

# 신개념 레이저 기반 초정밀·초고속 가공시스템 개발 동향

초정밀·초고속 레이저 가공공정 및 장비는 유연소재의 태양전지, 인쇄전자소자(printed electronics devices)의 초고속 절단공정, 고기능·다기능 모바일 기기용 고부가 PCB의 초정밀·초고속 레이저 드릴링 및 복합·유연 가공 등에 적용된다. 최근 레이저 가공기 연구개발 패러다임은 레이저 의존형 장비 개발에서 레이저 맞춤형 장비 개발로 변화되고 있다. 즉, 수입된 레이저 발진기 및 광학기기를 사용하여 레이저 공정 및 장비를 개발하는 방식에서 벗어나, 개발하고자 하는 공정 및 장비에 최적화된 레이저 발진기 개발을 병행하는 것이다. 이러한 상황에서 최근 지식경제부 산업원천기술개발사업으로 신개념 레이저 기반 초정밀·초고속 가공시스템 개발이 착수되었으며, 본 고에서는 이에 대한 전반적인 내용을 소개하고자 한다. 〈편집자 주〉

## 1. 시스템 구조

신개념 레이저 기반 초정밀·초고속 가공시스템은 각각의 레이저 가공공정의 특성에 최적화된 맞춤형 신개념 고효율·고품질 레이저 발진기 기술, 고집적·대면적 고정세 부품의 가공을 위한 초정밀·초고속 레이저 가공공정 기술, 레이저 가공공정 및 장비의 초정밀화·초고속화를 위한 초정밀·초고속 가공시스템 핵심요소 기술 등으로 구성되어 있다.

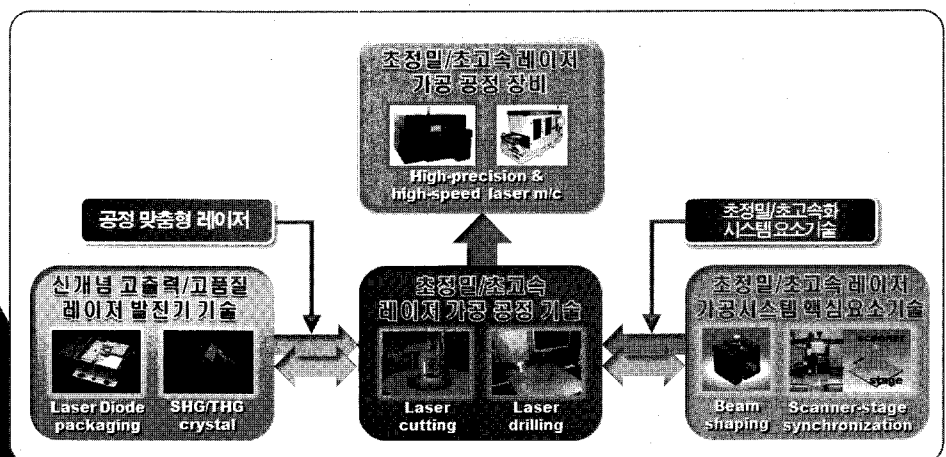


그림 1. 신개념 레이저 기반 초정밀·초고속 가공시스템의 구조도

신개념 고효율·고품질 레이저 발전기 기술은 레이저 발전기의 고효율화를 위한 신개념 LD(laser diode) 패키징 기술, 레이저 빔의 단파장화를 위한 SHG(second harmonic generation), THG(third harmonic generation) 용 광학계 설계 기술 등을 포함한다. 그리고 초정밀·초고속 레이저 가공공정에서 요구하는 맞춤형 레이저 발전기의 특성을 갖추기 위해 발전기를 구성하는 주요 광학계를 최적 설계해야 한다. 초정밀·초고속 레이저 가공공정 기술은 재료의 점·선·면 제거공정으로 유연성 소재의 초정밀·초고속 절단, 제거, 트리밍, 리페어 공정 등이 가능한 초정밀·초고속 레이저 복합·유연 가공공정 및 장비기술, 고기능·다기능 모바일 기기용 고부가 PCB의 비아홀(viahole) 및 interconnection홀 가공을 위한 초정밀·초고속 레이저 드릴링 공정 및 장비 기술을 포함한다. 공정 개발 시, 각 공정 특성상 요구되는 레이저 발전기 및 가공시스템 핵심요소 기술의 최적 사양을 피드백한다.

