

Laser direct writing 방법에 의한 미세유체소자용 패턴 제작 I - 폴리머에 대한 Excimer laser의 반응성 분석 -

Fabrication of microfluidic device by Laser direct writing I - Effect of Excimer laser-polymer interaction -

한국기계연구원 레이저응용시스템그룹 신동식* 이제훈, 서정
연세대학교 금속공학과 김도훈

I. 서 론

마이크로전자기계시스템을 제조하기 위해서 다양한 형태의 기술들이 복합화 되고 있으며 대표적인 것이 반도체공정기술에 기반을 둔 surface micromachining 기술과 다양한 방식의 bulk micromachining 기술이 있다. bulk micromachining 기술은 현재 LIGA, Si anisotropic etching, Laser machining 등의 다양한 방식에 의해 제조되고 있다. 그러나 제품 생산시 양산성의 향상을 위하여 초미세급형을 bulk micromachining 공정에 의해 제조한 다음 이것을 이용한 사출의 방식에 의해 대량으로 제품을 제조하는 방식은 그 중요성이 점점 증대되고 있다. 사출방식에 의해 제조하는 제품의 재료는 현재 대부분이 폴리머인데 부품에 따라서 열팽창율, 열전도도, 내열성, 내화학성 등의 요구에 의해 금속이나 세라믹으로 이루어지는 다양한 재료의 미세구조물을 필요로 하게 된다. 이와 같은 측면에서 세라믹과 금속의 powder injection molding 이나 press molding은 제품의 저가격화 및 양산성의 측면에서 매우 중요하다 할 수 있다. 금속이나 세라믹으로 이루어지는 마이크로 부품의 경우 정보통신, 바이오, 의료, 환경 등 다양한 분야에서 그 활용성이 점점 확대되고 있다. 이의 제조 방법으로 양산성이 극대화될 수 있는 것이 바로 injection molding 이다. 본 과제는 micro powder injection molding용 초정밀 금형 형성 기술의 개발을 위해 레이저가공기술을 적용하여 보다 정밀하고 저렴한 microfluidic 소자의 모형을 제작하는데 주안점을 두었으며 이를 위한 첫 단계로 레이저와 물질의 반응에 대한 기초 특성을 연구를 하였다.

II. 실험 방법

레이저 ablation 가공기는 독일 ATL사에서 구입하였으며 248nm 파장을 가진 KrF 엑시머 레이저이며 Target에서 Energy density 0.25-5J/cm²까지 조정가능하다. Fig. 1은 광학계의 구성 및 시스템의 개략도로써 attenuator는 출력을 광학적으로 조절하는 장치로서 이를 사용하면 레이저의 변수를 변환 할 필요 없이 출력을 조절하므로 안정적인 빔을 얻을 수 있다. 사용한 렌즈는 UV grad fused silica & CaF₂를 사용하였으며 Effective Focal Length는

86.9mm이다. Ablation에 적용하기 위한 실험재료는 PMMA(Polymethyl methacrylate), PC(Polycarbonate), PET(Polyethylene Terephthalate)을 선정하였으며 이들은 ablation용 재질로서 많이 사용되어 왔으며 [1-5] 엑시머 레이저에 대한 광흡수율이 뛰어난 재질로서 일반적인 물성치는 Table 1에 표기된 바와 같다.

III. 실험 결과 및 고찰

1. 폴리머의 광반응성 측정

본 실험은 펄스수에 따른 ablation 을 규명하기 위해 폴리머의 광반응성을 측정하였다. 고밀도로 집중된 레이저 빔은 재료의 표면에 빠른 온도 상승을 야기하고, 따라서 표면에 ablation 현상을 만들어 낸다. 이때 모재는 이온, 분자, 원자상태로서 대기중으로 탈리되는데 이온화 과정에서 플라즈마가 발생한다. photothermal radiometry 에 의한 방법은 레이저의 주사시 형성된 플라즈마에서 발생한 광에너지를 photodiode를 이용해 간단히 측정할 수 있다. Fig. 2 레이저 펄스의 주사시 Photodiode(s2386-44k)에서 측정된 신호의 rising time을 이용한 Excimer laser 반응성을 측정하기 위한 장치로서 photodiode를 가공면에서 15mm의 간격을 유지한 채 측정하였다. Fig. 3은 엑시머 레이저에 의한 ablation에서 각각의 폴리머에 대한 반응성을 측정한 신호를 나타내며 측실험결과 PC가 248nm 파장에 대한 반응의 Rising time이 17.2 μ s로서 PMMA의 84.1 μ s에 비해 높은 Rising time을 나타내었으며 측정전압도 높아 분자진동에 열적반응보다는 분자고리의 절단이 발생하는 광화학반응에 더욱 더 의존한다는 것으로 판단할 수 있다.

