

완전자동화된 단속적 재료 공급식 가변적층 쾌속조형공정 및 장치 개발에 관한 연구

양동열#, 안동규*, 이상호**, 김효찬**, 박승교***

Investigation Into the Development Of Automatic VLM-ST (VLM-STA) Process and Its Apparatus

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

ABSTRACT

Rapid prototyping (RP) technologies have been widely used to reduce the lead-time and development cost of new products. VLM-ST process has been developed to overcome the currently developed RP technologies such as a large building time, a high building cost, an additional post-processing and a large apparatus cost.

VLM-ST process requires an additional human interaction due to the manual stacking and bonding. Hence, building time, building cost and the part quality are dependent on the skill of labor. A novel RP process, fully automated VLM-ST process (VLM-STA), has been developed to improve building efficiency of the process and the human dependency of the part. The objective of this work is to propose a VLM-STA process and to develop an apparatus for implementation of the process. VLM-STA process and its apparatus have various technical novelties such as two step cutting using a rotating table, an automatic stacking method using two pilot holes and two reference shapes, a concept of automatic unit shape layer (AUSL), and an automatic bonding using the bonding roller and building magazine.

In order to examine the efficiency and the applicability of the proposed process, various three-dimensional shapes, such as a piston, a human head shape and a human bust shape, were fabricated on the apparatus.

Key Words : Rapid prototyping (쾌속조형), VLM-ST(단속형 가변적층쾌속조형공정), Fully automated process (전자동 공정), Process design (공정설계), Two-step cutting (이단계 절단), Two reference shapes (두개의 적층기준형상), Apparatus design(장치설계), Three-dimensional prototypes(3 차원 시제품)

기호설명

ϕ_x = cutting angle of hotwire cutter about x-axis

ϕ_y = cutting angle of hotwire cutter about y-axis

η = kerf width

Q_{eff} = the effective heat input

접수일: 2003 년 3 월 4 일; 게재승인일: 2004 년 1 월 9 일

교신저자, 한국과학기술원 기계공학과
Email dyyang@kaist.ac.kr Tel. (042) 869-3214

* 조선대학교 공과대학 기계공학과

** 한국과학기술원 기계공학과

*** ㈜ 메닉스엔지니어링

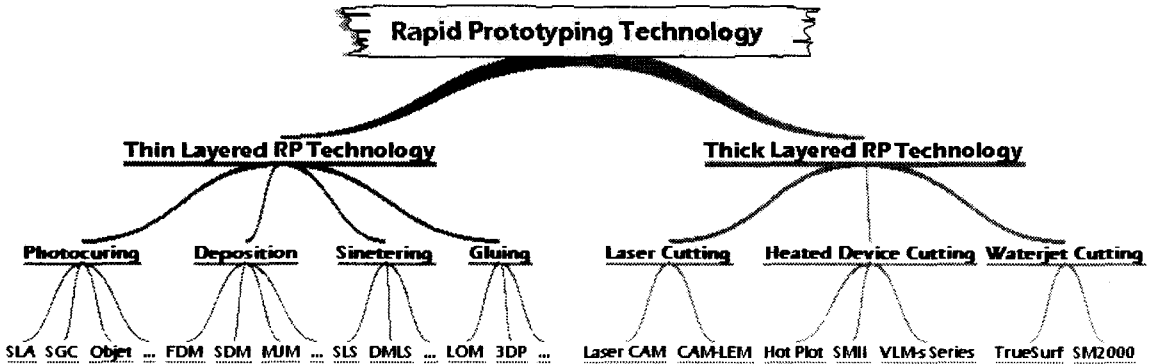


Fig. 1 Classification of rapid prototyping technologies

- ϕ_d = cutting draft angle
- ζ = offset
- Q_L = the heat input per unit length of hotwire
- N_x, N_y, N_z = the unit normal vector of facet
- U_x, U_y, U_z = the unit edge vector of facet
- τ = the size of minimum lateral distance
- Ω = the melted area

1. 서론

쾌속조형공정(Rapid Prototyping : RP)은 원소재를 제거하면서 목적물을 제작하는 전통적인 절삭가공공정과 달리 재료를 한층씩 적층하여 복잡한 3 차원 형상의 최종 제품을 쾌속 제작하는 신개념 생산공정이다.¹ 쾌속조형공정은 CAD/CAM 환경에서 제품의 설계부터 제작까지 모든 공정을 쉽고 신속하게 수행함으로써 제품 개발 단계에서 존재할 수 있는 설계, 제품 외형, 제품 생산성 및 조립성 문제점등을 실시간에 검토함으로써 시제품 개발 기간과 개발 비용을 감소시키는데 매우 효율적이다.²

1986 년 Stereolithography (SL) 공정이 개발된 이후 전세계적으로 30 여종 이상의 쾌속조형공정이 개발되었다.³ 쾌속조형은 Fig. 1 과 같이 층의 두께에 따라 박판 적층식 쾌속조형공정(Thin layered RP technology)과 후판 적층식(Thick layered RP technology) 쾌속조형공정으로 나눌 수 있다.^{4,5} 일반적으로 쾌속조형공정은 0.5~0.6mm 이하의 얇은 층 두께와 수직벽을 갖는 박판 적층식 쾌속조형공정을 의미한다. 최근에는 조형시간을 단축시

키기 위하여 1mm 이상의 층 두께와 측면 경사각을 이용한 후판 적층식 쾌속조형공정에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다.^{6,7}

