해서 지지대(support structure) 역할을 수행한다. 적층 완료 후, 안내 형상은 쉽게 제거 가능하도록 설계 되었다.

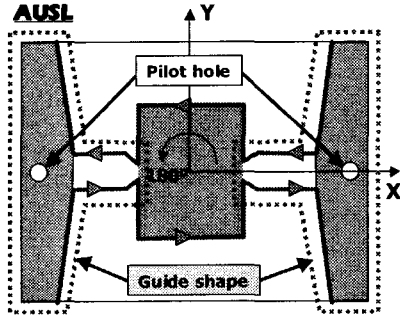
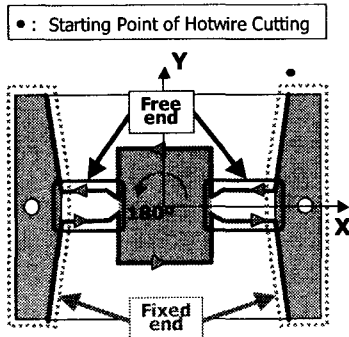
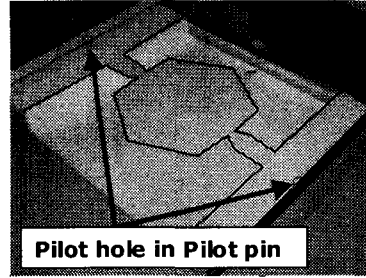


Fig. 4 AUSL with a guide shape

Fig. 5 에 보여진 바와 같이 안내 형상은 공급 재료의 고정된 위치에 미리 뚫려 있는 2 개의 안내구멍을 포함하는 고정단과(Fixed end)과 각 층의 실제 형상에 따라서 목(neck)의 연결 위치가 움직이는 자유단(Free end)으로 나누어 진다.



(a) Designed configuration



(b) Physical shape

Fig. 5 Guide shape in AUSL

안내 형상은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 자유단

안내 형상의 자유단은 절단시에 각각의 실제 형상층의 기하학적 복잡성에 관계 없이 항상 절단 시작점에서 절단할 실제 형상까지 열선이 접근할 수 있도록 Y 방향으로 자유롭게 움직일 수 있다. 단, 중간단면에서 단순 연결 영역화할 때, 횡단선과 연결자의 생성 위치와 안내 형상 자유단의 목이 실제 형상에 연결되는 부분 사이의 간섭이 없도록 해야 한다. 자유단의 목 부분은 절단 및 적층 시에는 안내형상과 실제 형상을 연결하여 실제 형상의 자중을 지탱할 수 있어야 하고, 접착/적층 후에는 작은 힘만으로 제거가 용이해야 한다.

(2) 고정단

안내 형상의 고정단은 접착/적층시에 절단된 AUSL 을 적층판으로 이동시키기 전에 진공척으로 일시적으로 흡착할 때와 형상 생성부로 이동된 적층판(Building Plate : BP)의 적층 안내 핀과 고정단에 포함된 안내 구멍 (Pilot Hole)을 결합시켜 한 층을 적층할 때, 그리고 접착/적층부로 이동시킨 다음 현재의 적층판 위에 있는 AUSL 의 상면에 접착물을 이용하여 접착제를 도포하면서 접착물의 자중에 의해 균일하게 압력을 가함으로써 앞서 생성된 층과 현재 생성된 AUSL 을 순서대로 접착/적층할 때 이용된다.

Fig. 6 에 보여진 바와 같이 AUSL 은 2 단계의 절단 경로를 가지고 있다. 각 단계에서의 열선 절단 시작점은 고정되어 있다. 먼저, 1 차 절단 경로를 따라 절단한 후에 회전 지지대가 180°회전한다. 그리고 나서, 2 차 절단 경로를 따라 절단하여 안내 형상에 연결된 각각의 단위 형상 층을 생성한다. 2 차 절단 후에, 회전지지대는 원래 위치로 돌아 온다.

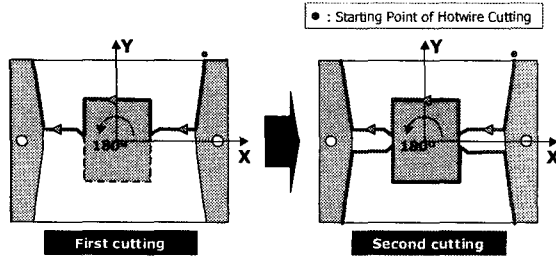


Fig. 6 Two steps of the cutting process for the AUSL generation

Fig. 7 은 안내형상을 생성하는 알고리즘을 제시하고 있다. 절단 경로에 16 개의 점을 추가하여 안내형상을 각 층의 단면형상의 양쪽에 부가할 수 있다. Fig. 7 에 보여진 바와 같이 다음과 같은 순서로 생성된다.

