

발포 폴리스티렌 폼을 이용한 다기능 열선가공장치 개발

이상호*, 김효찬*, 양동열#, 박승교**, 김찬국**

Development of Multi-functional Hotwire Cutting System using EPS-foam

Sang-Ho Lee*, Hyo-Chan Kim*, Dong-Yol Yang#, Seung-Kyo Park** and Chan-Kuk Kim**

ABSTRACT

The objective of this paper is to develop a multi-functional hotwire cutting system (MHC) using EPS-foam block or plate as the working material. Because the MHC apparatus employs a four-axis synchronized hotwire cutter with the structure of two XY movable heads and a turntable, it allows the easy fabrication of various 3D shapes, such as (1) an axisymmetric shape or a sweeping cross-sectioned pillar shape using the hot-strip in the form of sweeping surface and EPS foam block on the turntable, (2) a polyhedral complex shape using the hotwire and EPS foam block on the turntable, and (3) a ruled surface approximated freeform shape using the hotwire and EPS foam plate. In order to examine the applicability of the developed MHC apparatus, an axisymmetric shape, a polyhedral shape and a large-sized freeform shape were fabricated on the apparatus.

Key Words : MHC (다기능 열선가공장치), turntable (회전 테이블), axisymmetric shape (축대칭 형상), polyhedral shape (다면체 형상), large-sized freeform shape (대형 자유표면 형상)

1. 서론

오늘날 수요자의 다양한 기호에 따라 제품 모델이 다양화되고, 국내외 시장에서 경쟁이 치열해지면서 제품의 개발기간과 시작기간 및 비용의 단축이 절실하게 요구되고 있어 모든 산업분야에서 제품의 시장도입시기, 즉 제품의 납기를 앞당기려는 여러 가지 시도를 경주하고 있다. 특히, 세계적으로 경쟁이 치열한 자동차, 가전, 전자산업 및 건축 등의 분야에서는 제품 모델 다양화 및 빈번한 제품 설계 변경이 필수적으로 요구된다. 이러한

시장의 요구에 효과적으로 대처하고, 제품의 경쟁력을 제고하기 위해서는 제품의 설계에서부터 시작품 생산에 이르는 제품 개발에 소요되는 비용과 시간을 절감하여 신속하고 저렴하게 제품을 시장에 출하하는 것이 필수적이라 할 수 있다.

이러한 시장의 요구를 만족시키고 기존 제품 개발에서 나타나는 장시간의 개발 기간을 단축할 수 있는 방법으로 동시공학적 개념의 새로운 시작품 제작 방법으로 “패속조형기술”¹이 도입되었다.

광조형법이라는 명칭으로 3 차원 패속 조형 공정이 산업 사회 도입된 후 3 차원 프린터 및 시작

접수일: 2004년 10월 25일; 게재승인일: 2005년 2월 18일

* 한국과학기술원 기계공학과

교신저자: 한국과학기술원 기계공학과

E-mail dyyang@kaist.ac.kr Tel. (042) 869-3214

** (주) 메닉스

품 제작 역할을 수행하는 여러 가지 3 차원 쾌속 조형 공정들이 개발 되었다. 현재 상용화 되었거나, 개발중인 대표적인 공정들은 용착을 이용하는 공정, 광경화성을 이용하는 공정, 소결을 이용하는 공정 및 접착제를 이용하는 공정으로 분류할 수 있다. 용착을 이용하는 공정으로는 용착 조형 공정 (Fused Deposition Manufacturing : FDM), 다중 제트 분사 공정 (Multi-Jet Modeling : MJM) 등이 있다. 광경화를 이용하는 공정으로는 광조형법 (Stereolithography : SLA), 다중 분사 노즐과 UV 램프 경화를 이용한 공정 (Objet) 등이 있다. 소결을 이용하는 공정으로는 선택적 레이저 소결 공정 (Selective Laser Sintering : SLS), Electro Optical Systems(EOS) 등이 있다. 또한, 접착제를 이용하는 방법으로는 박판 재료 적층 공정 (Laminated Object Manufacturing : LOM), 3 차원 프린팅 (Three-dimensional Printing : 3DP), 박판재료 자동 절단과 수동 접착을 이용한 공정(JP5)등이 있다.^{2,3}

종래의 쾌속조형 시스템들은 아주 얇은 수직층(1mm 이하)을 적층하여 3 차원 형상을 제작하기 때문에 조형속도가 느리고 측면에 계단형상의 단차가 생긴다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 폼 재료를 이용하여 두꺼운 두께의 층(1mm 이상)을 적층하여 전체 조형시간을 대폭 줄이려는 후판 적층 조형공정(Thick Layered Manufacturing)에 관한 연구가 활발하게 진행 중이며, 두께가 두꺼워져서 더욱 두드러지는 측면의 계단 형상의 단차를 제거하기 위해서 경사를 부여하여 임의의 3 차원 형상을 제작하려는 연구가 병행되고 있다.