Thomas 등은 두개의 플로터헤더를 가진 열선절단기로 25.4mm 이상의 두께를 가진 재료를 한층씩 절단한 후, 수동으로 적층하는 ShapeMaker II 공정을 개발하였다.⁸ Hope 등은 5 축 워터젯(Waterjet) 절단기를 이용하여 10mm 이상의 재료를 절단한 후 수동 적층/접착하는 TrueSurf 공정을 개발하였다.⁹ Zheng 등은 5 축 로봇운영시스템과 레이저 절단기를 이용하여 6mm 이상의 재료를 절단하는 CAM-LEM 공정을 개발하였다.¹⁰ Yang 과 Ahn 은 4 축 동시 제어되는 선형 열선절단기로 4 mm 이하의 재료를 4 축 절단하여 파일럿 구멍과 파일럿 핀을 가지는 적층판을 이용하여 USL 을 수동 적층/접착하는 VLM-ST 공정을 개발하였다.¹¹

위 관련 연구들과 같이 후판 적층식 쾌속조형공정은 거의 모두 수동 적층/접착을 수행한다. 그 결과 정확한 적층/접착, 균일한 접착 강도 유지 및 제품의 신뢰성과 반복성 유지가 어려우며 제품 제작과정에서 작업자의 능력에 의하여 시제품의 정밀도 및 제작시간이 결정된다.

본 연구에서는 중대형 크기의 시제품을 쾌속 제작과 저가의 제품 제작비 및 장치 도입/운영비와 같은 VLM-ST 공정의 장점을 유지하면서 VLM-ST 공정의 단점인 수동 적층/접착을 극복할 수 있는 완전 자동화된 VLM-ST (VLM-STA)공정을 제안하고자 한다. 제안된 공정에 대한 공정설계 및 공정설계를 구현하기 위한 VLM-STA 장치 설계/제작을 수행하였다. 제안된 공정 및 장치를 이용하여 3 차

원 제품을 제작하여 고찰/분석함으로써 본 공정의 적용성과 효율성을 검증하였다.

2. 완전 자동화된 VLM-ST (VLM-STA) 공정

2.1 VLM-STA 공정 원리 및 조형 순서

VLM-STA 공정의 원리 및 순서는 Fig. 2 와 같다.

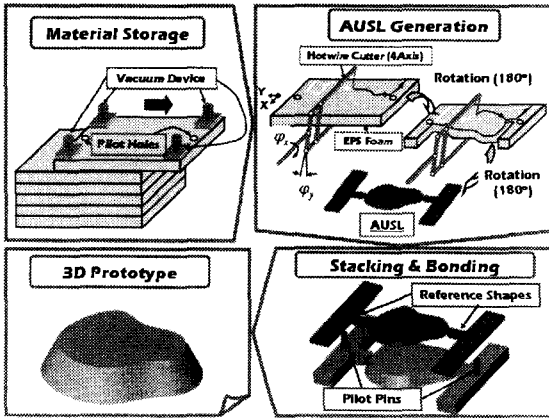


Fig. 2 Schematics of principle and building sequence for VLM-STA process

VLM-STA 공정은 재료공급부, AUSL 생성부, 적층/접착부로 구성된다.

단속적으로 자동 공급되는 2 개의 파일럿 구멍을 가진 판재형태의 재료를 진공장치와 직선이송장치를 이용하여 AUSL 생성부에 이송시킨다.

AUSL 생성부에서는 공급된 판재형 재료를 4 축 동시제어되는 선형 열선절단기로 한층의 CAD 데이터와 일치하도록 가변 폭, 가변 경사 및 가변 길이로 2 단계 절단을 수행하여 2 개의 기준 형상 (Reference shape)을 가지는 자동화형 단위형상층 (Automated unit shape layer : AUSL) 을 생성한다.

그후, AUSL 은 적층/접착부로 자동 이송되어 자동 적층/접착시스템의 파일럿 핀(Pilot pin)을 포함하는 적층/접착판 시스템과 AUSL 의 파일럿 구멍(Pilot hole) 및 자동 접착물을 이용하여 자동 적층/접착함으로써 임의 3 차원 형상의 제품을 연속 제작한다.

VLM-STA 공정은 전자동화된 위 3 가지 단계를 통하여 3 차원 제품을 자동 제작하는 연속조형 공정이다.

2.2 VLM-STA 공정 특징

VLM-STA 공정은 2 단계 절단, 2 개의 기준 형상, 2 개의 파일럿 구멍을 가진 재료와 2 개의 파일럿 핀을 가진 적층판 및 접착물 시스템을 이용한 자동 적층/접착 기법, 절단후 적층/접착 기법의 4 가지 고유한 특징을 가지고 있다.

Fig. 3 과 같이 CAD/CAM 시스템에서 주어진 한층의 데이터를 1 단계로 절반을 절단하고 180° 회전한 후, 2 단계 절단을 수행하여 AUSL 을 생성한다. 2 단계 절단은 2 개의 기준 형상을 가지는 AUSL 이 기준점을 유지하게 한다. 또한, 2 단계 절단은 열선이 가공 재료를 관통하도록 되어 있는 4 축 열선절단기가 가공중 가공재료와 간섭없이 AUSL 의 자동생성이 가능하도록 한다.

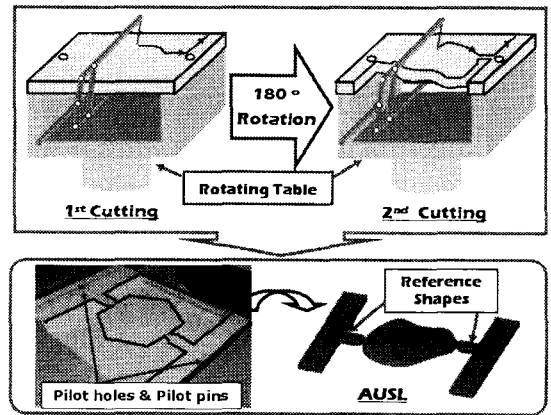


Fig. 3 Schematics of two step cutting

Fig. 3, 4 와 같이 2 개의 기준 형상을 이용함으로써 AUSL 의 이송/절단/적층/접착시 정확한 기준점을 유지할 수 있다. 2 개의 기준 형상이 절단/적층/접착시 지지대(Support) 역할을 하여 절단시 형상 왜곡, 적층/접착 오차 및 추가적인 지지대 생성을 최소화 한다.

