

◆특집◆ 디지털 3차원 실물복제기

임의형상제작을 위한 멀티헤드제어 패턴드라이버 개발

전유림*, 이민철**, 송영은*, 유기호*, 김정수*, 김동수***

Development of Multi-Head Control of a Pattern Driver for Solid Freeform Fabrication

Yu Lim Jun*, Min Cheol Lee**, Young Eun Song*, Ki Ho Yu*, Jung Su Kim* and Dong Su Kim***

Key Words : Solid Freeform Fabrication System (임의형상제작시스템), UV Resin (광경화 수지), Piezo Head (피에조 헤드), Nozzle (노즐), Pattern Driver (패턴드라이버), Three Dimension Printing Technology (3차원 프린팅기술)

1. 서론

제품을 생산하기 위해서는 기존의 경우 각 부품을 CAD(computer aided design)에서 모델링(modeling) 한 후 컴퓨터에서 조립 시에 발생하는 간섭확인절차(digital mock-up)를 거친 후 다음 단계로 시제품(mock-up)을 만들어 제품의 성능을 평가 하여 양산에 필요한 금형을 제작하였다. 통상적으로 이러한 과정을 거쳐 설계를 검토하고 이를 이용하여 시제품을 만드는데 아무리 숙련된 기술자라 할지라도 제작기간이 1~2개월 정도 걸리기 때문에 개발기간의 단축과 비용감소를 얻는데 한계가 있다. 또한 설계 부분에서의 검토와 컴퓨터 시뮬레이션에 대한 공정 정보에만 의존하여 제작하기 때문에 실제로 제작하는 단계에서 일어나는 가공오차나 재료의 특성을 전혀 고려하지 않아 원하는 제품을 완벽하게 구성하지 못할 가능성이 높다.

쾌속조형(rapid prototype)기술은 제품의 다양성에 대한 시장의 빠른 요구와 이에 따른 제품수명의

단축으로 인한 요구를 충족시켜주기 위해서 개발되었다.¹⁻³

복잡한 기하학적 형상도 제작이 가능하며 설계 디자이너가 실제 모델을 제작해 볼 수 있다. 또한 제작형상이 복잡할수록 CNC(computer numerical control)가공에 의한 제작은 그 비용 및 가공시간이 기하급수적으로 증가하지만 임의형상제작시스템(solid freeform fabrication system)을 적용할 경우 이에 대한 영향을 받지 않는 장점이 있다. 임의형상 제작시스템으로 우리가 원하는 형상을 제작하기 위해서는 패턴드라이버(pattern driver)를 통해 헤드(head)에 형상 정보를 주어 각 노즐(nozzle)을 제어해야 한다. 패턴드라이버의 개발은 고속으로 형상 정보를 전달할 수 있을 뿐만 아니라 임베디드 장치(embedded device)이므로 갑작스럽게 주 전원이 차단되거나 주 제어장치가 다운되는 현상이 발생하더라도 저장되어 있던 패턴을 제작할 수 있으므로 중요한 기술 중의 하나이다. Fig. 1 과 같은 MIT의 3차원 프린팅 기술(three dimension printing technology)은 모델링 된 CAD 데이터를 수직 방향으로 잘게 슬라이싱(slicing) 한 후 프린트 헤드를 이용하여 주사함으로써 각 층(layer)의 슬라이싱 표면을 굳혀서 적층시켜 나가는 방식이다. 고속으로 제작이 가능하고 제작비용이 저렴하다는 장점이 있

* 부산대학교 지능기계공학과 대학원
** 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소
E-mail: mclee@pusan.ac.kr Tel. 051-510-2439
*** 한국기계연구원 나노기계연구본부

다.

3차원 임의형상제작시스템은 크게 두 가지로 나뉜다. 레이저를 이용하여 고체 분말(powder)을 소결시키는 방법을 사용하여 조립을 가능하게 하여 대형 모델의 형상을 빠르게 제작하는 산업용 임의형상제작시스템과 프린트 헤드를 이용하여 고체 분말 위에 바인딩 액을 분사함으로써 적층시키는 방법 등을 사용하여 소형의 모델을 빠르게 제작하는 오피스용 임의형상제작시스템으로 구분 된다.^{4,6}

패턴드라이버는 비트맵(bitmap)의 데이터 정보를 헤드에 전송해주는 장치로 시중에 헤드 한 개당 제어하는 데에 천만 원 가량의 고가로 판매되어 왔다. 이러한 가격을 줄이고 시스템을 콤팩트하게 제작하기 위해서 본 논문에서는 멀티헤드제어를 위한 패턴드라이버를 개발하였다.

본 논문에서는 광경화수지(UV resin)를 개발된 오피스용 임의형상제작시스템의 빌드 트레이(build tray)에 반복해서 분사하고 프린팅하며 UV 램프를 조사하여 굳히는 방식으로 제품을 제작하였다. 또한 원하는 위치에 정확한 패턴을 분사할 수 있도록 CAD에서 만들어진 형상데이터를 생성하고 패턴드라이버를 개발하였다.

