

# 신개념 레이저 기반 초정밀/ 초고속 가공시스템 개발

서정, 손현기 | 한국기계연구원

## [ 요약문 ]

스마트 폰을 비롯한 고성능/다기능/소형 모바일 기기를 중심으로 고밀도/다층/차세대 FPCB의 적용이 지속적으로 확대되고 있다. 이러한 고부가 FPCB의 생산 공정에서 드릴링, 절단, 트리밍, 리페어 등의 공정에 적용하기 위한 UV 레이저 기반 초정밀/초고속 드릴링 및 복합/유연 공정 및 장비 기술의 개발을 목표로 하는 청정제조기반 산업원천기술개발 과제가 한국기계연구원의 총괄로 2009년 6월 출범하였다. 본 고에서는 본 과제에 대해 간략하게 설명하고, 관련 국내외 시장의 최신 동향을 살펴보고자 한다.

## 1. 서론

2030년경 실현될 것으로 예측되는 유비쿼터스(ubiquitous) 유토피아 시장에서 생존할 5대 소비자 단말기 중 하나로 선정된 스마트 폰은 기존의 휴대폰 기능뿐만 아니라 문서작성, 멀티미디어(음악, 동영상, 사진 등) 감상, TV 시청, 네비게이터(navigator) 등 일반적인 데스크톱 PC가 할 수 있는 거의 모든 작업을 처리할 수 있다.<sup>[1]</sup> 스마트 폰 설계자들은 이러한 고기능/다기능을 구현하기 위해 제한된 공간 내에 많은 전자부품을 배치해야만 하며, 설계 공간은 향후 지속적으로 감소될 것이 확실시 되고 있다. 현재 대부분의 첨단 모바일 기기 내부를 구성하는 수동 및 능동 소자는 PCB(printed circuit board) 위에 실장(mounting)되고 있으며, 고기능/다기능/소형화/박형화를 구현하기 위해 [그림 1]에서 보는 바와 같이 고밀도/다층 FPCB(flexible PCB) 활용이 증가하고 있다.<sup>[2-7]</sup>

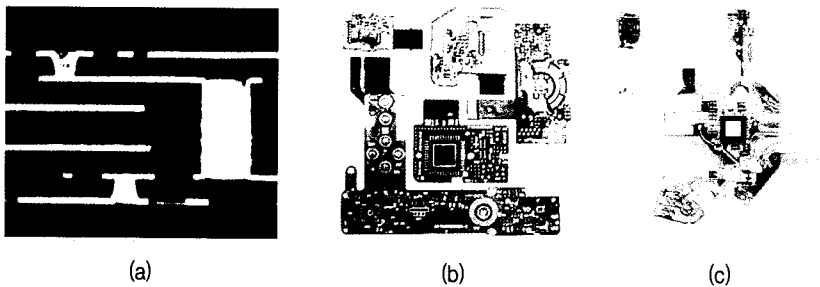


그림 1. 다양한 PCBs : (a) HDI(high density interconnect), (b) MLB(multi-layered board), (c) COF(chip-on-flexible)

[그림 2]의 FPCB 기술로드맵에 따르면, 2007년 4월 현재 COF(chip-on-flexible) 개념의 집적화가 진행되고 있



으며, 2009년 시점에는 여러 개의 chip을 동시에 집적화하는 기술들이 개발되어 수동소자들과 동시에 집적화되어 특정 기능 등을 담당하는 모듈이 집적화되는 MOF(module-on-flexible)가 실현될 것으로 예측되고 있다. 2010년 이후에는 PCB에 집적화된 능동 및 수동부품과 FPCB에 형성된 회로들이 유기적으로 연결되어 시스템을 구성하여 동작하는 개념의 진정한 SOF(system-on-flexible)가 실현될 것으로 전망되고 있다.<sup>[8-9]</sup> COF/MOF/SOF 방식의 FPCB는 설계 공간과 성능을 극대화하기 위해 적극적으로 수동 및 능동 소자들이 FPCB 기판 소재에 내재(embedded)되도록 설계되고 있다. 실제 일부 휴대폰 메이커에서는 이미 capacitor와 resistor를 내장한 PCB를 제품에 적용하고 있다.<sup>[10]</sup>

