

# 고정 마스크에 의한 레이저 미세패터닝 쾌속 제작기술 연구

## Rapid manufacturing of laser micro-patterning using fixed mask

부산대학교 정밀정형연구센터, 신보성  
(주)마이크로홀 설계부, 오재용

### I. 서론

첨단 산업의 발전과 더불어 고부가가치 산업으로서 고도의 정밀도를 요구하는 생산 기술 개발이 활발히 진행되고 있다 그리고 제품의 미세화, 정밀화에 따라 상품의 부가가치는 소형화에 따른 Performance 향상, Power 절감, Price 감소의 3P 효과가 있어 더욱 높아지게 된다 특히 다품종 소량 생산, 신제품 개발주기의 단축 및 특수 전용부품의 주문 제작이 증가하면서 유연성 있게 대처할 수 있는 공정개발의 필요성이 증대되고 있다 하지만 마이크로미터 범위의 다양한 패턴을 제작하기에는 경제성이 낮은 것이 현실이다 [1]-[3] 최근 하나의 방법으로 레이저빔을 다양한 형상으로 구현하여 가공하는 연구가 진행되고 있다 레이저를 이용한 미세형상가공은 마이크로 비아홀 가공을 중심으로 연구되어져 왔으나, 빔의 전달을 자유롭게 조절할 수 있고 가공 특성들의 제어가 가능하여 많은 응용 기술에 적용이 가능하므로 레이저를 이용한 마이크로 패턴 가공이 더욱 주목받고 있다 .[4]-[7]

본 논문에서는 다양한 패턴의 레이저빔을 만들기 위한 시작 단계로서, 고정 마스크를 사용하여 마이크로 크기의 미세 패턴을 제작하였고, 가공 상태를 실험적으로 구명하고자 한다

### II. 실험방법

본 논문에서는 사용된 레이저빔 발생장치는 미국의 DPSS Lasers사의 DPSS UV Laser로 파장(wavelength) 355nm, 빔직경  $\phi$  15mm이며, 30303kHz의 펄스 반복률을 갖는다 DPSS UV laser는 엑시머 레이저에 비해 출력이나 빔의 크기 등에서 단점이 있지만 유지보수가 간단하면서 출력이 안정되고 펄스 반복율이 높아 벡터 스캐닝 방식의 가공방법에 많이 이용된다 [5] 약 100 $\mu$ m 두께의 구리판에 슬릿형, 십자형, 중공원형 및 삼각형 모양의 고정마스크를 만들었으며, 발전기에서 나온 레이저를 빔익스펜더(beam expander)로 2~4배 확대하여 고정마스크로 투과시켜 집광하여 마이크로 크기의 미세 패턴 형상을 제작하였다 그리고 레이저는 패턴이 형성된 상태로 갈바노 스캐너(Galvano scanner)로 들어가게 함으로써 미세 패턴을 빠른 시간 내에 쾌속 제작하였다

Fig 1 (a)는 레이저 시스템의 사진을 보여주고 있으며 (b)는 이에 대한 개략도이다 Fig 2는 고정마스크로 (a)는 선폭 05, 10 그리고 15mm의 슬릿형 패턴, (b)는 선폭 05, 10mm에 내부원의 직경이 4 -10mm인 중공원형 패턴, (c)는 한 변이 5, 10mm인 정삼각형과 오목하게 찌그러진 삼각형 패턴, 그리고 (d)는 십자모양 패턴으로 선폭은 05, 10, 15, 20mm 이다. 레이저