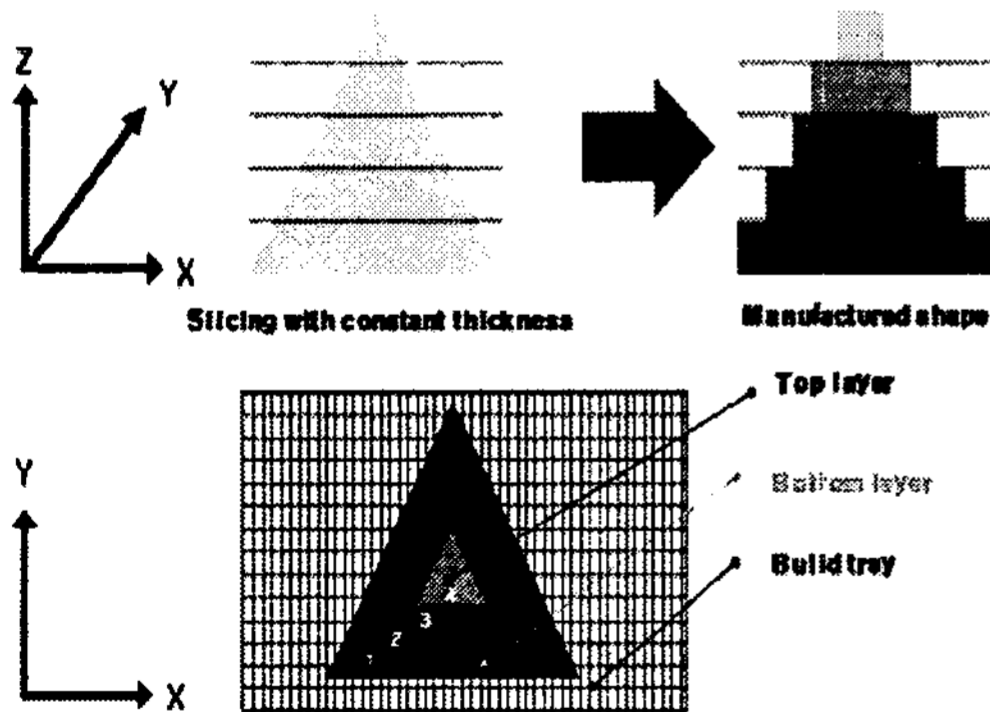


Fig. 1 Three dimensional printing process

2. 임의형상제작시스템

2.1 구동부

Fig. 2에서 보여주는 오피스용 임의형상제작시스템은 정밀한 형상을 빠른 시간 내에 구현하는 것을 목적으로 하기 때문에 고속과 고정밀의 특성을 가지고 있다. 3차원 프린팅 기술을 이용한 오피스용 임의형상제작시스템은 3축의 구동축을 가지고

있다. Fig. 3에서 보여주는 것과 같이 실물을 복제하는 데 직접 프린팅을 하는 x-y테이블인 구동축과 한 층씩 제작된 형상을 적층시키는 빌드 트레이를 구동하는 z테이블로 구성된다. x-y축은 빠른 이동 속도와 내구성, 또한 콤팩트한 사이즈로 시스템 구현이 가능하도록 스테핑 모터(steping motor)를 기반으로 한 타이밍 벨트(timing belt) 시스템을 사용하였다. 동력전달에 있어서 타이밍 벨트의 사용으로 무게에 대한 오차도 줄여 높은 정밀도를 충족시켰다. 또한 무거운 프린트 헤드의 이동에 의해 발생하는 진동을 억제하기 위해서 LM 가이드를 장착하였다. z축은 정해진 만큼의 스텝 동작이 가능한 스테핑 모터를 장착한 볼 스크류(ball screw) 시스템을 사용하였다. 16um-20um의 일정한 두께로 적층할 수 있도록 브레이크(break)와 볼 스크류로 중력에 의해서 처지는 현상까지 고려하였다. Table 1은 임의형상제작시스템의 사양을 보여준다.