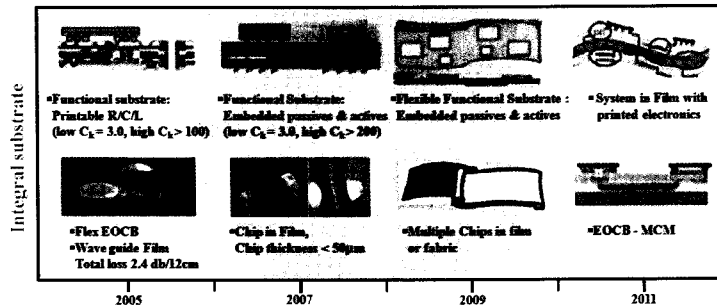


그림 2. PCB 기술 로드맵<sup>[8]</sup>

고밀도/다층 FPCB(HDI, MLB)와 차세대 FPCB(MOF, SOF)의 생산 공정에 포함되어 있는 대표적인 가공 공정은 드릴링, 절단, 트리밍(trimming), 리페어(repair) 등이 있으며, 현재 적용되고 있는 공정 기술은 기술적 한계에 도달한 상태로 일본, 미국, 독일 등의 선진 업체들을 중심으로 레이저 미세가공을 기반으로 한 대체공정 및 장비 개발에 많은 투자가 이루어지고 있다.<sup>[11-13]</sup> 국내에서도 2009년 6월 청정제조기반 산업원천기술개발사업의 일환으로 고밀도/다층/차세대 FPCB의 고속/정밀가공을 위한 레이저 기반 공정 및 장비 기술과 핵심요소기술 개발을 목표로 하는 연구개발 과제가 한국기계연구원의 총괄로 출범하였다. 본 고에서는 “신개념 레이저 기반 초정밀/초고속 가공시스템 개발” 과제의 연구목표, 연구내용, 추진체계 등에 대해 개략적으로 설명하고, 국내의 관련 시장의 최신 동향에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. 신개념 레이저 기반 초정밀/초고속 가공시스템

본 과제의 최종목표는 DPSS(diode-pumped solid state) UV 레이저 기반의 초정밀/초고속 드릴링 장비와 복합/유연 장비를 개발하는 것이며, 이는 [그림 3]에서 보는 바와 같이 총 4개의 세부기술로 나누어 질 수 있다. 즉, 고밀도/다층 FPCB와 차세대 FPCB의 초정밀/초고속 레이저 드릴링 공정 및 장비기술, 복합/유연 공정 및 장비 기술과 각 공정에 최적화된 공정 맞춤형 레이저 발전기 기술, 또한 공정의 초정밀/초고속화/대면적화를 위한 레이저 빔 셰이핑(shaping) 기술과 스캐너-스테이지 연동(synchronization) 기술 등이 그것이다. 레이저 발전기 기술, 레이저 빔 셰이핑, 스캐너-스테이지 연동 기술 등은 초정밀/초고속 레이저 드릴링 및 복합/유연 공정 및 장비의 핵심요소기술들이다. 특히, 공정 맞춤형 DPSS UV 레이저 발전기 기술은 각 공정에 최적화된 레이저 빔(펄스폭, 펄스 반복률 등)을 제공하고, 스캐너-스테이지 연동기술은 생산단가 절감을 위한 대면적 기판(substrate)의 초정밀/초고속 가공에 필수적인 기술로, 이 기술들을 탑재한 장비의 기술경쟁력을 크게 제고할 것으로 전망된다.

