

◆특집◆ 쾌속조형공정 및 쾌속생산

가변적층쾌속조형장비의 다목적 활용

김찬국*, 박승교*, 김효찬**, 양동열**

Multiple Applications of Variable Lamination Manufacturing Process

Chan Guk Kim*, Seung Kyo Park*, Hyo Chan Kim**, Dong Yol Yang**

Key Words: Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing(가변적층쾌속조형공정), Multi-functional Hotwire Cutting system using EPS-foam(다기능 열선가공장치)

1. 서론

오늘날 수요자의 다양한 기호에 따라 제품 모델이 다양화되고, 국내외 시장에서 경쟁이 치열해지면서 제품의 개발기간과 시작기간 및 비용의 단축이 절실하게 요구되고 있다. 이러한 시장의 요구를 만족시키고 기존 제품 개발에서 나타나는 장시간의 개발 기간을 단축할 수 있는 방법으로 동시공학적 개념의 새로운 시작품 제작 방법으로 “쾌속조형기술”¹이 도입되었다.

광조형법이라는 명칭으로 3 차원 쾌속 조형 공정이 산업 사회 도입된 후 3 차원 프린터 및 시작품 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 계단형상의 단차를 제거하기 위해서 경사를 부여하여 임의의 3 차원 형상을 제작하려는 연구가 병행되고 있다.

적층형상 절단 방식에 따라서 후판 적층 조형공정은 다음과 같이 나누어진다. 레이저 절단을 이용하는 방법으로 CAM-LEM(Computer Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials)⁴과 LaserCMM⁵ 등이 있다. 열선 절단을 이용하는 방법으로 TLOM(Thick-Layered Manufacturing)⁶과 ShapeMakerII⁷ 등이 있다. Waterjet 절단을 이용하는 방법으로 ShapeMaker 2000과 TruSurf⁸ 등이 있다. 이러한 공정들은 대부분 절단 장비인 레이저나 워터젯이 고가이고, 경사면을 가진 층을 절단하기

* ㈜메닉스 기술연구소

Tel. 042-934-6543, Fax. 042-934-6550

Email: chk2000@menix.co.kr

제품과 생산공정분야에서 연구활동을 하고 있다.

** 한국과학기술원 기계공학과

위해서는 4 축 내지 5 축 제어가 필요할 뿐만 아니라, 구현가능한 경사각도 30° 안팎이다.

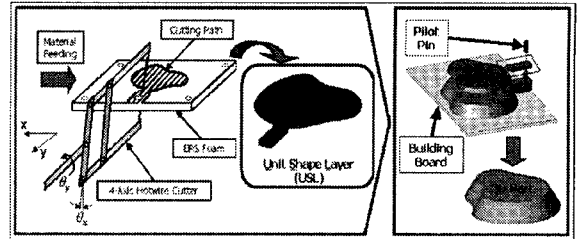
이러한 기존의 후판 적층 조형 공정의 단점을 극복하기 위해 2001년 Yang 과 Ahn 등은 평행사변형 구조를 가진 4 축 열선 절단기를 이용한 단속형 가변적층쾌속조형공정 (VLM-ST)⁹⁻¹¹ 을 개발하였으며 대형 판재를 절단할 수 있고 축대칭 형상 제작이 가능한 2003년에는 다기능열선장치 (MHC)¹² 을 개발하였다.

본 연구에서는 중대형 폼 형상을 제작하는데 유리한 VLM 및 MHC 장비를 이용하여 가치를 창출할 수 있는 새로운 분야에 적용함으로써 개발된 쾌속 조형 장비의 전략적 효용성을 검증하였다. 이를 위해 문화재 복원, 대형 지형도 제작 및 교육용 등에 다목적으로 활용되고 있음을 보여주고, 국내에서도 쾌속조형장비에 의한 적용분야가 폭 넓어지고 있음을 소개하고자 한다.

