

# PCB pattern 미세화에 따른 UV laser driller의 개발

박홍진, 서중현 | (주)엘티에스

## [ 요약문 ]

최근 휴대폰 등 모바일 전자기기 산업에서 차세대 고부가 PCB(MLB, HDI, FPC, 등) 및 고기능 PCB(COF, MOF, SOF)의 급속한 적용 확대로 직경20 $\mu$ m급의 비아홀(viahole) 및 interconnection 홀 가공을 위한 초정밀/초고속 레이저 드릴링 공정 및 장비기술 개발에 대한 시장의 요구가 급증하고 있다. 이에 반해 기존의 CO<sub>2</sub> 레이저 드릴링은 기술적 한계에 도달하여 시장의 요구에 대응이 불가하며, 선진업체에서는 최근 UV 레이저 드릴링 장비에 대한 시장 점유율을 높여가고 있다. 특히 국내시장은 미국의 ESI사가 독점하고 있어 개선투자를 통한 국산화 절실한 상황이다.

이에 당사에서는 초고속/초정밀 UV laser 시스템을 이용한 FPC via hole drilling을 연구과제로 개발을 진행하고 있으며 국산화를 넘어서 세계시장점유를 목표로 공정장비개발을 진행중이다.

## 1. 서론

레이저 Via Hole이 필요한 빌드업(Build-Up) 패키지 방식은 PCB형성에 있어서 도체층과 절연층을 한층씩 형성해 도체층을 쌓아가는 방식으로 차례로 적층하면서 층간의 고속 신호전달을 위해서는 연결통로가 필요하므로 미세 크기의 드릴과 동도금을 이용한 층간 접속법이 널리 이용된다.

이렇게 PCB 내층간의 전기적인 상호연결을 구성하기 위한 Via Hole을 CO<sub>2</sub> 레이저로 드릴하는 기술은 이미 PCB 생산에 있어서는 필수적인 공정이 되어 있다. 여기에 최근 PCB 생산기술의 흐름이 경박단소를 추구하는 고집적화로 진행되면서, Via Hole도 50 $\mu$ m 이하, 혹은 25 $\mu$ m 이하의 고미세홀로 요구되고 있다. 더욱이 스마트폰을 포함한 모바일 시장이 고성장세를 유지할 것으로 예상되는 가운데, 연성기판상에 동박의 예비에칭 없이 폴리머와 동박을 함께 direct 드릴링할 필요성 또한 증가하면서 CO<sub>2</sub> 레이저 대신 UV 레이저를 이용한 드릴공정 및 장비기술의 개발이 절실히 요구되고 있다.

기존의 이 분야에서는 출시된 국산장비가 전무하여 미국 및 일본의 UV Driller장비가 상당수 이용되고 있는 바 이를 국산화하기 위한 개발이 성공적으로 수행될 경우, 수입대체 및 해외 진출의 효과가 상당히 클 것으로 보이며, 휴대전화용 기판을 포함한 전체 시장의 규모는 2010이후에 600억불 이상으로 예상된다.

## 2. UV laser drilling 기술 개요

### 2.1 기술의 필요성

본 과제를 통해서 개발하고자 하는 초정밀/초고속 UV레이저 드릴링 기술 및 장비는 고기능 모바일 전자기기 산업



에서 MLB(Multi-Layer Board), HDI(High Density Interconnection), FPC(Flexible Printed Circuit)의 비아홀 가공을 목적으로 하며, 기존 CO<sub>2</sub> Laser 천공장비에 대해 다음과 같이 차별화된다.