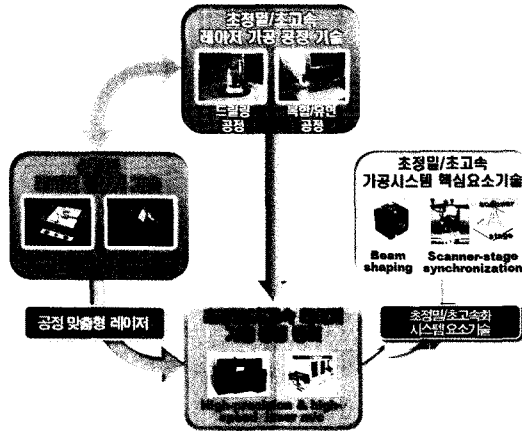


그림 3. 세부기술 간 연계

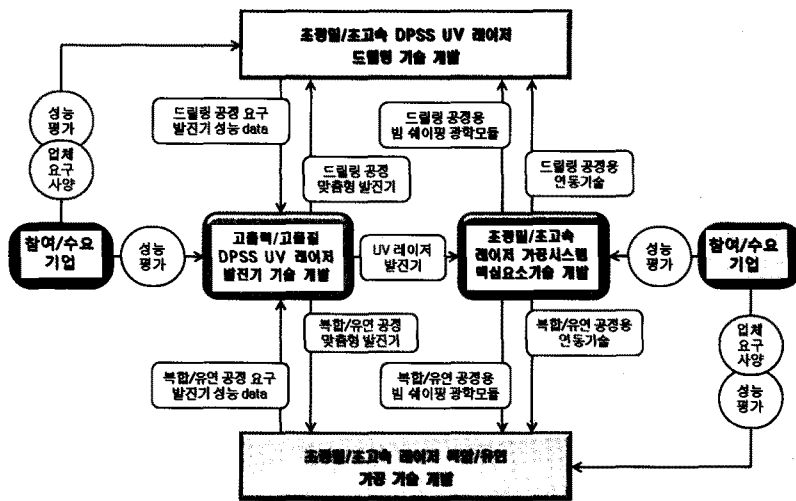


그림 4. 세부기술 간 연계 추진전략

[그림 3, 4]에서 나타난 세부기술 내용을 간략하게 설명하고, 세부기술 간 연계 전략을 살펴보면 다음과 같다. 신 개념 레이저 발전기 기술은 레이저 발전기의 고출력화를 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 가공 공정 기술에서 요구하는 맞춤형 레이저 발전기의 특성을 갖추기 위해 발전기를 구성하는 주요 광학계를 최적 설계한다. 초정밀/초고속 레이저 가공 공정 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/다가능 모바일 기기용 FPCB의 비아홀(viahole) 및 interconnection 홀 가공을 위한 초정밀/초고속 레이저 드릴링 공정 및 장비기술을 포함한다. 공정 개발 시 각 공정 특성상 요구되는 레이저 발전기 및 핵심요소기술con적 사양을 피드백한다. 초정밀/초고속 레이저 가공시스템 핵심요소기술은 레이저 가공공정의 초고속화/대면적화를 위한 스캐너-스테이지 연동기술, 레이저 가공공정의 초정밀화를 위한 공통 핵심원천기술로써 초정밀 레이저 빔 셰이핑 기술 등을 포함한다. 스캐너-스테이지 연동 기술은 레이저 빔 집속기구(스캐너)와 이송기

구(스테이지)를 on-the-fly 방식으로 연동하기 위한 다축 시스템 제어기술이다. 각각의 초정밀/초고속 레이저 가공 공정 및 장비에 최적화된 핵심요소기술을 개발하기 위해 가공공정 기술과 유기적으로 연계하여 기술을 개발한다. 레이저 빔 셰이핑 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.

본 과제는 2009년부터 총 5년간 2단계로 나누어 추진되며, 1단계(3년)에서는 신개념 레이저 기반 초정밀/초고속 가공시스템 원천기술을 개발하고, 2단계(2년)에서는 가공장비 실용화 기술을 개발한다. 각 세부기술별 최종 개발 목표는 아래와 같으며, 각 단계별 주요 연구개발 내용은 [표 1]에 정리하였다. 세부기술 개발을 위해 [그림 5]에 나타난 바와 같이 산학연 총 10개 기관에서 총 90명의 연구원이 참여한다.