초정밀·초고속 레이저 가공시스템 핵심요소 기술은 레이저 가공공정의 초고속화를 위한 scanner-stage 연동 기술, 레이저 가공공정의 초정밀화를 위한 공통 핵심원천 기술로써 초정밀 레이저 빔 shaping 기술 등을 포함한다. Scanner-stage 연동 기술은 레이저 빔 집속기구(scanner)와 이송기구(stage)를 on-the-fly 방식으로 연동하기 위한 다축 시스템 제어 기술이다. 각각의 초정밀·초고속 레이저 가공공정 및 장비에 최적화된 핵심요소 기술을 개발하기 위해 가공공정 기술과 유기적으로 연계하여 기술을 개발한다. 레이저 빔 shaping 기술은 레이저 빔의 형상(profile)을 점·선·면 등으로 조절하고, 레이저 빔의 에너지 분포(Gaussian 분포)를 top-hat, hallow 분포 등 다양한 형태로 조절하기 위한 광학계 설계 기술이다.

## 2. 시장 환경

### 2.1. 시장의 특징

신개념 고효율·고품질 레이저 기반 초정밀·초고속 가공시스템 기술은 세계시장 4,200억불(2007년 기준)의 마이크로 전자산업(반도체, 디스플레이, 태양전지, 고부가 PCB, 차세대 패키징 산업 등)을 target 시장으로 하고 있다. 마이크로 전자산업 분야 제품의 고정세화·대면적화 추세로 신개념 고효율·고품질 레이저 기반 초정밀·초고속 가공시스템의 수요는 지속적으로 확대될 전망이다. 2007년 레이저 가공기의 세계시장은 2,4조이며, 연평균

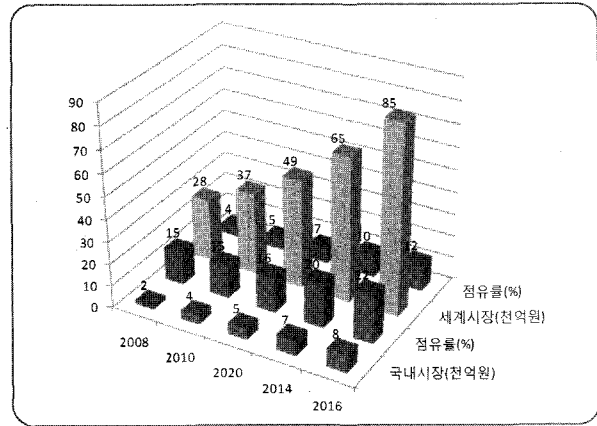


그림 2. 마이크로 전자산업 분야 레이저 가공기 세계 시장 추이 (출처 : Optech consulting, 2006, Germany)

성장률 17.2%로 예측되고 있다(Optech consulting 2006, Germany). 유연소재 태양전지, 인쇄전자소자의 경우 다양한 산업에 대한 적용 가능성이 매우 높으며, 이를 위해서는 제품의 저가격화가 필연적으로 요구되고 있으므로, 초고속 절단공정에 대한 수요가 급증할 것으로 예상된다.

현재 레이저 가공기 세계시장은 미국, 유럽, 일본 등이 97% 이상을 점유하고 있다. 아시아 시장의 규모는 세계시장의 32% 정도를 차지하고 있으며, 최근 중국을 비롯한 아시아 국가들의 점유율이 점차 높아지고 있는 상황이다. 미국, 독일 등이 앞선 기술을 보유하고 있으며, 최근 중국기업들이 미국, 독일, 일본의 레이저 미세가공 장비를 벤치마킹하여 저가의 레이저 가공기를 출시하고 있다.

### 2.2. 해외 시장 동향

〈표1〉 레이저 가공기의 해외 시장 규모

(단위 : 금억·억원, 점유율-%)

구분	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	
세계 시장	금 액	15,000	17,580	20,600	24,140	28,290
	점유율	2	3	3	3	4

※산출근거 : Optech consulting 2006 (Germany) - PCB, 반도체, 전자 부품 등을 가공하는 레이저 가공기 시장

현재 마이크로 전자산업에 적용되는 상용 레이저 가공기에 탑재되는 레이저 발전기의 경우, 고효율화 및 단파장화가 전반적인 추세로 평균 출력 10W급 이상의 UV 레이저 발전기가 주류를 이루고 있다.

