

신개념 레이저 기반 초정밀/ 초고속 레이저 복합/유연 가공 기술 개발

류광현, 남기중 |
(주) 젯텍 기술연구소

[요약문]

전자부품산업이 빠르게 발전하고 있기 때문에 고기능성 PCB의 수요 또한 많이 늘고 있다. 이러한 PCB는 전자제품의 굴곡성(flexibility) 있는 형태로 발전하여 전자제품의 소형화 및 고밀도화가 가능하고, 반복적인 굴곡에 높은 내구성을 갖는 연성(flexible) PCB(FPCB)의 사용이 증가하고 있으며, 이런 시장의 요구에 맞춰 연성 다층 구조의 FPCB에 대한 정밀 고속 가공 기술에 대한 수요도 급격히 확대되고 있다. 따라서 장비 운영의 효율성 극대화 및 설비 투자를 최소화하고 단일 장비로 절단(half cut, full cut), 제거, 트리밍, 리페어 공정 등을 수행할 수 있는 장비 개발을 위한 스케너/스테이지 고정밀 제어, Z축 스텝가공, 멀티포인트 비전 인식을 통한 왜곡 최소화 등의 요소기술 개발관련 내용을 소개하고자 한다.

1. 서 언

휴대폰 등 모바일 전자기기 산업에서 차세대 고부가 PCB(MLB, HDI, FPC, 등) 및 고기능 PCB(COF, MOF, SOF)의 급속한 적용 확대로 기술적 대응이 가능한 초정밀/초고속 레이저 절단, 제거, 트리밍(trimming), 리페어(repair) 등의 복합/유연 공정 및 장비기술 개발에 대한 시장의 요구가 급증하고 있다¹⁻⁴⁾. 이로 인해 장비 운영의 효율성 극대화 및 설비 투자의 최소화를 위해 단일 장비로 절단(half cut, full cut), 제거, 트리밍, 리페어 공정 등을 수행할 수 있는 장비 개발이 필수적이다. 이러한 요구에 부합하기 위해 단일 장비로 가능하도록 광학 설계 및 공정 기술을 확립하고 이 기술을 접목시킨 장비를 개발하고자 한다. 본 고에서는 복합/유연 공정 기술에 대한 전반적인 내용을 소개하고자 한다.

2. 시스템 및 공정 기술

인쇄회로기판(Printed Circuit Board)이란 절연체위에 전기 전도성이 양호한 도체회로(Copper-동박)를 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 있는 디자인으로 변함에 따라 소형화와 고밀도화가 가능하며 반복적인 굴곡에 높은 내구성을 갖는 연성인쇄회로기판(Flexible Printed Circuit Board)의 사용이 증가하는 추세이다. 연성인쇄회로기판은 1960년대 후반에 군사용으로 개발되고, 1960년대 후반부터 일반 상업용으로 제품에 적용되기 시작하여 전자제품의 소형화, 굴곡성, 고밀도 배선, 조립의 합리화를 위하여 인쇄회로기판 단/양면 다층 FPCB의 수요량이 증가해 가고 있고 최근에는 다층 Rigid-FPCB로 기술이 발전하고 있다. 이러한 FPCB/R-FPCB제품의 수요가 급증함에 따라 FPCB/R-FPCB 제품은 경량화, 박막화, 고집적화와 복잡한 형상을 요구 받고 있으며, 이러한 FPCB/R-FPCB 제품 가공을 위해 복합/유연 가공 기능이 요구되고 있다.