장비의 사양은 Table 1에 나타내었다

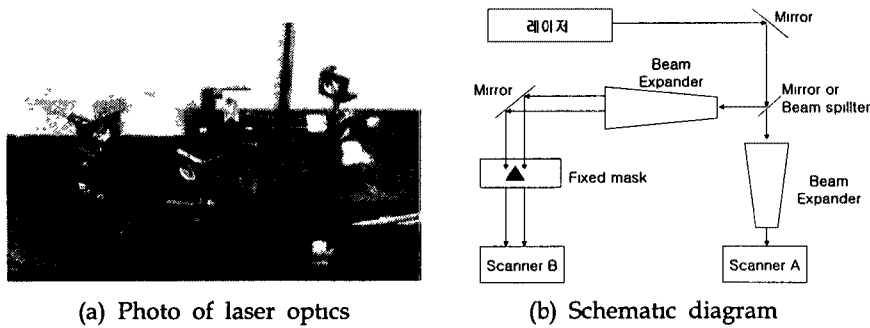


Fig. 1 Laser system

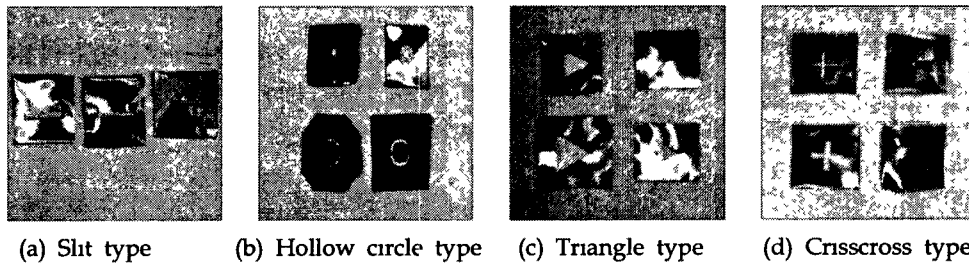


Fig. 2 Various fixed mask patterns

미세 패터닝 시편은 두께 50 $\mu\text{m}$ 의 PET film을 사용하였으며 물성치는 Table 2와 같다 레이저 어블레이션은 내부분자 결합이 열 영향에 의한 것이라 보다는 광화학 작용에 의해 분해되어 급속히 외부로 나가며 그 과정은 레이저 빔 조사 후 약 20-30  $\mu\text{s}$  이내에 이루어진다 [6]

본 실험에서는 마스크 패턴의 종류, 크기, 빔 확대 배율 및 레이저 파라미터들을 조정해 가며 실험을 하였고, 가공 상태를 향상시키기 위해 질소를 사용하여 산화를 방지하였다

Table 1 The specifications of laser

DPSS Laser	
Wavelength	355 nm
Average power	0.1-5.0 Watt
Pulse length	20-60 nsec
Repetition rate	30-100 kHz
Mode	$M^2 < 1.25$ TEM <sub>00</sub>
Beam diameter	1.5 mm
Beam divergence	$< 0.5$ mrad

Table 2 The specifications of PET film

PET film	
Inherent viscosity	0.8 Pa · s
Tensile strength	45 kg/mm <sup>2</sup>
Young's modulus	1800 MD+TD
Glass transition temp	79 °C
Thermal resistance	155 °C
Melting point	252 °C
Thickness	50 $\mu\text{m}$

### III. 결과 및 고찰

본 연구는 고정 형상 마스크를 이용하여 마이크로 패터닝을 가진 레이저로 가공을 하기 위한 기초 연구로서, 가공 특성을 규명하고자 하였다 우선 시편에 정확한 패턴 가공을 하기 위

한 최적 가공 조건을 찾기 위하여, 패턴의 기하학적 특성에 따른 가공 상태의 변화를 실험적으로 연구하였다

미세 패턴이 가장 정확히 형성되는 조건을 찾기 위하여 공정 변수로서 마스크 패턴의 선폭 너비, 레이저 에너지 밀도(fluence), 질소분위기 및 레이저 배율 등을 설정하여, 시편에 가공된 패턴 크기(micro pattern size) 및 선폭 너비(line width)를 광학 현미경으로 측정하였다.

### 1 슬릿 패턴

최적의 가공 조건은 3배율 빔, 마스크 패턴 선폭 0.5mm, 단위 펄스 당 에너지 밀도 약 400  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  일 때였으며, 마이크로 패턴의 선폭은 10 $\mu\text{m}$ 였다. 마스크 패턴의 선폭이 증가할수록 형상 구현이 잘 되지 않고, 에너지 밀도가 증가할수록 가공된 패턴의 크기가 커짐을 알 수 있다. 빔이 4배율일 때는 3배율일 때 보다 가공이 깨끗하지 못하고, 가공된 패턴의 크기는 작아졌다. 그 원인으로서는 레이저 세기가 약해지기 때문이라고 판단된다. Fig 3에서 알 수 있듯 정확히 슬릿형이 아니고 중앙부가 볼록한 이유는, 빔의 에너지 밀도가 중앙부에서 높기 때문으로 판단된다. 어느 특정 구간의 에너지 밀도에서 좋은 가공 상태가 나오는 것은 짧을수록 레이저빔에 의한 열전달 시간이 짧아지면서 열 영향구역이 적어지기 때문이며, 또 너무 짧으면 에너지가 충분하지 않아 가공이 되지 않기 때문이다.

