

# UV 레이저를 사용한 차세대 플렉서블 PCB 드릴링 Advanced flexible PCB drilling using UV laser

\*기완욱<sup>1</sup>, #최병덕(bdchoi@skku.edu)<sup>1</sup>, 김광열<sup>1</sup>, 권석일<sup>1</sup>, 서종현<sup>2</sup>, 신성욱<sup>2</sup>, 권대갑<sup>3</sup>, 허원하<sup>4</sup>  
<sup>1</sup> 성균관대학교, <sup>2</sup> ㈜엘티에스, <sup>3</sup> 카이스트, <sup>4</sup> ㈜덕유

Key words : UV laser, via hole, PCB, prepreg, Copper 3-layer flexible PCB

## 1. 서론

플렉서블 PCB의 수요가 늘어나면서 이를 가공하는 방식의 패러다임도 다양해지고 있다. 도체층과 절연층을 한층씩 형성해 도체층을 쌓아가는 방식인 빌드업(build up) 패키지 방식에서는 층간의 고속 신호전달을 위해 미세크기의 드릴링 공정이 필요하게 된다.[2],[3],[7] PCB 내층간의 전기적 상호연결을 위한 기존의 드릴링 방식은 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 방식이었다. 하지만 PCB 생산 기술의 흐름이 점점 초고밀도, 고집적화, 초소형화로 바뀌어가면서 via hole 가공도 50 μm 이하, 혹은 25 μm 이하의 미세 가공이 요구되고 있다.[1],[5] 미세 가공을 위해서 소재에 열손상을 적게 입히면서도 미세 가공을 진행할 수 있는 UV 레이저에 대한 수요가 늘어나고 있는 실정이다.[4] 일본이나 유럽 등지에서 우수한 UV drilling 장비가 많이 생산되는데 반해 아직 우리나라에는 이러한 분야의 기술력이 많이 미약한 편이다. 이를 개선하기 위한 첫걸음으로 UV 드릴링 분야의 선진사인 ESI 사의 특허 분석을 기초로 하여 UV 레이저를 이용한 다양한 via hole 패턴 분석 및 parameter 값 조정을 통한 최적화된 드릴링 방법을 고안하였다. 기존의 패턴 유형에 다양한 패턴들을 조합하고, 레이저의 출력 및 주파수 등을 포함한 parameter 값들의 조정해가면서, 기존의 드릴링 패턴보다 개선된 결과를 도출하기 위한 실험을 진행하였다.

## 2. 실험 과정

이번 미세 홀 가공에서는 Galvano Scanner 광학계를 이용하였다. 두 개의 미러를 통한 제어와 F-theta 렌즈를 이용한 초점 조절 및 세밀화가 가능하다.

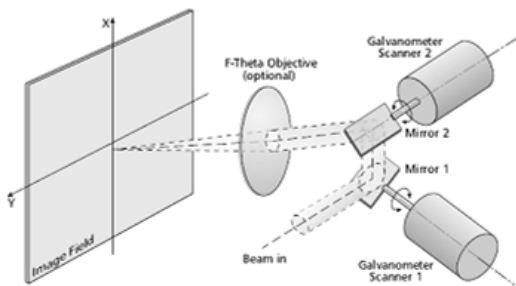


Fig. 1 Diagram of galvanometer

Copper 3-layer의 두 layer 사이에 전열체 역할을 하는 prepreg 2-layer의 형태를 띄고 있는 FPCB 가공에 사용한 UV 레이저의 사양은 다음과 같다.

Table 1 specification of laser

Max Power	20W
Pulse	30n/s
Wavelength	355nm

이 구조의 FPCB를 사용하여 실험한 이유는, 상업적으로 그 수요가 늘어나고 있으며 그 효율 역시 뛰어나기

때문이다.[6] 하지만 그 가공법에 확실한 표준이 아직 정립되지 않은 상태이므로 이를 타개할 모범적인 해결책을 찾기 위해서 이번 소재를 선택하게 되었다. 이를 상업적으로 용이하게 쓰기 위해서는 drilling 공정을 빠르고 정확하게 해야 하는데, hole 가공의 quality를 측정할 기준에는 hole의 진원도와 2층 prepreg의 제거 정도, 2층 Copper층의 damage 정도가 있다. 이를 모두 고려하여 최적의 조건 하에서 가장 상업성이 뛰어난 홀 가공을 위해 4 단계의 실험과 기타 3 가지 공정을 추가로 진행하였다. Fig. 2은 본 실험에서 가공하려는 Copper 재질의 FPCB 단면도이며 빨간색 표시된 부분은 가공할 영역을 나타낸다.