레이저 산업의 동향

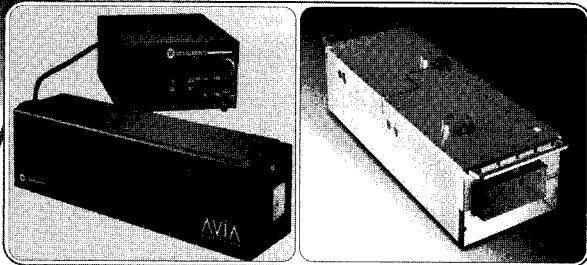


그림 3. 고출력 DPSS UV 레이저 발전기  
(Coherent사 - AVIA 28W, Spectra-Physics사 - Pulseo 20W)

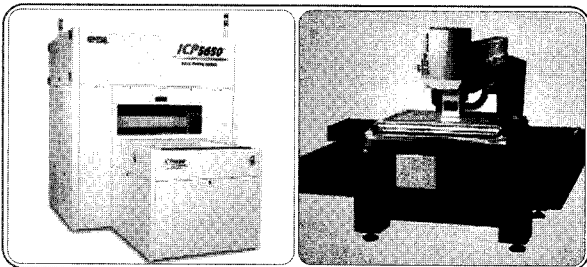


그림 4. 듀얼 레이저 헤드 가공기(ESI사, 미국)와  
복합 레이저 가공기(LPKF사, 독일)

미국의 Coherent사는 고출력 UV YVO4 레이저 발전기 시장의 선도 기업이며, 동시에 세계 레이저 발전기 시장의 점유율 1위 업체이다. 2007년에 23W UV 레이저 발전기를 출시하였고, 2008년 9월에 28W UV 레이저 발전기를 시장에 출시하였다. 미국의 Spectra-Physics사는 세계 레이저 발전기 시장 점유율 2위인 업체로 2008년 초에 20W UV 레이저 발전기를 출시하였다. 레이저 가공기 제작업체는 레이저 발전기 제작업체와의 M&A를 추진하여 미세 가공기 특성에 최적화된 레이저 발전기 개발을 추진하고 있다. 그 예로, 미국 GSI사는 2008년 7월에 10여 개의 레이저 발전기 기술을 보유한 업체를 계열사로 가지고 있는 Excel Technology Group을, JDSU사는 수년 전에 DPSS 레이저 발전기 전문회사인 Lightwave사를 M&A하였다. 그리고 독일 Rofin-Sina사는 2000년대 초반에 DPSS 레이저 발전기 기술을 보유한 Lee Laser사를, Trumpf사는 최근 광섬유 레이저 발전기 전

문기업인 영국의 SPI사를 M&A 하였다.

고기능·다기능 모바일 기기의 수요가 급증함에 따라 내부 회로를 구성하는 PCB 기판의 다양화 및 고급화가 이루어져 이들 기판의 천공홀 직경 및 가공 선포가 더욱 미세화되고 있으며, 동시에 생산원가를 절감하기 위한 가공공정의 고속화가 절실히 요구되고 있다. 이와 같은 추세에 대응하기 위해 레이저 가공기 제작업체에서는 고출력·단파장 레이저 기반의 레이저 가공기를 출시하고 있다. 일본 Hitachi사는 CO<sub>2</sub> 레이저 발전기 기반의 PCB 드릴링 장비의 세계 선두업체이다. 최근 비아홀 직경이 감소함에 따라 UV 레이저 발전기 기반의 PCB 드릴링 장비(2 레이저 발전기/4 빔/2 패널)를 출시하고 있으며, PCB 드릴링 장비 분야 세계 2위 업체인 Mitsubishi Electric사는 UV 레이저 발전기를 자체 제작하여 UV 레이저 발전기 기반 PCB 드릴링 장비를 출시하였다.

미국 ESI사는 on-the-fly 방식으로 scanner-stage를 연동하여 고속 FPCB 드릴링 장비를 출시하고 있으며, 최근 1대의 UV 레이저 발전기에서 발전되는 레이저 빔을 분기하여 듀얼 scanner를 사용하는 가공기를 출시하였다. 레이저 빔 shaping 광학계를 탑재하고 있어, 공정 특성에 따라 레이저 빔의 형상을 조절할 수 있다. 한편, 독일 LPKF사는 coverlay 가공, flex/rigid-flex PCB 절단, solder-resist 스트리처·리페어 등 복합공정을 수행할 수 있는 단일 장비를 출시하였다.