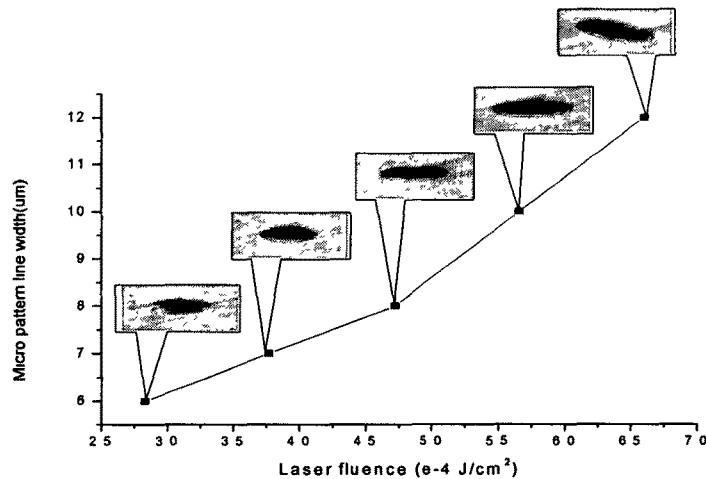


Fig. 3 Relationship between micro pattern line width and laser fluence

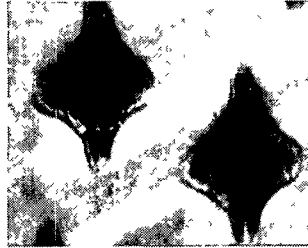
### 2 십자형 패턴

최적의 가공 조건은 질소분위기에서 3배율 빔, 마스크 패턴 선폭 0.5mm, 단위 펄스 당 에너지 밀도 약 400 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  일 때였으며 마이크로 패턴의 선폭은 13 $\mu\text{m}$ 였다. 형상이 복잡해질수록 산화혼탁에 의한 패턴의 찌그러짐 현상이 두드러지므로 산화를 방지하기 위하여 질소분위기 조성이 필수적이다. 빔의 에너지밀도가 중앙부에서 높기 때문에 패턴 중앙에 구멍이 뚫리는 현상이 발생하였고, 가공된 패턴 형상이 굴곡진 마름모형으로 나타난다. Fig 4에서 (a)는 질소분위기에서 가공을 했을 때 사진이며 (b)는 대기 중에서 가공했을 때의 사진이다. 초점거리 1mm 이상 디포커싱(defocusing) 되었을 때는 패턴 형상 구현이 힘들었으며, 1mm 이내에서는

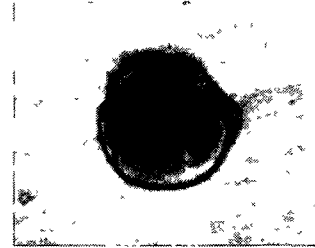
조금씩 변화는 있었으나 주목할 만한 큰 변화는 없었다

### 3 중공원형 패턴

폐곡선의 띠 모양은 에너지의 대부분을 차지하고 에너지 밀도가 급격히 높아지는 빔의 중앙부를 막기 때문에 빔이 패터닝 되면서 에너지 손실이 큰 반면, 패터닝된 빔의 에너지 밀도 분포를 어느 정도 일정하게 할 수 있다는 장점이 있다 레이저빔의 에너지 밀도 분포에 따라 마스크 패턴의 기하학적 형상 조건, 즉 내부 반지름 및 외부 반지름을 적절히 선택한다면 가공 가능성이 충분하다고 판단된다



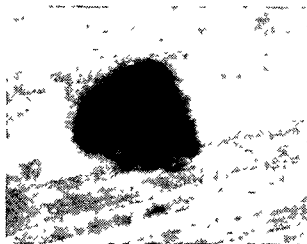
(a) Micro patterns in  $N_2$  gas (b) Micro patterns in air  
**Fig. 4** Different shapes between micro patterns of crisscross type in  $N_2$  gas and in air



