

2 단계 절단과 두개의 적층 기준형상을 이용한 전자동 VLM-ST 공정 개발에 관한 연구

안동규*(조선대학교 기계공학과), 이상호(KAIST 기계공학과), 김효찬(KAIST 대학원),
양동열(KAIST 기계공학과), 박승교(㈜ 메닉스엔지니어링)

Investigation into the development of automatic VLM-ST process utilizing two step cutting
and two reference shapes

D. G. Ahn(Mech. Eng. Dept. Chosun Univ.), S. H. Lee(Mech. Eng. Dept., KAIST), H. C. Kim(Graduate School,
KAIST), D. Y. Yang(Mech. Eng. Dept., KAIST), S. G. Park(Menix Engineering Ltd.)

ABSTRACT

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. In this present work, a novel rapid prototyping (RP) process, as an automatic VLM-ST (VLM-STA), has been proposed to improve building efficiency of VLM-ST process and reliability of products. The apparatus of VLM-STA is designed to embody the process. Several characteristics of the proposed process and the apparatus are discussed. In order to examine the efficiency and the applicability of the proposed process, various three-dimensional shapes, such as a piston and a human head shape, are fabricated on the apparatus.

Key Words: Rapid Prototyping(쾌속조형), Fully Automatic VLM-ST(전자동 단속형 가변적층쾌속조형공정), Two Step Cutting(2 단계 절단), Two Reference Shapes (두개의 적층기준형상), 3D Prototype (3 차원 시제품)

1. 서론

1986 년 Stereolithography 공정이 개발된 이후 20 여가지 이상의 쾌속조형공정이 개발되고 있다⁽¹⁾. 최근, 제작 시간 최소화의 측면에서 두꺼운 층과 측면 경사각을 이용하는 후판 적층식 쾌속조형공정에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다⁽²⁾.

Thomas 등은 두개의 플로터헤더를 가진 열선절단기로 25.4mm 이상의 두께를 가진 재료를 한층씩 절단한 후, 수동으로 적층하는 ShapeMaker II 공정을 개발하였다⁽³⁾. Hope 등은 5 축 워터젯 절단기로 10 mm 이상의 두께를 가진 재료를 한층씩 절단한 후, 수동 적층하는 TrucSurf 공정을 개발하였다⁽⁴⁾. Zheng 등은 5 축 로봇시스템과 레이저절단기를 이용한 CAM-LEM 공정을 개발하였다⁽⁵⁾. Yang 과 Ahn 등은 4 축동시제어되는 열선절단기로 4mm 이하의 재료를 절단하여 적층하는 VLM-S 공정을 개발하였다^(2,6). VLM-S 공정은 재료를 연속적으로 공급하며 자동 적층하는 VLM-SP 공정과 재료를 단속적으로

공급한후 자동절단과 수동적층을 수행하는 VLM-ST 공정 두가지로 개발되었다.

VLM-ST 공정은 중대형 크기의 시제품을 상용 쾌속조형공정의 정밀도를 유지하면서 1 시간내에 제작할 수 있는 장점이 있다. 또한, 절단후 적층/접착하는 공정을 선택함으로써 추가적인 후처리 공정을 최소화하였다⁽⁷⁾. 그러나, VLM-ST 공정은 파일럿 홀과 파일럿 핀을 가지는 적층판을 이용하여 수동 적층함으로써 정확한 적층과 균일한 접착 강도를 유지하기 어려우며, 제품 제작 과정에서 작업자의 능력에 의하여 시제품 정밀도가 결정되는 단점이 있다.

본 연구에서는 VLM-ST 공정의 단점을 극복하기 위하여 2 단계 절단과 두개의 적층 기준형상을 이용한 자동화된 VLM-ST (VLM-STA) 공정을 제안하고자 한다. 제안된 공정을 구현하기 하기 위하여 VLM-STA 장치를 설계/제작하였다. VLM-STA 공정과 장치를 이용하여 3 차원 제품을 제작하여 본 공정의 효율성과 적용성을 입증하였다.