- 단일모드 30W급 UV(355nm) 고출력 DPSS 레이저 발전기 개발
- DPSS UV 레이저 기반 초정밀/초고속 레이저 드릴링 기술 및 장비 개발
- 초고속/초정밀 레이저 복합/유연 가공공정(절단, 제거, 트리밍, 리페어, 등) 기술 및 장비 개발
- 레이저 드릴링 장비 및 복합/유연 가공 장비의 초정밀/초고속/대면적화를 위한 스캐너-스테이지-레이저 실시간 연동 플랫폼 및 빔 셰이핑 모듈 개발 및 실용화

표 1. 단계별 연구개발 주요 내용

신개념 레이저 기반 초정밀/초고속 가공시스템 원천기술 개발	
1 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단일모드 20W급 DPSS UV(355nm) 레이저 발전기 개발(<math>M^2 &lt; 1.3</math>, pulse-to-pulse stability <math>\leq 5\%</math> rms)</li> <li>• 초정밀/초고속 DPSS UV 레이저 드릴링 핵심원천 공정 및 장비 기술 개발(홀 직경 <math>\pm 15\mu\text{m}</math>, 속도 2,000홀/sec)</li> <li>• 초정밀/초고속 레이저 복합/유연 가공 핵심원천 공정 및 장비 기술 개발(트리밍/리페어 정밀도 <math>\pm 20\mu\text{m}</math>, 가공선폭 <math>25\mu\text{m}</math>)</li> <li>• 초정밀/초고속 레이저 드릴링 및 복합/유연 가공시스템 공통 핵심원천요소기술 개발(스캐너-스테이지 연동정밀도 <math>\pm 20\mu\text{m}</math>)</li> </ul>
2 단계	<p style="text-align: center;"><b>신개념 레이저 기반 초정밀/초고속 가공장비 실용화 기술 개발</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 단일모드 30W급 DPSS UV(355nm) 레이저 발전기 개발(<math>M^2 &lt; 1.3</math>, pulse-to-pulse stability <math>\leq 3\%</math> rms)</li> <li>• 초정밀/초고속 DPSS UV 레이저 드릴링 공정 고성능화 및 장비 개발(홀 직경 <math>\pm 7\mu\text{m}</math>, 속도 2,800홀/sec)</li> <li>• 초정밀/초고속 레이저 복합/유연 가공공정 고성능화 및 실용화 장비 개발(트리밍/리페어 정밀도 <math>\pm 15\mu\text{m}</math>, 가공선폭 <math>15\mu\text{m}</math>)</li> <li>• 초정밀/초고속 레이저 드릴링 및 복합/유연 가공시스템 고성능화 및 실용화 기술 개발 지원(스캐너-스테이지 연동 정밀도 <math>\pm 15\mu\text{m}</math>)</li> </ul>