마이크로 전자산업 분야의 제품은 지속적으로 고정세·대면적화될 것이므로, 가공공정에 있어서 정밀도와 생산

〈표2〉 PCB의 해외 주요국의 생산 동향

(단위 : 금액·억원)

구 분	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년
생산	금액 10,364	11,800	13,500	15,000	16,500
수출	금액 5,100	5,800	6,400	6,720	7,056
수입	금액 6,001	6,651	7,450	6,998	6,597

※산출근거 : KEA

〈표3〉 레이저 가공기의 해외 시장 전망

(단위 : 금액·억원, 점유율·%)

구 분	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
세계 시장	금액 32,900	38,600	45,200	53,000	62,100
	점유율 4	5	7	10	12

※산출근거 : Optech consulting 2006 (Germany)  
- PCB, 반도체, 전자 부품 등을 가공하는 레이저 가공기 시장

성의 제고가 필연적으로 요구될 것이다. 이에 대응하기 위해 향후 레이저 발전기 시장은 평균출력 20W 이상 UV 레이저 발전기가 주도할 것으로 예상된다. 레이저 가공기의 경우 기본적으로 1개의 레이저 스캐너와 3축 정밀 스테이지로 구성되어 있다. 현재 공정기술의 최적화를 통해 달성할 수 있는 생산성은 그 한계에 도달하여, 다수의 레이저 스캐너를 사용하는 레이저 가공기가 시장의 주류를 이룰 것으로 예측되어, 멀티 스캐너 또는 멀티 헤드 레이저 미세가공기의 경우 1대의 레이저 발전기에서 발전되는 레이저 빔을 분기하여 쓰는 것이 경제적이므로, 레이저 발전기의 고출력화가 필연적이다.

### 2.3. 국내 시장 동향

〈표4〉 레이저 가공기의 국내 시장 규모

(단위 : 금액·억원, 점유율·%)

구분	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년	
국내 시장	금액	1,950	2,260	2,750	3,450	3,400	3,906*
	점유율	10	10	10	12	12	15

※산출근거 : 광학세계, 산업용 레이저 시장 동향 및 경향, 2005  
(\* : CAGR(14.9%)를 근거한 예측치임.)

〈표5〉 레이저 가공기의 국내 시장 전망

(단위 : 금액·억원, 점유율·%)

구분	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	
세계 시장	금액	4,488	5,157	5,925	6,808	7,823
	점유율	15	15	16	20	22

※산출근거 : 광학세계, 산업용 레이저 시장 동향 및 경향, 2005(CAGR(14.9%)에 근거한 예측치임.)

레이저 가공기 제작업체에서 자체적으로 개발한 평균출력 5W 이하의 UV 레이저 발전기가 자회사 가공기에 탑재되어 소량 판매된 실적이 있으나, 10W급 이상의 UV 레이저 발전기는 전량 수입에 의존하고 있다. 마이크로 전자 산업에 적용되는 레이저 가공기의 경우 국내시장의 대부분을 미국, 독일, 일본 제품이 점유하고 있으며, 국내 레이저 가공기 제작업체는 수요자 주문생산 방식으로 가공기를 제작 공급하고 있다.

대면적 제품의 고속가공을 위해 step-&-repeat 방식으로 scanner-stage를 연동하는 레이저 가공기가 출시되

고 있으며, 또한 공정의 정밀도 및 생산성을 높이기 위한 레이저 빔 shaping 광학계가 설치된 수입 레이저 가공기와는 달리 국내 가공기의 경우는 주문 시에 광학계를 설치하여 공급하고 있다.

레이저 발전기 기술과 장비 핵심요소기술에 대한 개발이 이루어지지 않은 경우, 수입 레이저 가공기에 대한 국내 가공기의 기술적·경제적 경쟁력이 크게 낙후되어 국내 마이크로 전자산업 분야의 레이저 가공기 시장은 수입 가공기가 대부분을 차지하게 될 것이 확실시 된다. [표 5]에서 국내 레이저 가공기 업체의 시장 점유율은 레이저 발전기와 가공시스템 핵심요소기술이 개발되어 국내 레이저 미세가공기의 기술적·경제적 경쟁력이 제고되었을 경우의 예측치이다. 디스플레이, 모바일 기기 등에서 고부가·고기능 FPCB의 적용이 검토되고 있는 등 관련 시장이 더욱 확대될 전망이며, 고부가·고기능 FPCB를 flexible display 제품에 적용하기 위한 연구와 flexible antenna 등 무선통신기기 부품 및 단말기에 적용하기 위한 연구에 대한 관심이 지속적으로 증가할 것이다.

