

# 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술 동향

서정, 이제훈, 신동식  
| 한국기계연구원

## [요약문]

본고에서는 레이저 가공의 시대적 요구사항인 고속화와 대면적화에 부응하기 위한 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술의 개발 동향을 분석하고자 한다. 여기서, 고속 레이저 가공기술은 갈바노 모터를 사용하는 고속 스캐너(scanner)와 정밀 스테이지를 연동하여 대면적 제품을 연속으로 가공하는 기술을 말하며 FPD 공정, 태양전지가공, 리모트용접 공정 등에 대표적으로 적용된다. 본고에서는 최근 한국기계연구원에서 개발하고 있는 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술 관련 연구개발 내용도 일부 소개하고자 한다.

## 1. 서론

최근 레이저 가공공정은 디스플레이, 에너지, 반도체, 전자부품, 자동차<sup>1)</sup> 산업에 폭넓게 적용되고 있으며 본 산업군의 발전 동향은 대형화, 단납기화(고속가공), 다품종 소량생산, 유연화, 미세가공화 및 복합가공화로 정의할 수 있다. 이에 따라 레이저 가공 시장은 대형화, 고속화, 복합가공화에 대응할 수 있는 시스템에 대한 연구개발 및 상품화가 진행되고 있다.(그림 1 참조)

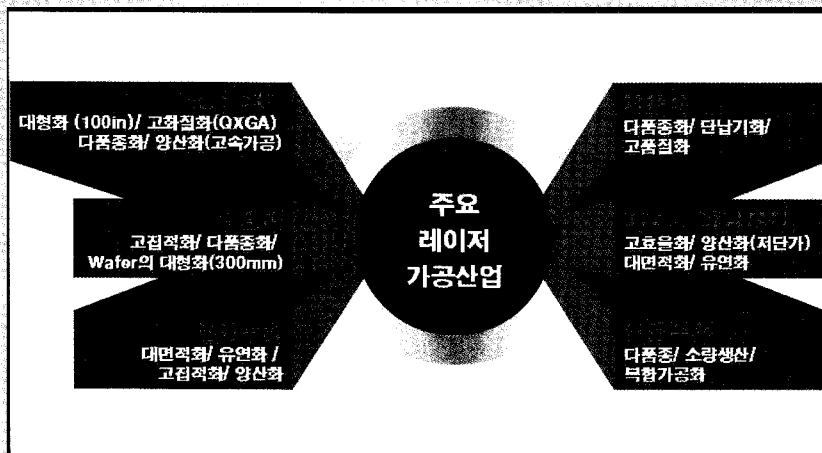


그림 1. 주요 레이저 가공분야의 추세

이에 따라 고속 레이저 가공기술은 크게 고속 미세가공기술 및 대면적 가공기술로 표현할 수 있고 각각 시스템 기술과 공정최적화 기술을 포함하고 있다. 상세하게 고속미세가공기술은 고속레이저 포커싱 기술, 초정밀 고속이송시



스텝 기술, Hybrid 빔 이송기술로 구성되어 있으며 공정기술로서 대표적인 예는 반도체 나노전극 레이저 절단 기술, 초미세 반도체 웨이퍼 레이저 천공 기술, 마이크로-나노 기능성 표면제어 기술 및 유연성 e-디바이스 절단/패터닝 기술 등이 있다. 대면적 가공기술은 Remote Welding 공정, FPD 접합공정, 광학투사 Maskless 직접 노광공정, Solar cell 가공공정 및 초정밀 롤가공 공정과 같이 대면적화 추세인 제품에 적용하기 위한 시스템 기술로서 공정개발과 더불어 대면적 빔 이송기술, Hybrid빔 이송기술, 대면적 시편용 지그 제작 기술, 및 초정밀 롤가공기술 등으로 구성된다.



그림 2. 고속 복합 레이저 가공기술의 적용분야

최근 각광을 받는 레이저 가공기술 적용분야인 디스플레이, 반도체 및 자동차 용접 등을 고려하면 고속화 및 대면적화에 더욱 뚜렷한 경향을 보이고 있다. 따라서, 본고에서는 이에 부응하기 위한 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술의 개발 동향을 분석하고자 한다. 끝으로, 최근 한국기계연구원에서 개발하고 있는 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술 관련 연구개발 내용도 소개하고자 한다.