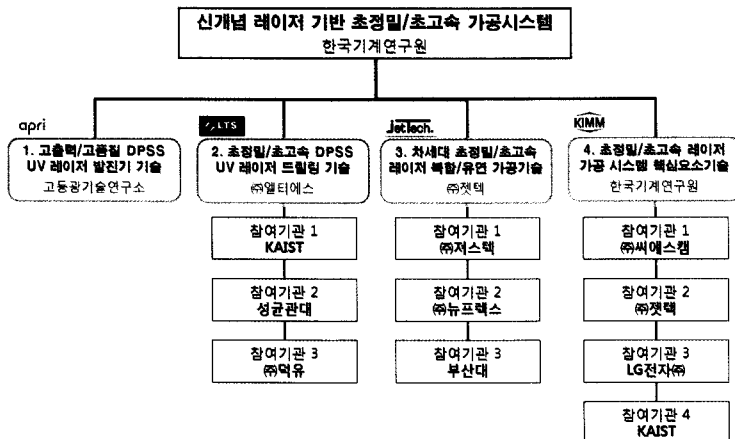


그림 5. 세부기술개발 주관 및 참여기관 구성도

### 3. 국내외 관련 시장 동향

#### 3.1 FPCB 시장

FPCB 세계 시장의 규모는 [그림 6a]에서 보는 바와 같이 2008년 처음으로 8조원 수준을 넘었다. 한국전자회로산업협회에 따르면 2008년의 FPCB의 생산액은 8조 1,000억 원이며, 연평균 성장률(CAGR)은 5.9% 수준으로 2012년에는 10조 2,000억 원에 이를 것으로 전망되고 있다.<sup>[7]</sup> 세계 시장의 국가별 점유율을 살펴보면 일본이 전체 시장의 24%를 차지하고 있어 가장 앞서 있으며, 일본을 제외한 나머지 아시아 국가가 70%를 차지하고, 나머지는 유럽과 미국이 각각 2%, 4%를 점유하고 있다. 2001년 이후 초기에 일본과 함께 세계시장을 양분하던 미국기업의 시장 점유율은 급속히 줄어들고 있으며 우리나라와 중국, 대만 등 아시아 기업들의 시장점유율이 지속적으로 증가하고 있는 상황이다. 세계 시장에서 한국의 점유율은 2000년 약 8.4%의 점유율을 차지하였으며, 2003년 14.4%, 2005년 16%까지 점유율이 상승하였다가 2008년에는 14.9%를 차지하여 2007년에 비해 0.1% 상승하였지만 2005년 이후로 점유율의 성장세가 주춤한 추세이다. 반면, [그림 6b]에서 보는 바와 같이 국내 FPCB 시장은 시장규모가 2007년 기준 1조 4,000억 원으로 2005년의 9,000억 원에 비해 큰 성장을 거두었으며 연평균 성장률이 24.7%로 높은 성장률을 보이고 있다.

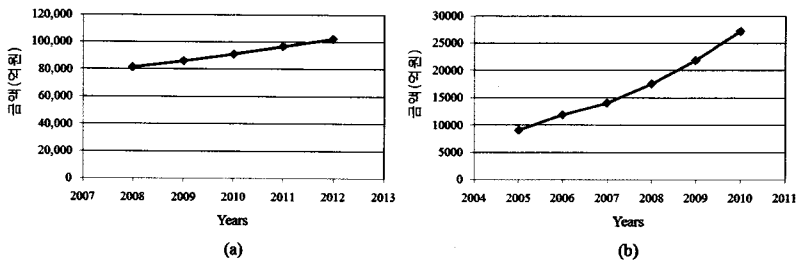


그림 6. FPCB 시장 동향 : (a) 세계<sup>[7, 14]</sup>, (b) 국내<sup>[15]</sup>

국내 FPCB 총 생산량을 기준으로 보면 [그림 7]에서 보는 바와 같이 2005년 2,440,000m<sup>3</sup>에서 2008년 3,116,000m<sup>3</sup>으로 연평균 성장률(CAGR) 8.5%를 보였으며, 이를 품목별로 다시 나누어 보면 단면 구조(single layer)의 경우 2006년에 마이너스 성장을 보였지만 2007년 이후 다시 성장세를 회복하는 중이며, 양면 구조(double layer)의 경우 2005년 860,000m<sup>3</sup>에서 2008년 1,380,000m<sup>3</sup>으로 연평균 17%의 성장률을 기록하고 있다. 다층 구조(multi-layer)의 경우에는 2005년 550,000m<sup>3</sup>에서 2008년 601,000m<sup>3</sup>로 연평균 3%의 성장률을 기록하였다. 특히 휴대폰, 디스플레이 등에 주로 사용되는 Rigid-Flexible FPCB의 경우 2005년 190,000m<sup>3</sup>에서 2008년 420,000m<sup>3</sup>으로 연평균 30%의 높은 성장률을 기록하였다. 전반적으로 고부가 FPCB 시장이 확대되고 있으며, 이는 최근 국내 휴대폰, 스마트폰 등의 고기능/소형 모바일 기기 시장의 활성화와 밀접한 관련이 있다.

