

◆ 특집 ◆ 첨단레이저 응용 미세가공기술

자외선 나노초 펄스 레이저를 이용한 경연성(Rigid Flexible) 인쇄전자회로기판(Printed Circuit Board) 고속 절단에 관한 연구

Study on High Speed Laser Cutting of Rigid Flexible Printed Circuit Board by using UV Laser with Nano-second Pulse Width

배한성¹, 박희천¹, 류광현¹, 남기중^{1,✉}
Han Sung Bae¹, Hee Chun Park¹, Kwang Hyun Ryu¹ and Gi Jung Nam^{1,✉}

¹ 주식회사 젯텍 기술연구소 (R&D center of Jet Tech., Ltd.)
✉ Corresponding author: ginam@jettech.co.kr, Tel: 032-510-3300

Manuscript received: 2009.10.29 / Revised: 2009.11.25 / Accepted: 2009.12.24

High speed cutting processes of rigid flexible printed circuit board by making use of high power UV laser with nano-second pulse width have been proposed and investigated experimentally. Also robust laser cutting system has been designed and developed in order to obtain a good cutting quality of rigid and flexible PCB with multi-layers (2-6 layers). Power controller module developed for ourselves is adapted to control the laser output power in the range less than 1%. The systems show the good performance of cutting speed, cutting width and cutting accuracy, respectively. Especially we have confirmed that the short circuit problem due to the carbonized contamination occurred in cross section of multi-layers by thermal effect of high power laser has been improved largely by using multi-pass cutting process with low power and high speed.

Key Words: Laser Routing (레이저 라우팅), R-FPCB (경연성 인쇄회로기판) UV DPSS Nanosecond Pulsed Laser (자외선 나노초 다이오드 여기 고체레이저), Laser Cutting System (레이저 절단 시스템)

기호설명

- S = Laser beam spot size (μm)
- EFL = Effective focal length (mm)
- λ = laser wavelength (nm)
- A = Input laser beam diameter (mm)

1. 서론

인쇄회로기판(PCB; Printed Circuit Board)이란 절연체 위에 전기 전도성이 양호한 도체회로를 형성하여 만든 전자부품의 일종으로서 능동소자(active

component)나 수동소자(passive component) 그리고 음향 또는 영상소자 등이 그 기능을 수행할 수 있도록 상호 연결 및 지지 역할을 담당하는 기구소자를 말한다. 최근 전자부품산업의 급속한 발전에 따라 PCB는 전자제품의 소형화, 고밀도화, 굴곡성(flexibility) 있는 디자인으로의 변화에 따라 소형화와 고밀도화가 가능하며, 반복적인 굴곡에 높은 내구성을 갖는 연성(flexible) PCB(FPCB)의 사용이 증가하는 추세이다.

FPCB는 페놀(Phenol) 수지 또는 에폭시(Epoxy) 수지로 된 평판 위에 동박(copper film)을 탑재함으로써 문제 시 되었던 경성(rigid) PCB(RPCB)의 유

연성이나 굴곡성을 개선하여 폴리이미드(Polyimide) 필름에 있는 동박을 에칭하여 회로를 형성함으로써, 얇고 자유로운 굴곡성, 절연성, 내열성, 유연성 그리고 경량화된 회로기판이다. 따라서 기존 RPCB 대용으로 휴대용 전자기기, 디지털 카메라, 휴대폰, PDA 뿐만 아니라 자동차, 우주 항공 그리고 군수용품에 이르는 넓은 영역에서 다량으로 상용되고 있다. 최근 들어 경성과 연성 PCB를 결합하여 보강제없이 직접 부품실장을 할 수 있는 구조를 가진 R-FPCB(Rigid-Flexible PCB)의 생산이 증가하고 있다. R-FPCB의 경우 표면실장밀도가 향상되고, 경성 PCB와 연성 PCB의 장점을 이용하여 LCD 모듈, 카메라 모듈, 디지털 카메라, 4층의 키패드용 R-FPCB, 심지어 휴대폰의 메인 기판용, 우주항공 및 군수용품으로도 R-FPCB가 제작되어 R-FPCB의 영역이 더욱 확대되고 있다. 이러한 R-FPCB 제품의 수요가 급증함에 따라 R-FPCB 제품은 경량화, 박막화, 고집적화와 복잡한 형상을 요구받고 있다.