VLM-STA 공정에서 적층 및 접착은 Fig. 4 와 같이 AUSL 내의 두개의 파일럿 구멍과 2 개의 파일럿 구멍을 가진 적층판(Building magazine) 및 접착물 시스템에 의하여 수행된다. AUSL 내부의 파일럿 구멍을 파일럿 핀에 위치 시킨후, 접착제가 부착된 전층의 상면과 현재층(Current layer)의 하면

을 1 차적으로 접착시킨 후 접착물의 왕복운동에 의하여 현재층의 상면에 접착제 도포와 함께 접착을 위한 압력을 가한다. 전층의 AUSL 의 상면에 접착제를 도포함으로써 층간 접착시 접착강도를 향상시킬 수 있으며, 자동화가 용이하다. 접착물이 왕복운동에 의하여 압력을 부가함으로써 접착물 전진시 AUSL 이 접착물 전진방향의 반대 방향으로 밀려 형상이 왜곡되는 현상을 최소화하였다.

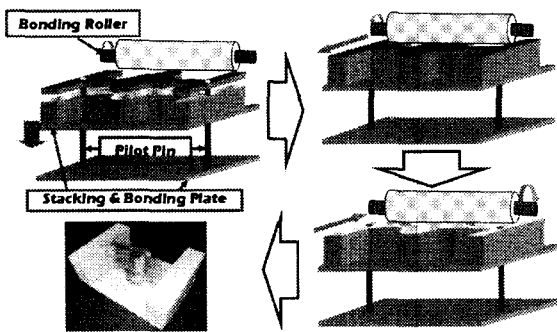


Fig. 4 Schematics of automatic stacking and bonding using two-reference shapes, building plate and bonding roller system

VLM-STA 공정에서는 적층/접착 후 절단을 수행하는 LOM, KIRA 공정등과 달리 절단 후 적층/접착 기법을 사용함으로써 조형중 AUSL 과 잔여 재료가 완전 분리되어 조형 완료후 디큐빙(Decubing)¹² 과 같은 잔여재료 제거 공정을 최소화하였다.

위 4 가지 특징에 의하여 전공정의 자동화가 가능함으로써 3 차원 제품 제작시 사용자의 작업에 대한 독립성 확보와 함께 제품의 제작 효율 및 신뢰성을 향상시켰다.

2.3 AUSL 데이터 생성

AUSL 데이터는 VLM-STA 공정용 4 축 열선절단기 3 차원 절단 경로 자동생성 프로그램인 VLM-Slicer AUSL Version 에서 생성한다. AUSL 데이터 생성과정은 Fig. 5 와 같이 9 단계로 구성된다.

.stl 파일 형태의 입력데이터를 이용하여 일정 두께로 슬라이싱하고 슬라이싱된 상면과 하면 데

이터를 이용하여 측면에 균일한 삼각형 패치를 재 생성하는 형상복원(Surface reconstruction)을 수행한 후, 이 데이터를 이용하여 상하면의 중간으로 다시 슬라이싱을 수행하여 열선의 위치데이터와 각 삼각형 패치의 법선 벡터를 산출하는 중간 단면 생성을 한다.

중간 단면 생성에서 취득된 각 층의 위치데이터와 법선 벡터를 이용하여 열선절단시 평면내 모재 용융 보정(Offset), 평면내 모서리 경로 보정(Overrun), 다중 연결 영역에 대한 열선절단기 경로 생성을 위한 크로스컷(Crosscut)과 연결자(Connector) 생성 및 열선절단기 회전각 계산을 수행한다. 최종적으로 2 개의 기준형상을 부가함으로써 AUSL 데이터가 생성된다.

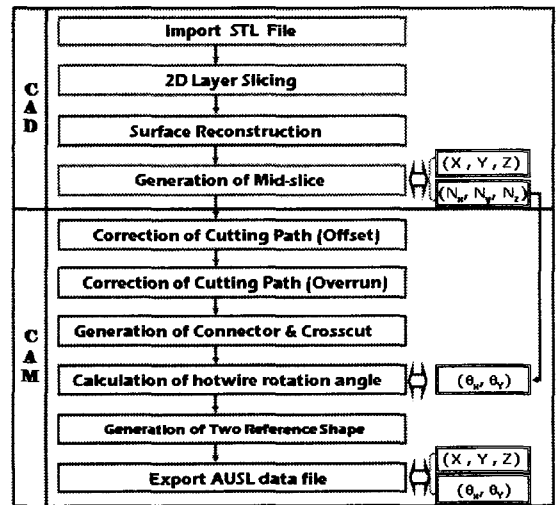


Fig. 5 Flowchart for generation of AUSL data

AUSL 데이터 생성과정은 기존 VLM-ST 공정과 구분되는 3 가지 특징이 있다. 첫째, 2 단계 절단을 수행하기 위하여 Fig. 6 과 같이 한층내의 절단 경로를 회전전 (1 단계 절단) 데이터와 회전후 (2 단계 절단) 데이터로 분리한다. 둘째, 두개의 적층 기준 형상의 연결점이 제품 형상의 도심을 지나도록 하기 위하여 적층 기준형상을 고정단과 자유단으로 나눈다. 자유단은 형상에 따라 이동할 수 있도록 한다. 셋째, AUSL 생성중 잔여재료가 AUSL 과 쉽게 분리되게 하기 위하여 절단 진입각 (Cutting draft angle : ϕ_d)을 도입한다.

