

# Stereolithography 기술을 이용한 유체소자 제작에 관한 연구

이영태<sup>#</sup>, 배용환<sup>\*</sup>

## A Study on Fabrication of Fluidic Devices using Stereolithography Technology

Young Tae Lee<sup>#</sup> and Yong Hwan Bae<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

In this paper, we fabricated fluidic devices like micro-channel, pump, mixer and particular gas separator with the technology of stereolithography using RP(rapid-prototyping). The fabricated fluidic devices are expected to be applied to develop Lab-on-a chip type liquid analyzer. Stereolithography technology seems effective for fabricating MEMS(MicroElectroMechanical System) with complicated structure because it makes three dimensional fabrication possible but, exclusive devices are needed to be developed for fabricating even more microscopic MEMS structure.

**Key Words** : Stereolithography(광조형법), Rapid-prototyping(RP), MEMS(마이크로머신), Lab-on-a chip(랩온어칩)

### 1. 서론

최근, MEMS(MicroElectroMechanical System) 기술은 공학, 의학 및 생물학 등 다양한 분야의 기술 진보의 한계를 극복하기 위한 중요한 기술로 응용되고 있다. 특히, DNA 칩을 포함하는 Bio-MEMS 분야의 기술 발전은 의료계의 획기적인 진보를 기대할 수 있게 했다. 하지만, 반도체 기술을 중심으로 하는 MEMS 기술만으로는 점차 복잡해지고 있는 구조물의 제작 공정을 충족시키지 못하고 있을 뿐만 아니라, 종래에 주로 실리콘으로 한정되는 Bio-MEMS 재료의 다변화가 요구되고 있다. 최근, Bio-MEMS의 재료가 플라스틱 등으로 확대되면서

더욱 다양한 연구 및 상품화가 가능하게 되었다.<sup>1,2</sup> 대부분 생물학 및 의료용 분석소자라는 특수성을 고려한다면 분석용액과 직접 접촉하는 분석소자는 가급적 일회용으로 사용하는 것이 요구되며, 일회용으로 개발하기 위해서는 제작비용을 최소화할 필요가 있다. 이런 의미에서 플라스틱은 실리콘에 비해서 저가이기 때문에 충분한 장점을 가지고 있다. 제작 기술면에서도 다양한 기술 개발 및 기술의 질적 향상이 이루어져서 종래에는 불가능했던 복잡한 구조의 소자를 간단하게 제작할 수 있게 되었다. 특히, 최근 MEMS 제작에 응용되고 있는 stereolithography 기술은 복잡한 구조물 제작에 매우 효과적인 방법으로 생각된다.<sup>3</sup>

접수일: 2003년 11월 5일; 게재승인일: 2004년 8월 13일

# 교신저자: 안동대학교 정보전자공학교육과

E-mail: ytlee@andong.ac.kr Tel. (054)820-5744

\* 안동대학교 기계교육과

Stereolithography 기술은 광경화 수지 용액 위에 레이저 빔을 조사하여 3 차원 구조물을 제작할 수 있는 기술로, 3 차원 구조물의 pre-assemble 가공이 가능하여 공정이 간단하다는 장점이 있다.

본 논문에서는 stereolithography 기술을 응용한 플라스틱 Bio-MEMS 제작의 가능성 및 효용성을 평가하기 위하여, 다양한 형태의 유체소자를 제작, 분석했다.

## 2. Stereolithography 기술

현재, stereolithography 를 실현하기 위한 기술이 다수 발표되어 있지만, 실용화하기 위해서는 다수 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 비교적 간단한 공정으로 3 차원의 가공이 가능한 RP(Rapid-prototyping) 기술을 응용하여 유체소자를 제작했다. RP 기술은 기계 분야에서 새로운 제품 개발 시에 시제품 또는 몰드(mold)를 제작하기 위하여 사용되고 있는 기술이다. RP 의 기본 원리는 Electron-beam lithography 장치와 비슷하나, 포토레지스터 위가 아닌 광경화 수지(liquid photo-polymer) 위에 레이저 빔을 조사하여, 컴퓨터로 모델링한 3 차원 구조물을 제작하는 방식으로 되어 있다.<sup>4</sup> Fig. 1 에 그 간단한 원리도를 나타냈다.

