

# UV 레이저를 이용한 폴리머 박막의 미세 절단 최적가공 조건 연구

\*박강수<sup>1</sup>, 김지현<sup>2</sup>, 신보성<sup>3</sup>, 고종수<sup>4</sup>

<sup>1</sup>부산대 대학원 ERC/NSDM, <sup>2</sup>부산대 대학원 기계공학부, <sup>3</sup>부산대 ERC/NDMS, <sup>4</sup>부산대 기계공학부

## A study on the micro-cutting of polyimide film by UV laser processing

\*K. S. Park<sup>1</sup>, J. H. Kim<sup>2</sup>, B. S. Shin<sup>3</sup>, J. S. Ko<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>ERC/NSDM Pusan Nat'l Univ., <sup>2,4</sup>Dept. of Mech. Eng. Pusan Nat'l Univ.

Key Words : UV laser(자외선 레이저), PI(Polyimide), Micro-cutting(미세 절단), Laser processing(레이저 가공)

### 1. 서론

최신 휴대폰, 노트북 등과 같은 휴대용 전자기기는 경박단소화, 휴대화, 고밀도화, 고품질화와 더불어 급속한 시장확대와 응용제품의 다양화가 이루어 지고 있다. 여기에 장착되고 있는 PCB(Printed circuit board) 시장 역시 다양한 응용분야와 새로운 공법들이 제안되고 있는 추세이다. 최근 PCB 는 연성의 기능을 가지는 FPCB (Flexible printed circuit board)의 발달로 정밀한 가공이 필요하다. FPCB 의 구조는 PI(polyimide)와 FCCL (Flexible copper clad laminated board), bonding sheet, PPG(Prepreg) 등으로 이루어져 있다. 이러한 구조의 FPCB 의 절단가공 시 발생하는 버(Burr)는 FPCB 의 생산성과 성능에 주요 문제점이 된다.

따라서 본 연구의 목적은 UV 레이저를 이용하여 FPCB 와 같은 다층구조를 가지는 소재의 미세 절삭이 가능하도록 하기 위한 기초 연구로써, FPCB 의 소재 중 PI(polyimide)를 UV 레이저 가공 시 레이저의 펄스당 에너지 차이에 따라 가장 정밀한 절삭가공을 할 수 있는 조건에 대하여 연구하였다.

### 2. 레이저 미세절단 실험

재료의 레이저 어블레이션(ablation)은 광화학적 반응과 광열적 반응으로 이루어진다. 광화학적 반응은 광자에 의해 분자 혹은 원자 사이의 고리가 끊어지는 현상으로, 열변형을 일으키지 않으므로, 버가 형성되지 않으며 가공형상이 깨끗하고 정밀도가 높다. Fig. 1 (a)는 PI 의 화학구조를 나타내고 있으며, (b)는 레이저에 의해 PI 의 연결 고리가 끊어지며 분리된 화학 구조식이다. 분리된 불안정한 화합물은 서로 혹은 대기중의 다른 원소와 결합하여 CO, CN, C, C<sub>2</sub>, CH, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, HCN 등 다양한 형태로 존재하게 된다.<sup>1</sup>

PI 의 광열적 반응에 의한 레이저 어블레이션은 1300 ± 50℃에서 일어난다고 알려져 있으며, 248nm 레이저에서 PI 가공시 표면 온도는 1660K 까지 올라간다고 보고되어 왔다.<sup>2,3</sup> Fig. 2 에 나와 있듯이, 같은 소재라도 레이저 파장 및 펄스 폭에 따라 흡수율이 다르기 때문에, 표면 온도 분포와 시간에 따른 온도 변화가 레이저 종류에 따라 다르게 나타난다. 흡수율이 높으면 어블레이션이 일어나는 최소 레이저 플루언스인 임계값이 작아진다. 즉 가열 및 냉각 속도가 빠르기 때문에 펄스 반복율을 높일 수 있는 장점이 있다.<sup>4,5</sup> 또한 본 연구에 사용된 레이저 빔은 DPSS UV Laser 로써 사양은 Table 1 과 같다. 레이저 빔 의 에너지 프로파일은 가우시안 분포이다. DPSS UV Laser 는 엑시머 레이저에 비해 출력이 적은 단점이 있지만, 유지보수가 간단하고, 출력이 안정되었으며, 펄스 반복율이 높다. 레이저시스템의 구성은 Fig. 3 과 같으며, 발전기에서 나온 레이저는 빔익스펜더(Beam expander)를 거쳐 갈바노 스캐너(Galvano scanner)로 입사된다. 갈바노 스캐너는 레이저 가공 시 원하는 패턴을 컴퓨터 제어에 의해 고속으로 전사한다.

