

마이크로 광 조형기술에서의 통합성형공정의 개발

이인환[#]

Development of an Assembly-free Process for Micro-stereolithography Technology

In Hwan Lee[#]

ABSTRACT

As it is difficult to construct a micro-fluidic system composed of micro-mixers, micro-channels and/or micro-chambers in a single process, an assembly process is typically used. The assembling and bonding of micro-parts, however, introduces other problems. In this work, a virtual assembly process was developed that can be used to design various micro-systems before actual fabrication commences. In the process, the information required for the micro-stereolithography process is generated automatically. Consequently, complex micro-fluidic systems can be fabricated in a single process, thereby avoiding the need for additional assembly or bonding processes. Using the developed process, several examples were fabricated.

Key Words : Virtual Assembly (가상조립), Micro-stereolithography(마이크로 광 조형기술), Micro-fluid System (마이크로 유체 시스템)

1. 서론

마이크로 크기를 갖는 기계장치의 제작기술이 발전함에 따라서 각각의 제작된 마이크로 장치를 조립하여 보다 복잡한 기능을 수행하는 마이크로 시스템을 만들 수 있는 조립기술에 관한 관심이 높아지고 있다. 특히, 마이크로 화학(micro-chemistry)이나 마이크로 생물학(micro-biology) 분야에서는 마이크로 믹서(micro-mixer), 마이크로 채널(micro-channel) 혹은 마이크로 펌프(micro-pump)등을 포함하는 복잡한 기능을 갖는 마이크로 시스템의 개발 및 이용에 대한 요구가 점차 증대되고 있다. 이

를 위해서는 여러 개의 단일부품들로 구성된 복잡한 형태의 마이크로 시스템을 단일공정으로 제작하는 것이 가장 합리적이다. 하지만, 기존의 기술들을 이용하여는 이러한 것을 구현하기 어렵다. 따라서 일반적으로는 단일부품들을 조립하기 위한 조립공정이 요구되며, 이는 새로운 문제를 야기하기도 한다. 본 연구에서는 단일 공정으로 복잡한 단면형상을 갖는 3 차원 마이크로 제품을 제작할 수 있는 마이크로 광 조형기술(micro-stereolithography)¹⁻⁴을 이용하여, 여러 가지 단일 구성품들로 이루어진 복잡한 형태의 3 차원 마이크로 시스템을 제작하는 기술에 대한 것이다.

마이크로 광 조형 기술은 Fig. 1 과 같이 기존

¹⁻⁴ 접수일: 2004 년 3 월 31 일; 게재승인일: 2004 년 6 월 11 일

[#] 교신저자: 교신저자: 충북대학교 기계공학부

E-mail anxanx@postech.edu Tel. (054) 279-5889

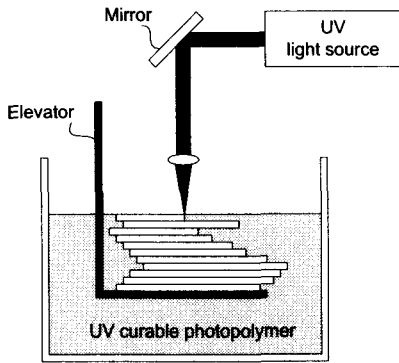


Fig. 1 Principle of micro-stereolithography

의 쾌속조형기술의 하나인 광 조형기술의 단면형상을 층층이 쌓아 올리는 방법^{5,6}을 이용한다. 하지만, 마이크로 광 조형기술에서는 수 μm 의 매우 작은 초점반경을 갖는 자외선 레이저 빛이 광 경화성 수지(UV curable photopolymer)의 표면에 주사되어 광 경화성 수지를 경화시키게 된다. 본 연구에서는 마이크로 광 조형기술을 이용하여 여러 개의 단위부품들의 조합으로 이루어진 복잡한 형태의 마이크로 시스템의 제작을 위한 통합성형공정을 제시한다. 이 통합성형공정을 통하여 복잡한 형상을 갖는 마이크로 시스템의 제작을 위한 공정정보들이 만들어지게 되며, 따라서 이 정보들을 이용하여 실제 마이크로 광 조형장치에서 원하는 3 차원 형상의 마이크로 시스템을 제작할 수 있다. 본 연구에서 제시된 통합성형공정은 두 가지 기능을 갖는다. 첫 번째는 복잡한 3 차원 마이크로 시스템을 조립이 필요 없는 단일공정으로 제작하기 위한 공정정보를 획득할 수 있다는 것이다. 그리고 두 번째는 각각의 단위부품들을 이용하여 신속하고 효율적으로 가상공간에서 여러 가지 형태의 조합을 구성해 볼 수 있고, 따라서 다양한 종류의 시스템을 신속하게 제작 할 수 있다는 것이다.