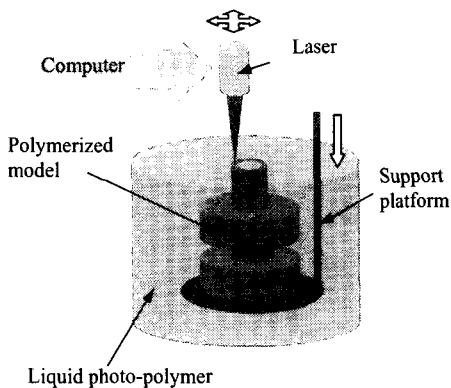


Fig. 1 Principle of the stereolithography

Fig. 1 과 같이 RP 를 이용한 stereolithography 는, 제작하고자 하는 구조물의 CAD 데이터를 z 축에 대해서 같은 간격(슬라이스 간격)이 되도록 xy 평면의 단면 데이터(\*.stl 파일)를 생성한다. 생성된 단면 데이터를 기초로 하여 광경화성 수지 용액 면

에 레이저 빔을 조사하여 경화시킨다. 그리고 z 축을 슬라이스 간격만큼 이동시켜 다음 층의 단면을 경화시켜 중첩한다. 이 과정을 반복하여 Fig. 1 에 나타낸 것과 같은 3 차원 구조물을 제작할 수 있다. 이 기술의 장점은 제작 가능한 사이즈의 한계를 무시한다면 CAD tool 로 모델링이 가능한 구조는 대부분 가공이 가능하다. 또한 부품을 분할 제작한 뒤에 조립하는 방법이 아니라 실리콘 공정과 같이 pre-assemble 이 가능한 가공법이기 때문에 MEMS, 특히 LOC(lab-on-a chip)과 같은 복잡한 구조의 유체소자 가공에 최적이라 생각된다.<sup>5</sup>

하지만, 현재 현장에서 사용되는 RP 장비는 비교적 큰 구조물 제작에 사용하기 때문에, 미소 구조물 제작에는 한계가 있을 것으로 생각된다.

## 3. 유체소자 제작 및 평가

### 3.1 채널(channel)

마이크로 채널은 화학적, 생물학적 분석 시스템에서는 없어서는 안 될 중요한 요소이다.<sup>6</sup> 또한 분석 시스템의 전체의 성능을 좌우하는 중요한 요소이기 때문에 효과적이며, 정확하게 설계 및 제작되어야 한다. 일반적으로 사용되고 있는 RP 장비(본 연구에서는 SLA-350 사용)를 이용한 미소 구조물의 제작한계를 평가하기 위하여, 채널의 단면이 원형 또는 정방형인 두 가지 형태의 채널을 제작하고, 또한 채널이 원형의 경우 직경이, 0.5mm, 1mm, 1.5mm, 2mm 및 3mm, 정방형의 경우 폭이, 10  $\mu$ m, 50  $\mu$ m, 0.1mm, 0.5mm 및 1mm 로 하고, 깊이는 모두 100  $\mu$ m 이상으로 제작하여 그 결과를 평가하였다.<sup>7</sup>

Fig. 2 에 제작된 채널의 단면 사진을 나타냈다. 원형 채널은 직경 0.5mm ~ 3mm 로 설계한 다섯 종류의 채널 전부가 형성되었음을 확인했다. 정방형은 다섯 종류의 채널 중에 폭이 0.5mm 및 1mm 의 것만 형성된 것을 확인했다. 따라서 본 연구에서 사용된 장비의 최소 패턴 한계는 0.2mm 내외의 값을 알 수 있었다. 원형의 경우 채널 표면에 계단 모양의 층이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 stereolithography 기술의 기술적인 문제로, 제작하고자 하는 구조물을 보통 100  $\mu$ m 정도의 슬라이스 사이즈 두께의 반복적 photolithography 를 통하여 적층(중첩)하는 방법을 사용하기 때문이다. 채널 표면에 형성되는 계단모

양의 층이 유체의 흐름에 미치게 될 영향에 대한 충분한 고려가 요구된다. 미소채널의 경우 채널 벽면의 상태는 유체 흐름에 민감한 영향을 줄 수 있다. 미소유체소자의 경우 채널을 통과하는 유체는 대부분 층류(laminar flow)이며, 용액이 혼합되지 않는 층류의 특성 때문에 믹서(mixer)를 사용하여 부분적으로 난류(turbulent flow)를 형성하여 용액을 혼합하는 경우가 있다. 그러나 난류의 발생과 동반하여 용액 중에 기포가 발생하는 문제점이 있다. 따라서 미소채널을 형성할 경우에 채널 벽면의 형태 및 재질 등을 신중히 고려할 필요가 있다.