- (a) 안내 형상 생성을 위해서 각층의 중간단면형상의 바운딩 박스(bounding box)의 최대 최소값의 평균점이나 도심 중에 어느 하나를 기준으로 선택한다.
- (b) 중간단면형상과 안내형상을 연결하는 경부(neck)의 연결점 L1, L2, R1, R2 를 기준점에 따라서 다음과 같이 결정한다.

L1, L2:

$$X = X_{\min} \quad Y = Y_{ref} \pm \frac{W_{neck}}{2} \quad (1)$$

R1, R2:

$$X = X_{\max} \quad Y = Y_{ref} \pm \frac{W_{neck}}{2} \quad (2)$$

여기서,  $Y_{ref}$ 는 다음과 같다.

$$Y_{ref} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} \quad \text{or} \quad Y_{ref} = Y_c \quad (3)$$

여기서  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  은 바운딩 박스에서 X 값의 최대값과 최소값을 나타내고,  $Y_{\max}$ ,  $Y_{\min}$  : 바운딩 박스에서 Y 값의 최대값과 최소값을 나타낸다.  $(X_c, Y_c)$ 은 단면의 도심을 나타낸다.

- (c) 자유단 목의 연결점으로부터 Fig. 7(a)에 보

여진 것처럼 주어진 각도  $\theta$ 방향으로 확장선을 만든다.

- (d) 확장선과 직선  $Y = Y_{ref} \pm W_{free}/2$  사이의 교차점 L3, L4, R3, R4 를 구한다.
- (e) 자유단과 고정단을 연결하는 점 L5, L6, R5, R6 을 절단 경로에 추가한다.

L5, L6:

$$X = -125 \quad Y = Y_{ref} \pm \frac{W_{free}}{2} \quad (4)$$

R5, R6:

$$X = +125 \quad Y = Y_{ref} \pm \frac{W_{free}}{2} \quad (5)$$

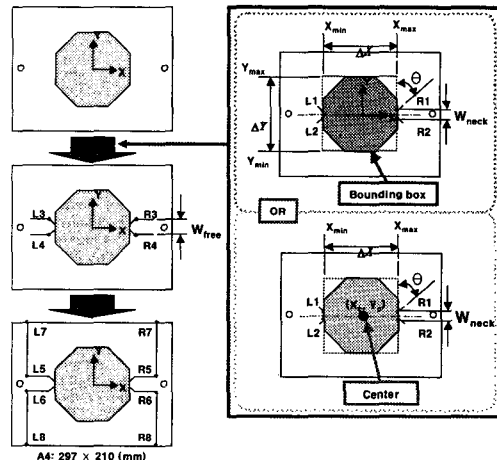
- (f) 마지막으로 고정단의 끝점 L7, L8, R7, R8 을 절단 경로에 추가한다.

L7, L8:

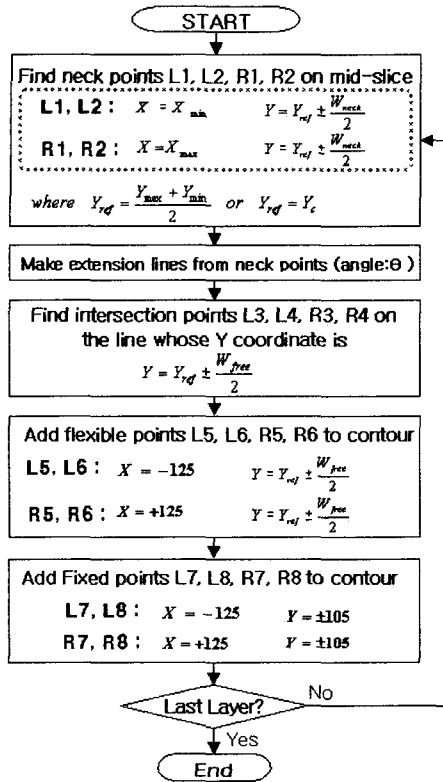
$$X = -125, Y = \pm 105 \quad (6)$$

R7, R8:

$$X = +125, Y = \pm 105 \quad (7)$$



(a) Schematic diagram



(b) Flowchart of algorithm  
Fig. 7 Generation of guide shape

이러한 안내형상생성 알고리즘이 단면형상의 요철에 관계없이 항상 적용 가능하도록 하기 위해서 각층의 중간단면형상에 대해서 안내형상 생성시에 연결부에서 간섭이 일어나지 않도록 사용자에게 양쪽 자유단 목의 연결 위치의 Y 축 기준좌표  $Y_{ref}$  를 서로 독립적으로  $\pm Y$  축 방향으로 오프셋이 가능하도록 하였다.