적층 형상 절단 방식에 따라서 후판 적층 조형공정은 다음과 같이 나누어 진다. 레이저 절단을 이용하는 방법으로 CAM-LEM (Computer Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials)⁴과 LaserCamm⁵ 등이 있다. 열선 절단을 이용하는 방법으로 TLOM(Thick-Layered Objet Manufacturing)⁶과 ShapeMaker II⁷ 등이 있다. Waterjet 절단을 이용하는 방법으로 ShapeMaker 2000 과 TruSurf⁸ 등이 있다. 이러한 공정들은 대부분 절단 장비인 레이저나 워터젯이 고가이고, 경사면을 가진 층을 절단하기 위해서는 4 축 내지 5 축 제어가 필요하다 뿐만 아니라, 구현가능한 경사각도 30° 안팎이다.

2001 년 Yang 과 Ahn 등이 제안한 단속형 가변 적층쾌속조형공정(VLM-ST)^{9,11} 은 1 mm 이하의 얇은 층을 이용하는 종래의 쾌속조형시스템과 1 mm

이상의 후판적층조형공정의 단점을 극복할 수 있도록 개발되었다. VLM-ST 장치는 3 차원 CAD 모델로부터 생성된 USL 데이터에 따라서 (X, Y)로 병진운동과 (θ_x, θ_y)로 회전운동을 수행하는 외팔보 구조의 4 축 동시제어되는 선형열선절단기를 이용하여 발포폴리스티렌 폼을 절단/적층하여 3 차원 형상을 빠르게 제작 가능하다. 하지만, VLM-ST 장치도 최대 65°로 제한된 경사각과 작은 조형크기 (VLM300: 297× 210 mm, VLM400: 420× 297 mm)로 인하여 축대칭형상이나 대형조형물 제작에 다소 어려움이 있다. 또한, 기둥과 같은 축대칭 형상을 제작하는데에도 모든 층을 각각 쌓아올려 제작해야하기 때문에 작업의 효율성이 떨어진다.

발포폴리스티렌 폼은 건물단열재 및 포장재로 흔히 사용되고 있는 재료이지만 가볍고 저렴하며 가공성이 우수한 재질 특성으로 인해 건물인테리어외장재, 전시행사용 조형물, 옥외광고물, 입체간판, 방송 및 무대용 소품, 산업디자인용 제품 모형, 테마공원용 조형물 등 광범위한 산업분야에 걸쳐 다양하게 이용되고 있다. 특히 소비자들의 디자인에 대한 선호도가 날로 증가되고 있고 영화, 오락, 전시산업 등과 같이 단기간에 다양한 형상의 3 차원 조형물 제작이 요구되는 서비스산업이 급속도로 발전하고 있는 현실을 고려할 때, 발포폴리스티렌폼을 이용한 3 차원 조형물 제작에 대한 수요는 앞으로 더욱더 증대될 전망이다. 필요에 따라 제품형상을 자유롭게 가공할 수 있는 전용장비의 개발이 절실하다. 하지만, 현재 대부분의 발포폴리스티렌폼을 이용한 3 차원 조형물 제작은 수작업에 의해 이루어지고 있기 때문에 작업자의 기술적 경험에 의존할 수 밖에 없어서 생산성이 낮을 뿐만 아니라 재현성이 어려운 문제점이 있다.

따라서, 이러한 시장의 요구에 부응하기 위해서 본 연구에서는 CAD 데이터로부터 축대칭 형상이나 다면체 형상, 그리고 대형 3 차원 조형물을 쉽게 제작할 수 있는 발포폴리스티렌폼을 이용한 다기능 열선가공장치(MHC: Multi-functional Hotwire Cutting system using EPS-foam)를 개발하고자 한다. 그리고, 다기능 열선가공장치를 이용하여 3 차원 형상을 제작함으로써 제안된 장치의 적용성과 효율성을 검증하고자 한다.

2. 다기능 열선 가공 장치

다기능 열선가공장치의 개념도는 Fig. 1 에 보여진 바와 같다. 다기능 열선가공장치는 3 차원 CAD 모델 데이터로부터 생성된 절단경로 데이터에 따라 두 개의 XY 헤드 사이에 연결된 열선을 이용하여 다양한 두께를 가진 최대 1200× 900 mm 크기의 EPS 폼 판재를 순서대로 절단/적층하여 대형 3 차원 조형물을 빠르게 제작하거나 회전 테이블과 열띠(hot-strip)를 이용하여 EPS 폼 블록(block)을 가공하여 구나 원뿔, 원기둥 등과 같은 축대칭형상을 쉽고 간편하게 제작할 수 있는 장치이다.