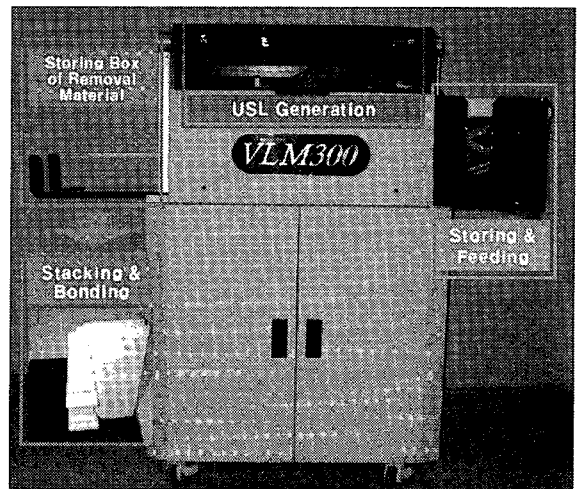
2. VLM-ST 과 MHC 장비소개

단속형 가변 적층쾌속조형공정 (VLM-ST) 은 1 mm 이하의 얇은 층을 이용하는 종래의 쾌속조형 시스템과 1mm 이상의 후판적층조형공정의 단점을 극복할 수 있도록 개발되었다. Fig. 1에 보여진 바와 같이 VLM-ST 장치는 3 차원 CAD 모델로부터 생성된 USL (Unit Shape Layer) 데이터에 따라서 (X, Y)로 병진운동과 (θ_x, θ_y)로 회전운동을 수행하는 외팔부구조의 4 축 동시제어되는 선형열선절단기를 이용하여 발포폴리스티렌 폼을 절단/적층하여 3차원 형상을 빠르게 제작 가능하다.

다기능 열선가공장치 (MHC: Multi-functional Hotwire Cutting system using EPS-foam)는 VLM-ST 장비의 작은 조형크기 (VLM300 :297× 210 mm, VLM400 : 420× 297 mm) 를 극복하고, 축대칭 형상, 다면체 형상, 대형 3 차원 조형물을 쉽게 제작하기 위해 Fig.2에 보이는 바와 같이 3D 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 블록을 가공하여 정형화된 형상을 쉽고 간편하게 제작할 수 있는 장치이다.



(a) Schematic diagram



(b) Apparatus

Fig. 1 Semi-automatic VLM-ST apparatus

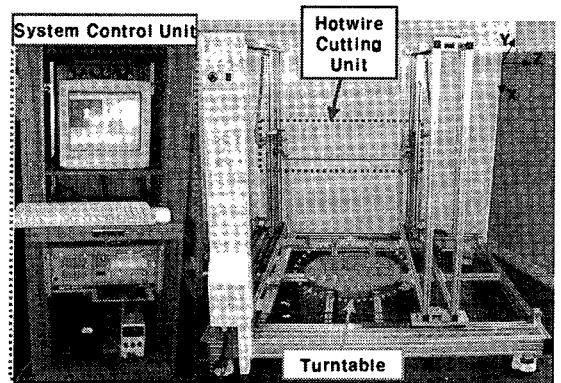


Fig. 2 Multi-functional hotwire cutting apparatus

3. 다목적 활용

VLM300, VLM400 과 MHC 를 활용하여 특징 및 조형 크기에 맞게 다방면에 걸쳐 조형한 사례들을 소개한다.

3.1 문화재 복원

국내에서는 한국문화재보호재단 등을 중심으로 문화재의 디지털 데이터 작업을 수행하고 있다. 이러한 가운데 우리문화의 귀중한 유산을 재현하고 보존하는데 VLM 및 MHC 를 활용하여 Fig. 3 에서 보여진 바와 같이 대곡댐 수몰지역의 방리 유적 백자 가마터를 3D SCANNING 전문 용역업체인 위프코를 통해 STL 데이터를 받아 복원한 것이다. 방리 유적 백자 가마터의 현존하는 최대 길이는 17.2 m, 최대 폭 2.6 m, 최대 깊이 54 cm 이며 그 일부를 1/2 로 축소하여 복원하였다.

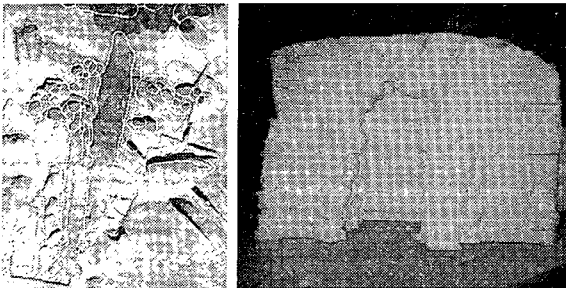


Fig. 3 Real photograph of Bang-li white porcelain a pottery remains and Prototype

백자 가마터 복원의 사례에서 보는 바와 같이 대단위 토목공사의 경우 역사적 가치를 파악할 수 없는 유물 및 유적에 대하여는 3D SCANNING 를 통해 3 차원 데이터를 추출하여 디지털 데이터 상태로 보존하게 된다. 이렇게 보관된 많은 유물 및 유적들이 미래의 어느 시점에는 사료적 가치를 인정 받아 복원을 할 경우 VLM300, VLM400 및 MHC 와 같은 대형 RP 장비의 활용이 필요하게 된다.