그러나, 이러한 FPCB/R-FPCB 제품은 낮은 기계적 강도와 굽힘 위험, 구조적 복잡성으로 인해 기존의 CNC 또는 금형을 이용한 라우팅(routing) 공정에 문제점을 야기하고 있다. 특히, 제품의 다양성 및 빈번한 설계 변경으로 인한 금형의 설계 비용이 증가되며, FPCB의 얇고 낮은 기계적 강도로 인한 chipping, delamination, scratch 등 불량 발생으로 제품의 수율을 떨어뜨리는 원인이 되고 있다. 특히, 최근 발전되는 R-FPCB의 경우 경성/연성 회로기판이 공존하고 있으므로, 최적화된 가공 공정과 높은 정밀도를 요구되고 있어 기존의 기계적 절단 기술의 문제점을 극복하고 가공 정밀도를 향상시킬 수 있는 라우팅 기술의 개발이 필요하다.

기존 금형 절단 공정의 문제점을 해결하는 대안 기술로 비접촉 방식인 레이저 라우팅 기술이 주목받고 있다. 레이저 라우팅 기술은 chipping, delamination, scratch 등 기존의 물리적 접촉 방식에서 나오는 문제점에서 자유롭고, 빠르게 변하는 다양한 FPCB/R-FPCB의 패턴 형태를 회로설계 파일에 따라 가공하기 때문에 기존의 금형을 따로 제작할 필요가 없어 빠른 대응력과 생산단계의 간소화할 수 있다.

본 연구에서는 현재 사용되고 있는 R-FPCB를 라우팅 할 수 있는 흡수도가 높은 UV 파장의 펄스 레이저 기반의 레이저 라우팅 시스템을 제작하여 최적의 라우팅 조건과 기존 레이저 가공에서

문제가 되고 있는 절단면에서 회로의 쇼트(short circuit) 발생 등을 해결하고자 한다.

2. 시스템 개발

2.1 플랫폼 및 광학기구

실험에 사용된 장비는 X축, Y축, Z축, Theta 축인 4축 스테이지를 기본으로 하는 하이브리드 타입의 플랫폼(hybrid-type platform)위에 UV nanosecond pulsed DPSSL(diode pumping solid state laser)를 소스로 사용하는 레이저 라우팅 시스템이다. 구조는 아래 Fig. 1에서 보여지는 것과 같이 레이저에서 발생된 빔은 출력 안정기(power controller)와 광 감쇠기(beam attenuator)를 통하여 그 출력이 조정되게 되고 빔확장기(beam expander)를 통하여 전송되는 빔의 크기가 조절되게 된다. 이후 장비 후면 광학기구부에서 전면으로 전달된 빔은 X축 스테이지에 평행하게 조정되고 X축 위에 설치되어있는 Z축 위의 갈바노메트릭 모터(galvanometric motor)로 구동이 되는 레이저 스캐너(laser scanner)에 들어가게 된다. 스캐너에서 빔의 방향이 조정되어 텔레센트릭 렌즈(telecentric lens)를 투과하여 Y축 위에 있는 허니콤 타입의 진공척(honeycomb vacuum chuck)에 조사된다.

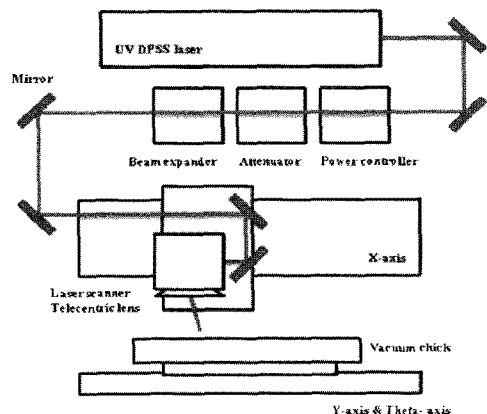


Fig. 1 Scheme diagram of R-FPCB laser routing system

R-FPCB의 라우팅은 레이저 스캐너의 가공 영역(Field of scan area)을 스테이지로 Point-to-Point 이송하는 방식을 선택하였다. 설정되어 있는 스캐너의 가공 영역이 50mm x 50mm 이고 가공이 가능한 영역은 최대 600mm x 700mm 이다. Table 1에서 개발된 레이저 라우팅 시스템의 정밀도와 스테이지

의 성능을 정리하였다. 비전을 이용하여 위치 보정된 위치 자동정렬 정밀도는 $\pm 1.4\mu\text{m}$ 이고 스캐너의 가공 영역내의 가공정밀도는 $\pm 15\mu\text{m}$ 이다.