마이크로 광 조형기술을 이용한 통합성형 공정의 개발을 위해서는 우선, 단위부품들의 공정정보가 필요하다. 따라서, 전체 마이크로 시스템을 구성하는 각각의 단위부품들에 대한 성형 공정정보를 포함하는 데이터 구조를 제작하였다. 그리고 이렇게 만들어진 성형

공정정보를 이용하여, 가상공간에서의 조립 및 공정정보 추출을 위한 가상조립 알고리즘과 공정정보 추출 알고리즘 또한 제작하였다.

이 가상조립공정은 다음의 과정을 통해서 이루어진다. 우선, 가상조립알고리즘을 이용하여 단위부품들로 이루어진 복잡한 형태의 마이크로 구조물이 가상공간에서 만들어진다. 그리고 성형정보 추출 알고리즘을 이용하여 마이크로 광 조형기술을 이용한 마이크로 시스템의 제작을 위한 성형정보들이 추출되게 된다. 이들 알고리즘을 기반으로 하는 가상조립 프로그램을 제작하였다. 만들어진 알고리즘 및 프로그램의 검토를 위하여 마이크로 믹서, 마이크로 파이프 그리고 마이크로 파이프 연결관 등으로 구성되는 마이크로 유체 시스템을 제작하였다. 특히 제작된 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템(micro-ABO blood-typing system)은 만족할만한 혈액형 분석성능을 보였다.

2. 단위부품의 데이터구조

단위부품의 데이터 구조는 가상조립공정에서 필요한 성형정보를 용이하게 얻을 수 있도록 구성되어야 한다. 일반적으로, 단위부품의 성형정보는 이용되는 마이크로 광 조형공정에 따라서 구성되게 된다. 본 연구에서 개발된 성형정보들은 Fig. 2 와 같은 데이터 구조를 가진다. Fig. 2 와 같이 만들어진 데이터 구조는 중복이나 정보의 누락이 없고, 저장된 정보로의 접근이 용이하게 설계되었다. 제작된 데이터는 층층이 성형되는 마이크로 광 조형의 특성을 반영하여 각 층의 정보들이 저장되도록 설계되었다. 즉, 각각의 층에서 레이저 빛의 주사경로와 층 두께를 각각 저장하게 되며 이는 단위부품의 각 층을 성형하는데 필수적인 정보들이다. Fig. 3 에서 볼 수 있듯이 마이크로 광 조형에서 단위부품을 제작하기 위한 공정과정의 한 층을 성형하기 위한 주사경로들은 직선(Fig. 3(a))과 곡선(Fig. 3(b))움직임으로 나눌 수 있다. 따라서, 레이저 빛의 주사경로 정보는 주사경로의 시점, 종점, 중심점(곡선주사경로의 경우)들이 저장되어야 한다. 그리고 각각의 주사경로에 대하여 주사속도와 방향 등의 이동정보 또한 필요하다.

또한 새로운 층을 만들기 위해 액체 광경화성 수지를 이미 성형된 단면 위에 채우는 충전과정도 데이터 구조에 포함된다. 이 과정은 사용되는 광 경화성 수지의 점성과 표면장력에 따라서 달라지기 때문에 동일한 단위부품의 제작 시 단면형상과 무관하게 동일한 조건을 갖는다.