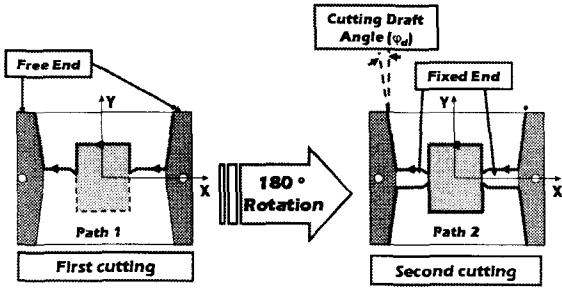


Fig. 6 Cutting path for two step cutting

열선절단시 평면내 모재 용융 보정량은 Fig. 7 및 식(1), (2) 의하여 계산된다. 평면내 모서리 경로 보정량은 5 mm 를 기준으로 하였으며, ¹³ 제품 형상의 특성에 따라 조절하였다.

$$\eta = 48.2Q_{\text{eff}} - 0.02 \quad (1)$$

여기서, η 와 Q_{eff} 는 각각 재료 절단폭(kerfwidth) 과 유효 열입력량(Effective heat input) 이다.

$$\zeta = 0.5\eta \quad (2)$$

여기서, ζ 는 열선절단시 평면내 모재 용융 보정량이다.

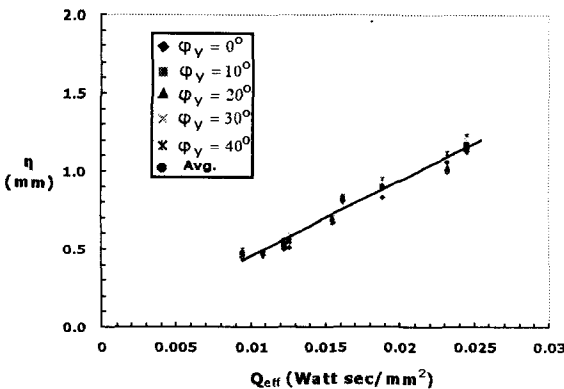


Fig. 7 Relationship between kerfwidth and effective heat input

열선절단기 회전각은 식(3), (4)에 의하여 계산 된다.

$$\phi_y = \sin^{-1}(N_y U_z - N_z U_y) \quad (3)$$

$$\phi_x = \sin^{-1} \left[\frac{(N_x U_z - N_z U_x)}{\cos \phi_y} \right] \quad (4)$$

여기서, ϕ_x , ϕ_y 는 열선절단기 회전각이며 N_x , N_y , N_z 는 패킷의 단위 법선벡터이고 U_x , U_y , U_z 는 단위 절점(Edge) 벡터이다.

Fig. 8 은 AUSL 데이터 생성과정을 피스톤 형상을 이용하여 나타내었다.

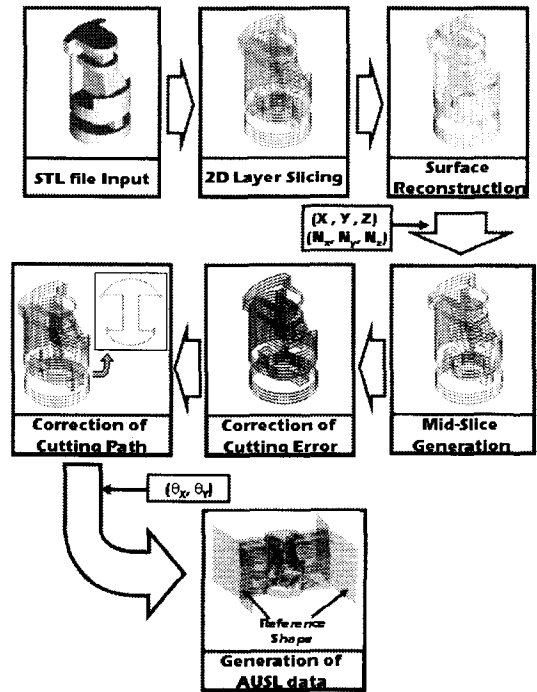


Fig.8 Process flow to generate input data

3. VLM-STA 장치 설계 및 제작

3.1 VLM-STA 장치 원리 및 특징

VLM-STA 장치는 Fig. 9 와 같이 재료 저장 및 공급부, AUSL 생성부, 적층 및 접착부, 시스템 제어부의 4 가지 세부 공정으로 구성된다. Fig. 10 은

VLM-STA 프로토타입 장치이다. VLM-STA 장치는 전자동공정으로써 제작 가능 크기가 220mm (L) × 180mm (W) × 250mm (H) 이다. 한층의 두께는 4 mm 이하 이다.

VLM-STA 장치에서는 공압흡입기가 부착된 재료공급장치에 의하여 재료가 회전지지대로 이동하면, 회전지지대 내부의 기준핀과 재료의 파일럿 구멍을 일치시킨 후 회전지지대가 4 축 열선절단기를 이용한 AUSL 생성부로 이동한다.