첫번째로 PCB기판의 고성능화, 회로의 고밀도화가 진행되면서 보다 작은 blind via hole 및 관통홀이 요구되는 점을 들 수 있다. 기존의 CO<sub>2</sub> Laser로 가능한 via hole size의 영역은 약 50 $\mu$ m 이상의 직경을 갖는 경우이며, 현재 요구되는 25 $\mu$ m 내외의 via size를 달성하기 위해서는 그림 1의 자료(좌)에서도 볼 수 있듯이 355nm 파장의 UV laser와 같은 단파장 레이저를 이용해야만 한다.<sup>1), 2), 3)</sup>

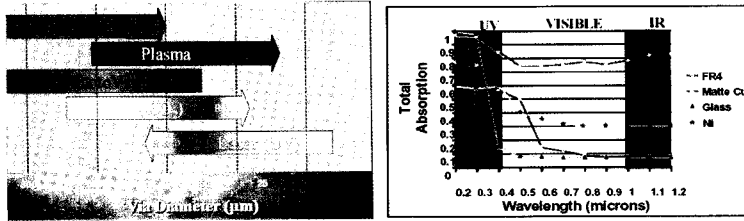


그림 1. (좌) 가공방식에 따라 가능한 via hole size, (우) 파장에 따른 FPC구성 물질의 레이저흡수도

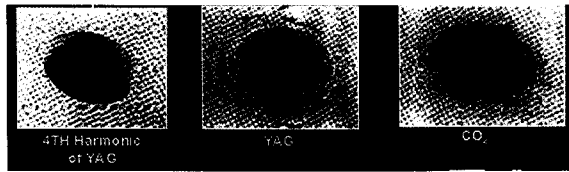


그림 2. 파장에 따른 드릴 가공성의 차이; UV-Visible-IR

두 번째 UV laser로의 기술적 driving force는 FPC를 구성하는 여러 가지 물질에 대한 레이저 파장별 가공성에서 얻어진다. 동박으로 conformal mask가 구성되어 있는 상태에서 Resin물질만을 ablation하는 CO<sub>2</sub> driller와는 다르게 FPC의 구성은 polyimide, copper, glass fiber, aramid 등 금속과 폴리머를 망라한 여러 가지 물질들로 이루어져 있고, 이러한 여러 가지 물질에 대한 CO<sub>2</sub> laser의 가공성은 상기 흡수도 그래프에서 보듯이 상당히 큰 차이가 있다. 반면 UV laser쪽의 단파장 영역 FPC물질에 따른 흡수도 차이가 공성에서 완화되며, 이러한 특성을 가지는 PCUV laser 파장을 이용 물질한층의 절연막 뿐만이 아닌 여러층의 다양한 물질 구조를 관통하는 가공이 가능해짐을 알 수 있다.

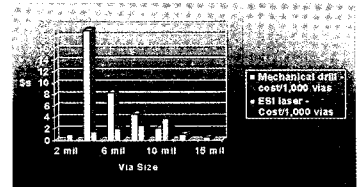


그림 3. 기계적 드릴방식과 레이저 방식의 COST 비교, 출처 : ESI

기본적으로 CO<sub>2</sub> laser의 장파장 영역에서는 heating, melting등의 photo thermal 효과가 두드러지고, UV laser이하의 단파장에서는 분자간의 결합을 끊어내는 photochemical 작용이 우세하므로 열영향을 최소화한 깨끗한 가공이 가능한 것도 UV laser 가공의 장점이라 할 것이다.

또한 위 chart에서와 같이 홀 가공방식별로 생산현장에서의 유지보수비를 살펴보면 레이저 via drilling의 장점을 발견할 수 있다. 기계적인 드릴방식에서는 비아홀 직경이 줄어들수록 유지비용이 감당할 수 없을 정도로 증가되는 것은 이미 주지의 사실이며, 레이저 드릴의 경우에는 비아홀 직경이 작아질수록 가공에 사용된 light cost는 줄어들게 되고, 초기 투자비에서 부담이 있으나 CO<sub>2</sub> laser에 비해서 DPSS UV laser의 유지보수비는 동등 이하로 산출된다.

이러한 기술적 차별성과 개발의 당위성을 가지고 있는 UV laser driller의 국내 장비시장은 수입장비(주로 미국)가 독점하고 있어, 국내장비의 기술 및 가격 경쟁력 제고를 위해 기술개발 투자가 절실하다.