2. 자동화된 VLM-ST 공정 (VLM-STA)

2.1 공정 설계 및 특징

VLM-STA 공정의 원리 및 조형 순서는 Fig. 1 과 같다

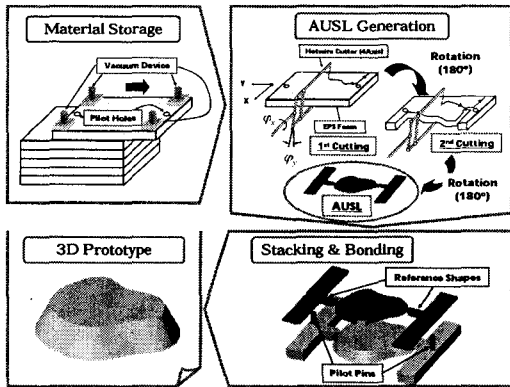


Fig. 1 Principle and building process of VLM-STA

VLM-STA 공정은 단속적으로 자동 공급되는 2 개의 파일럿 구멍을 가진 판재형태의 재료를 4 축 동시제어되는 선형 열선절단기로 CAD 형상과 일치하도록 가변 폭, 가변 경사 및 가변길이를 절단하여 자동화형 단위형상층 (automated unit shape layer : AUSL) 을 생성한 후, 자동 이송되어 자동 적층/접착시스템의 파일럿 핀 (pilot pin) 과 AUSL 의 파일럿 구멍(pilot hole) 및 자동 접착물을 이용하여 자동 적층/접착함으로써 임의의 3 차원 형상의 제품을 제작하는 전자동 패속조형공정이다. AUSL 생성시 열선절단기와 재료의 간섭을 방지하기 위하여 180° 회전을 이용한 2 단계 절단 방식을 활용하였다. 자동 이송/적층이 가능하고, AUSL 생성과 자동 접착시 재료의 형상 왜곡을 최소화하기 위하여 두개의 적층 기준형상 (reference shape) 을 적용하였다.

VLM-STA 공정은 4 가지의 주요 특징을 가지고 있다. 첫째, 2 개의 파일럿 구멍을 가짐으로써 재료와 AUSL 이송/절단/적층/접착시 정확한 위치를 정의할 수 있어 자동화가 가능하다. 둘째, CAD/CAM 시스템에서 주어진 한층의 데이터를 1 단계로 전체층 절반을 절단하고 180° 회전한 후, 2 단계 절단을 수행하여 AUSL 을 생성한다. 그 결과, 2 개의 기준형상을 가지고 기준점을 유지하면서 4 축 동시제어 자동 열선절단기와 가공재료가 간섭이 없이 AUSL 자동 생성이 가능하다. 또한, AUSL 생성 공정상에서 AUSL 이외의 잔여재료를 자동 제거할 수 있어 후처리 작업을 최소화할 수 있다. 셋째, 2 개의 적층 기준형상을 이용함으로써 이송/절단/적층/접착시 정확한 기준점을 유지할 수 있다. 2 개의 적층 기준형상이 절단/적층/접착시 지지대 (support) 역할을

하여 형상 왜곡, 적층/접착 오차 및 추가적인 지지대 생성을 최소화할 수 있다. 또한, 2 개의 적층 기준형상이 항상 파일럿 구멍과 연결되어 있어 전공정의 자동화가 가능하게 한다. 넷째, 전공정의 자동화가 가능함으로써 3 차원 제품 제작시 사용자의 작업에 대한 독립성이 높아 제품의 제작 효율 및 신뢰성이 높다.

2.2 AUSL 데이터 생성

AUSL 데이터는 VLM-STA 공정에 입력데이터 생성 CAD/CAM 시스템 VLM-Slicer AUSL Version 에서 생성한다. AUSL 생성 과정은 Fig. 2 와 같이 9 단계로 구성된다.