## 2. 레이저 가공의 고속화 · 대면적화

고속 미세 가공시스템 기술은 대면적화/고집적화 추세의 전자부품, 디스플레이, 태양전지 및 자동차의 차체용접 등에 적용되는 미세구조물을 고속으로 가공하는 기술로서 갈바노 모터를 사용하는 고속 스캐너와 정밀 스테이지의 2가지 구동장치를 연동하여 적용되고 있다. 핵심 기술로서는 스캐너와 스테이지 또는 로봇 등의 연동제어기술, 광학설계 기술 그리고 대면적/고속가공 공정기술로 이루어 진다.<sup>[7]</sup> 본 기술은 기존의 스캐닝기술이 가졌던 한계점인 가공영역의 한계, 경계부의 연결 불량, 스캐너 왜곡 등의 문제점을 해결할 수 있는 기술로서 Hybrid 빔 이송기술 또는 On-The-Fly 기술이라고도 한다.(그림 3 참조)

Hybrid 빔 이송기술은 그림 4에서 보여주는 바와 같이 저속 스테이지와 고속 스캐너와 같은 별도의 구동장치를 연동하여 제어하는 기술로서 스테이지의 정밀/대면적 가공과 스캐너의 고속가공특성과 같은 장점을 동시에 구현할 수 있다. 또한, 본 기술은 스캐너의 가장자리 가공영역을 배제할 수 있고 연속공정으로서 경계면의 불량문제를 최소화할 수 있어 가공시간이 단축되는 장점이 있다.

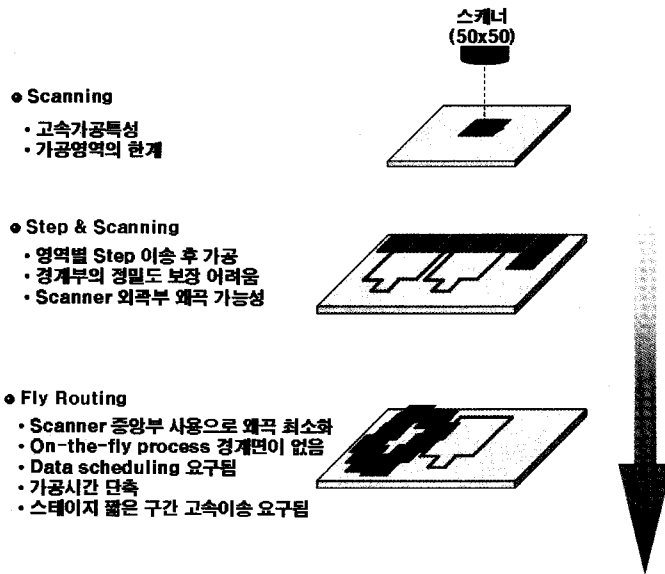


그림 3. 고속 레이저 조사기술의 발전단계

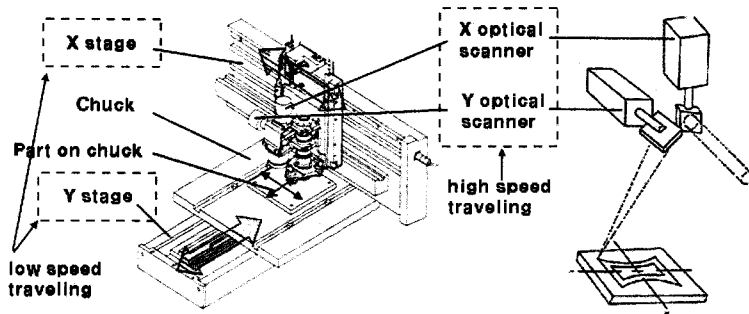


그림 4. Hybrid 빔 이송기술의 개요

### 3. 국내 · 외 관련기술의 현황

Hybrid 빔 이송 스테이지 시스템을 연구개발한 대표적인 사례로서는 미국의 ESI사(Electro Scientific Industries)를 들 수 있으며 마이크로 엔지니어링 분야의 제품 제조를 위한 레이저 시스템을 공급하는 회사로서 스테이지형 Hybrid 빔 이송장치 및 알고리즘 제작에 독보적인 기술을 보유하고 있다.