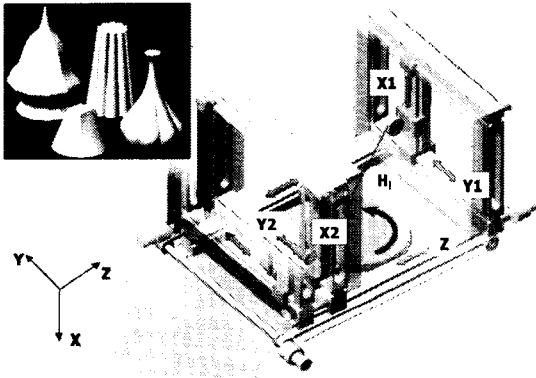


Fig. 1 Schematic of multi-functional hotwire cutting system

2.1 장치의 구성

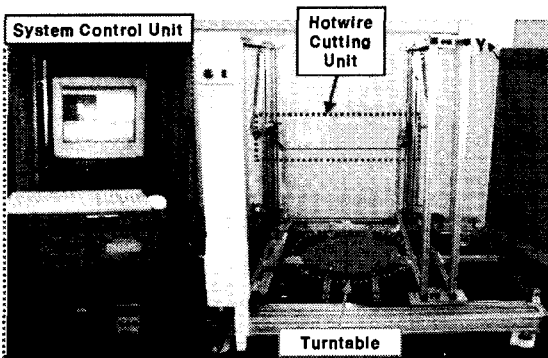


Fig. 2 Multi-functional hotwire cutting apparatus

다기능 열선가공장치는 Fig. 2 에 보여진 바와 같이 두 개의 XY 헤드 사이에 열선이 연결된 열선절단기와 회전테이블, 그리고 시스템 제어부로 구성된다. 다기능 열선가공장치의 시스템 사양은 Table 1 과 같다.

Table 1 Specification of multi-functional hotwire cutting system

Material	EPS-foam block EPS-foam sheet (1,200 x 900 x 20 mm)
Cutting system	4-axis synchronized hotwire cutter with the structure of two XY movable heads
Cutting speed	50 mm/sec (Maximum)
Control	PC-NC

2.2 장치의 특징

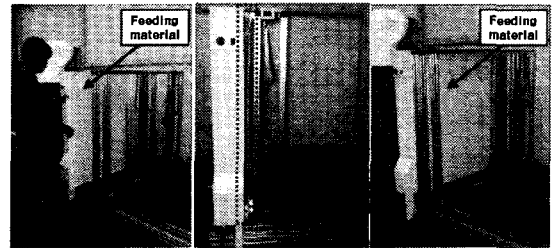


Fig. 3 Vertically supplied material

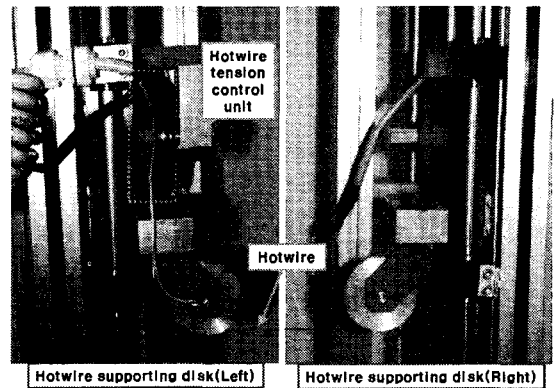


Fig. 4 Hotwire cutting unit

기존의 VLM-ST 장치에서 수평으로 재료를 공급하는 방식과 다르게 본 장치에서는 Fig. 3 에 보

여진 바와 같이 판재형태의 재료를 수직으로 공급함으로써 절단 중에 중력에 의한 재료처짐을 방지할 수 있어 절단 오차를 최소화할 수 있다. Fig. 4 은 좌우에 대칭적으로 있는 두 개의 XY 헤드 사이에 열선이 연결되어 있는 열선절단기를 보여 준다.

다기능열선가공장치의 열선절단기의 가장 큰 특징은 장치 작동 중에 계속 회전하는 “열선장력 조절장치”이다. 열선장력조절장치는 비자성체내에 자석이 들어 있는 구동원판과 열선이 감겨있는 스틸 원판을 서로 접촉 시켜 놓은 것이다. 열선이 느슨해 질 때는 구동원판과 스틸원판이 자기력에 의해서 같이 회전하여 열선의 장력을 팽팽하게 유지하고, 열선이 팽팽할 때는 구동원판과 스틸원판 사이의 자기력보다 열선의 장력이 더 커서 스틸원판을 회전하지 않고, 구동원판만 회전하게 된다. 이러한 열선장력조절장치를 이용하여 열선의 장력을 항상 일정하게 유지한다.