2. 펄스와 펄스반복수에 따른 드릴링

레이저의 photon과 재료의 화학반응으로는 진동여기와 전자여기가 있다. 전자는 열반응이며 후자는 물질을 구성하는 화학결합에 작용하는 것에서 이 여기작용을 이용하면 물질을 구성하는 분자의 결합을 절단할 수 있다[6]. 이러한 화학적 가공법의 특징은 열가공 뿐만 아니라 화학작용을 병용한 것이므로 조건에 따라서는 가공구멍 표면에 용융 잔유물이 존재하지 않고, 또 열응력에 의한 균열의 발생을 방지할수도 있다. 본 실험은 레이저와 재료의 반응성을 분석하기 위해 각각의 재료에 대한 펄스수와 펄스 반복수에 따른 드릴링을 하였으며 melt의 양, 가공깊이를 분석하였다.

Fig. 4는 원형마스크를 사용하여 spot size를 50 μ m로서 설정한 후 레이저의 펄스를 100번 주사하였을 때 drilling 가공 폴리머의 표면에 대한 전자현미경 사진이다. PMMA의 표면은 전반적으로 다량의 용융물이 발생하였으며 가공물의 중간에 기공 및 크랙이 형성되었음을 알 수 있다. PC의 표면은 PMMA와는 달리 상부표면에 Surface debris가 다소 발견되었다. PET의 가공현상은 PC의 가공결과와 비슷한 양상을 보여주고 있으나 PC와 비교하여 다소 aspect ratio가 높은 경향을 띠었다.

Fig. 5는 Excimer레이저의 가공변수에 따른 폴리머의 가공깊이를 나타내는 그래프로서 PMMA가 가장 깊게 가공되었으며 다음으로 PET, PC 순으로 깊이가 결정되었으며 펄스수에 비례하여 가공깊이가 증가하였으나 펄스반복수의 증가에 따라서는 오히려 가공깊이가 감

소하였음을 알 수 있다.

3. 가공속도에 따른 line의 형성

laser direct writing 방법으로서 마이크로유체소자의 개발을 위해서 폴리머와 엑시머 레이저에 대한 기초 반응성을 분석하여야 한다. 이를 위해 PMMA, PC, PET의 재질위에 출력 10mJ, 펄스 반복수 200Hz, 속도를 100 μ m/s 로서 설정한후 레이저를 조사한 경우 표면상태 및 단면상태를 비교 분석하였다. 먼저 Fig. 6은 PMMA를 가공한 경우로서 상기조건에 의해 레이저를 조사한 후 표면의 상태와 단면을 측정된 결과 다량의 melt가 발생하였으며 중앙에 crack이 발생하였음을 알 수 있다. 이는 광화학적 반응보다 열적 반응이 더욱 지배적임을 알 수 있고 열응력이 발생하였음을 알 수 있다. 가공깊이는 68 μ m로서 가장 깊게 가공되었으며 열전달에 의한 2차곡선형태의 단면 프로파일을 얻을 수 있다[7]. Fig. 7의 경우는 PC를 가공하였을 경우 상부면과 단면형상으로서 drilling 가공과 같이 표면에 surface debris가 많이 발생하였고 가공깊이는 PMMA에 비하여 낮으나 aspect ratio가 높다. Fig. 8은 PET의 가공형태로서 저속의 가공에서 냉각시 생긴 응력으로 인한 불규칙적인 무늬가 발생하고[4] 가공깊이는 PC의 경우와 비슷하나 aspect ratio가 뛰어나다.