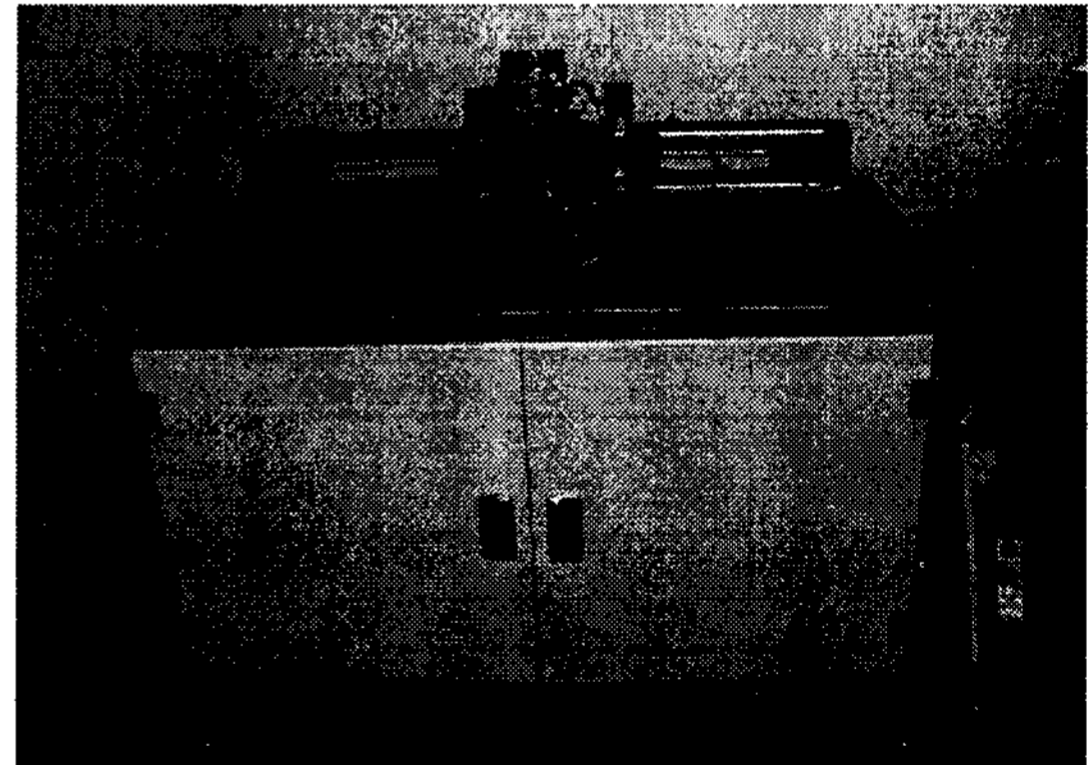


Fig. 2 The developed SFPS

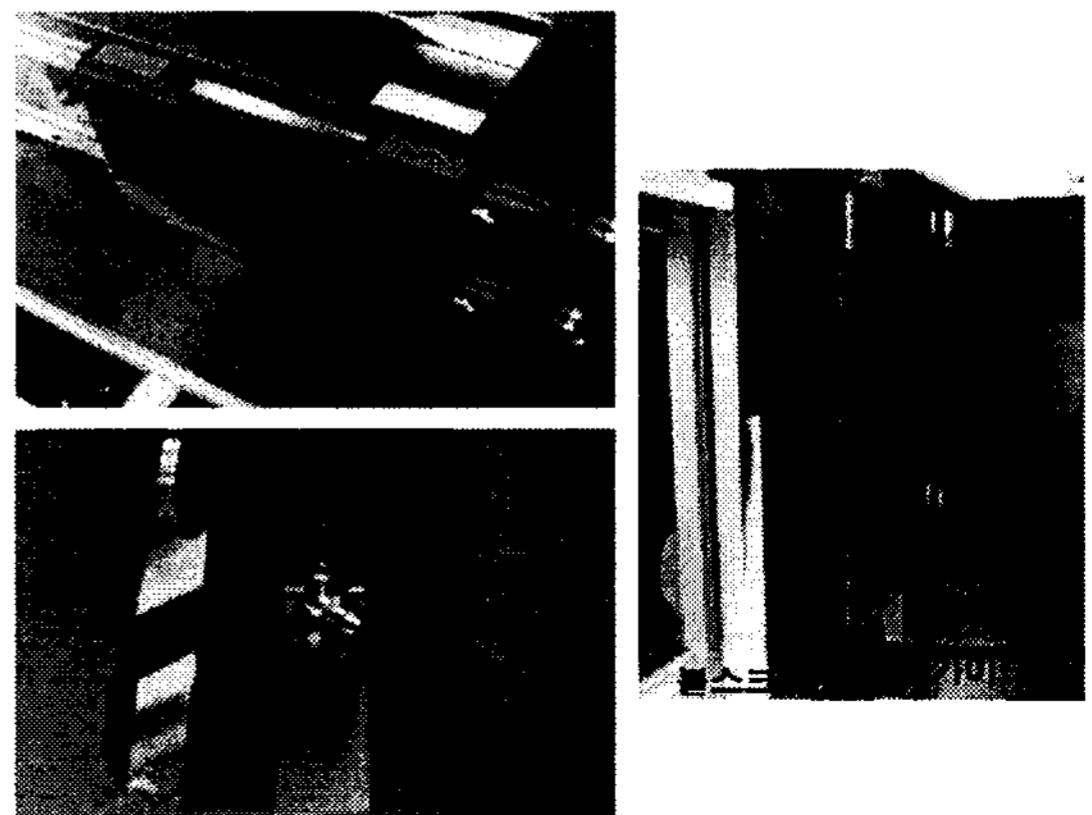


Fig. 3 Actuating axes of direction of SFPS

Table 1 Specifications of 3D SFFS

System Size(XYZ)	1240 x 870 x 1400mm
Build Speed(WDH)	300 x 300 x300 mm
Build Speed	3 layer
Precision	97 x 27 x 4um

2.2 프린트 헤드

점도가 높은 광경화 수지를 분사하기 위해서 Dimatix사 피에조 헤드 타입의 Spectra SE-128 헤드를 사용하였다. Fig. 4에서는 프린트 헤드와 Spectra SE-128 노즐을 보여준다. Table 2의 사양을 가진 프린트 헤드는 고성능 고효율의 출력을 위한 128채널의 잉크 노즐 분사 및 최대 900dpi(Dot Per Inch) 해상도 출력을 위한 제품이다. 프린트 헤드는 전기 자극에 의해서 피에조 박막이 진동하여 각 노즐 내에 챔버(chamber)를 건드려 분사하는 타입이다. 정량 토출 펌프를 이용하여 챔버 내에 적정 압력을 유지시켜 광경화 수지의 공급을 원활하게 한다. 각 노즐의 간격은 508um이다.