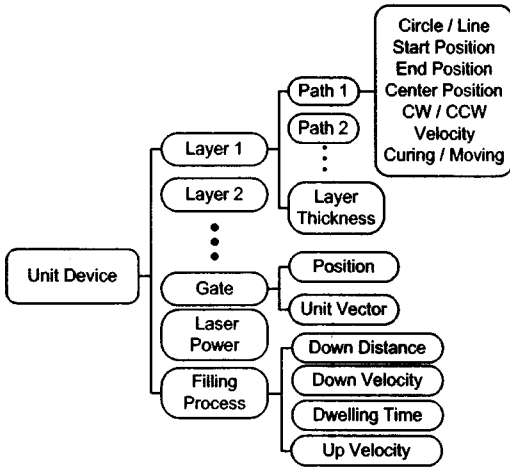


Fig. 2 Data structure of a unit device

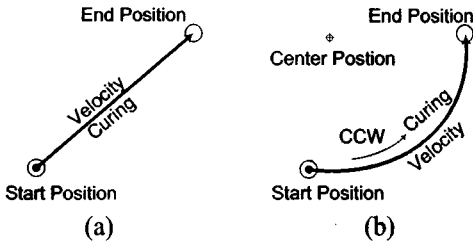


Fig. 3 Path information

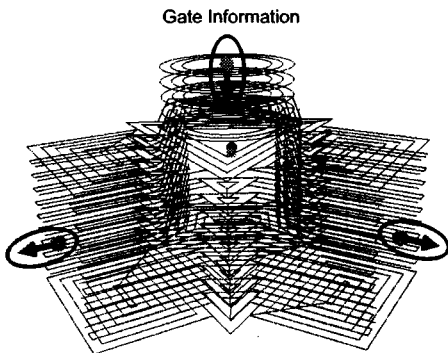


Fig. 4 Gate information

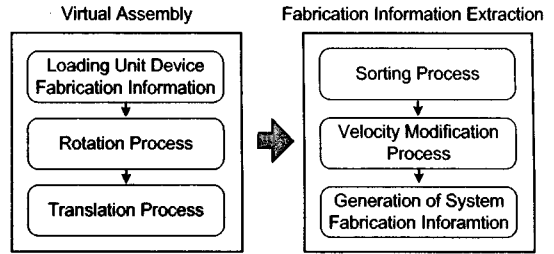


Fig. 5 Flow chart of the virtual assembly process

한편, 가상조립공정에서 단위부품을 다른 단위부품과 결합하기 위한 결합부위에 대한 정보(gate information)가 필요하다. 특히 마이크로 유체시스템을 구성하는 단위부품에서는 유체의 통로가 되는 부분이 정확히 일치하여야 하며, 따라서 이런 결합부위에 대한 정보는 가상조립 공정에서 필수적이다. Fig. 4 는 가상조립공정에서 필요한 결합부위 정보를 단위부품에 포함시킨 것을 보여준다. 즉, Fig. 4 에서 가는 실선은 각 단위부품을 구성하는 단면정보를 그림으로 나타낸 것이며, 굵은 화살표가 각 단위부품을 다른 단위부품과 결합하기 위한 결합부위에 대한 정보를 나타낸 것이다.

이상의 결과를 바탕으로, 각각의 단위부품에 대한 성형정보를 용이하게 생성하기 위해서 컴퓨터 프로그램을 제작하였으며, 이렇게 제작된 프로그램에 의한 단위부품의 성형정보는 다음 단계의 가상조립공정에서 이용되게 된다.

3. 가상조립공정의 개발

본 연구에서 개발된 가상조립공정은 가상 공간에서 단위부품을 용이하게 조립하는 것을 가능하게 해 주며 또한 가상 조립된 시스템을 마이크로 광 조형장치를 이용하여 성형하기 위한 성형정보를 만들어 주게 된다. 이를 위하여 가상조립 및 성형정보 추출 알고리즘을 개발하였다. Fig. 5 는 가상조립공정의 흐름도이다. 제작된 알고리즘을 이용하여 이 공정을 구현하기 위하여 마이크로 소프트웨어 C++과 Open GL 을 이용한 프로그램을 제작하였고, 이를 통한 가상조립 및 추출된 성형데이터를 이용한 실제 성형과정을 수행하였다.

3.1 가상공간에서의 가상조립

Fig. 3 및 Fig. 4 와 같이 가상공간에서 단위부품은, 각각을 구성하고 있는 레이저 빛의 주사경로를 시작점 및 종료점을 연결하는 선으로 표현된다. 따라서 이러한 방법과 가상조립 알고리즘을 이용하면 가상 조립된 복잡한 마이크로 시스템을 Fig. 6 과 같이 가상공간에서 표현할 수 있게 된다.