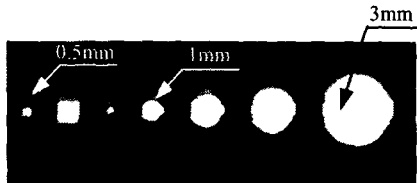


Fig. 2 Fabricated micro-channel

### 3.2 펌프(pump)

시료가 용액인 분석 시스템에서 마이크로 펌프는, 시스템 내부로 용액을 정량 주입 또는 시스템 내부에서 용액을 순환시키는 기능을 하는 부품으로, 구조가 간단하고 소형이어야 하고, 충분한 펌핑력 및 정량 주입을 위한 정밀도가 확보되어야 한다.

본 논문에서는 Fig. 3 에 나타난 것과 같이 간단한 구조의 펌프를 제작했다.<sup>8</sup>

펌프는 stereolithography 기술에 의해 만들어진 펌프 본체와 PZT 가 접착된 유리 진동판 등 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 펌프의 동작 원리는 진동판 위에 있는 PZT 디스크의 진동에 의해, 펌프 내로 용액이 주입되는 동작(suction mode)과 밖으로 뿜어 내는 동작(pump mode)을 반복하면서 펌프 작용을 한다. 이 펌프에는 check valve 가 없는 diffuser/nozzle 형식의 non-movable 밸브를 사용하였다.<sup>9</sup> 이 형식은 Fig. 3 과 같이 용액의 이동량이 -x 방향보다 x 축 방향으로 상대적으로 많아서 결과적으로 x 축 방향으로 펌핑하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 이 형식의 펌프는 양쪽 방향으로 액체가 이동한다는 문제점이 있으나, check valve 의 파괴에 의한 오 동작이나 파괴의 가능성을 줄일 수 있다. 또한 펌프 구조 및 제작공정이 간단하다

는 장점도 있다.

진동판의 재료로는 유리를 사용했다. 진동판과 펌프 본체와의 접착에는 에폭시를 사용했고, PZT 와 진동판과의 접착에는 도전성 에폭시를 사용했다.

