

피코초 및 나노초 레이저를 이용한 FPCB 절단에 관한 연구

Laser Cutting process for FPCB using ps and ns UV laser

*신동식¹, 이재훈¹, 서정¹, 손현기¹

* Dongsig Shin(dssshin@kimm.re.kr)¹, Jaehoon Lee¹, Jeong Suh¹, Hyonkee Sohn¹

¹한국기계연구원 지능형생산시스템 연구본부

Key words : picosecond laser, nano second laser, Cutting, FPCB, Polyimide, FCCL

1. 서론

완제품이 소형화, 슬림화, 고집적화 및 다기능화되면서 FPCB 산업이 확대되고 있으며 최근에는 정보의 고속화와 대용량화 및 고밀도화의 추세에 대응하여 광 PCB 및 임베디드 PCB 기술개발에 박차를 가하고 있다(<Fig. 1> 참조). 또한 선진국을 중심으로 환경규제가 강화됨에 따라 FPCB의 친환경 생산공정 장비의 개발이 필요하다.

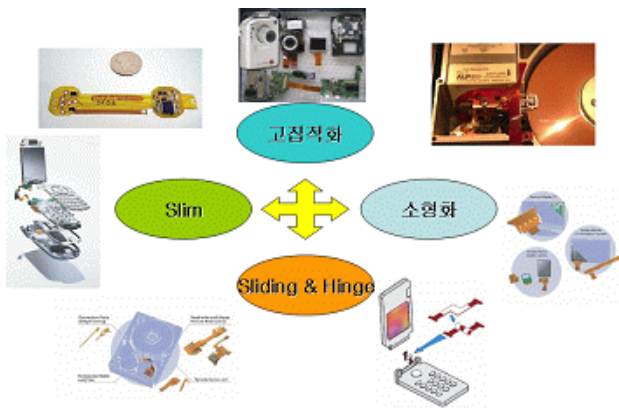


Fig. 1 trends of FPCBs

FPCB는 필름, 노광, 현상, 에칭, 박리, 가접 및 도금등의 공정 후 타발공정을 통하여 최종적으로 절단이 된다. 현재 대부분의 타발공정은 금형에 의한 타발공정으로서 Punch와 Die를 이용한 Bridge형 금형 및 전단 방식의 절단 금형을 사용하고 있다. Bridge형 금형의 경우 제품과 제품 사이에 스크랩공간이 발생하여 FPCB위에 칩등을 마운팅한 이후 다시 절단하는 공정이 추가되어야 한다. 이와 별도로 전단방식의 경우는 절단날과 교차날 의하여 칼날로 자른 형태의 절단방식으로서 스크랩이 발생하지 않아 원자재가 절감되는 효과가 있다.

Table 1은 금형공정과 레이저 가공공정을 비교한 도표로서 기존의 금형공정은 레이저 가공공정에 비해 높은 생산성을 가지는 장점이 있으나 절단면이 거칠고, 필름이 찢어지는 현상이 발생하며, 접속단자에서 크랙등의 현상이 발생하는등 정밀도에 한계가 노출되어 전자 제품의 소형화 및 슬림화 추세에 부응하기 어려운 단점이 있다[1-4].

Table 1 comparison between punching and laser cutting process of FPCB

비교항목	금형가공	레이저가공
생산성	높다 (500-600 타발/hr)	낮다
외형변경 시 대응	절단 금형 제작(고비용)	CAD 변경(저비용)
타발공정	Two steps	Single step
가공품질	- 절단면이 거칠 - 필름이 찢어지는 현상 발생 - 접속단자에서 크랙현상 발생 - 낮은 위치정밀도 - 고미세 패턴간 단락 발생	- 비접촉가공에 의해 패턴 손상 없음 - 고미세패턴의 정밀가공 가능
특징	소품종 대량생산 전자 제품의 소형화 및 슬림화 -> 절단 금형 치수 한계	다품종 소량생산 소형화 및 슬림화에 대응 가능

레이저 가공공정은 단공정으로서 간편하여 다품종 소량 생산의 추세에 부합되며 정밀가공이 가능하여 소형화 및

슬림화 추세에 적합한 장점이 있지만 이는 적정 레이저 변수를 선정하여 최적의 가공품질을 달성하였을 경우에 한정한다. 즉 공정최적화가 이루어지지 않았을 경우 Surface debris, 및 단락현상(절단면의 용착 및 열반응에 의한)등의 문제가 발생할 수 있어 메커니즘의 이해를 통해 상기 결함을 최소화 할 수 있는 공정의 개발이 필요하다[5-7]. 또한 레이저 가공공정은 기존의 금형공정에 비해 생산성이 낮은 단점을 보유하고 있으나 최근 레이저의 고출력화 추세에 따라 낮은 생산성은 보완이 가능할 것으로 전망되며 이에 대비한 고속 스캐닝 공정의 개발이 필요하다.