가상조립공정은 회전 및 이동과정으로 분류될 수 있다. 이들 과정에서 구성되는 단위부품의 접합부 정보는 각각의 단위부품들이 서로 접합될 수 있도록 해 준다. 접합부 단위벡터는 각 단위부품 접합부의 방향을 나타내 주며 이는 회전과정에 이용된다. 그리고 접합부 위치정보는 이동과정에서 이용되게 된다.

3.2 성형정보의 추출

한편, 3.1 절에서 설명된 컴퓨터 화면 상에서 그래픽적으로 표현된 가상조립과정은 실제 성형정보를 포함하지 않고 있다. 따라서 가상조립공정에서 만들어진 형상에 대한 실제 성형정보를 추출해 내는 과정이 필요하며 이것이 성형정보의 추출과정이다.

성형정보의 추출과정은 세가지 단계를 통해서 이루어지게 된다. 우선 가상 조립된 시스템의 색인정보(index information)을 만들기 위한 정렬(sorting)과정이 필요하다. Fig. 7 은 색인정보의 예를 보여주고 있으며 이는 Fig. 8 과 같이 전체 시스템을 구성하는 단위부품의 번호와 층 번호를 가지게 된다. 따라서, 이렇게 구성된 색인정보는 복잡한 마이크로 시스템이 어떠한 단위부품의 조합들로 이루어진 것인지에 대한 정보를 갖게 된다. 예를 들면, Fig. 7 에서 전체 시스템의 7 번째 층은 단위부품 1 의 세 번째 층과 단위부품 3 의 두 번째 층으로 구성되게 되는 것이다. 두 번째 과정은 레이저 주사속도 수정과정으로서, 이 과정을 통해서 각 단위부품간의 서로 다른 레이저 파워에 따른 레이저 빛의 주사속도를 전체 시스템 제작시의 단일 레이저 파워에 따른 레이저 빛의 주사속도로 변환시켜 주게 된다. 한편, 실제 성형 과정에서 초점 된 레이저 빛의 에너지에 따라서 경화되는 형상이 달라지게 된다. 이 때 레이저 빛에 의해 발생하는 에너지는 레이저 빛의 파워와 주사속도에 따라서 결정된다. 따라서, 속도수정

과정에서는 식 (1)에 의해서 레이저 파워가 P_{old} 에서 P_{new} 로 변경되면 레이저 빛의 주사속도를 v_{old} 에서 v_{new} 로 변경하게 된다. 이렇게 하면 속도수정과정 이전에 레이저 빛에 의해서 발생하는 에너지와 속도수정과정 이후에 레이저 빛에 의해서 발생하는 에너지의 크기가 같아지게 되어 동일한 형상이 성형되게 된다.

$$v_{new} = P_{new} \times v_{old} / P_{old} \quad (1)$$

세 번째 단계는 구성된 마이크로 시스템에 대한 성형정보를 추출하는 과정이다. 앞의 단계에서 만들어진 색인정보와 속도수정과정을 통한 성형정보들을 이용하여 전체 시스템의 성형정보를 추출하는 알고리즘을 개발하였다(Fig. 9).

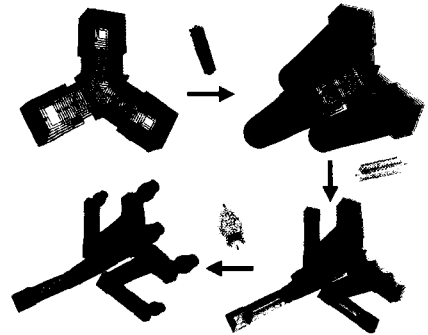


Fig. 6 Virtually assembled complex micro-system

	Unit Device 1	Unit Device 2	Unit Device 3	Unit Device 4	
Layer 7	(1,4)		(3,4)	(4,3)	Z=0.4mm
Layer 6		(2,3)	(3,3)		Z=0.35mm
Layer 5	(1,3)		(3,2)		Z=0.3mm
Layer 4		(2,2)	(3,1)	(4,2)	Z=0.25mm
Layer 3	(1,2)				Z=0.2mm
Layer 2		(2,1)			Z=0.15mm
Layer 1	(1,1)			(4,1)	Z=0.1mm