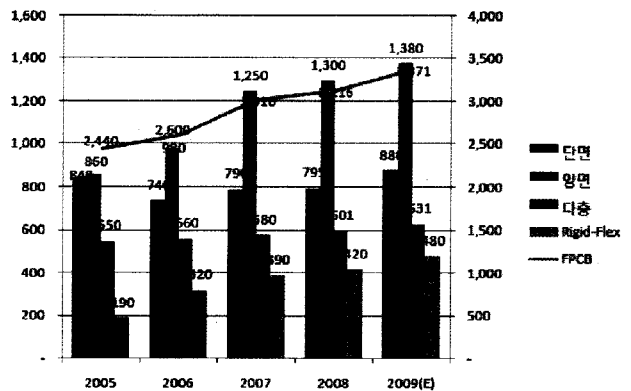


그림 7. 총 생산량 기준 국내 FPCB 시장 전망(단위 : m<sup>3</sup>)<sup>[16]</sup>



### 3.2 레이저 미세가공 장비 시장

[표 2]에 나타난 바와 같이 2008년 전체 레이저 가공 장비의 세계 시장 규모는 10조 3,000억 원이며, 이 중에서 반도체, PCB, 전자 부품 등의 미세가공 분야에 적용되는 레이저 미세가공 장비의 시장 규모는 2조 2,000억 원이고, 마킹, engraving용 장비 시장을 포함하면 3조 8,000억 원에 이른다. 2008년도 레이저 가공 장비의 세계 시장은 미국, 유럽, 일본 등이 67%를 점유하고 있으며, 동아시아와 일본 시장의 규모는 세계시장의 43% 정도를 차지하고 있으나, 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 미세가공 장비를 출시하고 있다. [그림 8]에서 보는 바와 같이 레이저 가공 장비의 시장 규모는 2000년도 초반 세계 경기 침체의 여파로 시장 규모가 감소한 시기를 제외하면, 전반적으로 증가하고 있으며, 1990년도부터 2008년까지 연평균 10% 넘는 성장률(CAGR)을 보여 주고 있다. 첨단 전자산업 제품 및 부품의 고집적화/소형화 추세로 볼 때, 향후 레이저 미세가공 장비의 시장성장률은 지속적으로 증가할 것으로 전망된다.

표 2. 레이저 가공 장비의 해외 시장 규모<sup>[17]</sup>

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
금액 (Billion €)	4.70	4.50	3.90	3.70	4.65	4.8	6.1	6.35	6.4

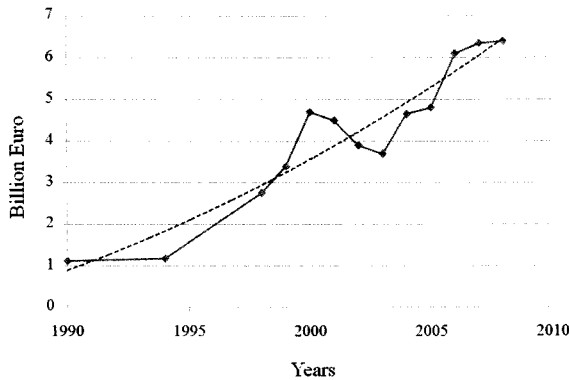


그림 8. 레이저 가공 장비 세계 시장 추세<sup>[17]</sup>

국내 레이저 가공 장비 시장은 [표 3]에 나타난 것과 같이 2003년 1,950억 원에서 2007년 3,400억 원 규모로 증가하여 동기간 연평균 14.9%의 높은 성장률을 보이고 있다. 이것은 세계 시장의 연평균 성장률보다 높은 것으로, 국내 휴대폰, 스마트폰, MP3/4 등 다양한 고성능 모바일 기기 및 디스플레이 관련 업체의 기술 개발 추세와 밀접한 관련이 있어, 이러한 성장률은 향후 지속적으로 유지 또는 증가할 것으로 전망되고 있다.