또한, 각각의 열선지지원판은 상하방향(X 축 방향)과 전후방향(Y 축 방향)으로 직선병진운동을 수행할 수 있고, 경사절단시에는 좌우방향(Z 축 방향)으로도 상대운동을 수행할 수 있다. 이러한 열선 지지원판 간의 상대운동에 의해서 블록이나 판재형태의 발포폴리스티렌폼 재료를 절단하여 다면체형상이나 자유표면형상과 같은 다양한 3 차원 형상을 제작할 수 있다.

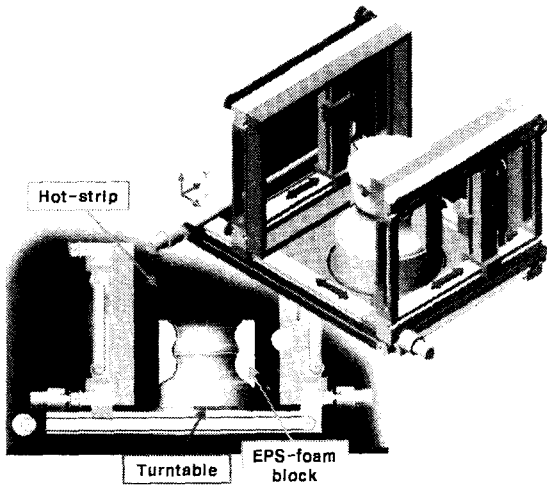


Fig. 5 Hot-strip and turntable

다기능열선가공장치는 Fig. 5 에 나타난 바와 같이 열띠(hot-strip)와 회전테이블을 이용하여 축대

칭 형상을 쉽게 제작할 수 있다. 발포폴리스티렌 폼 블록을 회전테이블 위에 놓고, 제작하고자 하는 축대칭형상의 수직단면윤곽과 같은 형태를 가진 열띠를 장착한 후, 회전테이블을 360 도 회전시키면 원하는 축대칭형상을 제작할 수 있다.

시스템 제어부는 열선절단기와 회전테이블의 구동을 자동으로 제어하기 위해서 C 와 C++ 언어를 사용하여 Window 환경하에서 PC-NC 시스템으로 구현하였다.

3. 열선절단기의 절단 경로 데이터 생성

다기능열선가공장치에서 다면체 형상과 축대칭 형상을 제작하고자 하는 경우, 별도의 절단경로데이터의 생성 없이 회전테이블과 열선절단기 또는 열띠를 이용하여 수동으로 제작 가능하다. 반면에 다기능열선가공장치로 적층방식을 이용한 일반적인 3 차원 형상을 제작하기 위해서는 각 층에 대한 열선절단기의 절단경로데이터 (X_1, Y_1, X_2, Y_2, H_1)을 생성하여야 한다.

3.1 열선절단기의 자세 묘사

Fig. 6 에 보여진 바와 같이 다기능열선가공장치의 열선절단기의 자세를 정의한다. Fig. 6 에 나타난 변수 중에서 W, R, C 는 각각의 열선지지원판의 위치를 계산하는데 필요한 설계 변수값으로서 W 는 YZ 평면상에서 열선 지지대가 고정되어 있는 축간의 Z 방향으로의 수직거리이고, R 은 열선 지지원판의 반지름이며, C 는 XZ 평면상에서 열선 지지대의 중심축과 열선지지원판의 중심 사이의 Z 방향으로의 수직거리를 나타낸다. 현재 설계된 열선절단기에서는 R 값과 C 값이 동일하도록 제작되었다.

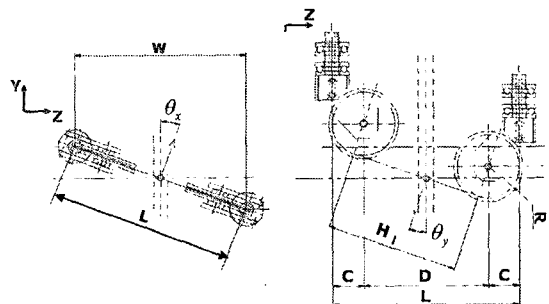


Fig. 6 Posture of hotwire cutter

3.2 절단경로데이터 계산

VLM-ST 공정용 절단경로데이터를 이용하여 다기능열선가공장치용 절단경로데이터의 계산하기 위해서 3 차원 CAD 모델의 STL 데이터로부터 USL 데이터 $(x, y, \theta_x, \theta_y)$ ¹²⁻¹³을 생성한다.