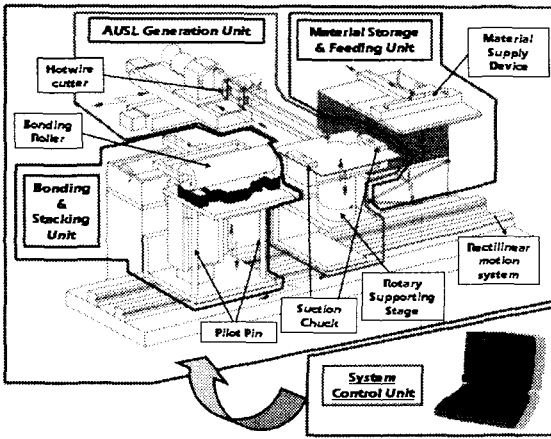


Fig.9 Schematics of VLM-STA apparatus

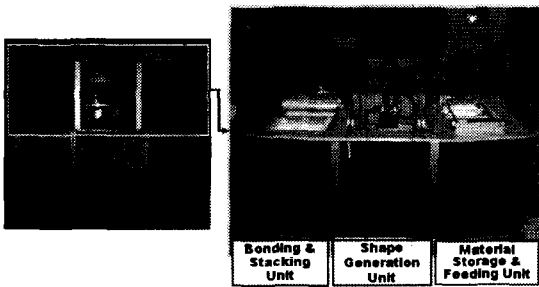


Fig.10 Prototype of VLM-STA apparatus

4 축 열선절단기와 회전지지대의 180° 회전에 의하여 AUSL 이 생성된 후, AUSL 은 흡입척 (Suction chuck) 에 의하여 흡입/부착된다. 그후, 회전지지대는 재료공급부로 적층판은 AUSL 생성부로 이동하여 흡입척에 부착된 AUSL 의 파일럿 구멍이 적층판의 파일럿핀에 안착되어 AUSL 이 전층에 적층되고 동시에 회전지지대는 재료공급장치

에 의하여 새로운 재료를 공급받는다. 적층된 AUSL 은 적층 및 접착부로 이동하여 접착물에 의한 접착제 상면도포 및 접착압력 부가가 되어 층간 접착이 완료된다. 접착제는 주성분이 비닐아세테이트(Vinyl acetate) 50%, 물과 기타성분이 50% 로 구성된 무독성 재료이다.

3.2 재료 저장 및 공급부

재료 저장 및 공급부는 Fig. 11 과 같이 재료 저장 단위와 재료 공급 단위로 설계/제작 되었다.

재료 저장 단위는 A4 크기의 재료가 단속적으로 공급될 수 있도록 재료 저장고와 위치조절 장치로 구성하였다. 위치 조절 장치는 재료량에 따라 자동적으로 높이가 조절될 수 있도록 힌지에 비틀림 스프링을 부착하였다.

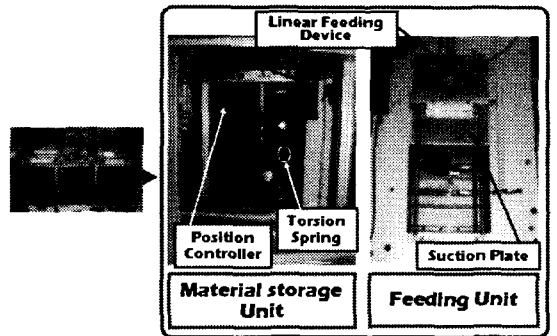


Fig.11 Material storage and feeding unit

재료 공급 단위는 재료를 정확히 이송하여 재료의 파일럿 구멍을 회전지지대의 기준핀에 안착시키기 위하여 공압 흡입 장치와 공압실린더를 이용한 직선 이송 장치를 사용하였다.

3.3 AUSL 생성부

AUSL 생성부는 Fig. 12 와 같이 4 축 동시 제어되는 열선절단기, 회전지지대 및 흡입척으로 구성된다.

VLM-STA 공정의 특징인 AUSL 의 측면경사각 ϕ_x , ϕ_y 를 구현하기 위하여 4 축 동시 제어되는 열선절단기를 설계/제작하였다. 열선절단기의 최대 회전각은 $\pm 65^\circ$ 이다.

열선절단기의 가공중 열선길이 변화에 의한 열

선으로 부가되는 입열량 변화를 최소화하기 위하여 평형사변형 링크 메커니즘을 사용하였다. 경사각 구현시 과용용없이 정확한 경사절단이 가능하도록 4 축이 모두 한 개의 구조물에 부착된 일체형 구조로 열선절단기를 설계하였다. 4 축 가공으로 측면 경사를 갖는 임의 3 차원 형상의 AUSL을 생성하기 위하여 재료의 두께방향 중심점과 4 축 열선절단기의 중심을 일치시켰다.

열선은 Ni 77%, Cr 20%, Mn 2%, Fe 1% 의 Ni-Cr 선을 사용하였고 열선 직경은 0.36 mm 이다.

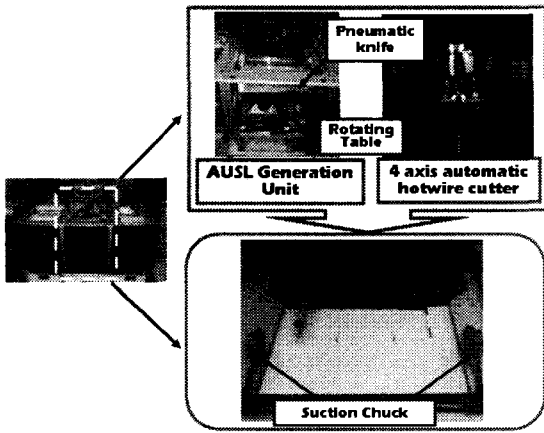


Fig. 12 AUSL generation unit

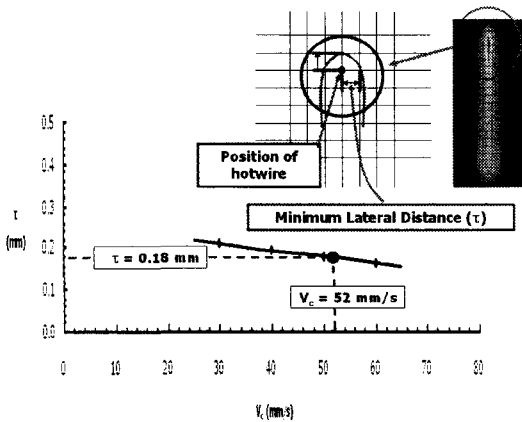


Fig. 13 Relationship between cutting speed and minimum lateral distance ($Q_L = 0.58 \text{ W/mm}$)

4 축 열선절단기의 운영 조건은 $0.012 - 0.017 \text{ J/mm}^2$ 로 실험과 해석 결과에 의하여 설정하였다.