(Unit Device Number, Layer Number)

Fig. 7 Example of the index information

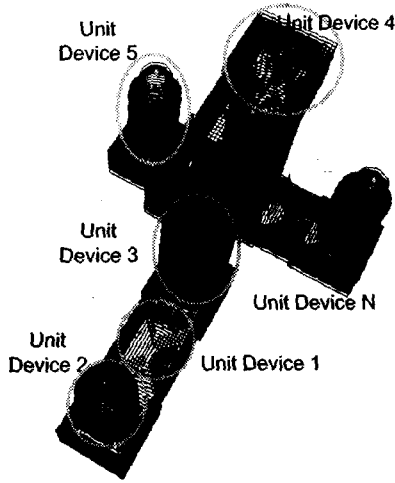


Fig. 8 Example of a complex micro-system composed of unit devices

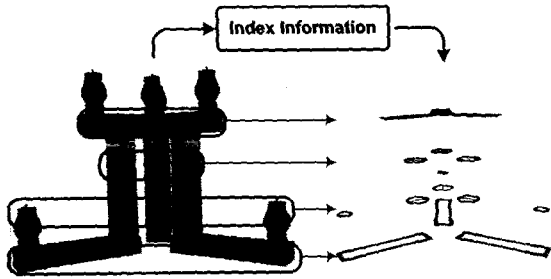


Fig. 9 Generation of fabrication information for a micro-fluidic system

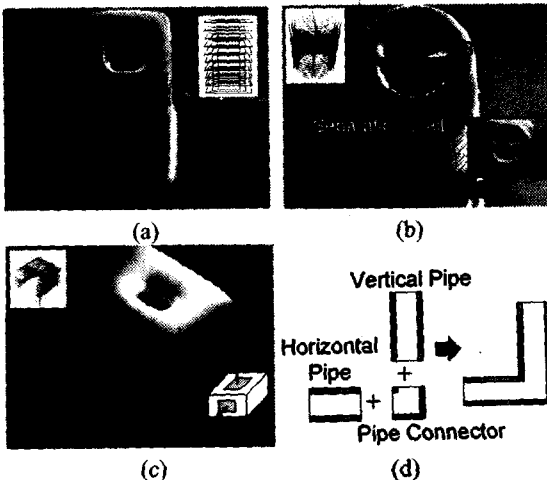


Fig. 10 Developed micro-fluidic unit devices

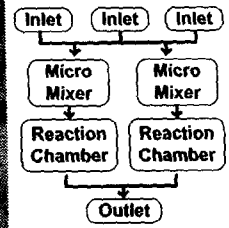


Fig. 11 Fabricated micro-ABO blood-typing system.

4. 가상조립공정을 이용한 실제성형

개발된 가상조립공정의 유용성을 확인하기 위하여 본 연구에서는 마이크로 믹서, 마이크로 파이프 등의 여러 개의 단위부품으로 구성된 마이크로 유체 시스템들을 제작하여 보았다. 특히 제작된 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템은 만족할만한 실험결과를 보여주고 있다.

4.1 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템의 개발

Fig. 10 (a)-(c)는 전체 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템의 제작을 위하여 각각 제작된 마이크로 파이프, 마이크로 믹서 그리고 이들 부품들을 연결(Fig. 10(d))해주는 마이크로 연결관들을 각각 보여준다. 제작된 이들 단위부품들과 가상조립 공정을 이용하면 다양한 형태의 마이크로 유체 시스템을 제작 할 수 있다. 본 연구에서는 세 가지 형태의 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템을 제작하였으며, Fig. 11은 제작된 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템 중의 하나이다.

4.2 개발된 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템을 이용한 혈액형 분석실험

개발된 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템을 이용하여 혈액형 분석실험을 수행하였다. 혈액형 분석 시, 만약 A 형 혈액형의 피가 anti-A 시약과 혼합되면 응집반응이 일어나고 다른 시약(anti-B)과 혼합되면 응집반응이 일어나지 않게 된다. 따라서, 본 실험에서는 A 형 혈액형의 피, anti-A 시약 그리고 anti-B 시약을 제작된 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템의 각 주입구에 주사기 펌프(syringe pump)를 이용하여 동시에 주사하여 응집반응을 살펴보았다.