또한 본 연구에 사용된 레이저 빔은 DPSS UV Laser 로써

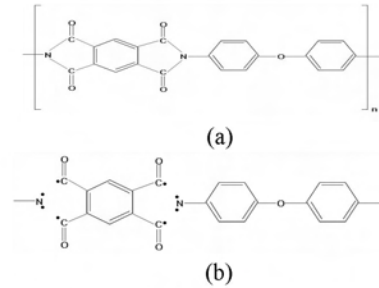


Fig. 1 Chemical structure of the polyimide (a) before laser processing, (b) after laser processing

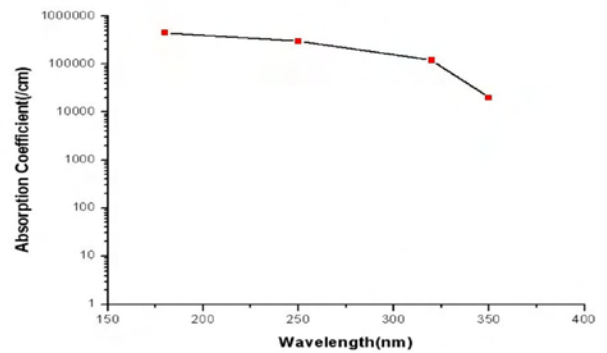


Fig. 2 Absorption coefficients for polyimide

사양은 Table 1 과 같다. 레이저 빔의 에너지 프로파일은 가우시안 분포이다. DPSS UV Laser 는 엑시머 레이저에 비해 출력이 적은 단점이 있지만, 유지보수가 간단하고, 출력이 안정되었으며, 펄스 반복율이 높다.

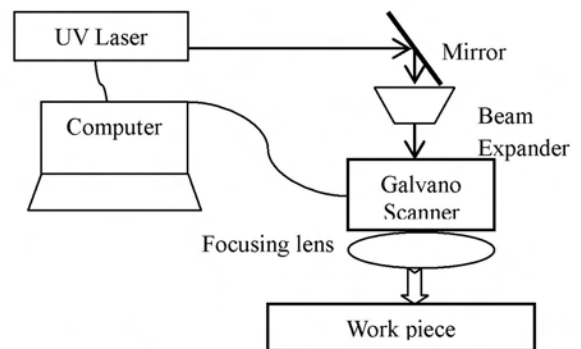


Fig. 3 Schematic diagram of UV laser system

Table 1 Specifications of laser source

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

레이저시스템의 구성은 Fig. 3 과 같으며, 발진기에서 나온 레이저는 빔익스펜더를 거쳐 갈바노 스캐너로 입사된다. 갈바노 스캐너는 레이저 가공 시 원하는 패턴을 컴퓨터 제어에 의해 고속으로 전사한다. 한편 레이저 어블레이션에 영향을 주는 것은 펄스에너지, 빔 강도분포, 초점의 위치 등에 의해서 영향을 준다

$$P_p = P_{ave} \cdot \frac{1}{FWHM} \cdot \frac{1}{\text{repetition speed}} \quad (1)$$

$$\frac{E}{\text{pulse}} = \int_0^t P dt = P_p \cdot t_{FWHM}(J) \quad (2)$$

$$\text{Fluence}(J/cm^2) = \frac{E}{\text{pulse}} \times \frac{1}{\text{spot size}} \quad (3)$$

식 (1)은 첨두 출력을 구하는 수식, 식 (2)는 펄스당 에너지를 구하는 수식이며, 식 (3)은 플루언스를 구하는 수식이다. 여기서  $P_p$ 는 첨두출력,  $P_{ave}$ 는 평균출력, FWHM은 펄스폭 (Full width of half maximum)이다. 본 연구에서는 PI를 사용하여 우수한 가공면을 갖는, 최적의 미세절단 가능조건을 연구하고, 결과로서 열변형으로 발생하는 버를 최소화하고자 한다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4 는 레이저 에너지 플루언스를 증가시키며 가공한 뒤 절삭면에 광화학적, 광열학적 반응에 의해서 생기는 선폭(Line width)의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 4 에 나타나듯이 레이저 에너지 플루언스가 증가할수록, 광열적, 광화학적반응이 커지면서 열적변형 영향에 의해 가공 선폭