2. 실험방법

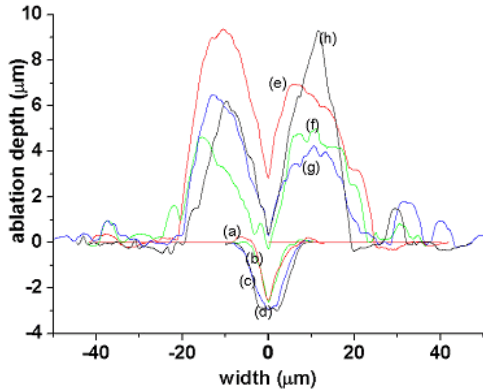
본 실험은 Surface debris 및 열적영향의 최소화 그리고 높은 생산성을 위한 고출력 UV레이저 가공공정연구에 초점을 맞추고 있다. FPCB의 가공시 열적영향을 최소화하기 위해서 본 실험에서는 피코초레이저(RAPID, Lumera laser GmbH)를 사용하였으며 12X10⁻¹² 초의 펄스폭으로서 355 nm 파장의 UV레이저 빔을 최대 평균출력 2 W(첨두출력: 수 TW/cm²)까지 조사가 가능하며 열영향을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 또한 고속가공용으로서 본 과제에서 개발한 미세가공용 플랫폼을 사용하였으며 내장된 레이저(Q302-HD, JDSU)는 80X10⁻⁹초의 펄스폭으로서 피코초레이저에 비해 펄스폭이 긴 단점이 있으나 평균출력을 최대 10 W 까지 조사 가능하여 생산성을 높일 수 있는 장점이 있다.

사용된 실험재료로서는 PI와 FCCL이 있으며 이는 FPCB를 구성하고 있는 주요 구성 재료이다. 실험에 사용된 폴리이미드는 Dupont사 KaptonTM이며 50 μm의 두께이다. 폴리이미드는 암모니아 화합물 이미드기가 분자내에서 반복되는 구조의 고분자 물질로서 높은 열 안정성 및 효과적인 기계적 특성으로 IT 및 우주항공 분야에서 각광받는 미래 핵심소재이다. 폴리이미드(PI)필름은 영상 400도 이상의 고온이나 영하 269도의 저온을 견디며, 얇고 굴곡성이 뛰어난 첨단 고기능성 산업용 소재로 사용된다. 또한 내화학성, 내마모성도 강해 열악한 환경에서 안정적인 성능 유지가 필요한 분야에 널리 쓰인다. 연성동박적층 필름(FCCL:Flexible Copper Clad Layer)은 앞서 설명한 바와 같이 휴대폰·LCD 등에 주로 쓰이는 연성회로기판(FPCB)의 핵심 소재로서 FCCL에 에칭 등을 통해 필요한 회로를 형성하면 FPCB가 된다. 일반 PCB에 쓰이는 동박적층판(CCL)과 달리 두께가 얇고 유연해 소형·경박단소화 추세의 디지털 기기를 중심으로 사용이 늘고 있다. 원재료인 폴리이미드(PI) 필름과 동박을 점착층을 사이에 두고 붙이는 3층 FCCL과 점착층 없이 바로 제작하는 2층 FCCL로 크게 나뉜다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 FCCL의 표면 즉 구리층의 피코초 및 나노초 레이저 가공후 그루브의 프로파일을 측정된 것으로서 Fig. 2(a)~(d)는 피코초 레이저를 이용한 실험결과이며 Fig. 2(e)~(h)는 나노초 레이저를 이용한 실험결과이다. 단위길이당 주입된 에너지는 0.01 J/mm로서 동일한 조건에서 가공하였다. 주요 결과로서는 피코초레이저의 경우 나노초레이

저의 경우보다 열영향이 적다는 것을 보여주고 있으며 나노초레이저의 경우 열영향으로 인하여 용융부가 솟아오르는 문제가 발생하였다. 이는 구리와 같이 고전도율 재료를 가공할 경우 파장이 짧은 피코초 레이저가 유리하다는 것을 보여주고 있다.