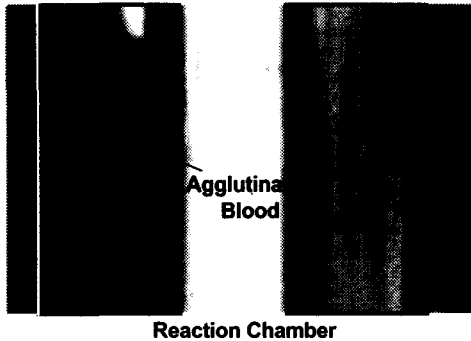


Fig. 12 Blood typing test result of the ABO typing system

Fig. 12 에서 알 수 있듯이 A 형 혈액형의 피와 anti-A 시약이 혼합된 좌측 반응챔버(reaction chamber)에서는 응집반응이 관찰되었으며, 반면에 A 형 혈액형의 피와 anti-B 시약이 혼합된 우측 반응챔버에서는 응집반응이 관찰되지 않았다. 따라서, 이상과 같은 복잡한 미세 유체 시스템의 제작 및 실험을 통해서 제시된 가상조립공정의 유용성을 확인 할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 마이크로 광 조형기술을 이용하여 복잡한 마이크로 시스템을 단일 공정으로 제작하기 위한 가상 조립공정에 대한 것이다. 제시된 가상 조립공정을 이용하면 별도의 실제 조립공정이 필요하지 않게 되며 따라서 부수적인 문제점이 발생되지 않는다. 가상 조립공정의 개발을 위하여 각 단위부품의 성형정보들이 저장되는 데이터 구조를 제시하였다. 또한 컴퓨터 상의 가상 조립환경에서 단위부품들로 이루어진 복잡한 마이크로 시스템을 조립하고 이에 따른 성형정보들을 얻을 수 있는 가상조립공정을 개발하였다.

가상조립공정의 유용성을 확인하기 위해서 마이크로 파이프, 마이크로 믹서 등으로 구성되는 몇 개의 단위부품들을 제작하고 이들을 가상의 조립공간에서 조립하여 몇 가지 형태의 미세 유체시스템들을 개발하였다. 특히 제작된 마이크로 ABO 혈액형 분석 시스템은 효과적으로 혈액형을 분석할 수 있는 성능을 보여주고 있다.

참고문헌

1. Ikuta, K., Hirowatari, K., "Real three-dimensional micro fabrication using stereo lithography and metal molding," Proceedings of the IEEE international Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS'93), pp. 42-47, 1993.
2. Ikuta, K., Maruo, S., Kojima, S., "New micro stereo lithography for freely movable 3D micro structure," Proceedings of the IEEE international Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS'93), pp. 290-295, 1993.
3. Ballandras, S., Calin, M., Zissi, S., Bertsch, A., André, J. C., Hauden, D., "Microstereolithography and shape memory alloy for the fabrication of miniaturized actuators," Sensors and Actuators A: Physical, 62/1-3, pp. 741-747, 1997.
4. Bertsch, A., Lorenz, H., Renaud, P., "3D micro-fabrication by combining microstereolithography and thick resist UV lithography," Sensors and Actuators A: Physical, 73/1-2, pp. 14-23, 1999.
5. Lee, I.H., Cho, D.-W., "Micro-stereolithography photopolymer solidification patterns for various laser beam exposure conditions," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 22/5-6, PP. 410-416, 2003.
6. Lee, I.H., Cho, Y.H., Cho, D.-W., Lee, E.S., "Development of micro-stereolithography Systems for the Fabrication of Three-dimensional micro-structures," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 2, Feb. 2004.
7. Kim, D.S., Lee, I.H., Kwon, T.H., Cho, D.-W., "A Novel Chaotic Micromixer:Barrier Embedded Kenics Micromixer," Proceedings of Micro Total Analysis Systems 2003, 1, pp. 73-76, 2003.