이외의 Hybrid 빔이송장치가 적용된 사례는 FPD 가공, 태양전지 및 자동차 용접분야에서의 각종 공정시스템에서 찾을 수 있다. FPD 가공의 대표적 적용분야는 ITO패터닝이 있다. 영국의 Powerlase사는 PDP용 ITO 박막을 제거하기 위한 장치 및 레이저를 개발하였으며, 1,064nm의 파장을 방출하는 Q-Switched DPSS Nd:YAG 레이저 (Powerlase사) 및 Homogenizer (LIMO사)를 공정에 적용하여 국내에 납품을 하고 있다. ITO패터닝의 경우 Powerlase사 외에도 세계적으로 다양한 기관에서 공정연구 및 시스템제작이 진행되고 있는데 대표적으로 영국의

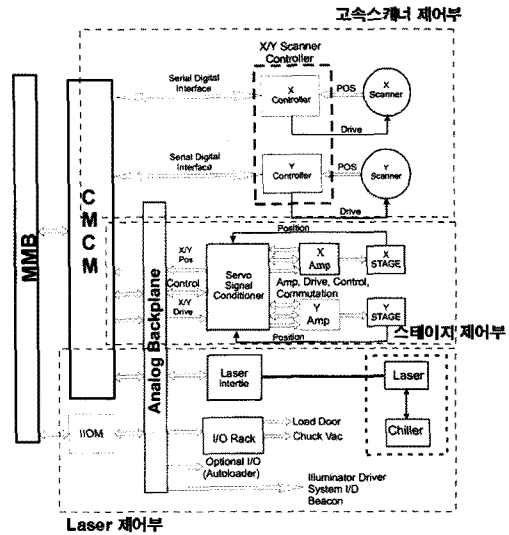
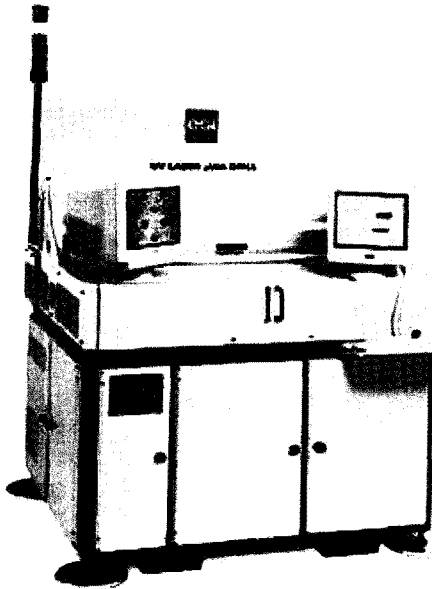


그림 5. Hybrid 빔 이송장치가 내장된 PCB드릴러 및 제어개념도 - ESI사(미국)<sup>[8]</sup>

Exitech사 일본의 Osaka대 및 Hitachi Zosen사 등이 있으며 이와 같은 시스템은 스테이지의 정밀이송과 스캐너의 고속이송의 Hybrid 빔 이송방법을 사용하였다. 이외에도 독일 LZH<sup>[9]</sup>, 미국 ESI사는 Solar cell의 제작을 위한 비어 홀 드릴링, 그루브 가공, 박막 제거공정 등에 레이저를 사용한 연구결과를 제시하고 있으며 생산성 및 품질의 향상에 레이저 가공공정의 가능성을 보여주고 있다.