더욱이 비교적 기술력 우위에 있었던 과거와는 달리, 중국의 시장점유율 상승과 기술력 향상을 위한 투자가 확대

되면서 향후의 시장주도에 대한 위기감도 존재하고 있는 상황이다. 그러나 기존의 CO<sub>2</sub> 레이저 드릴링 장비에 비해 UV 레이저 드릴링 장비는 아직도 시장이 형성되고 있는 단계이므로, 본 과제와 같은 국내 연구개발을 통하여 일본 및 미국장비와의 기술격차를 극복하는 것이 가능하며, 향후의 기술 경쟁력 확보 및 기술선도도 가능하다고 생각된다.

다음 그림들은 일반적인 연성회로기판과 FPC의 적층구조, 구성물질을 보여주고 있으며 레이저가공 및 동도금된 비아홀을 나타내는 사진을 실었다.

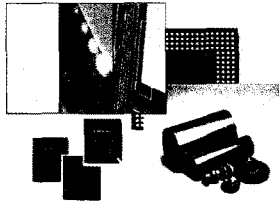


그림 4. 연성회로기판(flexible printed circuit board)

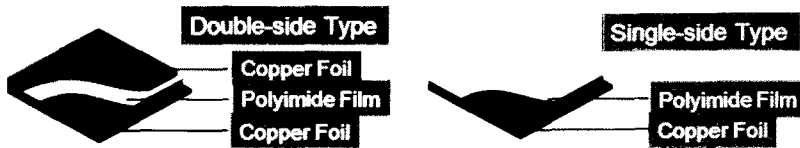


그림 5. 일반적인 FPC의 적층구조와 구성물질



그림 6. 레이저 가공된 blind viahole 및 관통 ViaHole

## 2.2 대상 기술의 개념 및 구성

레이저빔을 이용한 가공시스템의 대부분은 그림 7과 같은 4가지 방식 중의 하나를 택하여 구성된다. 이러한 방식들 중 기존의 UV laser Driller에서 넓게 채용되는 방식은 갈바노 스캐너와 Telecentric Lens를 이용한 고속 가공 방식인데, 스테이지나 Gantry만을 이용한 방식보다는 정밀도에 있어서 불리하나, 고속의 드릴링이 가능하여 초당 1천개 이상의 홀을 형성해야 하는 본과제의 경우에 필수적이다. 다음에 갈바노 스캐너를 이용한 가공방식의 개념도를 나타내었다.

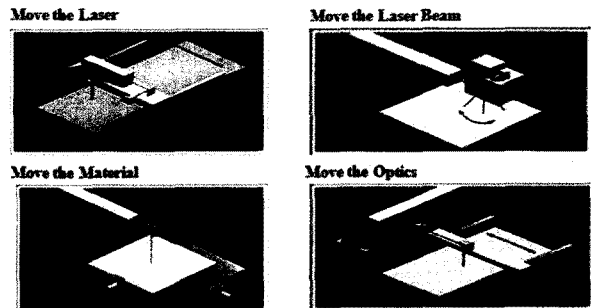


그림 7. 레이저빔을 이용한 가공시스템 방식일반

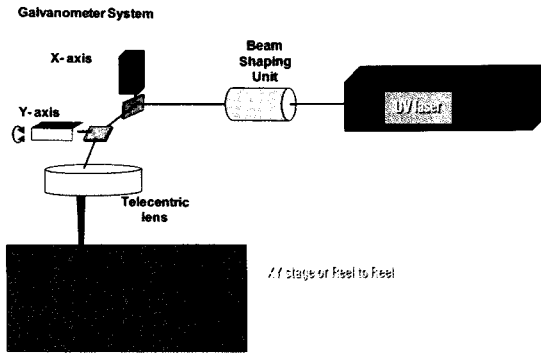


그림 8. 갈바노 스캐너를 이용한 가공의 개념도

갈바노 스캐너를 이용할 경우 가공가능한 광학적 field size의 대략적으로 일반분의 일에 해당되는 위치오차를 가지고 있으며, 이는 반복적인 위치결정 정확도와 갈바노 모터를 구성하는 구성품의 온도변화에 따른 수축, 팽창과 관련된다.