### 4.3 적용예

Fig. 8 은 VLM-Slicer AUSL Version 을 사용하여 크기가 128 mm × 166 mm × 188 mm 인 사람 두상 형상에 대해서 안내형상을 가진 AUSL 데이터 생성 과정을 보여준다. 두상 형상은 층 두께가 4 mm 인 총 47 개의 AUSL 데이터로 구성된다. Fig. 8 에 보여진 결과로부터 각 층의 단면 형상에 관계 없이 제안된 안내형상 생성 알고리즘이 잘 적용 됨을 알 수 있다.

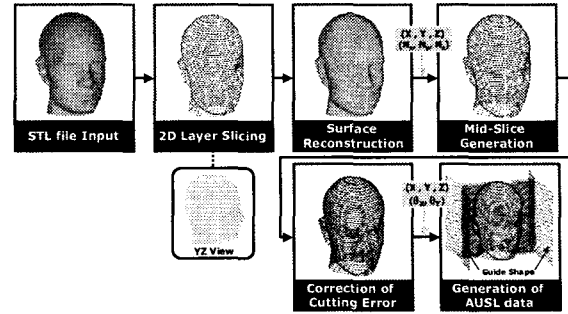


Fig. 8 AUSL generation of a human head shape

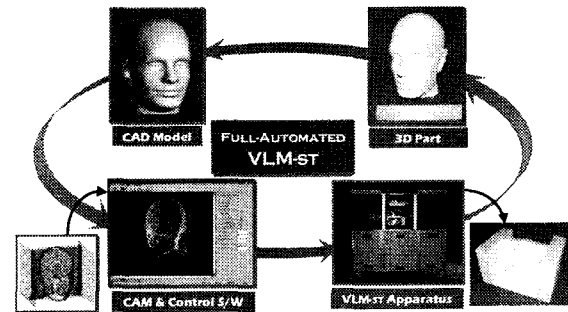
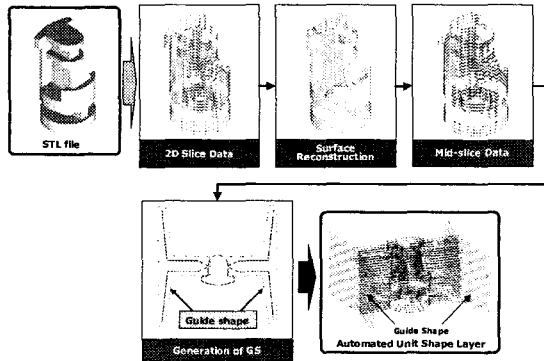


Fig. 9 Fabrication procedure of a human head shape

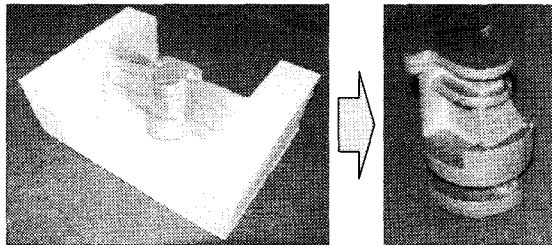
Fig. 9 은 완전자동형 VLM-ST 장치를 이용하여 두상 형상의 AUSL 데이터에 따라 선형 열선 절단기로 절단하여 안내형상을 가진 AUSL 각 층을 순서대로 적층한 다음 안내형상을 제거하여 실제 두상 형상을 제작하는 일련의 과정을 보여 준다. Fig. 9 에 보여진 제작 결과로부터 안내 형상이 완전 자동형 VLM-ST 공정에서 각각의 단위형상층을 효과적으로 자동 접착/적층하는데 이용될 수 있음을 확인 할 수 있다. 그리고, 실제 적층이 완료된 형상에서 안내 형상은 약간의 힘만으로 쉽게 제거 가능하기 때문에 기존의 LOM 공정 등에서 후처리 공정(decubing)을 위해서 요구되던 많은 시간과 노력을 대폭 절감 할 수 있다.