고려청자 및 백자의 신비스러운 자태와 빛깔도 3D SCANNING 및 쾌속조형을 활용하여 정밀한 가마터의 복원이 이루어 진다면 그 비밀을 풀어낼 수 있는 하나의 실마리를 제공하게 될 것이다.

3.2 대형 지형도 제작

동일 높이의 점 데이터를 연결한 등고선은 적층을 기본으로 하는 쾌속조형공정과 유사성이 있다. Fig. 4 에서 보여지는 것과 같이 등고선 데이터를 3D 모델링을 한 후 STL 파일을 추출하여 성산 일출봉 지형도를 제작한 사례로 미니어처 전문 기업인 비쥬얼 월드를 통해 주문 제작된 것이다. 지형도의 축척(1:5,000)에 따라 등고선의 간격(10 m) 기준에 맞는 두께(2 mm)로 적층하여 대형 형상을 제작하였다. 이러한 활용사례는 지상의 지형도뿐 아니라 해저 지형도를 통해 대륙붕 개발 및 심해저 탐사, 해로 제작 등에도 활용 될 수 있다.



(a) Real photograph of Sung-San Sunrise a peak



(b) Prototype photograph of Sung-San Sunrise a peak

Fig. 4 Real photograph of Sung-San Sunrise a peak and Prototype

3.3 교육용 쾌속조형실습

학기 중 학생들에게 쾌속조형장비를 교육하기 위해서는 여러 가지 난관에 부딪히게 된다. 우선

시중의 쾌속조형장비들의 조형속도가 모든 학생이 한 학기 중 실습할 정도로 빠르지 않다는 것과 조형재료가 고가이다 보니 한정된 예산에서 효과적으로 운용하기 어렵다. 또한 능숙한 실습조교가 없는 한 고가의 장비를 교육생들에게 맡길 수 없는 것이 사실이며, 제품 보증기간이 지난 후에는 신속한 조치가 이루어 지기 어렵다. 교육기관의 특성상 학사일정과 예산, 인력 등의 부족으로 위와 같은 문제에 봉착하여 고가의 RP 장비를 활용하는데 많은 어려움을 겪고 있다.

다음의 사례를 통해 짧은 기간에 저렴한 비용으로 많은 학생들이 손쉽게 RP 장비를 운용하여 RP의 개념 및 CAD/CAM, 창의성, 디자인 관련 교육 등에 활용될 수 있음을 보여주하고자 한다.

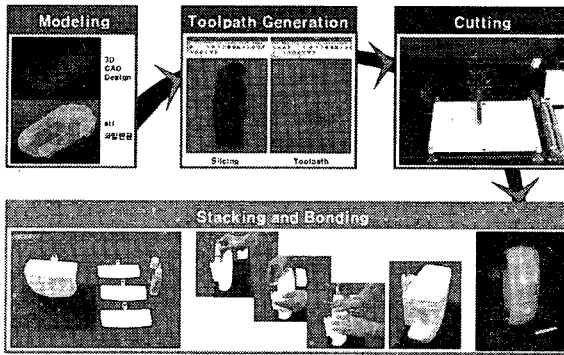


Fig.5 Procedure for fabrication of car model

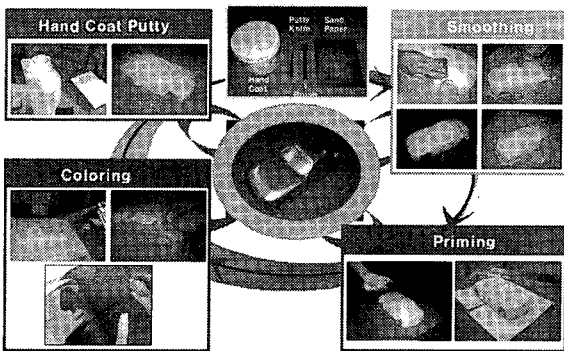
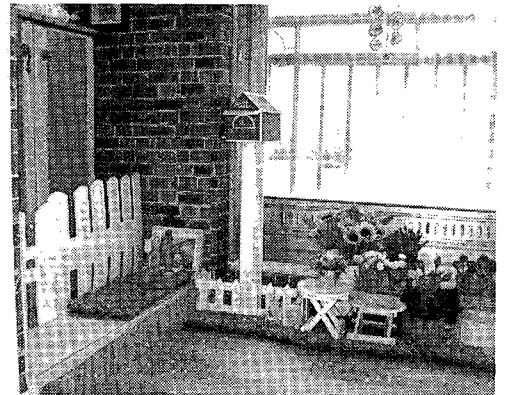