표 3. 레이저 가공 장비 국내 시장 규모<sup>[18]</sup>

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
금액 (억 원)	1,950	2,260	2,750	3,450	3,400	3,906

## 4. 맺음말

각종 고성능/소형 모바일 기기에 적용되고 있는 고밀도/다층 FPCB(HDI, MLB)와 차체에 적용이 확실시 되고 있는 차세대 FPCB(MOF, SOF)의 생산에 적용될 UV 레이저 드릴링 장비와 복합/유연 공정 장비의 개발을 통해서 다음과 같은 효과가 기대된다.

- 첨단 레이저 미세가공 공정기술 확보를 통한 첨단 기술 선점 : 고밀도/다층/차세대 FPCB 가공을 위한 UV 레이저 기반 미세가공 공정 기술은 선진국에서도 연구 초기 단계에 머물러 있는 분야로 기술 개발 시 첨단 기술 선점 효과가 기대된다.
- 레이저 미세가공 장비 핵심요소기술 확보를 통한 기술 경쟁력 제고 : 레이저 발전기, 스캐너-스테이지 연동기술 등은 레이저 미세가공 장비의 성능을 좌우하는 핵심기술로 레이저 발전기의 경우 대부분 수입에 의존하고 있으며, 스캐너-스테이지 연동기술은 수입 장비에 탑재되어 판매되므로, 원하는 경우라도 기술을 사용할 수 없는 상황이다. 이러한 배타적인 핵심요소기술을 확보함으로써 국내 레이저 미세가공 장비의 기술 경쟁력을 한층 높일 수 있을 것으로 기대된다.
- 레이저 발전기 및 스캐너-스테이지 연동 기술 타 분야 활용 : DPSS UV 30W급 레이저 발전기 개발 과정에서 단계적으로 개발되는 DPSS IR 120W급, Green 60W급 레이저 발전기 기술은 개별 상용화를 통해 열처리, 접합, 표면개질 등 다양한 분야에 적용이 가능하다. 또한, 고정도/고속 스캐너-스테이지 연동기술은 대면적 기판에 레이저 미세가공 공정을 적용하기 위한 필수적인 요소기술이다. 제품 또는 부품의 생산성을 높이고, 가공 원가를 낮추기 위해 가공 면적의 대면적화가 필수 불가결하므로, 다양한 레이저 가공에 적용이 가능하다.

## ✻ 참고 문헌

- [1] 박승창, “휴대폰 산업동향,” 전자정보센터, 2010. 3
- [2] D. Numakura, Business Trends and Technology Trends in the HDI flexible circuits, DKN Research, 2006
- [3] T. H. Stearns, Flexible Printed Circuitry, McGraw-Hill, 1996
- [4] 2006년 세계 PCB 생산현황, WECC Global PCB Production Report, 2006
- [5] IPC(미국 PCB 협회) www.ipc.org
- [6] JPCA(일본 PCB 공업협회) www.jpca.or.jp
- [7] KPCA(한국전자회로산업협회) www.kpca.or.kr
- [8] ITRI, Technology roadmap, April 2007
- [9] 유찬세, “Flexible PCB TRM,” 전자정보센터, 2008. 03
- [10] “EPC(Embedded passive components) PCB,” 전자정보센터, 2008. 07
- [11] www.esi.com
- [12] www.lpkf.de
- [13] www.hitachi-via.co.jp
- [14] 디지털 타임즈, 2008. 10
- [15] 알앤디비즈, “PCB 시장 동향,” 2008. 6
- [16] 한화증권 리서치 센터, “FPCB 시장, 개선의 조짐이 보인다,” 2009. 8
- [17] www.optech.de
- [18] 광학세계, 산업용 레이저 시장 동향 및 경향, 2005



서 정

· 한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부  
· 광응용생산기계연구실장  
· 관심분야 : 레이저 및 전자빔 응용 공정 및 시스템  
· E-mail : jsuh@kimm.re.kr



손 현 기

· 한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부  
· 광응용생산기계연구실 선임연구원  
· 관심분야 : 레이저 기반 재료 미세가공  
· E-mail : hsohn@kimm.re.kr