FPCB/R-FPCB제품은 낮은 기계적 강도와 급험위험, 구조적 복잡성으로 인해 기존의 CNC 또는 금형을 이용한



FPCB/R-FPCB 라우팅 공정에 문제점을 야기하고 있다. 특히 제품의 다양성으로 인한 금형/목형의 설계비용이 증가되며, FPCB의 얇고 낮은 기계적 강도로 인한 chipping, delamination, scratch의 발생으로 제품의 불량률을 높이는 원인이 되고 있다. 특히 최근 발전되는 R-FPCB의 경우 경성/연성 회로기판이 공존하고 있어 최적화된 가공공정과 높은 정밀도를 요구, 기존의 기계적 절단 기술의 문제점을 극복하고 가공 정밀도를 향상시킬 수 있는 라우팅 기술과 리페어, 트리밍, 스트러처링까지 가능한 공정 기술 및 장비의 개발이 필요하다.

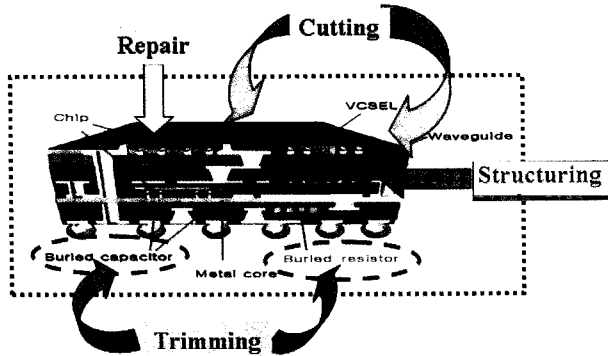


그림 1. 레이저 복합/유연 가공 기술 개발의 필요성

복합/유연 공정 및 장비기술 개발에 대한 시장의 요구에 맞추기 위해 두 가지를 수행하고 있다. 첫 번째는 복합/유연 공정 기술에 대한 개발이고 두 번째는 장비 개발이다. 복합/유연 공정 기술은 다양한 실험과 분석을 통해 결과를 도출하며 그에 필요한 자동 초점 기술과 자동 레이저 빔 제어 장치, 멀티헤드 스캐너 기술, 고속 멀티 비전 기술, 동축 비전 시스템 등 여러 가지 기술 개발이 이루어질 것이고, 장비에서는 고속 정밀스테이지 제작 및 제어 기술, 스테이지 보정, 스캐너-스테이지 연동 기술, 프루브 유닛 고정도 제어 등이 개발될 것이다. 스캐너-스테이지 연동기법은 레이저 가공기의 생산성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 기술로서, 스텝&스캔 가공시 이송->셋팅대기->가공->이송 이 반복될 때 셋팅대기에 필요한 시간이 대폭 줄어들기 때문에 기존의 스텝&반복 방법의 대체 기술로서 핵심 원천기술에 해당한다.

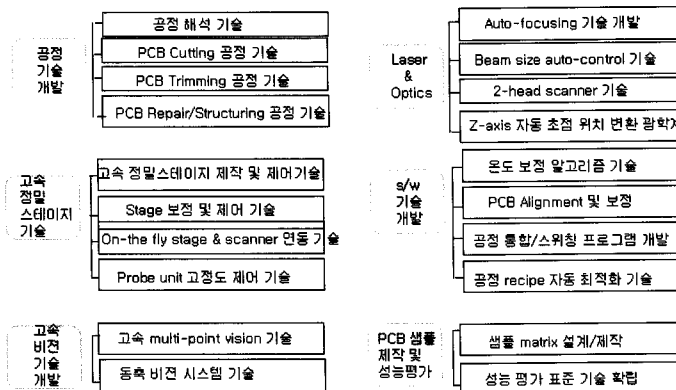


그림 2. 복합/유연 공정 및 장비 개발에 필요한 기술

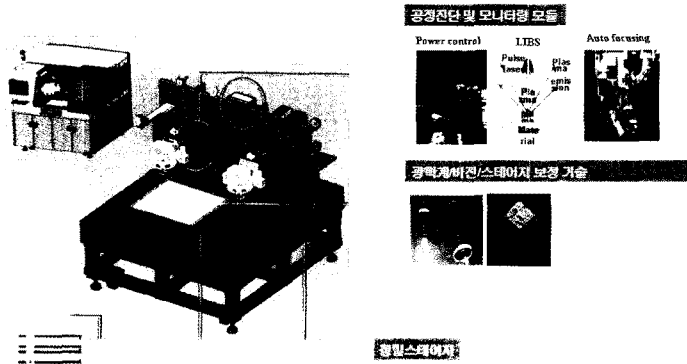


그림 3. 복합/유연 시스템 개략도

복합/유연 공정기술에 대한 공정 중 트리밍에 대한 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 레이저는 355nm 파장을 갖는 자외선 레이저이며 주요 사양은 아래 표 1에 나타내었다.