### 3. 결론

레이저 발전기 관련 국내기술은 선진국에 비해 낙후된 상황이다. UV Nd:YAG 레이저 발전기의 경우 하나기술(주)에서 5W급을 개발하여 시판하고 있으며, (주)레이저엔피직스에서는 10W급 UV Nd:YAG 레이저 발전기를 개발하여 자사의 레이저 미세가공기에 장착하여 공급하고 있다. Nd:YVO4 레이저 발전기의 경우는 532nm 파장의 10W급 발전기가 (주)이오테크닉스에서 개발되어 자사 레이저 미세가공기에 사용되고 있다. 선진 업체의 레이저 발전기에 비해 국내에서 개발된 레이저 발전기는 성능의 안정성과 수명 측면에서 기술수준이 낮을 것으로 평가되고 있다.

복합소재의 가공 품질 향상을 위해 공정기술 개발이 진행되고 있으며, 스캐너·스테이지 고정밀 제어, Z축 스텝 가공, 멀티포인트 비전인식을 통한 왜곡 최소화 등의 요소 기술 개발이 진행되고 있다. On-the-fly 방식의 scanner-stage 연동방식에 대한 연구가 진행되고 있으나, 초기 단계에 머물러 있는 수준이다. 광학계를 구성하는 광학부품을 대부분 수입하고 있으며, 인프라 투자비용 부담이

레이저 산업의 동향

커서 광학설계 기술 개발에 치중하고 있고, 광학설계 기술 수준은 선진국에 비해 떨어지며 국내 업체에 의뢰 시 제작 비용이 높아 외국 업체에 의뢰하는 경우가 대부분이다.

FPCB는 주로 금형을 이용하여 외형을 가공하였으나, 다품종 소량을 단기간에 제조하는 특성으로 인해 작업속도가 빠른 레이저 라우터는 기존의 금형절단방식의 수요를 대체할 수 있을 것으로 보인다.

지금까지 기술한 신개념 레이저기반 초정밀·초고속 가공시스템 개발이 완료되면 산업 및 경제적 파급효과가 매우 클 것이다. 레이저 발전기 수입 대체 효과가 우선이며, 레이저 미세가공기의 기술 및 원가 경쟁력 제고를 통한 수입대체 및 수출 증대 효과가 예상된다. 그리고, 4,200억불 규모의 마이크로 전자산업(반도체, FPD, 태양전지, 고부가 PCB, 차세대 패키징 산업 등) 시장의 변화 주도 및 신산업 형성을 유도할 것이다.

향후, 개발 가공시스템은 마이크로 전자산업 분야의 고정세 고부가·고기능 PCB의 초정밀·초고속 가공, 인쇄전자소자(printed electronics) 및 유연전자소자(flexible electronics)의 초정밀·초고속 가공에 활용되며, 레이저 발전기(IR 120W, Green 60W)와 가공시스템 핵심요소기술은 레이저 접합 및 열처리 공정 및 장비 개발에도 활용가능할 것이다.

[참고문헌]

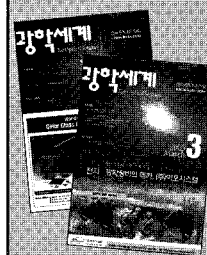
1. Industrial Laser Quarterly Report, Optech Consulting, Germany, 2006
2. Laser Focus World, Penwell survey, 1998-2007, www.laserfocusworld.com
3. NTI Digest, 2005.05, "2004년 세계 PCB 생산 & 라미네이트 수요"
4. NTI Quarterly, 4th Quarter, December, 2004, (PWB industry in Taiwan)
5. 2006년 세계 PCB 생산현황, WECC Global PCB Production Report, 2006
6. 플렉시블 PCB, 홍순관, 홍릉과학출판사, 2006
7. DisplaySearch, Alternative Display Technology Report
8. IPC(미국 PCB 협회) www.ipc.org
9. JPCA(일본 PCB 공업협회) www.jpca.or.jp
10. KPCCA(한국전자회로산업협회) www.kpcca.or.kr
11. www.coherent.com
12. www.spectra-physics.com
13. www.esi.com
14. www.lpkf.de
15. www.limo.de



서 정

1992년 포스텍(포항공과대학교) 기계공학과에서 공학박사 학위를 취득하였으며, 1993년부터 현재까지 한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부 광응용생산기계연구실장(책임연구원)으로 재직하고 있다. 한국레이저가공학회 총무이사, 대한용접접합학회 고에너지연구회 전문위원 등을 역임하고 있으며, 레이저 및 전자빔을 이용한 공정 및 시스템 개발을 수행하고 있다.

『광학세계』 정기구독 신청을 받습니다.



협회 홈페이지 (www.koia.or.kr)에서도 보실 수 있습니다.

TEL. 02-3481-8931