IV. 결 론

본 연구에서는 기존의 마이크로 유체소자용 모형가공공정을 엑시머 레이저를 이용한 ablation 공정으로 대체하기 위한 첫단계로서 레이저 ablation공정의 주요 변수들이 절단 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 주요 공정 변수로는 폴리머의 종류, 펄스수, Scanning Speed 등이 있으며 이들이 가공면에 미치는 영향을 분석하기 위해 Photodiode를 이용해 광반응성을 측정하였으며 Drilling, Direct writing을 순차적으로 실시하였다. photodiode를 이용한 반응성테스트 결과 PC가 가장 높은 반응성을 나타내었으며 Drilling, 및 Direct writing test 결과 광반응성이 높을수록 Surface debris가 많으며 가공깊이가 얇은 것으로 밝혀졌다. 이는 열적반응보다는 광화학적 반응에 더욱더 의존하여 분자진동에 의한 열에너지의 전파보다는 분자고리의 탈리로 인한 재료의 제거과정이 더욱 지배적임을 알 수 있으며 이온화 과정에서 플라즈마가 발생된다. 또한 전체적으로 펄스수의 증가에 따라 가공깊이는 깊어졌으며 PMMA는 원뿔모양으로 PC, PET는 비교적 높은 aspect ratio를 유지하며 가공되었다. 한편 이때 PMMA에서 열응력으로서 발생한 crack 및 PC에서 다량 검출된 Surface debris는 이후 도금과정을 거쳐 금형을 제작하였을때도 그대로 남기 때문에 이러한 결함을 제거할 필요성이 대두되었다.

참고문헌

1. S. Baudach, "Ultrashort pulse laser ablation of polycarbonate and polyethylmethacrylate", Applied Surface Science Vol. 154-155, pp.555-560, 2000
2. R.L.Webb, "Sensitization of PMMA to laser ablation at 308nm," Applied Surface

Science Vol. 127-129, pp.815-820, 1998

3. Jörg Krüger "Investigation of excimer laser ablation threshold of polymers using a microphone", Applied Surface Science Vol. 197-198, pp.800-804, 2002
4. F. Wagner, "Novel structure formation in poly(ethylene terephthalate) by scanning excimer laser ablation", Applied Surface Science Vol. 154-155, pp.627-632, 2000
5. L.D. Laude, "The ablation of polymers under excimer laser irradiation: the physics of the process and the polymer structure", Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 185 pp.147-155, 2001
6. 박성두, "레이저가공", 대광서림, pp. 86-93, 1995
7. S. Tosto, "Modeling and computer simulation of pulsed-laser induced ablation", Appl. phys. A 68, pp. 439-446, 1999

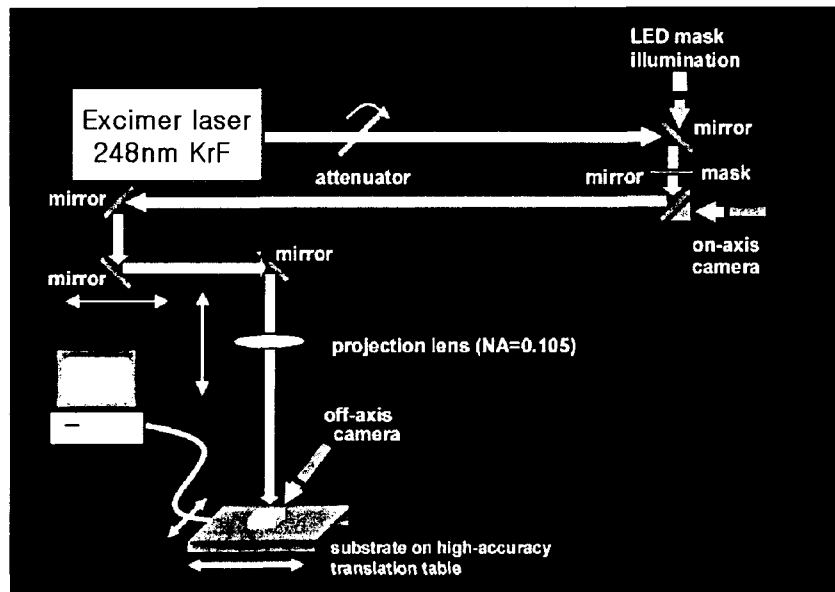


Fig. 1 Schematic of experimental setup

Table 1 property of polymer

	PMMA	PET	PC
Density (g/cc)	1.15-1.19	1.3-1.33	1.17 - 1.45
Hardness, Rockwell M	63 - 97	95	65 - 76
Electrical Resistivity(ohm-cm)	1e+014 - 1e+015	2E+15	1e+015 - 2e+017
Dielectric Constant	2.8 - 4	3	2.9 - 3
Thermal Conductivity W/m-K	0.19 - 0.24	0.2	0.19 - 0.21
Melting Point	130	243-250°C	
Glass Temperature	100 - 105	73-78°C	143 - 150
Heat capacity(J/g-°C)	1.46 - 1.47		1 - 1.2