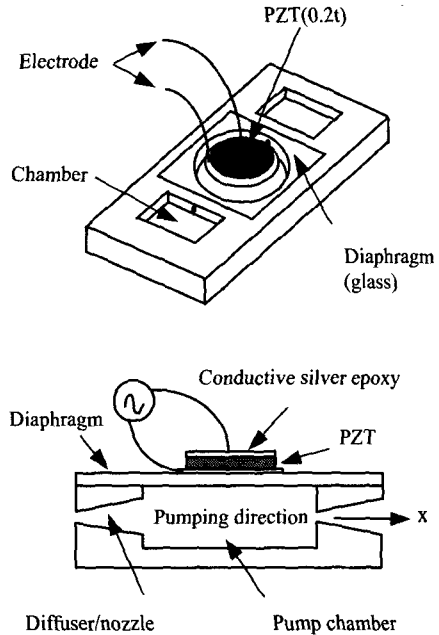


Fig. 3 Structure of the micro-pump

펌프의 크기는, 펌프 챔버 14mm $\phi$ , diffuser/nozzle 의 크기는 좁은 쪽의 구멍을 0.5mm $\phi$ , 넓은 쪽의 구멍은 1mm $\phi$  로 제작하고, 챔버의 깊이는 1.2mm 로 제작했다. 펌프 측정용으로 양쪽에 용액을 저장하기 위하여, 10 $\times$  10 $\times$  1.5 mm<sup>2</sup> 크기의 챔버를 제작했다. 측정용 챔버를 제외한 펌프의 크기는 22 $\times$  20mm<sup>2</sup> 이다. 제작된 펌프의 사진을 Fig. 4 에 나타냈다. Fig. 5 에는 diffuser/nozzle 형식의 밸브의 좁은 쪽과 넓은 쪽의 사진을 나타냈다. Stereolithography 기술을 이용한 유체소자 제작에 있어서 다른 기술과 차별되는 부분은 Fig. 5 에 나타난 채널과 같이, 구조물 중에 공정 후의 조립과정 없이 3 차원 구조물 제작이 가능하다는 것이다. 실리콘, 유리 및 PDMS(polydimethylsiloxane)를 이용한 유체소자 제작에 사용되는 방법은, 에칭(etching) 또는 마이크로 몰딩(micro-molding) 기법

등으로 표면이 개방된 사각형 채널을 제작하고, 유리판으로 개방된 부분을 덮어서 채널을 형성하는 것이 일반적이다.

제작된 펌프의 동작 특성을 분석하기 위하여, PZT 디스크의 양쪽 전극에  $V_{p-p}$  가 약 250V 까지, 주파수는 수 kHz 까지 공급할 수 있는 전원을 사용했다.

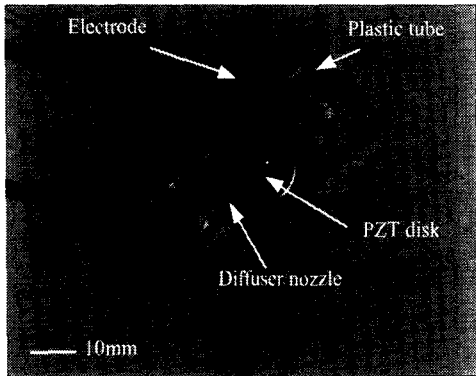


Fig. 4 Photographs of the pump

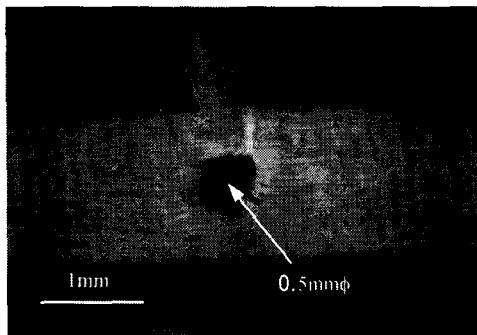
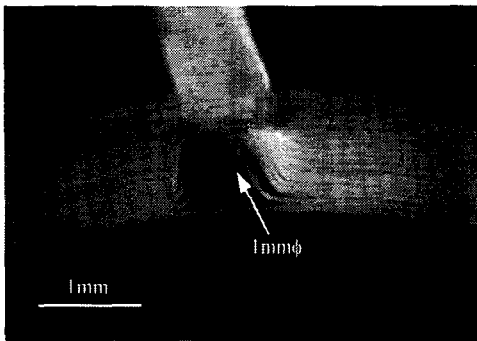


Fig. 5 Photographs of the diffuser/nozzle

펌프의 유량(flow rate)을 측정하기 위하여, 펌프의 양단에 있는 측정용 챔버에 각각 0.1 ml의 물을 채우고, 펌핑을 시작하여, 한쪽 챔버가 완전히 비워질 때까지의 시간을 측정하여 유량을 계산했다. 측정 결과를 Fig. 6에 나타냈다.