Fig. 10(a)는 VLM-Slicer AUSL Version 을 사용하여 크기가 68 mm × 68 mm × 120 mm 인 에어컨 콤프레서에 들어가는 피스톤 부품에 대해서 안내형상을 가진 AUSL 데이터 생성 과정을 보여준다. 안내형상생성시에 중간단면형상과의 간섭을 미리 검사하여 간섭이 발생하는 중간단면에 대해서 양쪽 자유단 목의 연결 위치의 Y 축 기준좌표  $Y_{ref}$  값을  $\pm Y$  축 방향으로 오프셋한 다음, 안내형상생성 알고리즘을 적용하였다. Fig. 10(b)는 완전자동형

VLM-ST 장치를 이용하여 피스톤 형상의 AUSL 데이터에 따라 선형 열선 절단기로 절단하여 안내 형상을 가진 AUSL 각 층을 순서대로 적층한 것과 안내형상을 제거한 실제 피스톤 형상을 보여 준다. Fig. 10 으로부터 안내 형상 생성 알고리즘이 실제 형상 제작 과정에 잘 적용됨을 알 수 있다.



(a) AUSL generation



(b) Stacked part and final shape

Fig. 10 Piston shape

## 5. 결론

반자동형 VLM-ST 공정의 단점을 극복하기 위해서 재료 공급에서부터 형상 절단 및 접착/적층에 이르기까지 사람의 간섭이 전혀 필요 없는 완전자동형 VLM-ST 공정이 개발 중이다. 본 연구에서는 이러한 완전 자동형 VLM-ST 공정을 위한 절단경로데이터 자동 생성 CAD/CAM 시스템인 'VLM-Slicer AUSL Version'을 개발하였다. 특히, 실제 완전 자동화를 위한 핵심 개념인 두 개의 안내 구멍을 포함하는 안내형상 생성 방법을 제안/구현하고, 일반적인 3 차원 형상에 적용하여 안내 형상을 가진 AUSL 데이터 생성 방법의 타당성과 적용성을 확인하였다. 그리고, 완전 자동형 VLM-ST

장치를 이용하여 실제 3 차원 형상을 제작함으로써 안내 형상이 완전 자동형 VLM-ST 공정에서 각각의 단위형상층을 효과적으로 자동 접착/적층하는데 이용될 수 있음을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 국가중점사업인 주문적응형 쾌속 제품 개발 시스템 사업단의 "가변 용착/적층에 의한 직접식 쾌속 조형 공정 및 응용 기술 개발" 연구 결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. P. F. Jacobs, Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, ASME Press, 1996.
2. K. Park, J. W. Yoon, D. Y. Yang, and J. R. Cho, "Concurrent engineering approach to the die design of metal forming processes using rapid prototyping and finite element analysis," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.13, No.8, pp.146-154, 1996.
3. D. Y. Yang and H. K. Sohn, "Recent state of rapid prototyping technique for rapid product development," Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol.17, No.10, pp.5-10, 2000.
4. VLM-Slicer, Program Registration Number R2002-01-11-313, 2002.
5. Variable Lamination Manufacturing Method and Apparatus by using Linear Heat Cutting System, Korea Patent Registration Number 0363737, 2002.
6. D. G. Ahn, S. H. Lee, D. Y. Yang, B. S. Shin, S. K. Park, Y. I. Lee, "Development of Variable Lamination Manufacturing (VLM) Process and Apparatus by Using Expandable Polystyrene Foam," Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol. 18, No. 8, pp. 54-63, 2001.
7. S. H. Lee, T. H. Kim, D. G. Ahn, D. Y. Yang, H. C. Chae, "Software Development for Automatic Generation of Unit Shape Part for Variable Lamination Manufacturing Process," Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol. 18, No. 8,



- pp. 64-70, 2001.
8. Transfer Type Variable Lamination Manufacturing by using Linear Heat Cutting System and Apparatus Thereof, Korea Patent Registration Number 0384135, 2003.
  9. D. G. Ahn, S. H. Lee, H. S. Choi, D. Y. Yang, S. K. Park, "Investigation into Development of Transfer Type for Variable Lamination Manufacturing Process and Apparatus," Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 95-105, 2002.
  10. S. H. Lee, D. G. Ahn, H. S. Choi, D. Y. Yang, Y. B. Moon, H. C. Chae, "Generation of Unit Shape Layer on CAD/CAM System for VLM-ST," Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 7, No. 3, pp. 148-156, 2002.
  11. S. H. Lee, D. G. Ahn, D. Y. Yang, "Surface Reconstruction for Cutting Path Generation on VLM-Slicer," Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol. 29, No. 7, pp. 71-79, 2002.
  12. H. S. Choi, D. G. Ahn, S. H. Lee, D. Y. Yang, "Accuracy Improvement in Transfer-Type Variable Lamination Manufacturing Process using Expandable Polystyrene Foam and Experimental Verification," Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol. 19, No. 7, pp. 97-105, 2002.
  13. S. H. Lee, D. G. Ahn, D. Y. Yang, "Calculation of Rotation Angle of the Linear Hotwire Cutting System for VLM-S," Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 87-94, 2002.