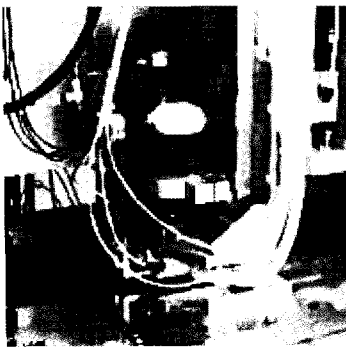


그림 6. Hybrid System for PDP-Exitech

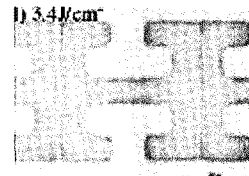


그림 7. PDP 패터닝 샘플 - Powerlase

자동차 차체부품 양산에 적용한 레이저용접기술은 다관절 산업용 로봇에 Nd:YAG 레이저 헤드를 장착하여 용접 플랜지면을 용접하는 기술이 대표적이며, 기존의 Spot 용접에 비교하여 45%의 용접시간 단축으로 생산성을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 Nd:YAG 레이저 용접 로봇시스템의 투자비가 기존의 Spot 용접시스템 대비하여 6 배 이상 고가의 용접시스템이므로 생산라인에 적용이 빠르게 확대되지 못하고 있다. 이를 극복하기 위하여 로봇에 스캐너를 적용하여 생산성을 5배 이상 높이는 연구가 외국 자동차 메이커(Daimler Chrysler사)에서 선행되어 진행되고 있으며 일부 부품에 적용 검토 중이다.

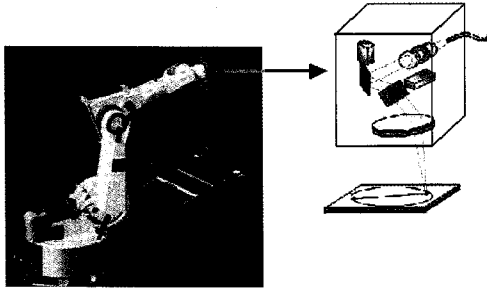


그림 8. 스캐너를 이용한 레이저 용접 원리

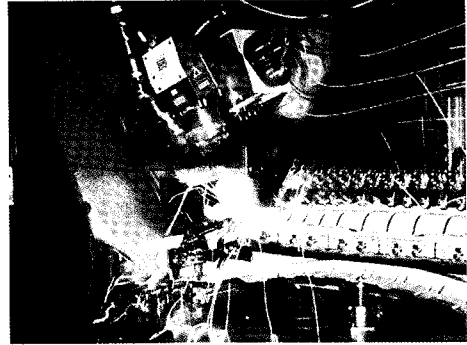


그림 9. 스캐너 레이저 용접(Daimler Chrysler사)<sup>[10]</sup>

국내에서 Hybrid 빔 이송시스템은 직접적인 개발이 이루어진 바가 없으나 많은 중소 업체에서 ESI사 장비의 구동 메커니즘을 규명하고자 하였으나 규명 및 재현에 성공한 업체는 전무한 실정이다. 삼성 SDI는 원가절감을 위해 세계 최초로 직접 노광 방식인 LDI(Laser Direct Imaging) 등의 기술을 적용, PDP 제작을 위한 공정수를 3분의 1정도 줄여 연간 100억원 이상의 원가를 절감하였다고 보고하였으나 시스템 구동에 대한 핵심기술은 아웃소싱에 의존하고 있다. 국내의 국가출연연구소 및 이오테크닉스<sup>[11]</sup> 등과 같은 국내 선도기업의 경우 레이저 응용 홀, 패턴 가공기술은 세계적인 수준에 도달하였으나 스캐너와 스테이지 연동기술과 같은 핵심기술은 도입 및 개발단계이다. 이는 기초연구투자를 통한 원천기술의 확보가 루어지지 않아 발생하였으며 이를 해결하기 위해서는 미래지향적이며 체계적인 기술개발이 필요하다.

자동차 산업에서 1999년도에 TWB 레이저 용접기술이 도입되어 자동차 DOOR INNER에 양산 적용되었고, 2001년 TWB 레이저용접 시스템 국산화 개발 및 동년 Nd:YAG 레이저를 이용한 차체 레이저용접기술이 차체부품 조립라인에 적용되었다. 자동차 부품 메이커인 성우하이텍에서는 차체부품에 레이저용접 기술을 적용하여 2006년 5월 신차에 적용하였다.