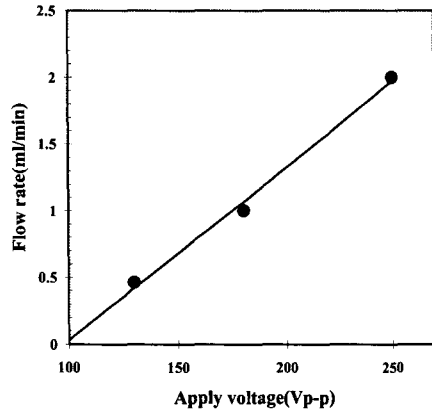


Fig. 6 Flow rate of the fabricated pump

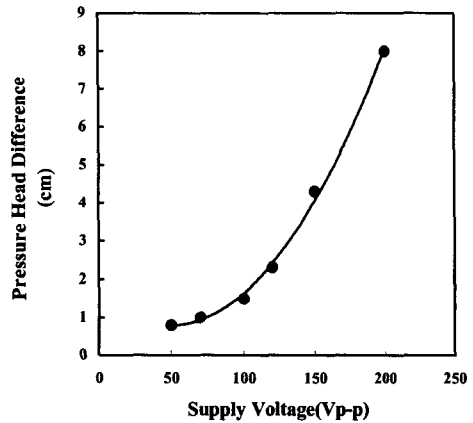


Fig. 7 Pressure head difference

Fig. 6의 측정 결과는 PZT 디스크를 주파수 100Hz로 구동했을 경우의 측정 결과이며,  $V_{p-p}$ 를 250V로 인가했을 때, 약 2 ml/min의 유량(flow rate)을 나타냈다. 본 연구에서 제작된 펌프를 구동하기 위한 최소 전압은  $V_{p-p}$ 가 50V이다. 펌프의 입구와 출구 사이의 압력차를 측정하기 위하여 펌프 구동 시의 수두차(pressure head difference)를 측정했다. 측정 방법은 Fig. 4에 나타낸 것과 같이

펌프 양단에 플라스틱 튜브를 장착하고, 펌프를 구동하여, 수두차를 측정했다. 측정 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 펌프의 PZT 디스크를 주파수 100Hz로 구동할 때, Vp-p 가 50V 일 때 10mm, 250V 일 때 80mm의 수두차를 나타냈다.

일반적으로 사용되는 RP 장비, 예를 들면, 본 연구에서 사용한 SLA-350을 사용해도, Fig. 4에 나타낸 펌프의 1/3 정도의 크기로 제작이 가능하며 두께도 상당히 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

### 3.3 용액 분석을 위한 기초소자

Stereolithography 기술은 복잡한 3 차원 구조물 제작에 적절하기 때문에, LOC 와 같은 화학적, 생물학적 분석 시스템 제작에 효과적인 것으로 판단된다. 본 논문에서는 채널, 펌프, 믹서 및 분석용 센서 등을 포함하는 용액의 이온농도 분석용 소자를 제작했다.<sup>10</sup>

용액 분석 소자의 구조를 Fig. 8에 나타냈다. 소자의 구조는 회석용액, 시약 및 분석 대상 용액 등을 저장하기 위한 챔버, 용액을 순환시키기 위한 펌프, 각종 용액의 혼합을 위한 믹서 및 센서부로 구성되어 있다.

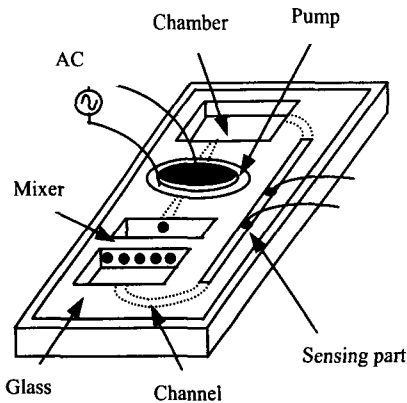


Fig. 8 Structure of the liquid analyzer

이 소자는 0.1 ml 정도의 용액 중의 이온농도를 측정하여 용액의 특성을 분석하는 방식으로 되어 있다. 소자의 챔버에 분석 대상 용액과 시약 등을

주입하고, 펌프를 가동시켜, 챔버 내의 용액을 믹서 및 채널을 통하여 순환시키면서, 센서를 이용하여 용액을 분석한다. 펌프는 check valve 가 없는 diffuser/nozzle 개념의 non-movable 밸브를 사용하였다.<sup>9</sup>

본 소자에는 분석 대상 용액과 시약 등의 혼합 및 반응을 가속시키기 위하여 간단한 구조의 정적 믹서(static mixer)를 사용했다.<sup>11</sup> 믹서는 6 개의 채널로 구성되어 있으며 각 채널의 크기는 길이 2mm, 지름 0.5mmφ이다.