열선절단기 하한계 임계 운영조건은 유한요소 해석과 실험결과 열선이 가공중 강성을 유지하지 못하는 최소 측면용융거리 (Minimum lateral distance : τ)가 열선 반지름과 일치하는 조건으로 선정하였다. Fig. 13 는 유한요소해석 결과 가공중 최소 측면 용융 거리의 절단 속도별 변화이다.

열선절단기 상한계 임계 운영 조건은 경사절단 실험 결과 경사각 증가에 따라 용융 면적(Melted area : Ω) 이 현저히 증가하지 않고, 과용용 없이 경사각이 정확히 구현되는 조건을 선정하였다. Fig. 14 는 유효 열입력량별 열선절단기 절단경사각 증가에 따른 용융 면적의 변화이다.

회전지시대에는 AUSL 내부의 파일럿 구멍에 의하여 AUSL 에 정확히 위치할 수 있는 기준핀과 2 단계 절단을 수행하기 위한 인덱스 시스템 (Index system) 및 AUSL 생성시 재료와 AUSL 을 완전히 분리하기 위한 공압 잔여재료 제거기 (Pneumatic knife) 로 구성된다.

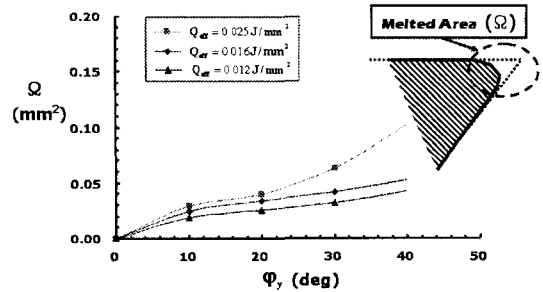


Fig. 14 Relationship between cutting angle about x-axis and melted area

3.4 적층 및 접착부

적층 및 접착부는 Fig. 15(a)와 같이 두개의 파일럿 핀을 가지는 적층판과 접착롤 시스템으로 구성된다.

적층판은 AUSL 의 파일럿 홀이 정확한 위치에 안착될 수 있는 2 개의 파일럿 핀을 가지고 있으며, 한층 적층/접착후 자동으로 적층 높이가 조절 되도록 설계되었다.

접착롤 시스템은 접착롤, 접착제 박스 및 SM 모터를 이용한 직선 이송 장치로 구성된다. 접착제는 접착제 박스의 접착제 부가롤의 회전에 의하여 접착롤에 부여된다.

Fig. 15(b) 는 인체 흉상에 대한 적층/접착 예를

나타낸다.

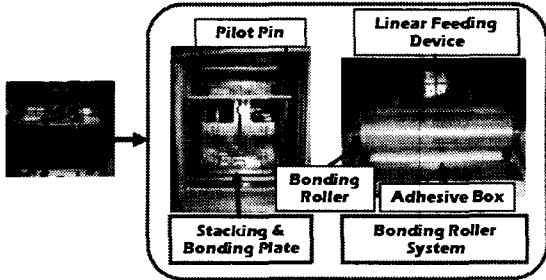


Fig. 15(a) AUSL stacking and bonding unit

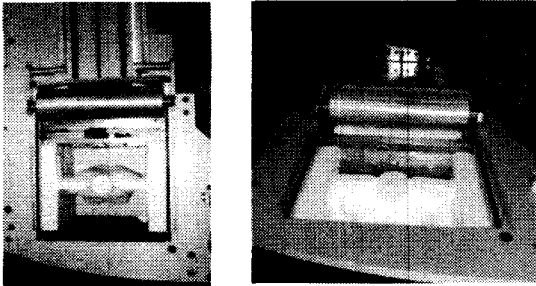


Fig. 15(b) Example of stacking and bonding

3.5 시스템 제어부

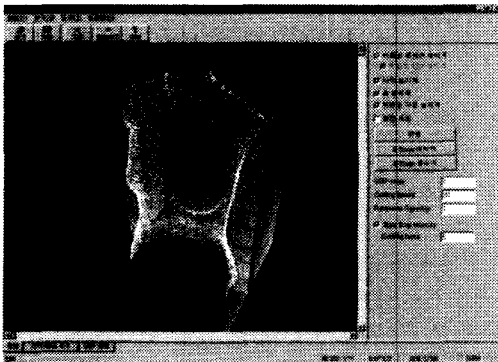


Fig. 16 Control software of VLM-STA

시스템 제어부는 재료 저장 공급부, AUSL 생 성부 및 적층/접착부의 3 가지 단위공정을 Window

환경에서 전 자동으로 제어할 수 있도록 PC-NC 시스템으로 구축되었다. Fig. 16 은 시스템 제어 소프트웨어이며, C 와 C++ 언어를 이용하여 Window 상에서 구현될 수 있도록 하였다.

시스템 제어부는 500 MHz 급 이상의 PC 에서 제어될 수 있는 4 축 다중 모션 제어보드를 사용 하였다. 제어는 스텝핑 모터 4 축, SM 모터 1 축, 공압실린더 2 축, 디지털 출력 13 개, 디지털 입력 23 개에 대하여 수행된다.

4. 시작품 제작 실험 및 고찰

VLM-STA 공정 및 장치를 이용하여 인체 두상, 피스톤 형상, 인체 흉상 제작 실험을 수행하였다. Table 1 은 3 차원 형상 제작 실험에 사용된 실험 조건이다.

인체 두상 제작 실험에서는 VLM-STA 공정과 VLM-ST 공정 두가지로 제품을 제작하여 VLM-STA 공정의 자동화가 제품 형상, 제품 제작 시간, 형상 정밀도에 미치는 영향에 대하여 고찰하였다.