그리고 나서, 주어진 설계변수 W, C 값과 USL 데이터의 회전각 (θ_x, θ_y) 로부터 L, D, ϕ 값은 각각 다음과 같이 구한다.

$$L = \frac{W}{\cos \theta_x} \quad (1)$$

$$D = L - 2 \cdot C \quad (2)$$

$$\phi = \tan^{-1}(\tan \theta_y \cdot \cos \theta_x) \quad (3)$$

여기서, L 은 양쪽 열선지지대의 중심축 사이의 수직거리이고, D 는 열선지지원판의 중심 사이의 수직 거리이며, ϕ 은 Z 축 방향벡터와 열선사이의 각도를 나타낸다.

최종적으로 주어진 설계변수 W, R 값과 식(2), (3)으로 구해지는 D, ϕ 값, 그리고 USL 데이터 $(x, y, \theta_x, \theta_y)$ 으로부터 다기능열선가공장치의 절단경로 데이터 $(X_1, Y_1, X_2, Y_2, H_1)$ 을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$X_1 = x - [D/2 \cdot \tan \phi + R(1/\cos \phi - 1)] \quad (4)$$

$$Y_1 = y + W/2 \cdot \tan \theta_x \quad (5)$$

$$X_2 = x + [D/2 \cdot \tan \phi - R(1/\cos \phi - 1)] \quad (6)$$

$$Y_2 = y - W/2 \cdot \tan \theta_x \quad (7)$$

$$H_1 = D / \cos \phi \quad (8)$$

여기서, X_1, Y_1 은 왼쪽에 있는 열선지지원판의 중심의 위치이고, X_2, Y_2 는 오른쪽에 있는 열선지지원판의 중심의 위치이며, H_1 은 열선의 길이를 나타낸다.

3.3 MHC-Slicer

MHC-Slicer 는 Windows 상에서 C 와 C++ 언어를 이용하여 프로그래밍하고 OpenGL 을 이용하여 가시화한 다기능열선장치의 절단경로데이터를 생

성할 수 있는 소프트웨어이다. MHC-Slicer 에서는 우선 STL 파일로부터 USL 데이터를 생성한 후에, Fig. 7 에서 보는 것과 같이 MHC 대화상자를 통하여 설계변수 W, R, C 값을 입력하면 앞서 구한 식 (1) - (8)로부터 각각의 열선지지원판의 중심의 위치와 열선의 길이를 계산하여 확장자가 MHC 인 파일로 저장한다.

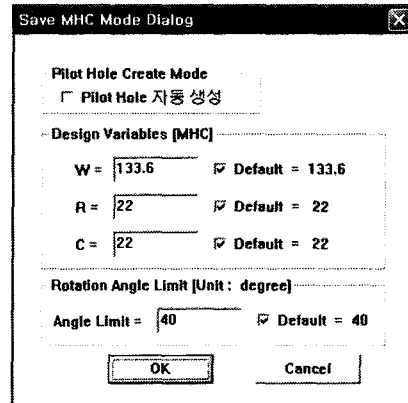


Fig. 7 MHC dialog box

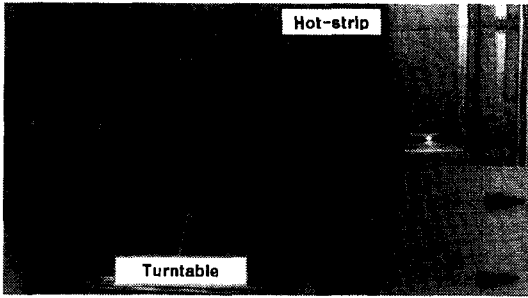
4. 삼차원 형상 제작

본 논문에서 개발한 다기능열선가공장치의 적용성을 검증하기 위하여 축대칭형상, 다면체형상, 자유표면형상을 제작하는 방법을 설명하고 실제 3 차원 형상을 제작하였다.

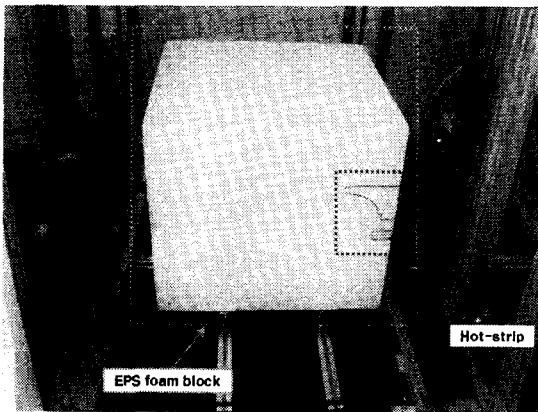
4.1 축대칭형상 제작

다기능열선가공장치를 이용하여 축대칭형상을 제작하는 과정은 다음과 같다.