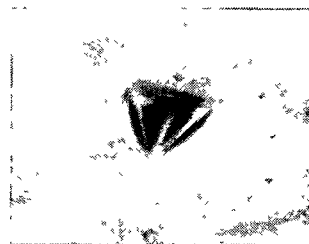
**Fig. 5** Micro pattern of hollow circle type

### 4. 삼각형 패턴

삼각형 패턴은 에너지 손실이 거의 없고 모든 조건에서 가공이 잘 되는 편이나 빔변이 둥글게 가공된다 레이저에 의한 PET film의 가공은 열적 영향도 받게 되므로, 공정변수를 변화시키는 것보다 마스크 패턴의 기하학적 형상을 보정함으로써 비교적 정확한 삼각형 모양을 얻을 수 있었다 Fig 6의 (a)는 정삼각형 마스크 패턴으로 가공한 사진으로 빔 4배율, 마스크 패턴의 삼각형 높이는 8mm, 단위 펄스 당 에너지 밀도  $212\mu J/cm^2$ 로 가공하여 마이크로 패턴의 삼각형 높이는  $41\mu m$ 이다 Fig 6의 (b)는 삼각형의 변을 오목하게 곡선으로 만들어 보정을 해서 가공한 사진으로 4배율, 마스크 패턴의 삼각형 높이는 8mm, 단위 펄스 당 에너지 밀도가  $200\mu J/cm^2$ 의 조건에서 가공하였으며 마이크로 패턴의 삼각형 높이는  $26\mu m$ 이다



(a) Micro pattern of triangle type before calibration



(b) Micro pattern by revisional triangle type after calibration

**Fig. 6** Micro pattern shapes of triangle

#### IV. 결론

고정 마스크에 의한 레이저 패터닝 실험은 향후 연구할 유연한 패턴(flexible pattern)을 이용한 레이저 패터닝의 기초 연구로써 여러 가지 공정 변수가 가공 상태에 미치는 영향에 대해 알아보고자 하였다

첫째, 본 실험을 통하여 다양한 형태의 고정 마스크를 이용한 마이크로 패턴을 빠른 시간 내에 제작하는 기법에 대한 연구를 하였으며, 실험적으로 이러한 연구의 유용성을 확인하였다

둘째, 레이저의 에너지 밀도 분포에 따라 가공 가능한 패턴의 형상에 한계가 있음을 알 수 있었다 슬릿형 패턴에서는 중앙이 블록한 형태로 가공이 되었으며, 십자형 패턴에서는 중앙이 움푹 파이거나 구멍이 나는 현상을 관찰할 수 있었다 증공원형 패턴에서는 에너지 손실을 최소화하면서 가공이 되는 조건을 찾는 것이 문제가 되었고, 삼각형 패턴에서는 빗변이 둥글게 가공되었다

셋째, 고정 마스크의 형상이 복잡하거나 모서리가 많을 경우, 마이크로 패턴이 찌그러짐이 많이 발생하였다. 질소 분위기에서 가공을 하면 이러한 현상이 현저히 감소하여 가공 상태가 좋아지는 것을 관찰할 수 있었다

향후 이러한 연구 결과를 바탕으로 유연한 마스크 제작 및 다양한 미세 패턴을 빠른 시간 내에 패속 패터닝하는 기술을 계속 연구할 계획이다

#### V. 참고문헌

- 1 이제훈, et al · Estimation of kerf width on manufacturing stencil by Nd YAG Laser, 학술발표대회, Vol 3 No 3, (2000)
- 2 장원석, et al Micro-sculpting technology using DPSSL, 한국레이저가공학회 학술발표대회, Vol 2002 No 2 (2002)
- 3 한유희 이제훈 Micro patterning of conductor line by laser induced forward transfer(LIFT), 한국레이저가공학회지, Vol 2 No 3, (1999)
- 4 김재구, et al · Micro Patterning by DPSSL UV, 한국레이저가공학회 학술발표대회, Vol 2001 No 1, (2001)
- 5 신보성, et al Blind via drilling of multi-layer substrate using DPSS UV laser, 한국레이저가공학회 학술발표대회, Vol 2002 No 1, (2002)
- 6 신보성, et al . Blind Via Hole Drilling Using DPSS UV laser, 한국레이저가공학회지, Vol 6 No 1, (2003)
- 7 신재호, et al The study of drilling of alumina and polymer materials by laser beam, 한국레이저가공학회지 Vol 4 No 3(2001)