Fig. 17 (a) 와 (b) 는 각각 VLM-ST 공정 및 VLM-STA 공정으로 제작된 인체두상 시제품이다. Table 2 는 제품 제작 결과이다.

Fig. 17 (a), (b) 와 같이 인체 두상이 경우 VLM-ST 와 VLM-STA 공정이 거의 동일한 형상을 나타내 었다.

Table 1 Experimental condition of test parts

Part	Effective heat input (J/mm ²)	Number of Layer
Human head shape	0.012	47
Piston shape	0.012	30
Human Bust Shape	0.012	71

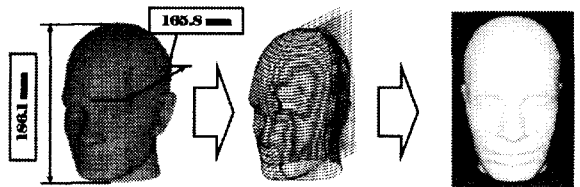


Fig. 17 (a) Human head shape fabricated by VLM-ST

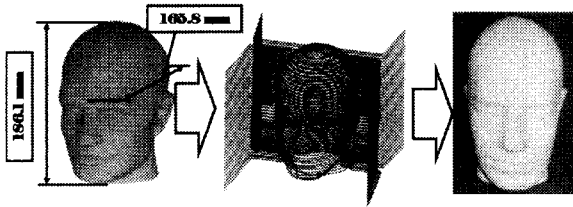


Fig. 17 (b) Human head shape fabricated by VLM-STA

Table 2 Comparison of building time and dimensional accuracy for human head shape

Part	Total Building Time (min)	Dimensional Accuracy (%)	
		In plane	Z- dir.
VLM-ST	40	0.8	1.1
VLM-STA	95	0.7	0.3

Table 2 와 같이 제작시간 측면에서 VLM-STA 공정이 VLM-ST 공정에 비하여 약 2.3 배의 시간이 소요되었다. 이 결과는 VLM-ST 공정에서는 USL의 적층/접착을 제품 제작 과정에서 작업자가 수동으로 수행하여 재료 이송/USL 생성과 동시에 작업이 진행되나, VLM-STA 공정에서는 전공정이 자동화되어 순차적으로 이루어지고 재료/AUSL 위치설정/이송시간, AUSL 적층 접착시간 및 세부 장치 운영시간등의 자동화에 의한 추가적인 제품 제작 시간이 소요되기 때문으로 사료된다. 또한, VLM-STA 제품은 2 개의 기준형상을 가지고 있어 1 개의 기준형상을 가지는 VLM-ST 제품 보다 기준형상 제거시간이 2 배로 소요된다.

Table. 2 의 형상 정밀도 측정 결과로부터 VLM-STA 공정이 VLM-ST 공정에 비하여 정확한 형상을 제작할 수 있음을 알 수 있었다. 평면내 정밀도는 거의 유사한 결과를 얻을 수 있으나, 적층 방향 정밀도는 VLM-STA 공정에서 향상됨을 알 수 있었다. 이 결과는 VLM-STA 공정에서는 자동적층/접착을 수행함으로써 균일한 접착제 도포, 균일한 적층 압력 부가 및 마이크로 스위치에 의한 한층 적층/접착후 적층 높이 제어가 가능하기 때문으로 사료된다. 또한, VLM-ST 공정에서는 작업

자의 능력에 의하여 형상 정밀도가 결정되나, VLM-STA 공정에서는 전자동화 공정 특성에 의하여 작업자와 무관하게 신뢰성 있는 제품을 반복적으로 제작할 수 있어 제품의 신뢰성과 재현성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

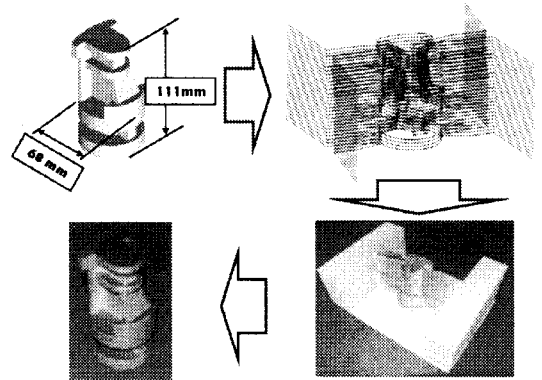


Fig. 18 CAD data an the fabricated part of a piston shape

VLM-STA 공정의 3 차원 임의 형상에 대한 적용성과 타당성을 검증하기 위하여 피스톤 형상과 인체 흉상 제작 실험을 수행하였다. Fig. 18, 19 는 각각 피스톤 형상과 인체 흉상 제작과정이다.

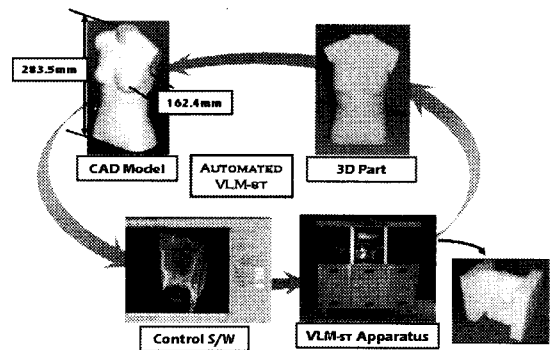


Fig. 19 Fabrication procedure of a human bust shape

피스톤 형상과 인체 흉상 제작 실험 결과 두 형상 모두 CAD 형상과 거의 일치하는 제품을 제작할 수 있었다.

Table 3 은 피스톤 형상과 인체 흉상 제작결과이다.

제품 정밀도는 피스톤 형상의 경우 평면내 0.5%, 적층 방향 0.6 % 이고 인체 흉상의 경우 평면내 0.2 %, 적층 방향 1.0 % 이내로 나타났다. 상용화된 박판적층식 쾌속조형공정이 평면내 1%, 적층 방향 2% 이내의 정밀도를 유지하는 것을 고려하면, ¹⁴ 제안된 VLM-STA 공정이 3 차원 제품 제작에 적용 가능한 타당성 있는 공정임을 알 수 있다.