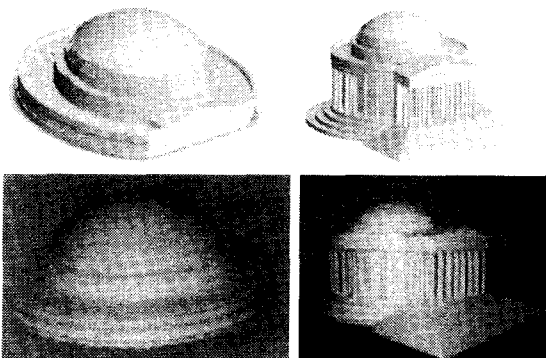
- (1) 제작하고자하는 축대칭형상의 수직단면윤곽과 같은 형태를 가진 열띠(hot-strip)를 장착한다.
- (2) 블록(block)형태의 재료를 회전테이블 위에 고정시킨다.
- (3) 열띠에 전원을 연결하고 회전테이블을 360°로 회전시켜서 축대칭 형상을 제작한다.



(a) Installed hot-strip



(b) Fixed foam block on turntable



(c) Shape fabricated by turntable

Fig. 8 은 다기능열선가공장치를 이용하여 제퍼슨기념관의 지붕형상을 위의 과정으로 제작한 예를 보여준다.

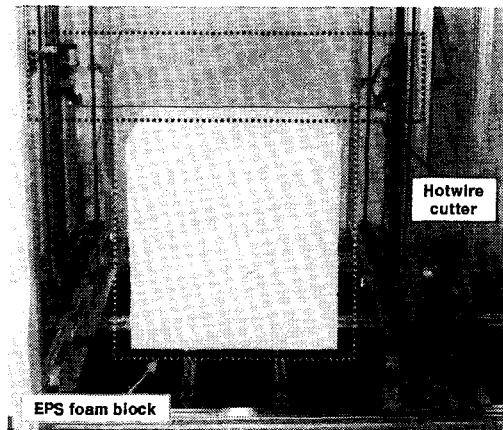
VLM-ST 장치를 이용하여 제퍼슨기념관의 지붕형상과 같은 반구형상을 제작하는 경우, 제한된 경사각 때문에 반구의 맨 윗부분으로 갈수록 정밀도가 떨어질 뿐만 아니라, 한층씩 적층하여 제작하기 때문에 작업 효율이 떨어진다.

Fig. 8 에 보여진 바와 같이 다기능열선가공장치는 열띠(hot-strip)와 회전테이블을 이용함으로써 제퍼슨기념관의 지붕형상을 한 번의 작업으로 손쉽게 제작할 수 있다.

4.2 다면체형상 제작

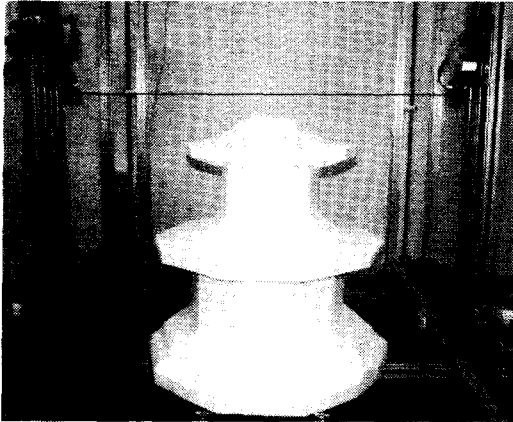
다기능열선가공장치를 이용하여 다면체형상을 제작하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 제작하고자 하는 다면체형상의 수직단면윤곽과 같은 열선의 절단경로데이터를 생성한다.
- (2) 열선의 절단시작점이 폼 블록의 위에 위치할 수 있도록 열선을 설치한다.
- (3) 블록(block)형태의 재료를 회전테이블 위에 고정시킨다.
- (4) 열선에 전원을 연결하고 회전테이블을 일정한 각도로 회전시켜 가면서 360°까지 회전하여 다면체 형상을 제작한다.