표 1. 레이저의 주요사양

Laser type	• Diode-pumped Solid State Laser(DPSSL)
Power	• 1~16W
Wavelength	• 355nm
Pulse width	• 10~15ns
Repetition rate	• <100KHz
Spot size	• 20 μ m

레이저를 이용한 저항체의 트리밍가공은 항온항습이 유지되는 공간에서 최대한 균일한 온도가 유지되는 조건하에서 실험 하였으며, 그림 4와 표 2는 본 실험에 사용된 저항체의 실제샘플과 구조이다.



그림 4. 트리밍 가공 샘플

표 2. 실험 샘플의 주요사양

자재종류	자재별 구조	두께(μ m)
Resistor paste 50	Carbon	10
FCCL	Cu	12
	Polyimide	35
Coverlay	Cu	12
	Adhesive	25
	Polyimide	12.5
Total		96.6



일반적으로 막의 레이저 가공에 이용되는 트리밍의 종류에는 Plunge cut, Double cut, L cut, Serpentine cut, Edge cut 등을 들 수 있다. 이 중 본 공정에서는 Plunge cut, Double cut을 이용하였다. 저항체의 정확한 가공을 위해서는 레이저 가공변수 즉, 레이저 종류 및 출력, 빔크기 그리고 가공 주파수 등이 매우 중요한 역할을 하게 된다.^[6]

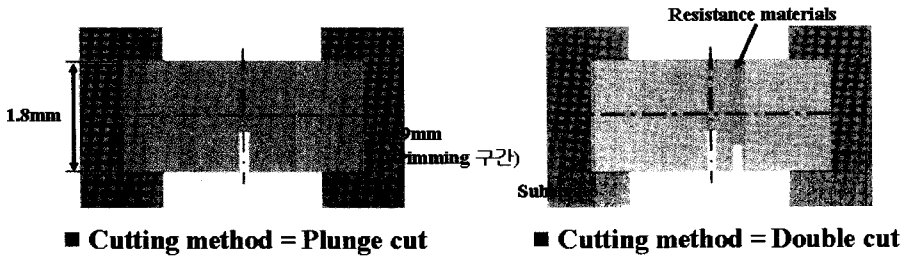


그림 5. 트리밍 가공 방법

동일한 레이저 조건에서 트리밍 방법에 따른 가공을 한 결과 절단면에 HAZ(Heat Affected Zone)이 없이 깨끗하게 가공되었다. 이것은 본 실험에서 사용한 레이저가 짧은 파장 때를 갖고 있어 kerf(trim path) 주위에 발생하는 과열 영역이 없이 가공되었기 때문이다. 그림 6은 Plunge cut 가공을 한 결과 절단면의 절반인 약 450 μm 지점까지 저항값이 편차가 없이 상승하다가 540 μm 지점에서부터 편차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이에 반해 Double cut 가공은 720 μm 지점까지 편차 없이 저항값이 상승하다가 810 μm 지점에서 편차가 발생하는 것을 알 수 있다.