Table 1 R-FPCB laser routing system spec. test table

Evaluation Parameters	Unit	Measurement Value	Measurement Method
Cutting Accuracy	μm	± 14.4	Compare between pattern drawing and sample size after routing
Repeatability	μm	± 1.4	Measurement of error value of repeatable cutting process
Position Alignment Accuracy	μm	± 1.4	Measurement of repeatability accuracy by vision
Stroke	μm	800	Measurement by Renishaw Analysis
Flatness	μm	± 1.42	
Velocity	mm/s	1500	

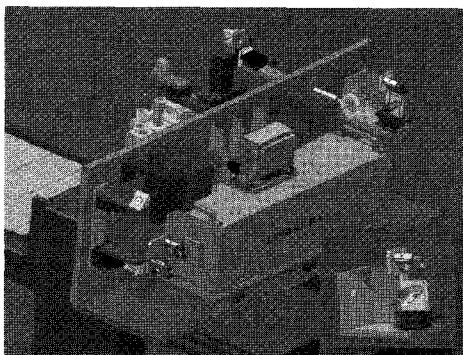


Fig. 2 Optic components on the backside

레이저 빔의 품질을 향상 시키기 위하여 일정 펄스의 출력을 포토다이오드(photodiode)를 통하여 측정하여 레이저 광의 출력을 1% 내로 출력 안정화를 시켰으며 빔 조리개를 이용하여 가우시안 형태의 에너지 분포 중 낮은 출력부분의 빔을 잘라 주어 에너지분포 형태를 향상시켰다. 또한 빔이 지나가는 광학계의 축과 스테이지의 X 축의 차이를 보정하기 위하여 90 도의 형태로 틀어져 있는 두 개의 반사 미러를 이용하였다. Fig 2. 에는 장치의 후면부의 광학계와 광 축 보정을 위한 반사 거울의 모습이다.

2.2 제어프로그램

다양한 형태의 R-FPCB 의 라우팅에 대한 대응을 빠르게 하기 위하여 CAD 에서 설계한 도면을 변환하여 가공에 적용하였다. 또한 레이저의 출력 값과 반복 횟수, 컷팅 속도는 설정 창을 따로 두어 가공 공정의 조건을 관리 할 수 있게 하였고, 이렇게 데이터화 된 조건들은 메인 화면에서 사용자가 하나의 묶음 파일을 불러내서 각각의 등록된 R-FPCB 의 가공을 가능하게 하였다. 공정 순서로는 데이터를 불러오고 자재를 놓고(On-load) 기준 위치에서 자재의 두께에 따라 자동으로 초점위치로 보상하게 된다. 그리고 도면에 표시된 정렬표시(Align mark)를 찾아 실제 자재와 도면과의 크기 보정 및 자재를 놓으면서 생기는 회전오차를 보정하게 된다. 이렇게 자재의 가공이 준비되면 도면의 형태에 따라 레이저 스캐너의 가공 영역 안의 형태를 가공하고 스테이지를 옮겨 가공 하는 방식으로 레이저 라우팅을 하게 된다. 절단 공정을 마치게 되면 Y 축 스테이지는 자재를 꺼낼 수 있는 위치(Off-load)에 오게 된다. Fig. 3 은 작업자가 쉽게 사용하기 위해 단순화 한 메인 화면이다. START 버튼을 누르면 왼쪽의 버튼들의 순서대로 대화형 팝업 상자가 나타나면서 조정을 할 수 있도록 하였으며 각각의 버튼을 누름으로 단계 동작도 수행이 가능하다.

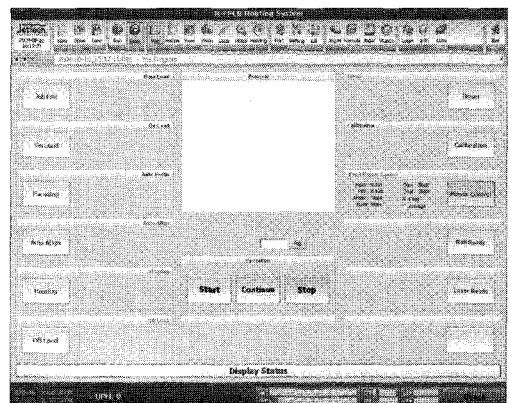


Fig. 3 R-FPCB laser routing main view

R-FPCB 의 성분이나 형태에 따라 가공 공정의 조건을 다르게 주어야 하기 때문에 공정을 개발하는 엔지니어를 위하여 장치의 각각의 동작을 제어하거나 내부에 설치되어 있는 모니터 시스템에서 획득한 데이터를 처리하는 공정순서를 편집 등록할 수 있는 창이 제작되어 있고, 레이저 스캐너의

보정을 할 수 있는 장과 비전 및 톨투를 이송장치와의 연동을 제어하는 창도 따로 구분하였다.