(a) Hotwire cutter and foam block at the starting position

Fig. 8 Axi-symmetric shape fabricated by MHC apparatus : roof of Jefferson memorial



(b) Fabricated shape

Fig. 9 Polyhedral shape fabricated by MHC apparatus : Pagoda shape

Fig. 9 는 다기능열선가공장치를 이용하여 측면이 다면체로 구성된 탑형상을 제작한 예를 보여준다. VLM-ST 장치를 이용하여 이와 같은 탑형상을 제작할 경우, 제한된 경사각 때문에 수평에 가까운 측면경사는 구현이 불가능하고 한층씩 적층하여 제작하기 때문에 작업 효율이 떨어진다. 하지만, Fig. 9 에 보여진 바와 같이 다기능열선가공장치는 열선절단기와 회전테이블을 이용함으로써 탑형상을 손쉽게 제작할 수 있다.

4.3 자유표면형상 제작

다기능열선가공장치는 이름 그대로 앞서 설명한 축대칭형상이나 다면체형상뿐만 아니라 기존의 VLM-ST 공정과 같은 적층방식으로 자유표면형상 (freeform shape)의 제작도 가능하다.

다기능열선가공장치를 이용하여 자유표면형상을 제작하는 과정은 다음과 같다.

- (1) 제작하고자 하는 3 차원 CAD 모델을 선정하고 3 차원 CAD 모델링이나 3 차원 스캐닝을 통해서 STL 파일을 생성한다.
- (2) MHC-Slicer 를 이용하여 3 차원 CAD 모델의 STL 데이터로부터 일정한 간격으로 슬라이싱하여 다기능열선절단기의 절단경로 데이터인 MHC 데이터를 생성한다.
- (3) 슬라이싱 두께에 맞는 발포폴리스티렌 폼 판재를 장착한다.

- (4) 주어진 MHC 데이터에 따라서 열선 절단기로 절단한 다음 순서대로 적층하여 3 차원 형상을 제작한다.

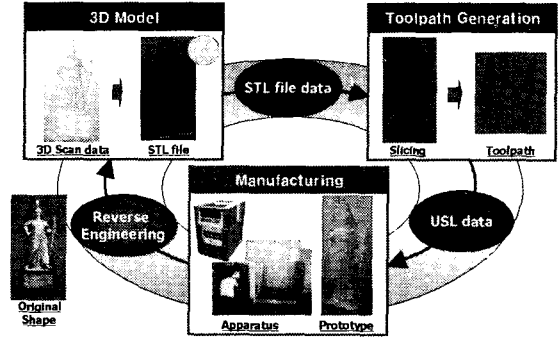


Fig. 10 Freeform shape fabricated by MHC apparatus : statue of general Yi Sun-Sin

Fig. 10 은 다기능열선가공장치를 이용하여 조형크기가 630 x 440 x 1,315 mm 인 이순신장군상을 제작한 예를 보여준다. 기존의 VLM-ST 장치를 이용하여 대형 조형물을 제작할 경우, 최대조형크기 (297x 420 mm)에 맞도록 STL 데이터를 여러 조각으로 분할한 다음, 각각을 절단/적층하고 나서 다시 또 각각의 분할된 조각들을 조립해야 하기 때문에 상당한 시간이 소요된다. 하지만, 다기능열선가공장치를 이용할 경우, 최대조형크기가 820x 1060 mm 이므로 조형크기가 630 x 440 x 1,315 mm 인 이순신장군상을 분할/조립의 과정 없이 하나의 일체화된 형상으로 제작할 수 있기 때문에 전체 조형시간을 크게 단축시킬 수 있다.

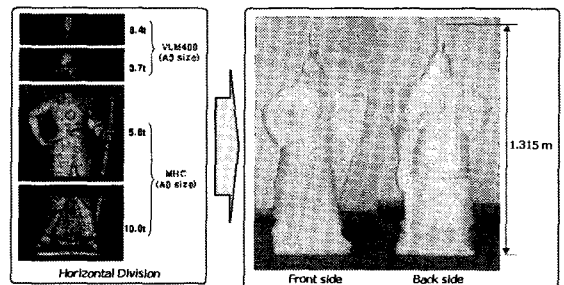


Fig. 11 Horizontal division of statue of general Yi Sun-Sin considering build size and shape accuracy

Fig. 11 에 보여진 바와 같이 이순신장군상을 보다 효과적으로 제작하기 위해서 조형크기에 따라서 머리 윗부분과 머리 아래부분으로 나눈 다음, 머리 윗부분은 기존에 개발된 VLM400 장치를 이용하여 제작하고, 머리 아래부분은 본 연구에서 개발된 다기능열선가공장치를 이용하여 제작하였다.

Table 2 는 이순신장군상에 대한 제작조건과 재료비 및 절단시간을 보여준다.