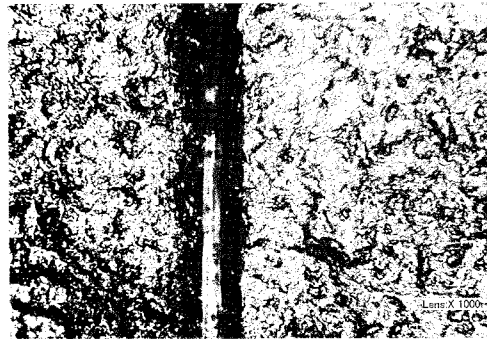
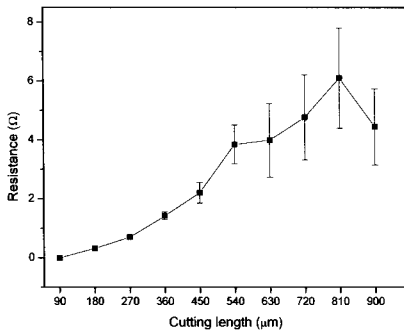


그림 6. Plunge cut 가공 사진 및 저항 측정

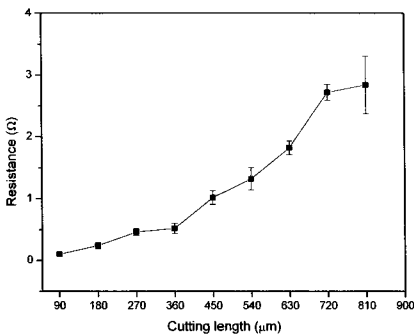


그림 7. Double cut가공 사진 및 저항 측정

복합/유연 가공 장비의 개발에는 이러한 공정 기술의 접목 뿐만 아니라 스테이지 기술개발이 필요하다. 리니어 모터를 이용한 스테이지의 구성 방법은 일반적으로 Gantry type, Split-axis type, Cross type의 3가지 종류로 나눌 수 있다. 이중 각 좌표축 간에 간섭이 없고 기계적 정밀도가 가장 좋은 split-axis type의 스테이지를 초정밀/초고속 모션에 적합한 스테이지로 사용하였다. 스캐너와의 연동시 스테이지부의 추중에러를 최소화하기 위하여 하부 X축은 granite재질의 안내면(guide)과 공기 부양식 베어링(air bearing)을 적용하며, 상측인 Y축은 최대 두 개의 스캐너를 독립적으로 구동할 수 있도록 Y1, Y2의 두 이동자를 가지며 공기 부양식 베어링 또는 리니어 베어링을 적용하였다. 각 Y축에는 자동 초점을 위한 Z축을 설치하고 리페어 및 트리밍의 정밀도 저하를 막기 위해 작업테이블의 편평도(flatness)는 전 영역에서 $\pm 10\mu\text{m}$ 이내로 유지할 수 있는 재질과 구조이다. 스테이지는 split axis 형태이므로 X, Y, Z 축 간의 직각이 맞지 않을 경우 가공 결과물의 위치 정밀도에 오차가 발생하게 된다. 각 축 간의 직각도를 측정하여 이를 실시간 보정이 가능하도록 보정 테이블화 하여 UMAC내부에 구현하였다. X-Y 평면상에서 절단작업 수행시 스테이지가 정확한 궤적을 그릴 수 있도록 X-Y축의 동기 제어를 수행하며 기존의 X-Y 스테이지의 제어 시에는 축 개별 제어를 하였기 때문에 X축이 궤적을 잘 따라 가더라도 Y축의 제어 성능이 떨어질 경우, X-Y 평면상에서의 절단선에서 어긋나는 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결 하는 방법은 cross coupling 제어 기법을 X-Y 궤적 제어에 적용하는 방법이다. Cross-coupling 제어 기법은 갠트리 동기 제어에 사용하는 기법으로 두 서보 모터의 위치차를 최소화하기에 적합한 제어 방식이다.