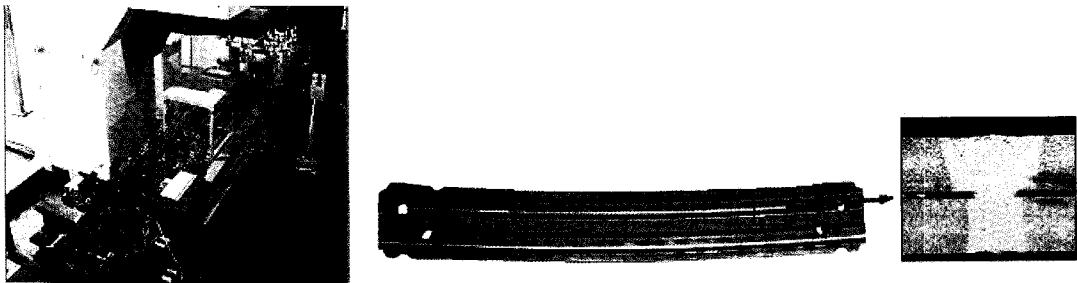


그림 10. 2.5차원 리모트 레이저 용접 기술의 차체 용접 적용 사례

#### 4. 한국기계연구원에서의 연구개발 현황

한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부 광응용생산기계연구실에서는 대면적 고속가공을 위한 레이저 공정 및 장비 핵심기술을 개발하고 있다. 장비 핵심기술은 Hybrid 빔 이송 장치의 설계 및 제어로서 독자적이며 효율적인 구동 알고리즘을 구성하여 기술우위를 선점하고자 하였다. 또한 개발된 스테이지 연동기술은 로봇에 적용하여 기술을 확대해 나가고 공정에 적용하여 실용성을 높이고자 하였다. KIMM 주요사업, 지경부 성장동력사업 및 산업원천



기술개발사업과 병행하여 연구를 진행해 왔으며, 향후에도 지속적으로 진행할 예정이다.

그림 11은 스캐너-스테이지 연동 제어를 위하여 개발한 소프트웨어로서 고속이송이 필요한 스캐너 영역과 대면적 정밀이송이 가능한 스테이지영역으로서 이송경로를 나누어 보간제어를 하는 것을 목적으로 하고 있다. 개발된 S/W 작업영역에서는 사용자가 각종 디자인 틀을 이용하여 가공을 위한 형상을 직접 작도할 수 있으며 추가적으로 상용 디자인 S/W에서 제작된 도면을 DXF변환을 통하여 읽어들이어 가공에 사용할 수도 있다. On-The-Fly 기능은 현재 zigzag, wobble가공, Fly Fill가공 세가지의 종류로 구성되어 있으며 zigzag는 스테이지의 저속 정밀이송과 결합된 스캐너의 고속직선운동으로 구성되어 있으며 Fly Fill가공은 스테이지의 이송과 동시에 스캐너의 반복운동을 하여 면을 가공할 수 있다. 현재 연동 simulation을 통해 경로 생성을 진행하고 있다.(그림 12 참조)