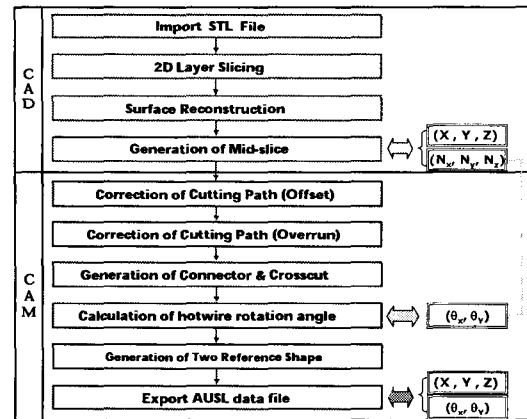


Fig. 2 Flowchart of VLM-Slicer AUSL Version

AUSL 데이터 생성과정은 기존 VLM-ST 공정과 구분되는 2 가지 특징이 있다. 첫째, 2 단계 절단을 수행하기 위하여 Fig. 3 과 같이 한층내의 절단 경로를 회전전 (1 단계 절단) 데이터와 회전후 (2 단계 절단) 데이터로 분리한다. 둘째, 두개의 적층 기준형상을 실제 한층의 제품 형상과 연결시 적층 기준형상의 연결점이 제품 형상의 도심을 지나도록 하기 위하여 적층 기준형상을 고정단과 자유단으로 나눈다. 자유단은 형상에 따라 이동할 수 있도록 한다.

열선절단기 경로 보정시 오프셋 보정량은 식(1), (2)를 이용하여 산출하였다. 오버런 보정량은 5 mm 를 기준으로 하였으며, 제품 형상의 특성에 따라 조절하였다.

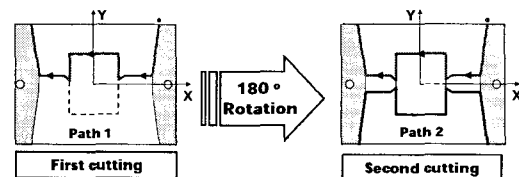


Fig. 3 Cutting path for two step cutting

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

여기서, η 와 Q_{eff} 는 각각 재료 절단폭 및 유효 열입력량이다.

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

여기서, ζ 는 오프셋 보정량이다.

Fig. 4 는 AUSL 데이터 생성과정을 피스톤 형상에 적용한 예이다.

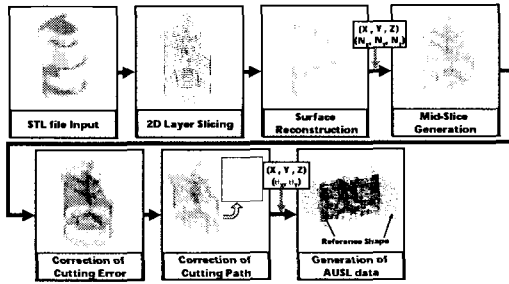


Fig. 4 Process flow to generate AUSL data

3. VLM-STA 장치 설계 및 제작

VLM-STA 장치는 Fig. 5 와 같이 재료 저장 및 공급부, 형상 생성부, 재료 적층 및 접착부, 시스템 제어부의 4 가지 세부공정으로 구성된다. Fig. 6 은 VLM-STA 프로토타입 장치이다. VLM-STA 장치는 전자동공정으로써 제작 가능 크기는 220 mm (L) × 180 mm (W) × 250 mm 이다. 한층의 두께는 4 mm 이하이다.