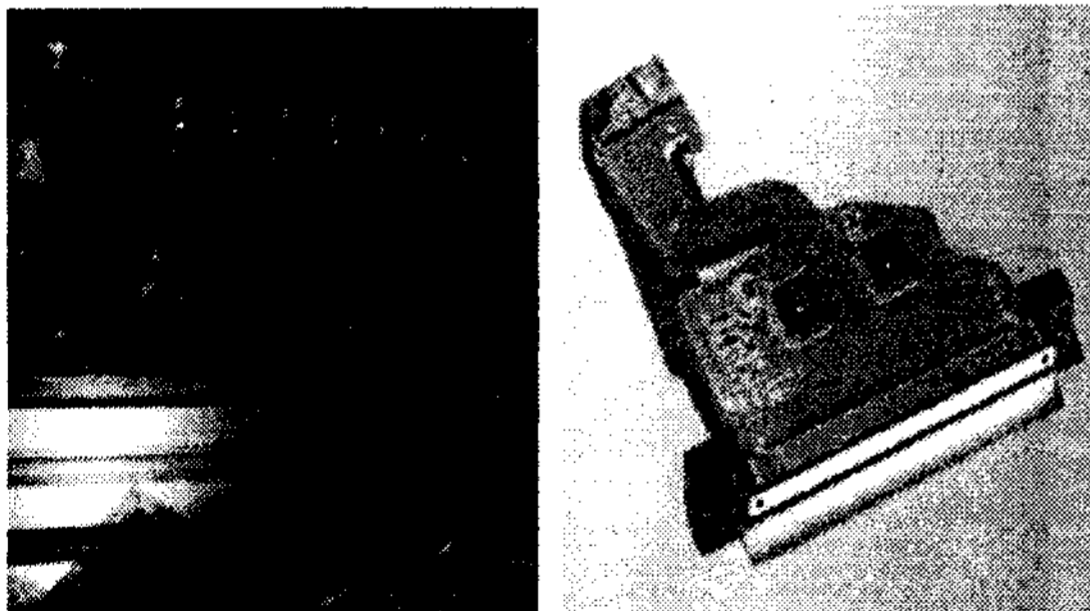


Fig. 4 Print head and nozzle of spectra head

Table 2 Specifications of Spectra head

Parameter	Spectra SE-128
Number of addressable Jet	128
Nozzle spacing	50 microns
Native resolution	50 dpi
Nozzle diameter	38microns
Calibrated drop size	30 picoliters
Adjustment rang for drop size	25-35 picoliters
Drop size variation, 1sigma	4%
Nominal drop velocity	9m/sec
Drop velocity variation, 1 sigma	3%
Maximum operating frequency	40Khz

2.3 패턴드라이버

메인 컴퓨터에서 제작하고자 하는 형상데이터를 프린트 헤드에 보내어 빌드 트레이의 정확한 위치에 광경화 수지를 분사하는 것을 제어하는 기술이 패턴드라이버의 핵심기술이다. 오피스용 임의형상제작시스템의 메인 컨트롤러에서 Fig. 5 와 같이 개발된 패턴드라이버에 의해 Fig. 6 의 MFPG(modular fire pulse generator)에는 fire 신호와 헤드에 전달하기 위한 전압 펄스를 설정한다. 그리고 IHIB(isolated head interface board)에서는 노즐을 제어하는 신호와 형상데이터를 전송하게 되는데, 데이터를 전송하기 위해서 SPI(serial peripheral interface) 통신이 사용된다. 패턴드라이버는 X축 방향으로의 움직임에 대해서 리니어 엔코더(linear encoder) 값을 활용한다. 이 때 엔코더의 펄스 신호는 변위 카운터에 의해서 엔코더 값으로 변환되고, 모니터링을 위해서 디스플레이 장치에 표시된다. 그리고 일정한 엔코더 값의 간격으로 fire펄스가 발생된다. 이는 MAX485를 통해 신호의 왜곡을 최소한으로 줄일 수 있다. 그리고 MPC(meniscus pressure controller)는 피에조 헤드 분사를 위한 펌프 컨트롤러를 나타낸다. 적절한 양압과 음압을 이용하여 노즐의 분사 압력을 조절하는 기능을 한다.