제품 제작 시간은 피스톤 형상의 경우 60 분, 인체흉상의 경우 130 분이 소요되었다.

Table 3 Results of fabrication for a piston shape and a human bust shape

Part	Total Building Time (min)	Dimensional Accuracy (%)	
		In plane	Z-dir.
Piston shape	60	0.5	0.2
Human bust shape	130	0.6	1.0

5. 결론

본 논문에서는 후판적층식 쾌속조형공정의 단점인 수동 적층/접착에 의하여 발생하는 문제점을 극복할 수 있으며, 중대형크기의 제품을 쾌속제작할 수 있는 VLM-ST 공정의 장점을 유지할 수 있는 전공정이 완전 자동화된 단속형 재료공급식 가변 적층 쾌속조형공정(VLM-STA)을 제안하였다.

VLM-STA 공정설계에서는 2 단계 절단, 회전지지대, 2 개의 기준형상, 2 개의 파일럿 구멍을 가진 AUSL 과 2 개의 파일럿 핀을 가진 적층판 및 접착률 시스템을 도입함으로써 전공정을 자동화할 수 있었다. VLM-STA 공정에서 전공정을 자동화함으로써 작업자와 쾌속조형공정의 독립성이 보장되어 작업자의 능력이 제품 정밀도에 미치는 영향이 없도록 하였으며, 쾌속조형 제품의 신뢰성과 재현성을 확보할 수 있었다. VLM-STA 공정에서는 2 단계절단, 회전지지대, 절단 진입각 및 공압 잔여재료 제거기를 이용하는 AUSL 의 절단후 적층/접착 기법을 확립함으로써 조형중 AUSL 과 잔여재료가 완전 분리되어 잔여재료 제거 공정이 최소화 되었

다.

인체두상에 대하여 VLM-STA 공정과 VLM-ST 공정으로 제품을 제작하여 비교/분석한 결과, VLM-STA 공정이 VLM-ST 공정에 비해 자동화로 인한 조형시간 증가가 발생하나 제품 제작중 작업자의 공정 의존성이 최소화되고 제품 정밀도가 향상됨을 알 수 있었다. 특히, 균일 접착제 도포와 균일 적층 압력 및 적층 높이 제어에 의하여 적층 방향 정밀도가 현저히 향상됨을 알 수 있었다.

VLM-STA 장치로 피스톤 형상과 인체 흉상 제작 실험을 수행하여 제안된 공정이 임의의 3 차원 형상에 적용성이 높으며, 기존 상용 쾌속조형공정의 형상정밀도를 유지하면서 제품제작시간을 현저히 감소시킬 수 있는 매우 효율적인 공정임을 보였다.

향후 다양한 형상에 VLM-STA 공정을 적용하여 공정의 일반성 추구를 위한 공정 변수 영향성 분석과 공정 변수 DB 구축을 수행할 것이다. 또한, 공정의 정밀도 및 성능향상을 위하여 공정 설계 최적화, 접착률 가압력 영향성 및 실험/해석적 연구를 수행할 예정이다.

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. Jacobs, P. F., Stereolithography and other RP&M Technologies, ASME Press, 1996.
2. Chua, C. K., Teh, S. H. and Gay, R. K. L., "Rapid Prototyping Versus Virtual Prototyping in Product Design and Manufacturing," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 15, No. 8, pp. 597-603, 1999.
3. Kulkarni, P., Marson, D. and Dutta, D., "A Review of Process Planning Technique in Layered Manufacturing," Rapid Prototyping Journal, Vol. 6, No. 1, pp. 18-35, 2000.
4. Ahn, D. G., Investigation into Development of

- Variable Lamination Manufacturing using Expandable Polystyrene Foam, Doctoral Thesis in KAIST, 2002.
5. Lee, S. H., Generation of Cutting Path Data of Linear Hot-wire Cutting System for Variable Lamination Manufacturing, Doctoral Thesis in KAIST, 2003.
 6. Hope, R. L., Roth, R. N. and Jacobs, P. A., "Adaptive Slicing with Sloping Layer Surfaces," Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No. 3, pp. 89-98, 1997.
 7. Chamberlain, P. B., Van Roosendaal, M. D. and Thomas, C. L., "Variable Thickness Ruled Edge Slice Generation and Three-dimensional Graphical Error Visualization," Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 311-318, 1998.
 8. Nova, P., Kaza, S., Wang, Z., Lee, C. and Thomas, C. L., "Techniques for Improved Speed and Accuracy in Layered Manufacturing," Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 609-616, 1996.
 9. Hope, R. L., Riek, A. T. and Roth, R. N., "Layered Building with Sloping Edges for Rapid Prototyping of Large Objects," Proceedings of the Fifth European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, pp. 47-57, 1996.
 10. Zheng, Y., Choi, S., Mathewson, B. and Newman, W., "Progress in Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials Utilizing Thick, Tangent-Cut Layers," Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 355-362, 1996.
 11. 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.
 12. Cho, I., Lee, K., Choi, W. and Song, Y. A., "Development of a New Sheet Deposition Type Rapid Prototyping System," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, No. 13, pp. 1813-1829, 2000.
 13. Choi, H. S., Ahn, D. G., Lee, S. H. and Yang, D. Y., "Accuracy Improvement in Transfer-Type Variable Lamination Manufacturing Process using Expandable Polystyrene Foam and Experimental Verification," J. of KSPE, Vol. 19, No. 7, pp. 97-105, 2002.
 14. Muller, T., Fundamentals of Rapid Prototyping : RP&M 2000 Conference Tutorial, SAE, 2000.