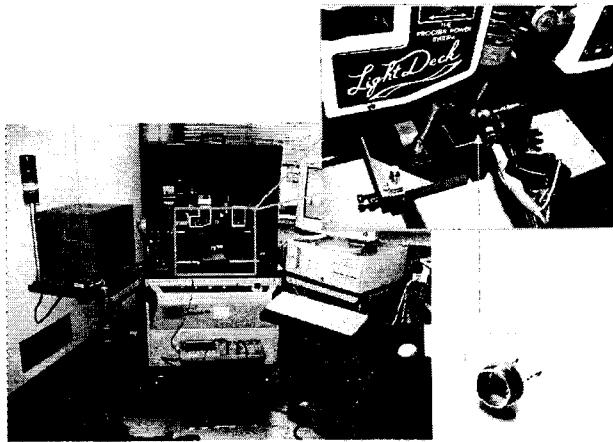


Fig. 2 experimental device

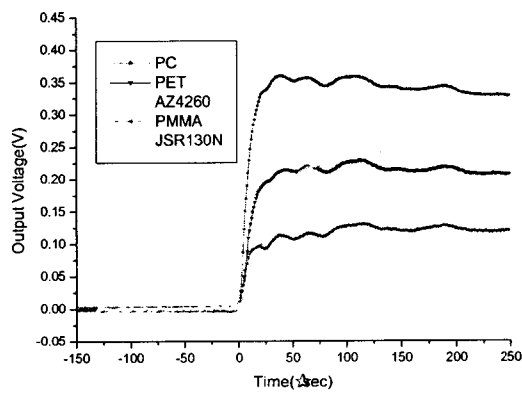


Fig. 3 The output signal of photodiode on excimer laser radiation

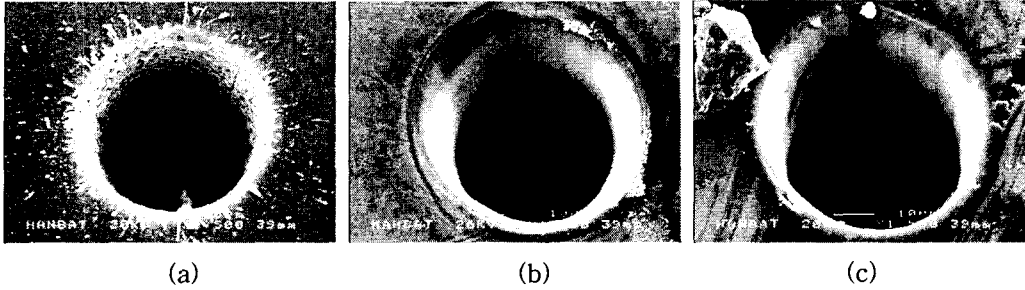
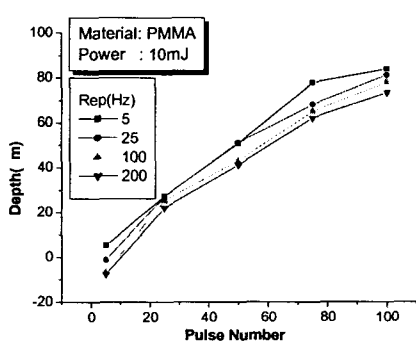
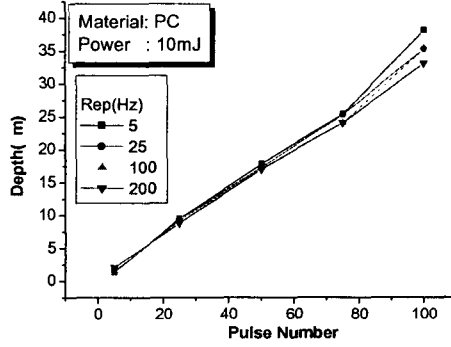