<Fig. 2> cross-sectional profiles of an ablated copper groove under the conditions: (a) Pave: 0.3 W, V: 30 mm/s, REP.: 50 kHz, N: 1, Dp: 12 ps, (b) Pave: 0.3 W, V: 30 mm/s, REP.: 100 kHz, N: 1, Dp: 12 ps (c) Pave: 0.3 W, V: 30 mm/s, REP.: 200 kHz, N: 1, Dp: 12 ps, (d) Pave: 0.3 W, V: 30 mm/s, REP.: 400 kHz, N: 1, Dp: 12 ps, (e) Pave: 2.7 W, REP.: 100 kHz, 270 mm/s, N: 1, Dp: 80 ns, (f) Pave: 2.7 W, REP.: 100 kHz, 540 mm/s, N: 2, Dp: 80 ns, (g) Pave: 2.7 W, REP.: 100 kHz, 810 mm/s, N: 3, Dp: 80 ns, and (h) Pave: 2.7 W, REP.: 100 kHz, 1080 mm/s, N: 4, Dp: 80 ns

Fig. 3 은 피코초 및 나노초 레이저를 이용한 폴리이미드의 절단면으로서 단위길이당 주입된 에너지는 피코초레이저의 경우 0.04 J/mm 나노초레이저의 경우 0.036-0.038 J/mm 를 주입하였다. 실험결과 나노초 레이저의 경우 피코초레이저의 경우보다 낮은 에너지가 주입되었음에도 불구하고 절단시간은 5~6 배가량 빠른 결과를 얻을 수 있었다. 또한 가공면 또한 피코초레이저의 경우와 마찬가지로 열적영향이 발생하지 않아 폴리이미드의 가공시에는 나노초 레이저가 유리하다는 것을 보여준다.

Fig. 4 는 피코초 및 나노초 레이저를 이용한 FCCL 의 절단면으로서 단위길이당 주입된 에너지는 피코초레이저의 경우 0.2 J/mm 나노초레이저의 경우 0.11-0.15 J/mm 를 주입하였다. 실험결과 나노초 레이저의 경우 피코초레이저의 경우보다 낮은 에너지가 주입되었음에도 불구하고 절단시간은 11 배가량 빠른 결과를 얻을 수 있었다. 그렇지만 가공부에서의 열영향 다량 발생하여 multi-layer 또는 rigid FPCB 의 경우 단락이 발생될 우려가 있다는 것을 보여주고 있다.

4. 결론

본 실험에서는 FPCB 의 기본재료인 폴리이미드 와 FCCL(구리+폴리이미드)을 이용하여 기초실험을 수행하였으며 그루브가공 및 절단가공을 통해서그루브의 단면프로파일 및 절단면의 열영향 유무를 판단하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 이는 구리와 같은 고전도율 재료를 가공할 경우 파장이 짧은 피코초 레이저가 유리함
- PI 의 outline 을 가공할 경우는 나노초레이저가 가공 속도면에서 유리함(열영향 비슷)
- FPCB 의 절단가공에 있어 동일한 에너지를 조사할 경우 나노초레이저의 경우가 피코초레이저의 경우보다 10 배가량 가공속도가 빠름

- 열영향 측면에서는 피코초레이저가 유리하며 생산성 측면에서는 나노초레이저가 유리함

	E_u (J/mm)	T (s/mm)	Micrographs	
ps-laser	0.04	0.067		
ns-laser	0.036 0.038	0.013 0.014		

Fig. 3 comparison of the cut edge of PI using ps-laser and ns-laser

	E_u (J/mm)	T (s/mm)	Micrographs	
ps-laser	0.2	0.33		
ns-laser	0.15 & 0.11	0.03		

Fig. 4 comparison of the cut edge of FCCL using ps-laser and ns-laser

후 기

본 연구는 산업자원부 지원사업인 차세대 신기술 개발 사업의 “첨단레이저 응용 미세가공기술 개발” 과제의 지원으로 수행된 것입니다.

참고문헌

1. Matt Henry, Paul Harrison, Jozef Wendland, Ducan Parsons-Karavassilis “Cutting Flexible Printed Circuit Board with a 532 nm Q-switched Diode Pumped Solid State Laser”, in *proceedings of ICALEO 2005*, pp. 412-419, 2005.
2. Schmidt, M., Eber, G. “The Future of Lasers in Electronics”, in *Proceedings of ICALEO 2003*, Jacksonville, Florida, LMF, pp. 112-123, 2003.
3. Owen, M.D. *Electronic Packaging: Electrical Interconnects, LIA Handbook of Laser Materials Processing, 1st Edition*, Magnolia Publishing Inc, Chapter 25, pp. 661-665, 2001.
4. Meier, D.J., Schmidt, S.H. “PCB Laser Technology for Rigid and Flex HDI: Via Formation”, *Structuring, and Routing, CircuiTree*, 2002.
5. N. Arnold and N. Bityurin “Model for laser-induced thermal degradation and ablation of polymers”, *Appl. Phys. A* Vol. 68, pp. 615-625, 1999.
6. G.C. D' Couto and S.V. Babu “Heat transfer and material removal in pulsed excimer-laser-induced ablation: Pulse width dependence”, *J. Appl. Phys.* Vol. 76, pp. 3052-3058, 1994.
7. S.R. Cain, F.C. Burns, C.E. Otis and B. Braren “Photothermal description of polymer ablation: Absorption behavior and degradation time scales”, *J. Appl. Phys.* Vol. 72, pp. 5172-5178, 1993.