시장에서 요구되는 생산속도에 부합하기 위해서 스캐너를 채용하더라도 그 정밀도는 유지 되어야 하기 때문에 광학적 field size를 넓게 구성하는데 한계가 있다. 기존시장을 장악하고 있는 외산장비업체들의 경우를 살펴보면, H사는 50mmx50mm 정도의 비교적 큰 영역을 광학적인 단위로 전체가공면적을 분할하고 있는데 반해, E사는 16mmx16mm 정도의 작은 가공영역을 고수하고 있다. 이렇게 영역을 작게 했을 경우 분할가공 위치마다 스테이지 이동횟수가 증가하여, 생산시간이 증가함에도 불구하고, 이러한 방식을 적용하는 것은 연성회로기관에 direct drilling할 때 상당한 정밀도가 요구되며, 스캔영역이 넓은 렌즈를 사용했을 때, 이러한 정밀도 요구를 만족하기 어렵다는 것을 말해준다. 아래에 대표적인 UV via driller 제조사인 E사와 H사의 장비에서 낼 수 있는 성능을 비교해 보았다. 두 회사의 장비가 정밀도와 속도에서 차별화되어 있음을 알 수 있다.

표 1. 대표적인 기존 외산장비의 performance 비교

사양 항목	H사	E사	비고
필드사이즈(mm <sup>2</sup> )	50 x 50	16 x 16	
스캐닝 속도	2000pps	2000pps	
레이저 출력(W)	10W@50kHz	8W@30kHz x2	
Repetition Rate	25~100kHz	30~70kHz	
가공 방식	Punching Trepanning	Punching Trepanning Spiraling	
광학concept	multiple beam	single beam	
천공 속도	>2000 hole/sec (resin drill)	>833 holes/sec (single layer thru hole)	Ø100μm

다음에 시장에서 일반적으로 사용되고 있는 미국 E사의 UV driller의 외형을 나타내었다.

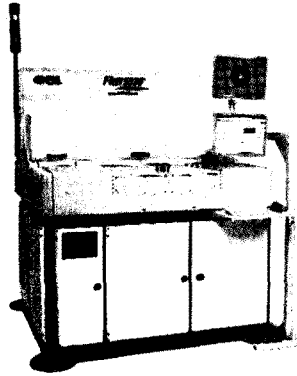


그림 9. 경쟁사(ESI)장비의 외관사진 출처: ESI

개발을 위한 기초적인 요소기술은 아래와 같은 구성체계로 요약된다.

표 2. 초정밀/초고속 레이저 드릴링 장비의 구성요소

구성요소	적용 방식	비고
레이저소스 및 제어부	DPSS UV Laser(355nm)	
레이저빔 운용 광학계	갈바노 스캐너 및 F-theta Lens	
스테이지/스캐너 연동제어	Motion Controller 및 DSP card	실시간 연동 제어 알고리즘
자재 이송	고정밀 스테이지(Hybrid/stack) Roll-to-Roll Subsystem	Vacuum Chuck 고정
가공위치 인식	Vision & Image processing 보드	
사용자 조작성	PC base GUI program구성	C++

### 3. 실험결과

#### 3.1 레이저 가공변수 최적화

UV 레이저빔을 이용한 FPC via hole가공시에 중요하게 검토되어야 할 인자들은 다음과 같다.

- Frequency, 출력등의 레이저빔 파라메타
- Focus 위치, 집속된 점 크기 등의 광학적 파라메타
- 고속 스캐닝에서 위치오차 및 가공시간 최소화를 위한 갈바노 스캐너 파라메타
- 각 홀을 스캐닝하는 궤적을 최적화한 패턴 및 드릴방식 디자인<sup>9)</sup>

테스트를 위한 FPC 자재로는 다음 그림과 같은 동박과 Prepreg의 적층구조를 가진 double layer 기판을 사용하였으며, 12um 정도 두께의 동박과 60um 정도 두께의 절연층을 천공하여 다시 동박이 깨끗하게 드러나게 하는 과정을 수행하였다.

사용된 레이저는 355nm 파장을 가진 UV laser로 미국의 Coherent 사 AVIA 모델을 사용하였고, 광학계를 거쳐서 실제 가공에 사용된 출력은 약 12watt 정도, 레이저 반복률은 약 60kHz 정도로 최적화시켰다.