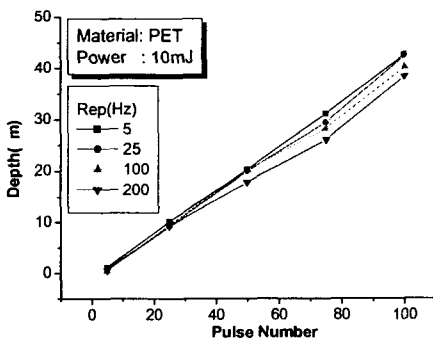
Fig. 4 SEM pictures of surface after laser treatment (Power: 10mJ Rep:100Hz)
 (a)PMMA, (b)PC, (c)PET



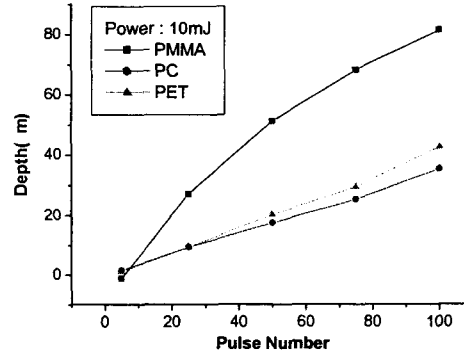
(a)



(b)

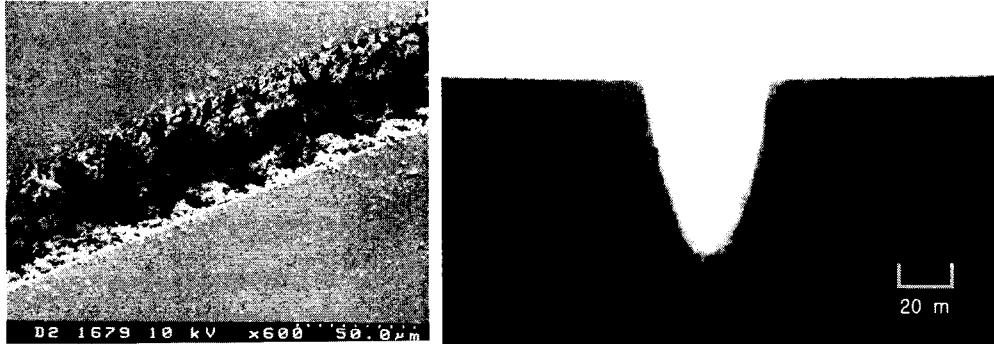


(c)



(d)

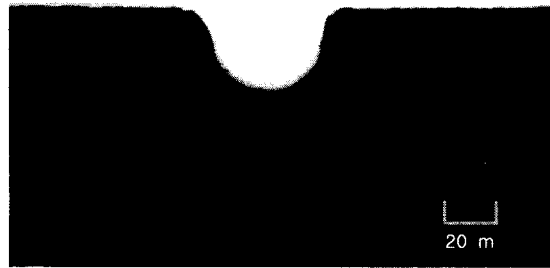
Fig. 5 Depth as Multipulse behavior at 10mJ



(a)

(b)

Fig. 6 (a)Surface and (b)Cross section of PMMA after Excimer laser direct writing(Power:10mJ, Rep:200Hz, Speed: 100 μ m/sec)



(a)

(b)

Fig. 7 (a)Surface and (b)Cross section of PC after Excimer laser direct writing(Power:10mJ, Rep:200Hz, Speed: 100 μ m/sec)

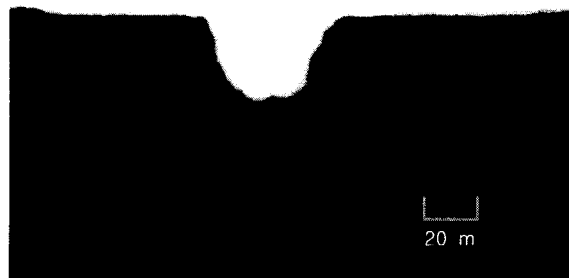


Fig. 8 (a)Surface and (b)Cross section of PC after Excimer laser direct writing(Power:10mJ, Rep:200Hz, Speed: 100 μ m/sec)