용액 중의 이온농도를 측정하기 위한 센서는, 채널 내부에 5mm 간격으로 두 개의 백금전극을 형성하여, 두 전극 사이를 통과하는 용액의 전기저항을 측정하여 이온농도를 검출하는 방식으로 되어 있다. 제작된 이온농도 측정용 용액 분석 소자의 사진을 Fig. 9에 나타냈다.

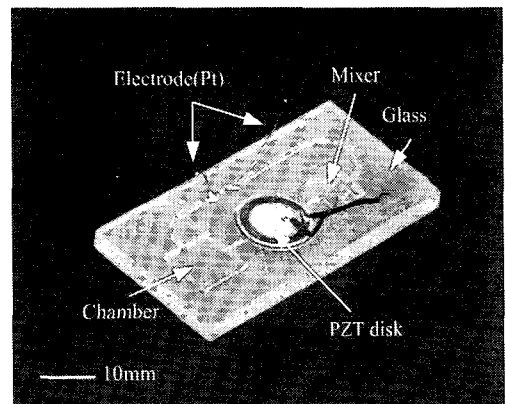


Fig. 9 Photographs of the liquid analyzer

본 소자는 이온농도를 측정하기 위하여 용액의 저항을 측정하는 방식을 채택하고 있다. 용액의 이온농도 변화에 따른 저항 변화를 측정하기 위하여, 소자에 초순수를 주입하고, 펌프를 이용하여 순환시켰다. 순환하고 있는 초순수에 0.9% NaCl 수용액을 조금씩 주입하면서, 백금전극 양단의 저항을 측정하였다. Fig. 10에 나타낸 결과는 100 ml의 초순수에 0.9% NaCl 수용액을 0.1 ml씩 증가시키면서 측정한 결과이다.

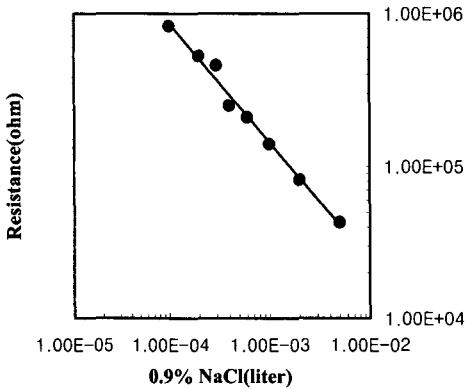


Fig. 10 Measured result of resistance variation as a function of ion concentration.

Fig. 10 으로부터, 이온 농도에 대한 저항의 변화가 비교적 선형적으로 나타남을 알 수 있다. 따라서, 이온 농도와 저항 값에 대한 교정(calibration) 처리 후에 용액의 이온 농도 분석소자로 사용이 가능할 것으로 생각된다. 본 소자는 이온 농도 측정 뿐 아니라 용액 및 시약 혼합기, 반응기 등으로 응용할 수 있으며, 특정 센서를 채널 내에 형성하면 다양한 분석이 가능한 시스템으로서 사용이 가능하게 된다.

### 3.4 가스분리기

용액의 전기분해 원리를 이용하여 특정 가스를 분리할 수 있는 소자를 제작했다. 가스분리기는 LOC 와 같은 용액분석 소자에서, 분석을 목적으로 하는 반응에 필요한 특정 가스 생성 등에 응용할 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 11 에 가스분리기의 구조를, Fig. 12 에 제작된 소자 사진을 나타냈다. 가스분리기는 용액이 통과하는 채널 중에 간극(aperture)을 제작하고, 간극 양쪽에 백금전극이 형성되어 있는 구조로 되어 있다. 채널의 폭은 1mm, 깊이는 1mm 이고, 간극은 지름이 0.4mmφ 인 원형이다. 제작된 간극과 같이 구조물의 중앙에 원형으로 형성되는 채널의 경우 기존의 기술인 에칭이나 마이크로 몰딩 기술로는 제작이 불가능하다.

가스의 분리 원리는 Fig. 12 에 나타낸 것과 같이, 간극의 양쪽의 백금전극에서 생성된 특정 가스의 기포가 팽창하면서 간극을 통과하지 못하고

양쪽에 갇히게 되어 특정가스로 분리되는 방식으로 되어있다.