1차 실험에서는 가공중 집속된 레이저빔의 Focus를 변화시키지 않고 진행하였으며, 2차 실험에서는 가공시 빔

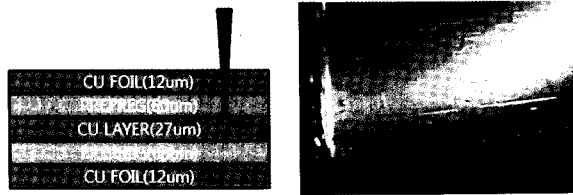
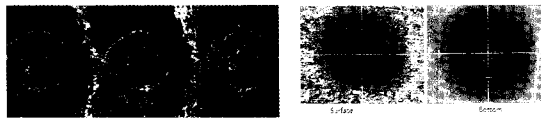


그림 10. 테스트 자재 적층구조 및 외관

Focus를 defocus시키는 step을 추가하여 그 결과를 1단계 실험과 비교하였다. 이용된 레이저빔의 최소초점직경은 약 25um였다.



1) Focused beam 사용      2) defocus beam 사용

그림 11. Focused beam만을 사용한 결과와 단계적으로 defocused beam을 사용한 결과의 비교

전체장비의 구동방식과 더불어 드릴가공의 속도를 좌우하는 요소기술은 갈바노 스캐너의 운용기술이다. 일반적으로 갈바노 스캐너를 고속운용시에는 가공해야할 위치간에 고속으로 jump이동을 한 후, 스캐너의 움직임이 settling 되도록 일정시간을 지연한 후, laser shot을 가하는 jump delay 등 스캐너 움직임과 레이저 펄스간 최적의 연동을 감안한 파라메타가 존재한다. 본 실험에서는 이러한 여러 가지의 파라메타 tuning을 통한 가공시간 최소화를 진행하였으나, 가공성 위주의 실험취지 달성을 목표로 하여 향후 더욱 세밀한 최적화가 진행될 예정이다.

가공 패턴에 대해서는 아래 그림과 같은 spiral pattern을 이용하여 가공을 진행하였다. 결과적으로 최상층의 동박을 가공하기 위해서는 copper물질의 가공 threshold가 높으므로 focus된 레이저빔을 이용하여 홀가공크기의 외곽부를 tepanning하는 궤적이 필요하며, 이후에 풀리며 계열의 절연물질 가공을 위해서는 새로이 드러나는 하부 동박 위에 절연물질이 잔존하지 않기 위해 defocus된 레이저빔으로 넓은 영역을 중복해서 cleaning하는 효과를 준다.<sup>5), 7)</sup>

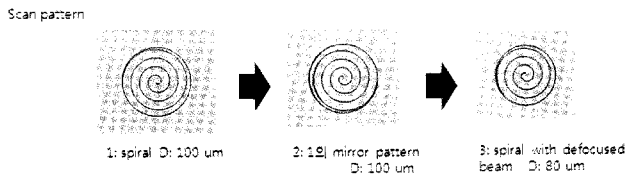
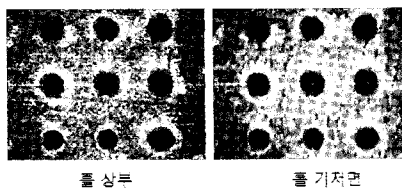


그림 12. Laser drilling 실험에 적용된 spiral patterns



홀 상부      홀 가저면

그림 13. 최적화된 via hole 레이저 가공결과

### 3.2 레이저 가공 궤적의 최적화

드릴링 시스템의 제작시 생산성을 위한 중요한 고려요소에는 드릴링을 위한 스캐너 운용시의 최단 궤적 형성부와 전체자재상에서 scan 가공 head의 순차적인 궤적 최적화에 있다. 이를 위하여 당사에서는 성균관대학교 전자전기공학 연구실과 협력하여 드릴위치에 따른 최소거리이동을 위한 궤적생성 알고리즘을 비교, 최적화 중에 있다. 이 방법은 다음과 같은 K-means method를 이용하여 가공의 중심점을 이동하면서 반복된 계산에 의해 중심점 위치를 최적화하는 것으로 레이저드릴에서 가공 중심점이란 스캐너를 탑재한 가공헤드의 위치로 생각할 수 있다. 하나의 자재에 수만개 이상의 홀이 분포하는 PCB 천공속도의 효율화를 위해서는 이러한 최적화가 필수적이며, 상당한 효율개선이 이루어질 것으로 생각된다.<sup>3),4)</sup>