Fig. 5 Single and multi pattern driver

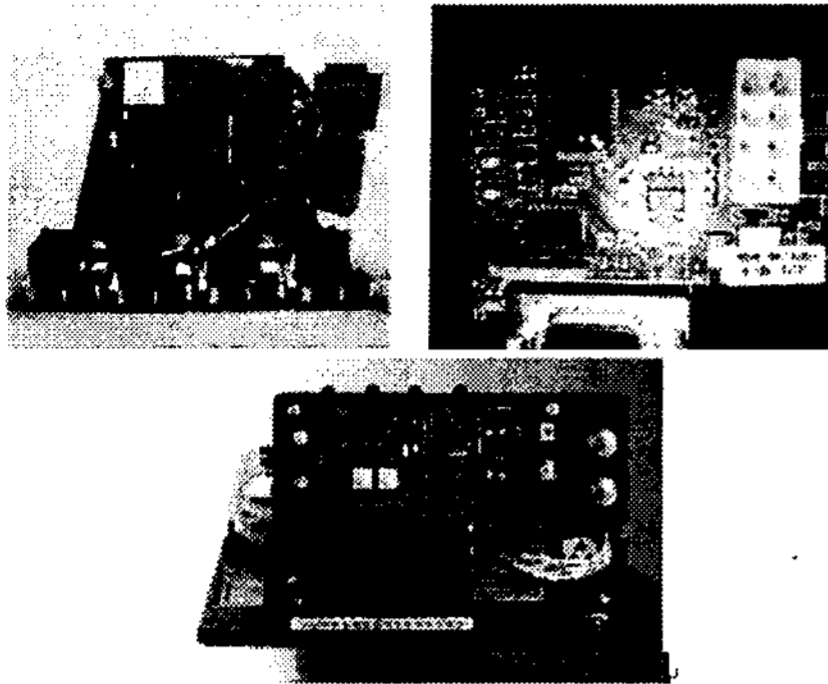


Fig. 6 MFGP, IHIB and MPC

3. 형상 데이터 생성

3.1 슬라이싱 파일

임의의 형상을 제작하기 위해 Fig. 7과 같이 3차원 스캐너의 데이터나 CAD로 설계된 제품에 대한 형상 데이터인 STL 파일을 받아 설계된 제품에 대해서 일정량의 두께로 슬라이싱 파일을 생성한다. 슬라이싱 파일은 점 데이터로 구성되어지며, 이를 비트맵(bitmap) 파일의 형태로 변환한다. 비트맵 파일로 변환하는데 슬라이싱 파일은 점 데이터로 구성된 컨투어(contour) 정보만을 가지고 있어 비트맵 변환을 3차원 형상 제작에 바로 적용하기 어렵다. 그래서 Fig. 7과 같이 슬라이싱 파일에 층 두께, 층 식별 번호, 물체 식별 번호 등의 정보를 추가하여 비트맵 생성을 용이하게 하였다. 추출된 슬라이싱 데이터에는 레이어의 두께 정보와 컨투어 정보를 포함하고 있다. 첫 번째 라인은 슬라이싱 두께를 의미하여 0.100은 $100\mu m$ 을 나타낸다. 두 번째 라인의 L은 슬라이싱 된 파일을 가리키며 0부터 번호가 부여되어 몇 번째 레이어인지 알 수 있다. 그 다음의 00는 한 슬라이싱 표면에 몇 번째 컨투어인지를 나타낸다. L과 같이 0부터 번호가 부여되어 한 층에 몇 번째 컨투어인지 알 수 있다. 컨투어란 각 포인트가 이어져 하나의 폐곡선을 이루는 것을 말한다. 즉 실제로 프린터 헤드는 하나의 층에 여러 개의 컨투어들로 조합된 슬라이싱 표면에 광경화 수지를 분사하게 된다. P는 포인트를 의미하며 좌표 X와 Y순서로 표현하였다. 비트맵 파일로 변환할 때, Fig. 8의 b와 같이 한 층에 여러 개의 층이 존재할 경우, 필링 영역(filling area)을 판단해야 한다. 즉 어떤 컨투어 내부에 또 다른 컨투어가 존재할 경우 등의 조건에 대해서 고려되어야 한다. 따

라서 포인트 좌표와 레이어 정보, 컨투어 정보 등을 이용하여 필링 영역을 구분할 수 있는 비트맵 생성 알고리즘이 필요하다.

3.2 비트맵 생성

본 연구에서는 비트맵 생성 알고리즘으로 논리 연산의 기본 원리 중 하나인 XOR(Exclusive OR)의 형태를 적용하였다. XOR을 기반으로 색 반전방법을 적용하여 Fig. 8의 (c)와 같은 비트맵을 생성하였다. 이 알고리즘은 컨투어 내부에 또 다른 컨투어가 생길 경우, 중복되는 영역을 반전시킨다. 컨투어가 같은 영역에 중복해서 여러 개가 생길 경우, Fig. 9에서 보는 것과 같이 초기에 작은 컨투어 4개가 생성되고, 다음에 오는 컨투어가 그 영역 외부에 생기면 처음 생성된 컨투어 4개를 반전시킨다. 다음으로 더 작은 지름을 가지는 컨투어가 발생하면 정렬을 거쳐 중복된 부분에 대해서 다시 반전시켜준다. 위의 반전 알고리즘을 적용하면 복잡한 형상 데이터에 상관없이 모든 3차원 모델에 대한 비트맵 변환이 가능하다. 비트맵 제작을 위한 순서도는 Fig. 10과 같다. 먼저 비트맵 제작에 적합한 STL 파일인지 확인한 후, 레이어 순서대로 비트맵을 제작하게 된다. 반전 기법을 이용하여 제작하고자 하는 형상의 각 층을 2진 비트맵으로 저장을 한다. Fig. 11과 같이 생성된 컨투어 비트맵을 반전 알고리즘에 적용하여 메모리 비트맵에 그린다. 배열을 만들어주는 함수인 Carray로 컨투어의 개수에 맞게 영역을 생성해야 반전 알고리즘을 적용할 수 있다. 메모리에서 반전 알고리즘을 적용한 비트맵 파일을 2진 비트맵으로 저장하기 위해 비트맵 포맷 구조를 변경한다. STL파일의 크기와 제작하고자 하는 비트맵의 크기에 따라 제작하는 속도가 어느 정도 차이는 있겠지만 평균적으로 약 1000 개의 비트맵 생성 시 약 60초 정도 소요된다.