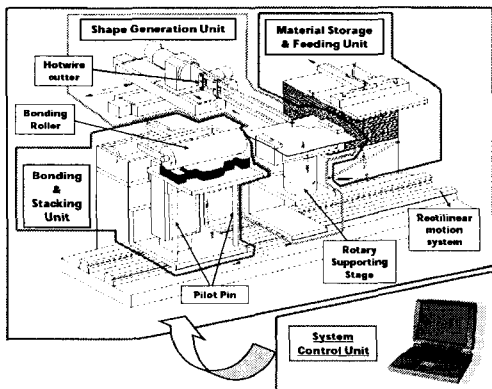


Fig. 5 Schematics of VLM-STA apparatus

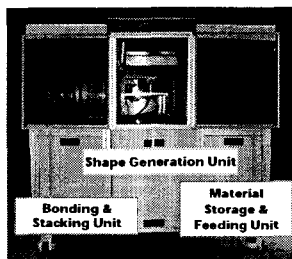


Fig. 6 Prototype of VLM-STA apparatus

재료 저장 및 공급부는 두개의 파일럿 구멍을 가진 판재형 재료를 저장고에 저장한 후, 하나씩 진공척과 직선 이송장치를 이용하여 회전지지대로 이동시킨다. 이때, 회전지지대에 부착된 기준 핀과 파일럿 구멍을 일치시켜 재료를 위치 시킨다.

회전지지대에 위치한 재료는 형상생성부로 직선 이송경로를 따라 이동하여, 4 축 동시제어되는 열선 절단기에 의하여 CAD/CAM 데이터와 동일한 AUSL 을 생성한다. AUSL 생성과정에서 전체 경로의 1/2 을 절단하고 회전지지대가 180 ° 회전을 한 후, 2 단계 절단을 수행한다. 2 단계 절단후 회전지지대가 다시 반대 방향으로 180 ° 회전하고, 진공적으로 이동함과 동시에 진공척의 흡입에 의하여 AUSL 을 적층을 위한 기준위치에 위치시킨다. 이때, 적층메거진 (building magazine) 과 회전지지대가 직선경로를 따라 이동하여 적층메거진은 AUSL 을 적층판위에 위치시키며, 회전지지대는 다음층 생성을 위한 재료를 공급받는다. 이때, AUSL 내의 파일럿 구멍이 적층판의 파일럿 핀을 따라 이동하면서 적층과 1 차 접착이 된다.

적층메거진에 위치한 AUSL 은 적층 및 접착부로 이동한다. 그후, 접착제가 부착된 접착물이 직선 운동하여 AUSL 의 상면에 접착제를 도포하는 동시에 전층과 AUSL 에 압력을 가하여 2 차 접착을 수행한다. 접착제 도포와 2 차 접착은 접착물의 왕복 운동에 의하여 2 회 수행된다.

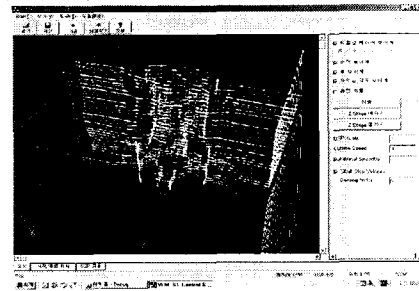


Fig. 7 Control software of VLM-STA

제어시스템은 Fig. 7 과 같이 위 3 가지 공정을 Window 환경에서 전자동 및 부분 자동으로 제어할 수 있도록 PC-NC 시스템을 구축하였다. 500 MHz 급 이상의 PC 에서 제어될 수 있는 다중 모션 제어보드를 사용하였으며, 제어 소프트웨어는 C 와 C++ 언어를 이용하여 Window 상에서 구현되었다.

4. 시작품 제작 및 고찰

제안된 VLM-STA 공정 및 장치의 적용성 및 효율성을 입증하기 위하여 3 차원 시작품 제작 실험을 수행하였다. 본 실험에 적용된 형상은 임의의 3 차

원 형상 특성을 가지고 있는 피스톤 형상과 인체 두상 형상이다.

피스톤 형상과 인체 두상 형상 제작 실험 결과는 Table. 1 및 Figs. 8, 9 와 같다. 본 실험 결과 두 가지 제품 모두 95 분내에 제작할 수 있었으며, 제작단가는 11,000 원 이하였다. 실험 결과 모두 2 단계 절단에 의하여 CAD 데이터와 일치하는 형상의 AUSL 이 생성되었다. 제작 단계에서 적층 기준형상을 제외한 잔여재료가 모두 제거 되어 잔여재료 제거 작업이 최소화되었다.