Table 2 Fabrication specifications of statue of general Yi Sun-Sin

	VLM400 (A3 size)		MHC (A0 size)	
	No. of subparts	2 pieces		2 pieces
Layer thickness	8.4 mm	3.7 mm	5.8 mm	10.0 mm
No. of layers	19 layers	47 layers	97 layers	42 layers
Material cost	₩19,000	₩28,200	₩291,000	₩168,000
Cutting speed	40 mm/sec		15 mm/sec	
Net cutting time	77 min or 1.28 hr		580 min or 9.67 hr	

5. 결론

본 논문에서는 기존의 VLM-ST 장치에서 제작하기 어려운 1 m 크기 이상의 대형 형상, 축대칭 형상을 쉽게 제작할 수 있으면서 기존 장치의 장점인 형상 판재의 측면에 경사각을 줄 수 있는 장점을 그대로 가지고 있는 다기능열선가공장치(MHC: Multi-functional Hotwire Cutting system using EPS-foam)를 개발하였다. 다기능열선가공장치는 열띠(hot-strip)와 회전테이블을 이용하여 축대칭 형상을 한 번의 작업으로 손쉽게 제작할 수 있고, 열선절단기와 회전테이블을 이용하여 다면체형상도 쉽게 제작할 수 있을 뿐만 아니라, 3 차원 CAD 모델 데이터로부터 생성된 MHC 데이터 (X_1, Y_1, X_2, Y_2, H_1)에 따라서 수직으로 공급된 EPS 폼 판재를 열선절단기를 이용하여 순서대로 절단/적층하여 대형 3 차원 조형물을 빠르게 제작할 수 있는 장치이다. 이렇게 개발된 다기능 열선가공장치를 이용하여 실제로 제퍼슨 기념관의 지붕형상과 탑형상, 그리고 이순신장군상을 제작함으로써 축대칭형상과 다면체형상은 물론이고 일반적인 대형 3 차원 형상 제작에도 효과적으로 적용할 수

있음을 보였다.

3 차원 CAD 데이터로부터 입체 조형물을 자유롭게 가공할 수 있는 다기능 열선가공장치(MHC)는 건물인테리어외장재에 사용되는 축대칭 형상 제작, 산업디자인 제품 모형 제작, 대형주조용 원형 제작, 캐릭터 상품 제작, 광고/엔터테인먼트 산업용 소품 제작, 영화 관련 세트 및 모형 제작 등과 같은 다양한 산업분야에 활용 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- Jacobs, P. F., Stereolithography and other RP&M Technologies, ASME Press, 1996.
- Wohler, T., "Wohlers Report 2004, Rapid Prototyping, Tooling & Manufacturing State of the industry," Wohlers Associates, Inc., 2004.
- Kulkarni, P., Marson, A. and Dutta, D., "A Review of Process Planning Technique in Layered Manufacturing," Rapid Prototyping Journal, Vol. 6, No. 1, pp. 18-35, 2000.
- Zheng, Y., Choi, S., Mathewson, B. and Newman, W., "Progress in Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials Utilizing Thick, Tangent-Cut Layers," Solid Freeform Fabrication Symposium, pp.355-362, 1996.
- LaserCMM, Inc., <http://www.lascamm.com>.
- Brock, J. J., Horvath, I., de Smit, B., Lennings, A. F., Rusak, Z. and Vergeest, J. S. M., "Free-foam thick layer object manufacturing technology for large-sized physical models," Automation in Construction, Vol.11, pp.335-347, 2002.
- Novc, A., Kaza, S., Wang, Z. and Thomas, C., "Techniques for Improved Speed Accuracy in Layered Manufacturing," Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp.609-617, 1996.
- 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.
- Intermittent material feed type variable lamination rapid prototyping process and apparatus using linear thermal cutting system, US Patent Registration No. 6,702,918, March 9, 2004.

10. Ahn, D. G., Lee, S. H. and Yang, D. Y., "Development of Transfer Type Variable Lamination Manufacturing (VLM-ST) Process," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, No. 14, pp. 1577-1587, 2002.
11. Lee, S. H., Kim, H. C., Yang, D. Y., Song, M. S., Park, S. K., Ahn, D. G., "Solid Freeform Fabrication of Large Object through Foam Backing," Proc. of KSPE, pp. 1410-1413, May 2004.
12. Lee, S. H., Ahn, D. G., Choi, H. S., Yang, D. Y., Moon, Y. B., Chae, H. C., "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.
13. Lee, S. H., Ahn, D. G., Yang, D. Y., "Calculation and Verification of Rotation Angle of a Four-axis Hotwire Cutter for Transfer-type Variable Lamination Manufacturing using Expandable PolyStyrene Foam," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22, No.3-4, pp. 175-183, 2003.