실제로 형상 데이터를 빌드트레이에 광경화 수지로 분사하려면 비트맵파일을 로우(raw) 데이터로 바꾸어 주어야 한다. 로우 데이터는 Fig. 12에서 보여주는 것과 같이 비트맵 파일에서 헤드 정보를 제외한 형상데이터를 말한다. 먼저 비트맵의 파일헤더와 정보 헤드, 팔레트가 포함되어 있는 헤더부분을 떼어내고 거꾸로 저장되어 있는 형상데이터 부분을 상하반전을 해주어야 한다. 이 경우 Fig. 13과 같이 비트맵 파일이 일그러지는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 비트맵의 가로길이

는 항상 4의 배수 길이로 제작되기 때문에 실제 제작하려는 최대크기를 4의 배수 길이로 변경 후 로우 데이터를 생성하였다. 생성된 로우 데이터는 메인 컴퓨터에서 패턴드라이버를 거쳐서 IHIB로 전송된다.

Layer	X1	Y1	X2	Y2
L0	00			
P	-4.465	-32.857		
P	-4.447	-32.865		
P	-4.326	-32.916		
P	-4.267	-32.939		
P	-3.927	-33.074		
P	-3.918	-33.078		
P	-3.888	-33.089		
P	-3.511	-33.234		
P	-3.398	-33.277		
P	-3.325	-33.305		
P	-3.184	-33.391		
P	-2.918	-33.417		
P	-2.862	-33.424		
P	-2.728	-33.454		
P	-2.468	-33.485		
P	-2.455	-33.485		
P	-2.342	-33.492		
P	-2.091	-33.451		
P	-2.081	-33.449		
P	-1.988	-33.438		
P	-1.742	-33.373		
P	-1.727	-33.378		
P	-1.637	-33.352		
P	-1.379	-33.317		
P	-1.368	-33.316		
P	-1.288	-33.303		
P	-1.023	-33.251		