Table 1 Results of experiments

Part	# of Layer	Height (mm)	Building Time (min)	Building Cost (Won)
Piston	30	120.0	60	7,500
Human Head	47	186.1	95	11,000

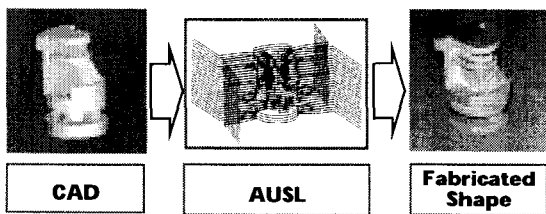


Fig. 8 CAD data and fabricated shape of a piston

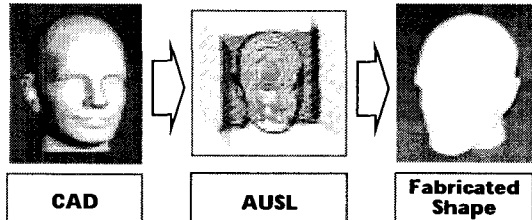


Fig. 9 CAD data and fabricated shape of a human head

CAD/CAM 데이터 생성부터 시제품 제작까지 전공정이 완전 자동으로 수행됨으로써 적층/접착의 정확성과 신뢰도를 확보할 수 있었으며, 제품 조형 중 사용자가 공정에 대하여 독립적이게 되어 추가적인 시간적/비용적 문제 및 사용자의 공정 의존성을 최소화하였다.

본 실험 결과 제안된 VLM-STA 공정이 기존 VLM-ST 공정과 ShapeMaker II 공정등의 문제점인 수동 적층/접착에 의한 사용자의 공정 의존성 문제를 극복함과 동시에 제품을 짧은 시간내에 쾌속제작 할 수 있는 효율적인 공정임을 입증할 수 있었다.

5. 결론

본 논문을 통하여 VLM-ST 공정 및 ShapeMaker

II 공정등의 기존 후판적층식 쾌속조형공정에서 도입하고 있는 수동 적층/접착 공정의 문제점을 해결할 수 있는 VLM-STA 공정을 제안하였다.

본 연구 결과 VLM-STA 공정을 구현을 위한 공정 설계 및 장치 설계/제작을 기법을 확립할 수 있었다. 회전지지대를 이용한 2 단계 절단공정과 2 개의 적층 기준 형상을 이용한 완전자동화 후판 적층식 쾌속조형공정 설계 기법을 확립함으로써, 사용자와 쾌속조형공정의 독립성이 보장되어 제품 제작의 효율성/신뢰성을 확보할 수 있었고 사용자의 공정 의존성을 최소화 하였다. 또한, VLM-STA 공정을 이용한 3 차원 제품 제작 실험을 통하여 제안된 공정의 적용성과 효율성을 입증하였다.

참고문헌

1. Kulkarni, P., Marsan, A., and Dutta, D., "A Review of Process Planning Techniques in Layered Manufacturing," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 6, No. 1, pp. 18 - 35, 2000.
2. Ahn, D. G., Lee, S. H., and Yang, D. Y., "Investigation into Development of Progressive-Type Variable Lamination Manufacturing Using Expandable Polystyrene Foam and Its Apparatus," *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineering Part B : Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 216, No. B9, pp. 1239 - 1252, 2002.
3. Novc, A., Kaza, S., Wang, Z., and Thomas, C., "Techniques for Improved Speed and Accuracy in Layered Manufacturing," *Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp. 609 - 617, 1996.
4. 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.
5. 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.
6. 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, pp. 1577 - 1587, 2002.
7. 안동규, 이상호, 최홍석, 양동열, 박승교, "단속형 재료공급식 가변적층쾌속조형공정 및 장치 개발에 관한 연구," *한국 정밀공학회지*, 제 19 권, 제 2 호, pp. 95-105, 2002.