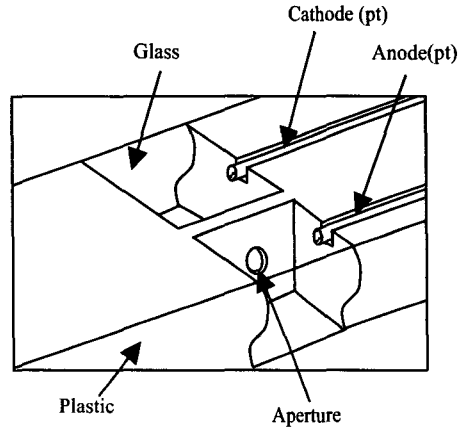


Fig. 11 Structure of the gas separator

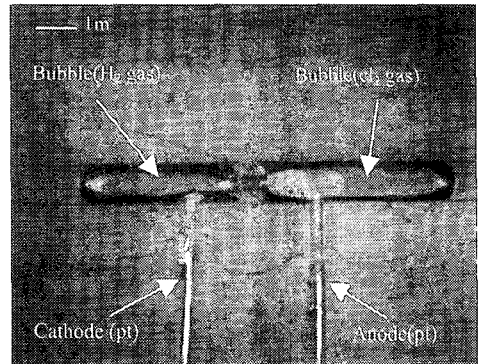


Fig. 12 Photograph of the gas separator

Fig. 12 는 NaCl 수용액을 사용할 경우의 가스분리 동작을 나타낸 것으로, 음극에는 수소 가스가, 양극에는 염소 가스가 분리되어 생성되는 것을 나타냈다.

### 4. 결과 및 고찰

Stereolithography 기술은 3 차원 가공이 가능하기 때문에 복잡한 입체 구조물을 간단한 공정으로 제작이 가능하기 때문에 소자 설계가 비교적 자유롭다. Fig. 5 에 나타낸 것과 같이, 폭과 깊이가 다른

다양한 형태의 구조물과 함께, 구조물의 중앙을 관통하는 원형 채널 등의 제작이 가능하며, 소자의 성능을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라, 기존의 공정으로 제작이 불가능했던 소자의 제작에도 응용이 가능할 것으로 예상된다. 기존의 에칭 또는 마이크로 몰딩 기술을 이용하여 Fig. 5 와 같은 깊이가 다른 여러 구조물을 동시에 제작하기 위해서는 여러 장의 마스크를 사용하여, 수 차례의 포토 리소그래피(photolithography)를 반복하는 복잡한 공정이 필요할 뿐 아니라 원형 채널은 제작이 불가능하다. 또한, 구조물 제작에 사용되는 플라스틱 재료가 비교적 저가이기 때문에 소자 제작 단가를 낮출 수 있어서, 상용화를 고려한다면 장점으로 작용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 범용 RP 인 SLA-350 을 사용했기 때문에, 0.5mm 이상의 비교적 큰 사이즈의 구조물 제작에만 적용할 수 있었다. 에칭이나 마이크로 몰딩 기술을 사용하면 수 십에서 수 백 마이크론 크기의 채널을 제작할 수 있는 것에 비해서 정밀도 면에서 다소 문제가 있다. 더욱 정밀한 구조물을 제작하기 위해서는 MEMS 용 RP 의 개발이 불가피할 것으로 생각된다.<sup>13</sup>

Stereolithography 기술을 반도체의 일괄공정과 달리, 소자를 한 개씩 제작하는 기술로 대량생산의 면에서 문제점으로 지적될 수 있을 것이다. 그러나 MEMS 와 같은 크기가 작고, 얇은 구조물 제작에 소요되는 시간은 수 십분에서, 복잡하고 두꺼운 구조물은 수 시간 정도로, 같은 면적에, 같은 수의 소자를 제작할 때에, 경우에 따라서는 오히려 반도체 공정보다 적은 시간이 소요될 수도 있다. 또한 사용되는 재료도 반도체에 비하여 저가이기 때문에 대량 생산의 면에서 경쟁력을 기대할 수 있을 것이다. 최근, stereolithography 기술의 이러한 문제점을 개선하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 스위스의 A.Bertsch 등이 개발한 패턴형성기(pattern generator)를 사용하여 복수개의 구조물을 동시에 제작하는 방법<sup>3</sup>은, 반도체의 일괄공정과 같이 다량의 부품을 동시에 제작(대량생산)할 수 있을 것으로 기대된다. 일본의 Ikuta 등은 대량생산을 위한 Mass IH 공정을 개발했다<sup>12</sup> 이 방법은 렌즈계를 통과한 자외선 빔을 미세한 싱글모드 광섬유 어레이를 통해서 조사하는 방법으로, 다수의 부품을 동시에 제작할 수 있게 했다.