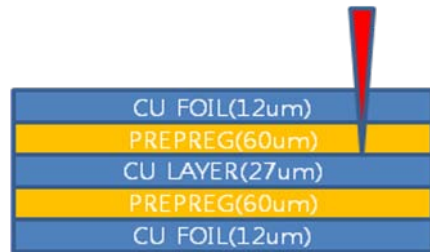


Fig. 2 Diagram of process in Copper 3-layer flexible PCB

이 실험의 가장 중요 포인트는 가운데 Copper layer에 최대한으로 손상을 적게 입히면서 Prepreg layer를 깨끗하게 제거하는 것이다. Exp.1은 아래 그림과 같이 나선형 pattern과 외곽 나선형 pattern, 테니스 라켓 형태의 양방향 해칭을 조합하여 가공하는 것이었다. Exp.2는 나선형 pattern 외곽 나선형 pattern, 마지막으로 다시 한번 나선형 pattern으로 마무리하는 아이디어다. Exp.3과 Exp.4는 나선형과 양방향 테니스 라켓형 해칭의 조합으로, 마지막 네 번째 아이디어는 주파수를 60kHz에서 10kHz로 줄여서 진행하였다. 결과 비교 및 분석을 돕기 위해 ‘ㄹ’자 해칭, ‘-’자 해칭 그리고 동심원 형태의 해칭 또한 진행하였다.



Fig. 3 Diagram of step of processing pattern using first idea in Copper 3-layer flexible PCB

아래 표는 실험 조건과 Parameter 값이다.

Table 2 Parameter of four type experiments

	Speed (mm/s)	Diameter (μm)	Frequency (kHz)	Patten
Exp.1	160	115	60	Spiral*2+racket
Exp.2	160	115	60	Spiral*3
Exp.3	160	115	60	Spiral+racket

Exp.4	160	115	10	Spiral+racket
-------	-----	-----	----	---------------

### 3. 결과 및 고찰

Exp.1에서는 기존의 드릴링 기법인 나선형 패턴에서 외곽 나선형 패턴과 테니스 라켓형 양방향 해칭을 이용하여 진행하였다. 그 결과 표면은 깔끔하게 나왔으나 prepreg 가 약간 남았으며 바닥 모양의 진원도가 높지 않았다. 구리와 prepreg 층이 레이저 가공성에 있어서의 확연한 차이가 없기 때문에 이러한 현상이 발생했다고 추측할 수 있다. Exp.2에서는 첫 번째 실험과 큰 차이가 없었다. 하지만 테미지 안정성 면에서는 떨어졌다. Exp.3에서는 진원도가 대부분 높게 나오는 표면에서조차 진원도가 완벽하지는 않았으며, 중간면의 prepreg 층이나 바닥면의 진원도가 무척 낮았다. Prepreg 잔존현상이 가장 큰 문제점이었다. Exp.4는 4가지 실험들 중에서 가장 좋은 결과를 나타내었다. 표면이나 바닥면의 테미지도 거의 없었으며, 중간면의 진원도도 높았다. 하지만 여전히 prepreg 의 잔존은 완벽히 해결하지는 못하였다. 가공성의 차이 때문에 출력과 주파수를 다르게 하여 다양한 스텝으로도 진행을 시도했으나, 생산성 측면에서 너무 떨어지는 결과를 초래하게 되었다. 구리 층과 prepreg 층을 동시에 제거하기에는 나선형 패턴이 좋고, 마무리 공정 시에는 라켓형 패턴이 좋은 것으로 실험 도중 알 수 있었다. 세 번의 스텝으로도 가능하였으나, 두 번의 스텝에서 두 번째 공정에서 주파수를 낮춰서 남은 prepreg 층을 제거하고 2-layer 구리 층에 damage 를 적게 입히는 것이 최적의 결과로 해석되었다. 추가로 진행한 ‘ㄷ’자 해칭, ‘一’자 해칭, 동심원 해칭은 모두 진원도나 prepreg 잔존 여부에서 결과가 좋지 않았다. 아래 표는 각 실험 별 결과 값들이다.