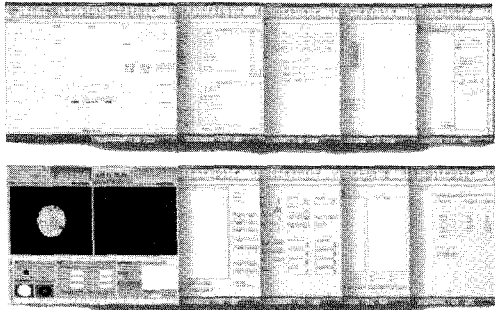


Fig. 4 Program view pages

3. 실험

3.1 절단 실험

절단 실험을 위하여 사용한 시료는 Cu-PI-Cu 두께 100 μ m 필름으로 이루어진 연성 동박 적층 회로기판인 FCCL(Flexible Copper Clad Laminate)를 이용하여 가공된 결과를 통해 가공 범의 형태, 시스템의 정밀도 및 안정성을 테스트 하였다.

$$S = 1.27 \lambda \times EFL / A \quad (1)$$

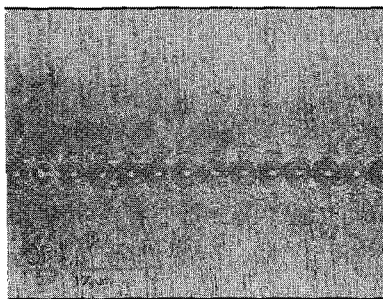


Fig. 5 laser beam spot size

시료에서 레이저 빔의 크기는 가우시안 빔에 대한 초점에서의 크기를 구하는 식 (1)을 통해 이론적 계산치는 12 μ m 였다. 시료에서 빔의 중첩률을 빔의 크기보다 크게 하는 조건의 속도로 가공하여 한 개의 펄스 빔의 가공 형태를 측정 할 수 있었다. Fig. 5 에서 계산상의 값과 실제 빔의 크기가 다른 것은 표면 구리층의 기화에 필요한 에너지의 높이 구간이 더 넓기 때문이다.

레이저의 가공 심도를 측정하기 위하여 텔레센

트릭 렌즈와 FCCL 의 표면과의 거리를 좁혀가면서 중첩률 90%로 1 회 가공 하여 그 가공 깊이와 오염 정도를 측정하여 보았다. 그 결과 Fig. 6 과 같은 그래프를 얻었다. 이에 400 μ m 정도의 Z 축 길이에서 같은 결과가 나왔고 초점의 위치가 깊어질수록 오염의 범위는 커지는 것으로 확인되었다. 또한 중첩율의 변화와 가공 횟수의 변화에 따른 절단 여부와 가공 단면의 품질 변화의 상태를 얻기 위하여 레이저의 펄스 반복율을 100kHz 로 고정시키고 2W 간격으로 출력을 올려 1 회 가공함으로 펄스당 출력이 증가함에 따라 가공 깊이와 표면 오염은 증가하나 그 기율기의 정도는 점차 감소함을 확인하였고 중첩율을 5 등분하여 일정한

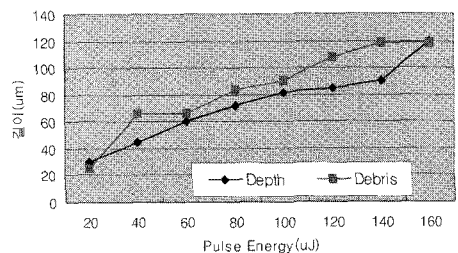


Fig. 6 Ablation depths & contamination length at each working distance

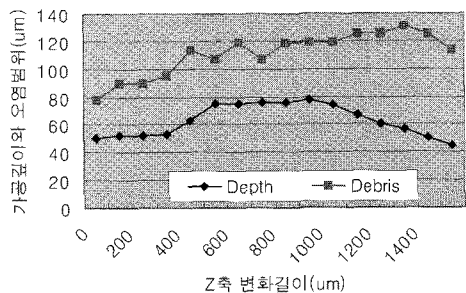


Fig. 7 Ablation depth & contamination length as pulse energy

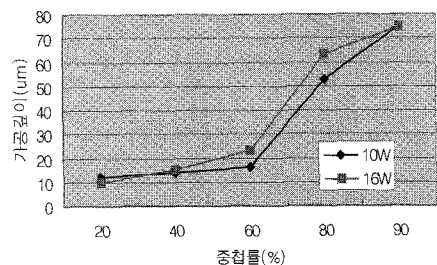


Fig. 8 Ablation depth as laser beam spot separation

출력에서 1 회 가공하였을 때 가공 깊이를 측정하여 라우팅 속도에 따른 가공 깊이의 정도를 확인할 수 있었다. 이에 관련 결과의 그래프는 Fig. 7, Fig. 8 에 보여진다.