## 5. 결론

Stereolithography 기술을 이용하여, 채널, 펌프, 용액분석소자 및 가스분리기 등의 유체소자들을 효과적으로 제작할 수 있었다. 개발된 유체소자는 랩온어칩을 기반으로 하는 각종 용액분석소자 개발에 응용할 있을 것으로 기대된다.

Stereolithography 기술은 복잡한 구조물의 3 차원 가공이 가능하기 때문에 다양한 구조의 MEMS 제작에 응용이 기대된다. 특히, 플라스틱은 생체와 호환성이 우수하며, 저가이기 때문에 일회용으로의 개발이 요구되고 있는 생물학 및 의학 분야의 랩온어칩형 분석소자 개발에 매우 효과적인 것으로 생각된다.

본 연구에서는 구조물 제작에 범용 RP 를 사용했기 때문에 미세한 구조물 제작이 불가능 했다. 따라서 미세 구조물 제작이 가능한 MEMS 용 RP 의 개발, 대량생산을 고려한 장비 및 공정 개발이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. Ikuta, K., Hasegawa, T., Adachi, T. and Maruo, S., "Fluid drive chips containing multiple pump and switching valves for biochemical IC family," Proc. of MEMS 2000, pp. 739-744, 2000.
2. Sato, K., Hibara, A., Tokeshi, M., Hisamoto, H. and Kitamori, T., "Microchip-based chemical and biochemical analysis systems," Advanced Drug Delivery Reviews, Vol.55, pp. 379-391, 2003.
3. Bertsch, A., Lorenz, H. and Renaud, P., "3D microfabrication by combining stereolithography and thick resist UV lithography," Sensors and Actuators, 73, pp. 14-23, 1999.
4. Varadan, V.K., Jiang, X., Varadan, V.V., "Stereolithography and other fabrication techniques for 3D MEMS," John Wiley & Sons Ltd, 2001.
5. Mizukami, Y., Rajniak, D. and Nishimura, M., "An integrated micro-electrophoretic process," Proc. of MEMS 2000, pp. 751-756, 2000.
6. Chauang, Yun-Ju, Tseng, Fan-Gang, Cheug, Jeu-Hau and Lin, Wei-Keng, "A novel fabrication method of embedded micro-channels by using SU-8 thick-film photoresists," Sensors and Actuators, A103, pp. 64-

69, 2003.

7. Seo, H. D., Lee, Y. T., "Fabrication of the micro-pump using stereolithography," Project Report, Ministry of Science & Technology and Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2000.
8. Lee, Y. T., Seo, H. D., "Fabrication of the micro-pump using stereolithography," Journal of the Korean Sensors Society, Vol.10, No.4, pp. 232-238, 2001.
9. Olsson, A., Stemme, G. and Stemme, E., "A valveless planar fluid pump with two pump chamber," Sensors and Actuators, A46-47, pp. 549-556, 1995.
10. Lee, Y. T., "Fabrication of the Liquid Analyzer using Micro-stereolithography Technology," Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol.14, No.12, pp. 994-1000, 2001.
11. Bertsch, A., Heimgartner, S., Cousseau, P. and Renaud, P., "3D micromixer-downscaling large scale industrial static mixer," Proc. of MEMS 2001, pp. 507-510, 2001.
12. Ikuta, K., Ogata, T., Tsuboi, M. and Kojima, S., "Development of mass productive stereolithography(Mass-IH process)," Proc. of MEMS 96, pp. 301, 1996.
13. Jung, D. J., Kim, S. H., Jeong, S. H., "Shape accuracy and curing characteristics of photopolymer during fabrication of three-dimensional microstructures using microstereolithography," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.21, No.1, pp. 46-50.