Fig. 7 Slicing Data

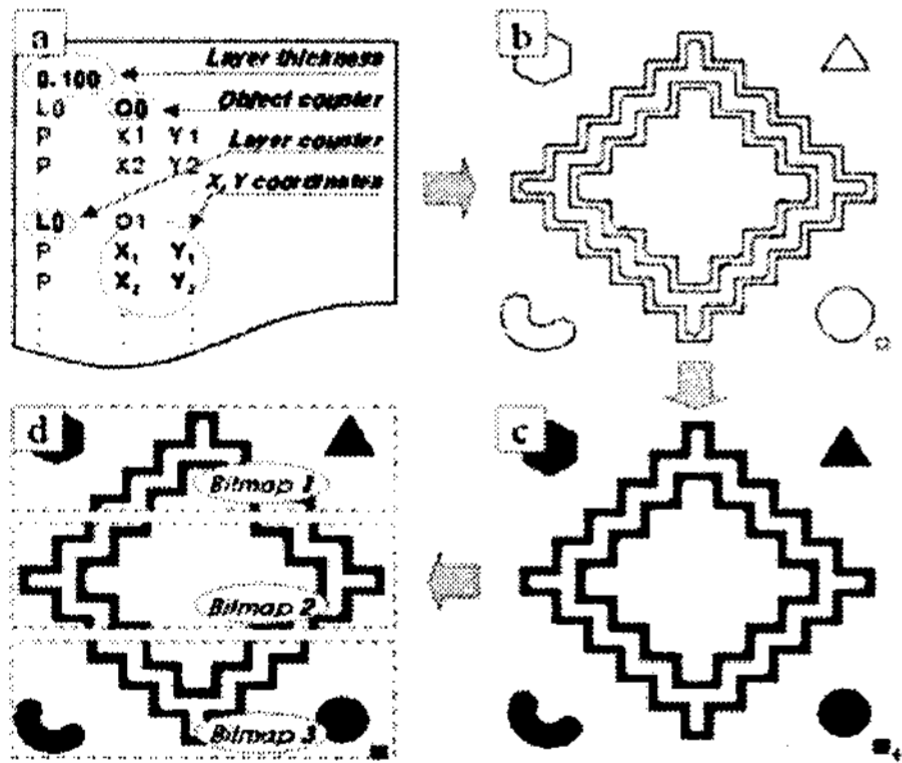


Fig. 8 A slicing file convert into bitmap file



Fig. 9(a) The case with other contour being at a contour outside

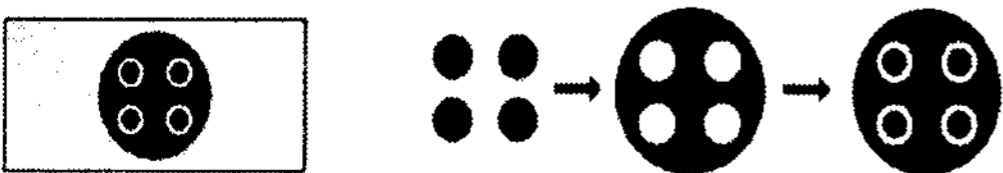


Fig. 9(b) The case with many contours at the overlap region

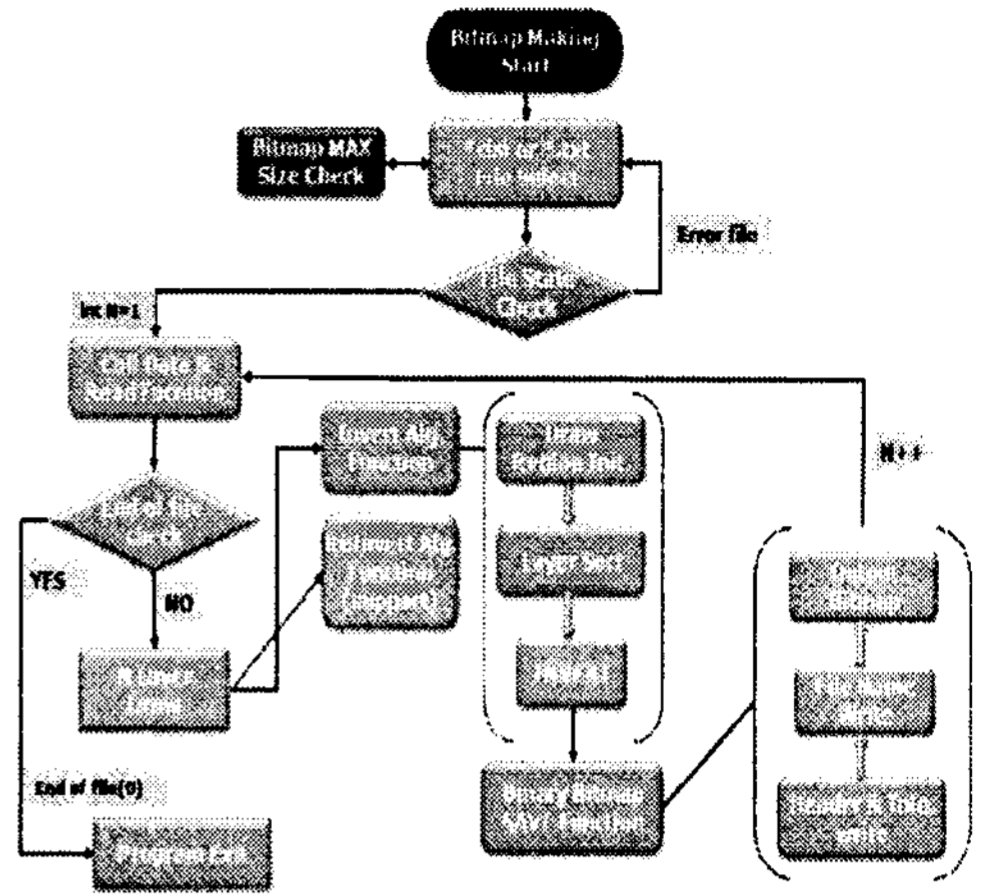


Fig. 10 A flowchart of XOR algorithm

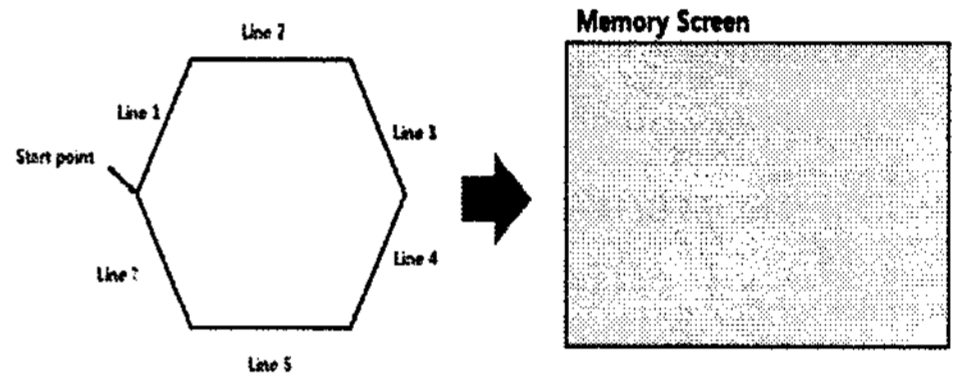


Fig. 11 Send Memory on Bitmap file

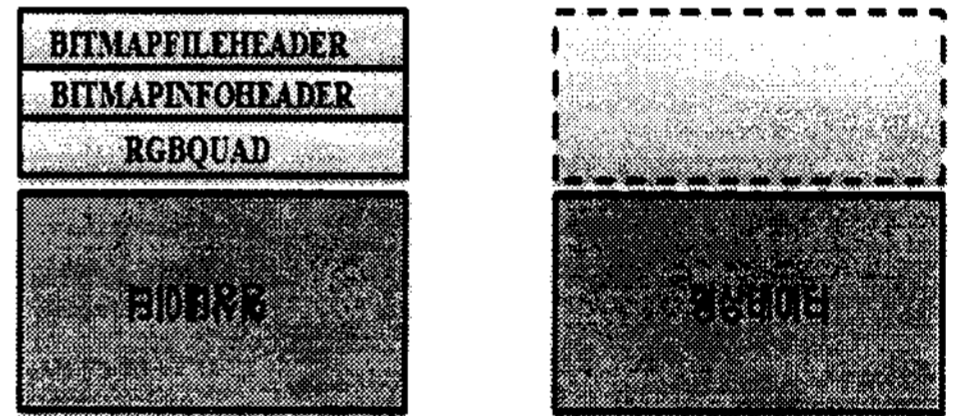


Fig. 12 Bitmap file and raw file



Fig. 13 Bitmap file and raw file of teeth

4. 실험결과

개발된 오피스용 임의형상제작시스템에서 임의형상을 직접 제작해서 그 적용 가능성과 장비의 성능을 평가해 보았다. 프린트 헤드는 피에조 타입의 spectra SE-128을 사용하였고 형상데이터를 메인 컨