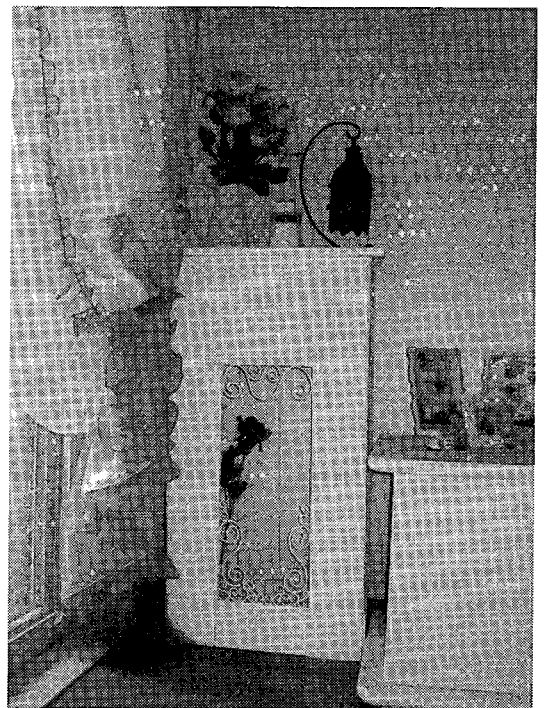
Fig. 6 Procedure of surface finishing and coloring

Fig. 5 와 Fig. 6 에서 보여진 바와 같이 공주대학교에서 활용된 사례로써 3D CAD Tool 을 이용하여 자동차를 설계하고 데이터를 변환하여 교육용

장비인 VLM300 을 통해 자동차가 조형된 것을 확인 할 수 있다. 이와 병행하여 다듬질 및 칼라링을 통해 제작된 형상에 심미적 느낌을 표현하였다. 이 과정들은 디자인에서 최종파트가 나오기 까지 60 시간(표면처리의 경화시간 포함)이 소요된 것으로 실제 VLM300 을 이용한 조형시간은 2 시간에 불과하다.



(a) Surrounding decoration



(b) Furniture decoration

Fig. 7 Interior design using EPS foam

Fig. 7 에서 보여진 바와 같이 인테리어 소품을 제작할 경우 원하는 형상을 다양하게 구현하고 디자인 하는데 활용된 사례로 과제물 제작에서 실용성과 편의성을 도모하고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 VLM 및 MHC 등 경제적이고 대형 물체 제작이 가능한 쾌속 조형 장비를 다목적으로 활용한 사례를 소개하였다. VLM 및 MHC 는 대형 형상을 저렴한 재료인 발포폴리스티렌 폼을 이용하여 빠르고 경제적으로 형상을 조형할 수 있는 장비이다. 수몰 지역의 유적지 복원, 등고선 데이터를 이용한 3 차원 지형도 제작, CAD/CAM 교육 및 디자인, 인테리어 등에 활용된 사례를 통해 새로운 시장과 가치를 창출해 낼 수 있음을 입증하였다. 백자 가마터의 복원에서 보는 바와 같이 VLM 및 MHC 와 같은 쾌속 장비와 3D SCANNER 를 적절히 활용할 경우 대형 문화재의 온전한 보존과 재현에 이바지 할 것으로 기대된다. 성산 일출봉의 제작에서는 동일 높이의 점으로 이루어진 등고선 데이터와 쾌속조형공정에서 적층의 유사성을 이용하여 대형 3 차원 지형도를 쉽게 제작할 수 있음을 보였다. 자동차 모형 제작 및 홈인테리어 과제물에 활용된 사례를 통해서도 주어진 시간과 자원 안에서 효과적으로 교육에 응용할 수 있음을 보였다. 쾌속조형의 단순한 기능향상에 국한되지 않고 다양한 활용사례를 통해 향후 쾌속조형시장에서 새로운 시장과 가치를 찾아 나갈 수 있는 근거를 마련하였다.

후 기

본 연구는 1998 년부터 2003 년까지 과기부에서 주관했던 주문적응형 쾌속제물개발시스템 개발사업의 일환으로 KAIST 와 공동 개발된 VLM-ST 공정의 활용사례를 되짚어 본 것이며 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Jacobs, P. F., "Stercolithography and other RP&M Technologies," ASME Press, 1996.
2. Wohler, T., "Wohlers Report 2004, Rapid

- Prototyping, Tooling & Manufacturing State of the industry," Wohlers Associates, Inc., 2004.
3. 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.
4. 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.
5. LaserCMM, Inc., <http://www.lascamm.com>.
6. Broek, 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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., Kim, H. C., Yang, D. Y., Park, S. K., Kim, C. K., "Development of multi-functional hotwire cutting system using EPS-foam," KSPE, Vol. 22, No. 4, pp. 194-202, 2004.