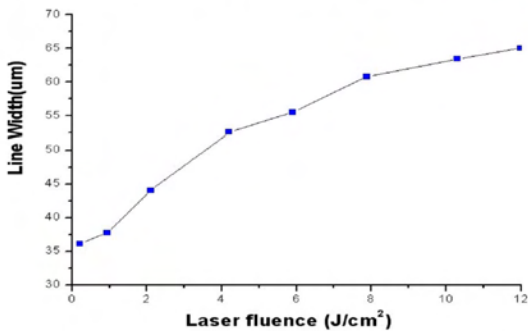


Fig. 4 Relationship between line width and laser fluence

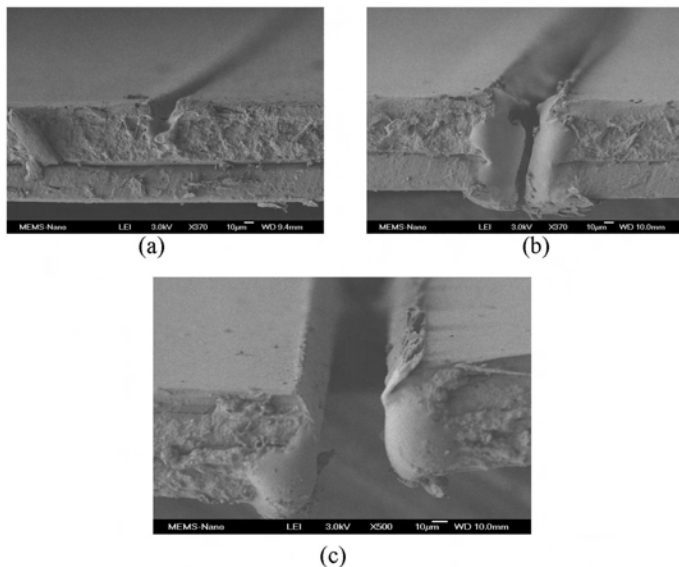


Fig.5 SEM photos of PI processed by 355 nm UV laser with 21shots (a) 1.68J/cm², (b) 9.60J/cm², (c) 10.30J/cm²

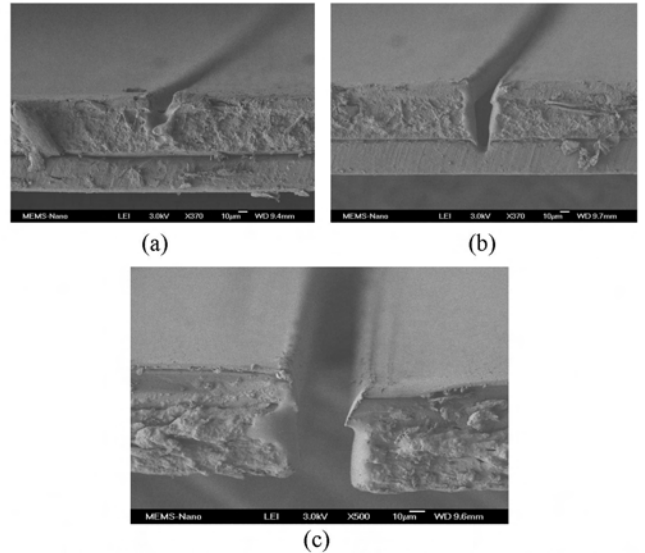


Fig. 6 SEM photo of PI processed by 355nm UV laser at same laser fluence 1.68J/cm² (a) 21shots, (b) 42shots, (c) 84shots

이 넓어진다. 그리고 Fig. 5 는 레이저 에너지 플루언스 0.94J/cm², 9.60J/cm², 10.30J/cm² 으로 펄스 21shots 으로 가공한 뒤, SEM 을 이용하여 절단면을 촬영한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 에너지 플루언스가 커질수록 광열적 반응으로 인한 버의 증가와 깊이 절단되는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 플루언스가 10.30J/cm² 일 때 완전절단 되는 가공조건임을 확인할 수 있으며, 버가 심하게 생긴 것을 관찰할 수 있었다. Fig.6 은 레이저 에너지 플루언스 1.68J/cm² 로 같은 곳을 여러 번 가공함으로써 완전 절단되는 과정을 SEM 으로 촬영한 것이다. Fig. 5 (c)와 Fig. 6 (c)를 비교하면, Fig. 6(c)가 열적변형이 적으며, 절단이 보다 더 깨끗하게 된다. 이러한 결과로부터 적은 에너지 플루언스로 여러 번 가공 시 강한 에너지 플루언스로 한번 가공하는 것 보다 광열적 반응이 적게 일어나 버가 절단면 주위에 적게 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구 결과 한번의 강한 에너지 보다 적은 에너지로 여러 번 가공하는 것이, 가공 시간은 더 들지만, 소재에 광열적 반응을 줄여, 더욱 정밀한 미세 절단이 가능함을 확인하였다.

### 참고문헌

1. K.C. Yung, D.W. Zeng, T.M. Yue, "XPS investigation of Upilex-S polyimide ablated by 355nm Nd:YAG laser irradiation" *Applied Surface Science* **173**, pp. 193-202, 2001
2. 오재용, 신보성, "355nm UV 레이저 가공에 의한 폴리이미드의 광화학적 및 광열적 어블레이션에 관한 연구.", (한국정밀공학회지 심사중)
3. D. Bäuerle, M. Himmelbauer, E. Arenholz, "Pulsed laser ablation of polyimide : fundamental aspects" *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, pp. 27-30, 1997
4. Y. S. Liu, H. S. Cole, H. R. Philpp and R. Guida, "Photoetching of polymers with Excimer laser," *Proc. SPIE*, **774**, pp.133-137, 1987
5. Winco K.C. Yung, J.S. Liu, H.C. Man, T.M. Yue, "355nm Nd:YAG laser ablation of polyimide and its thermal effect", *Journal of Materials Processing Technology* **101**, pp.306-311, 2000