트롤러에서 전송 받아 광경화 수지를 분사하고 UV 램프의 조사로 인해서 경화되는 일련의 반복과정으로 프린팅이 이루어진다. 최대 프린팅을 할 수 있는 빌드 크기(Build Size)가 300mm x 300mm이므로 비트맵 변환시 정확한 치수를 위해 픽셀(pixel)단위로 변환하는 과정이 필요하다. 400dpi의 해상도로 제작할 경우 헤드부는 좌우로 두 번 프린팅 과정을 거친다. 즉 한 번 프린팅 될 때 200dpi가 분사된 이 과정에서 비트맵과 헤드의 해상도를 맞추기 위해서 단위변환 과정이 필요로 한다. 1inch는 2.54cm이므로 빌드 크기가 최대 300mm일 경우 X, Y축은 2362.2dot를 분사할 수 있는 성능을 가진다. 하지만 비트맵은 가로길이가 4의 배수이어야만 하기 때문에 2364dot로 설정해서 제작한다. X축의 리니어 엔코더 신호를 통해서 동기화시켜 정도 높은 프린팅이 구현되도록 하였다. 이는 패턴 드라이버를 통해 임의의 형상에 대한 각 층의 영상정보를 전송받아 프린팅 하게 된다. 광경화 수지 분사 후 UV 램프를 통해 경화를 시키고 이를 적층시켜 임의의 형상을 제작할 수 있다. Fig. 14 는 임의의형상제작실험을 하고 있는 오피스용 임의의형상제작시스템의 모습이다. 점도가 높은 광경화 수지를 분사해야 하기 때문에 피에조 타입의 Spectra SE-128 헤드를 이용하였다.

5. 결론

본 논문에서는 광경화 수지를 이용한 오피스용 임의의형상제작시스템을 구성하고 임의의형상을 제작하기 위해 비트맵과 로우 데이터 생성 알고리즘을 개발하였다. 뿐만 아니라 프린터 헤드에 형상데이터를 보내기 위해 고가의 패턴드라이버를 저가로 개발하여 장비의 비용적인 측면도 줄일 수 있었다.

또한 IHIB를 통해 프린트 헤드에 형상데이터를 넘겨주어 다양한 패턴을 생성할 수 있도록 각 노즐을 제어하는 패턴드라이버를 개발하였다. 광경화 수지는 약 70도에서 가장 적절한 분사온도를 가지고 피에조 박막을 구동하기 위한 전압 140V를 가질 때, 최대 분사량을 얻었다. 드롭을 생성하기 위한 조건으로는 피에조에 100V정도의 인가전압이 요구됨이 확인 되었다. 향후 분사 조건과 최적의 적층 조건에서 다양한 실험을 거쳐 오피스용 임의의형상제작시스템의 시제품 제작에 있어서 정밀 형상에 대한 제작 실험을 수행할 예정이다.

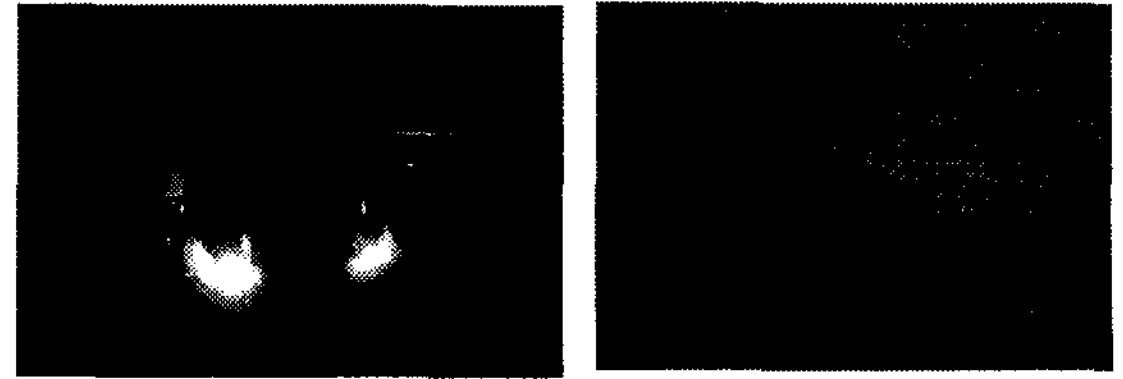


Fig. 14 Experiment of UV curing

참고문헌

1. Yan, X. and Gu, P., "A review of rapid prototyping technologies and systems," *Compute Aided Design*, Vol. 28, No. 4, pp. 307-318, 1996.
2. Upcraft, S. and Fletcher, R., "The rapid prototyping technologies," *Assemble Automation*, Vol. 23, No. 4, pp. 318-330, 2003.
3. Chang, C. C., "Rapid prototyping fabricated by UV resin spray nozzle," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 10, No. 2, pp. 136-145, 2004.
4. Lee, W. H., Kim, D. S. and Lee, T. M., "A study of SFF for office type using three- dimensional printing process," *Proceedings of the KSPE Autumn Conference*, pp. 1128-1131, 2004.
5. Lee, W. H., Kim, D. S. and Lee, M. C., "Development of a SFF System Based on Three-Dimensional Printing Process," *Korean CAD/CAM conference*, Vol. 1, No.1, pp. 550-557, 2005.
6. Kim, D. S., Lee, W. H., Ahn, Y. J., Jang, M. H. and Choi, K. H., "Development of Digital 3D real object duplication system and process technology," *Journal of Korean Society and Precision Engineering*, Vol. 23, No. 4, pp. 183-190, 2006.