Table 3 Result of four type experiments

	Tact time(s/hole)	Out of roundness(%)
Exp.1	0.050	88
Exp.2	0.038	83
Exp.3	0.045	65
Exp.4	0.045	90

아래 사진은 진행한 실험들 중에서 가장 결과가 좋았던 Exp.4의 홀 가공 모습이다.



Fig. 4 picture of result in processing using fourth idea in Copper 3-layer flexible PCB

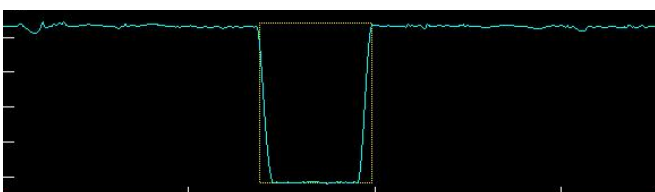


Fig. 5 3D profiling picture of result in processing using fourth idea in Copper 3-layer flexible PCB

Exp.4는 바닥면의 테미지와 중간면의 prepreg 의 제거를 위해서 다양한 변수를 조정해가며 진행하였다. 하지만 첫 번째 고려 요소인 바닥면의 damage 를 최소한으로 줄이기 위해서 uv 레이저의 출력과 주파수를 줄여야 했으며, 구리와 비슷한 레이저 가공성을 지닌 prepreg 때문에, 가운데 prepreg 층만을 깔끔하게 제거하기가 어려웠다.[8] 또한 소재의 열변형을 최소화한다는 소기의 목적을 위해 UV 레이저를 사용하여 수 단계의 층별 가공을 시행했어야 하는 점도 이같이 완벽한 형태의 홀 가공을 하지 못한 원인이라 사료된다. 이를 개선하기 위해서는 좀 더 다양한 절차의 패턴 분석과 parameter 값의 조정을 통해서 접근해야 할 것이다.

### 4. 결론

UV 레이저를 사용하여 가공한 이유는 기존의 CO<sub>2</sub> 레이저에 비해 소재에 미치는 열변형이 적으며, 좀더 미세한 가공에 적합하기 때문이었다. 그러므로 이번 플렉서블 PCB 가공 실험에서는 특히 그러한 열에 의한 손상을 최대한 방지하는 방향으로 진행하였다. 네 가지의 주요 아이디어로 진행한 실험에서는 결국 Exp.4에서 열변형은 거의 일어나지 않았으며, 진원도도 높게 나왔다. 특히 tact time 이 Exp.2을 제외하고는 가장 빠른 0.045s/hole 이며 진원도도 90%로 가장 높게 측정되었다. 하지만 이를 좀더 상업적으로 이용하기 위해서는 우선적으로 prepreg 잔존 현상을 해결하는 것이 필요하다. 이것이 플렉서블 PCB의 효율에 미치는 영향이 어떠한지는 좀더 연구가 필요하겠지만 앞으로 필요할 더욱 미세한 가공을 위해서라도 이를 개선할 수 있는 해결책을 찾는 것은 가치 있는 연구가 될 수 있을 것이다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 지원, 산업원천기술개발사업에 의하여 (주)LTS(100133701)주관으로 수행된 과제임.

### 참고문헌

1. Capers, C. Cost-Effective Use of Microvias, Printed Circuit Design, March, 14-16, 2003.
2. Dunsky, C. High-Speed Microvia Formation with UV Solid-State Lasers, Proceeding of the IEEE, 90, 1670-1680, 2002.
3. Zhang, C., Salama, I. A., Quick, N. R. and Kar, A. Modelling of Microvia Drilling with a Nd:YAG Laser, J. Phys. D: Appl. Phys., 39, 1-9, 2006.
4. Zhang, C., Salama, I. A., Quick, N. R. and Kar, A. One-Dimensional Transient Analysis of Volumetric Heating for Laser Drilling, J. Appl. Phys., 99, 113530, 2006.
5. Strombeck, P. and Kar, A. Self-focusing and beam attenuation in laser materials, 1998.
6. H. Hayashi and I. Miyamoto, "Process of thin Cu film removal by KrF excimer laser", ICALEO'95, pp. 391-400, 1995.
7. W. W. Duley, UV Lasers: Effects and Applications in Material Science, Cambridge University Press, 1996.
8. H. Endert, M. Scaggs, D. Basting, U. Stamm, New UV lasers for materials processing in industrial applications, Section A-ICALEO, 1997.