3.2 R-FPCB 라우팅 실험

실험에 사용한 R-FPCB 는 아래의 Fig. 9 에서 보는 바와 같이 경연성 부분이 복합적으로 있는 자재로서 라우팅 가공 이후 단면에서 구리층간의 전기적 쇼트 현상의 여부를 확인하기 위하여 인입선의 연장선을 가공부분의 외부에 단자화 시켜 층간의 쇼트 여부를 확인하기 쉽게 제작하였다. 제작된 R-FPCB 기판은 650um 두께의 2-6 레이어의 구조로 되어 있고 PI 로 구성된 유연부분과 경성부분의 가공 속도의 조건을 다르게 하여 라우팅을 시행하였고 하나의 절단 속도는 50mm/s 로 가공하였다.

가공 조건은 FCCL 의 가공 조건을 기반으로 14W 의 레이저 출력으로 120kHz 의 펄스 반복율 (pulse repetition rate)의 조건으로 가공 하였고, 가공 횟수를 줄이고 높은 에너지로 어블레이션 레이트 (ablation rate)가 큰 방식의 가공 방법은 단면의 오염과 녹은 구리성분의 다시 굳어 붙는 현상이 많이 나타나 회로 층간의 단락을 발생시키기 때문에 낮은 에너지로 가공 횟수를 증가하여 라우팅 공정을 시행하였다. 이러한 공정으로 층간의 쇼트 문제를 해결하였다.

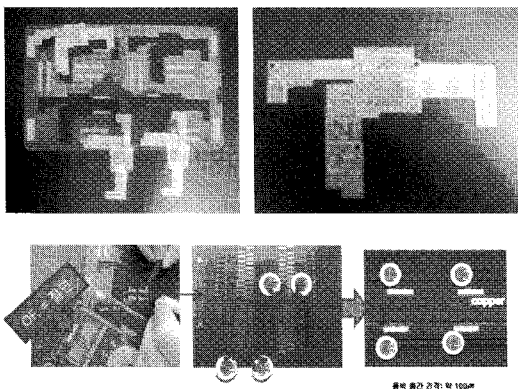


Fig. 9 R-FPCB & bumps for short test

4. 결론

R-FPCB 의 레이저 라우팅을 하기 위하여 근자 외선 나노초 펄스 레이저를 이용하여 레이저 라우

팅 시스템을 제작하고 R-FPCB 라우팅을 통하여 그 장비의 성능을 검증하였다. 이에 다양한 형태의 R-FPCB 에 대응성이 빠르고 비접촉 레이저 절단 장비로서 빠르고 좋은 절단 품질을 도출 할 수 있었다. 높은 에너지에서 저속의 단일 가공 횟수 보다는 낮은 에너지와 중첩율을 이용한 고속의 다수 가공 횟수의 가공 방식을 이용하여 층간의 쇼트 문제를 해결 할 수 있었다.

후 기

본 논문은 지식경제부 “첨단레이저 응용 미세 가공기술 개발” 과제(산업원천기술개발사업, 과제 번호 : 10030267)의 지원으로 작성되었음.

참고문헌

1. Ready, J. F., “LIA Handbook of laser materials processing,” Magnolia Publishing Inc., pp. 661-665, 2001.
2. Bae, H. S., “Fabrication of a copper grid mesh on the polyimide film by UV laser,” Laser Advanced Material Processing, 2006.
3. Henry, M., Harrison, P., Wendland, J. and Parsons-Karacassilis, D., “Cutting flexible printed circuit board with a 532nm q-switched diode pumped solid state laser,” ICALEO, Paper No. M804, 2005.
4. Li, Y. and Anderson, G., “Melt Behavior and Its Effect on Process speed in Precision Cutting of Thin Metal Sheets using Q-switched Nd:YAG Green Laser,” Proc. of ICALEO, Laser Material Processing, pp. 194-200, 2003.
5. Bae, H. S., Ryu, K. H. and Nam, G. J., “Study of Laser Machining Properties about Raw Material FPCB,” Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 379-380, 2008.
6. Chang, W. S., Kim, J. G., Yoon, K. K., Shin, B. S., Choi, D. S. and Whang, K. H., “A Study on UV Laser Ablation for Micromachining of PCB Type Substrate,” Proc. of KSPE Autumn Conference, pp 887-890, 2001.
7. Nutfieldtech, http://www.nutfieldtech.com/engineers_corner/scan_lens_theory.pdf