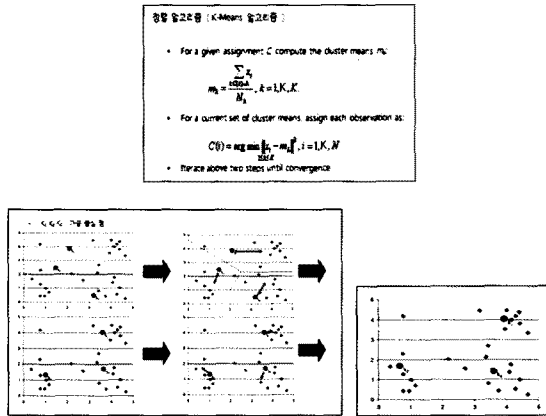


그림 14. K-means 알고리즘을 이용한 가공중심점 탐색

## 4. 맺음말

최근 스마트폰을 포함한 국산 휴대폰이 전세계적으로 채택되고 있고, 슬라셀산업이나 각종 mobile기기에서도 flexible한 구조의 PCB 및 기능재료의 중요성이 날로 높아지고 있다. 그러나 이러한 최종제품 생산을 든든히 지원해야 할 제조설비 및 원자재 분야에서는 국산화율이 현저히 떨어지는 현실을 돌아보면, FPCB 설비 국산화의 핵심중 하나인 UV레이저 드릴러 개발은 상징적인 의미가 크다 할 수 있다. 안정적으로 쓸 수 있는 장비, 다목적으로 운용가능한 장비, 유지보수비가 적게 드는 장비를 국내에서 공급받고자 하는 PCB제조사들의 바람은 이제 기술적으로 충분히 가능하다고 생각된다. 광학적인 운용기술, 전자제어적인 기술 등 필요한 요소기술 확보와 개발 인력 양성 그리고 향후 시장에서 필요한 심화기술의 선점까지를 목표로 현재 개발이 진행중이며, 수년 이내로 국산장비의 해외수출까지 기대해 본다.

## ❖ 참고 문헌

[1] Capers, C. (2003) Cost-Effective Use of Microvias, Printed Circuit Design, March, 14-16  
 [2] Dunsky, C. (2002) High-Speed Microvia Formation with UV Solid-State Lasers, Proceeding of the IEEE, 90, 1670-1680



- [3] Zhang, C., Salama, I. A., Quick, N. R. and Kar, A. (2006) Modelling of Microvia Drilling with a Nd:YAG Laser, J. Phys. D: Appl. Phys., 39, 1-9
- [4] Zhang, C., Salama, I. A., Quick, N. R. and Kar, A. (2006) One-Dimensional Transient Analysis of Volumetric Heating for Laser Drilling, J. Appl. Phys., 99, 113530
- [5] Strombeck, P. and Kar, A. (1998) Self-focusing and beam attenuation in laser materials processing, J. Phys. D: Appl. Phys. 31, 1438
- [6] Anderson, D. A., Tannehill, J. C. and Pletcher R.H. (1984) Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, Hemisphere, New York, 166
- [7] Zhang, C., Quick, N. R. and Kar, A. (2007) Effects of self-defocusing in laser drilling of polymeric materials, submitted to J. Appl. Phys.



박 홍 진

- ㈜엘티에스 대표이사
- 관심분야 : 레이저 응용 미세가공
- E-mail : hjpark@ttsolution.com



서 종 현

- ㈜엘티에스/전력기술사업부장
- 관심분야 : 반도체, PCB, 솔라셀 산업 공정 효율화 및 레이저 응용
- E-mail : jhsuh@ttsolution.com