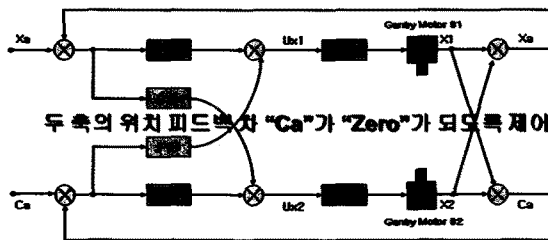


그림 8. 갠트리 제어에 적용되는 Cross-coupling 제어 기법

리페어/트리밍작업 또는 절단작업시에 작업물의 흔들림을 최소화 하기 위하여 Direct PWM방식의 서보드라이버를 사용하였다. 기존의 추력 제어 방식의 PWM 서보 드라이버는 PWM방식의 추력제어에 의한 발생 추력 리플 뿐만 아니라, 추력 명령의 전달이 아날로그 전압($\pm 10\text{V}$)으로 전달되기 때문에 노이즈에 취약하여 정지시 모터의 흔들림 발생 원인이 되고 있다. 특히 Y축의 경우에는 스캐너가 장착되므로 이러한 흔들림은 가공 정밀도를 떨어뜨리는 주요한 원인이 된다. 정지 시 떨림을 최소화 하기 위한 방법으로써, PWM방식이 아닌 아날로그 앰프를 사용하는 방법이 있으나, 고속/고가속 구동을 위한 고용량 앰프는 일반화 되어 있지 않고, 가격도 매우 고가이기 때문에 많이 쓰이지 않고 있다. 본 장비에서는 PWM방식을 사용하지만, 아날로그 방식의 신호 전달이 아닌 디지털 방식의 제어를 통해 노이즈의 영향을 없앤 Direct PWM방식의 서보 앰프를 사용하였다.

3. 결 언

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. 이런 시장의 수요에 맞춰 연성 다층 구조의 FPCB에 대한 정밀 고속 가공 기술에 대한 수요도 급격히 확대되고 있다.



따라서 장비 운영의 효율성 극대화 및 설비 투자의 최소화를 위해 단일 장비로 절단(half cut, full cut), 제거, 트리밍, 리페어 공정 등을 수행할 수 있는 장비 개발을 위해 스캐너/스테이지 고정밀 제어, Z축 스텝가공, 멀티포인트 비전인식을 통한 왜곡 최소화 등의 요소기술 개발이 진행되고 있다. 특히 가공 생산성을 위해 On-the-fly 방식의 scanner-stage 연동방식에 대한 연구가 진행되고 있으나, 초기 단계에 머물러 있는 수준이다.

본 논문의 신개념 레이저기반 초정밀/초고속 복합/유연 가공시스템 개발이 완료되면 마이크로 전자산업 분야의 고정세 고부가/고기능 PCB의 초정밀/초고속 가공, 인쇄전자소자(printed electronics) 및 유연전자소자(flexible electronics)의 초정밀/초고속 가공에 활용되며, 이외에도 솔라셀 스크라이빙이나 반도체 웨이퍼 정밀 가공 시스템에도 활용 가능할 것이다.

✻ 참고 문헌

- [1] John F. Ready "LIA Handbook of laser materials processing" chapter 12 laser cutting.
- [2] Bae H.S. "Fabrication of a copper grid mesh on the polyimide film by UV laser" LAMP, 2006.
- [3] Matt Henry "Cutting flexible printed circuit board with a 532nm q-switched diod pumped solid state laser" paper m804, ICALEO, 2005.
- [4] Yonggang Li, Greg Anderson, "Melt Behavior and Its Effect on Process speed in Precision Cutting of Thin Metal Sheets using Q-switched Nd:YAG Green Laser", ICALEO (2003),LPM, 194-200.
- [5] M. Aslam and J. A. Mirza, "Thick film technology and its application in telecommunication system", COMSATS, Vol. 2, No. 4, 1997.



류 광 현

· (주) 젯텍 기술연구소 선임연구원
· 관심분야 : Laser bonding & material process
· E-mail : khryu@jettech.co.kr



남 기 중

· (주) 젯텍 기술연구소 연구소장
· 관심분야 : Laser micro-machining, laser bonding, laser cutting/patterning
· E-mail : jinam@jettech.co.kr