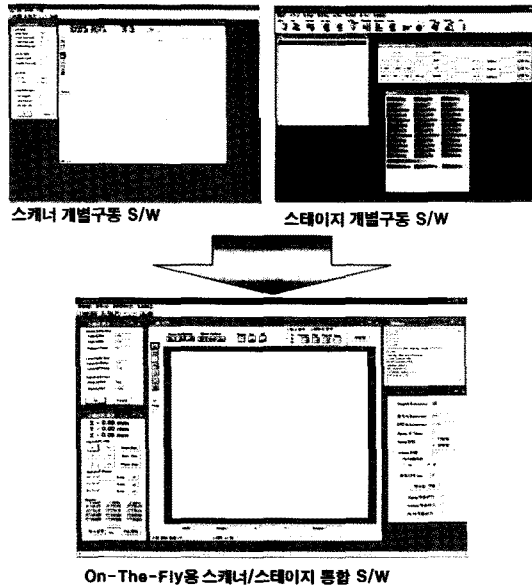


그림 11. Integraion S/W for scanner and stage

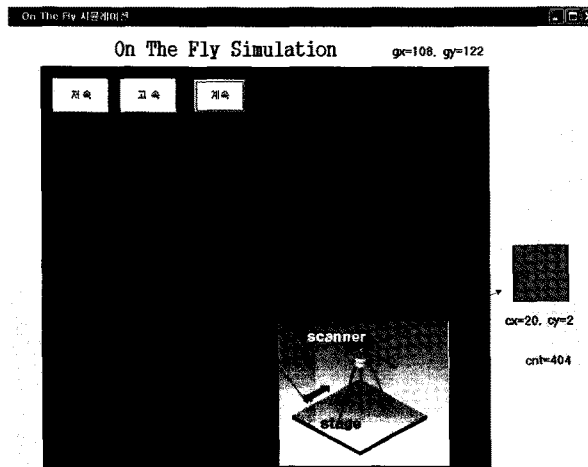


그림 12. Beam path simulation for On-The-Fly

그림 13은 Hybrid 빔 이송장치(XY-stage & scanner) 설계 및 제작한 결과를 보여주고 있다. 스캐너-스테이지 연동 하드웨어는 스캐너, 스테이지 및 레이저로 구성이 되며 XY-스테이지는 저속 대면적 이동을 하며 스캐너는 고속 반복이동을 주로 한다.

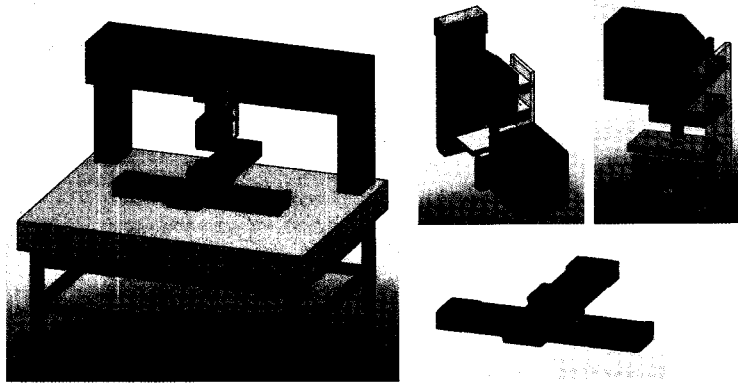


그림 13. Schematic diagram of XY-stage & scanner hybrid system

그림 14는 한국기계연구원에서 구축한 Hybrid 빔 이송장치로서 레이저는 IPG사 YLP모델, 스캐너는 독일 Scanlab의 Hurriscan14, 스테이지는 국내 Justek사 JTM-0420-3R010 모델을 적용하였다. 현재 PMAC 컨트롤러-Justek 스테이지간 그리고 각 스캐너의 RTC 보드와 IPG레이저 제어보드간 통신을 위한 인터페이스를 완성한 단계이다.

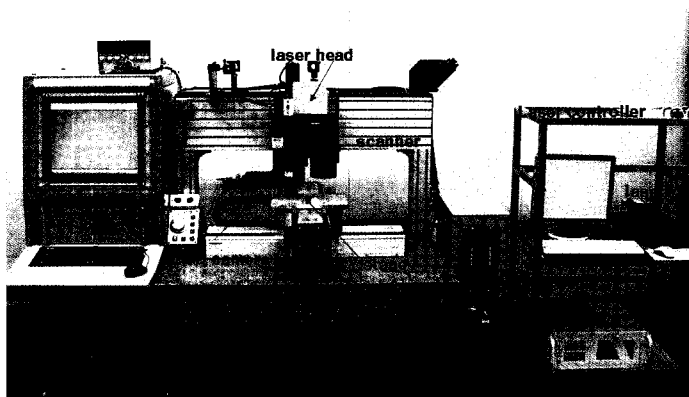


그림 14. XY-stage & scanner hybrid system[KIMM]

스캐너 스테이지 연동알고리즘 및 시스템 개발과 동시에 공정선행연구로서 피코초 레이저를 이용한 FPCB의 다중고속스캐닝 공정수행하였다. 여기서 다중스캐닝 기술이란 두꺼운 재료(0.5mm 이상)를 스테이지의 이송 중 고속 반복조사하여 절단하는 기술로서 열축적현상을 최소화하여 열영향 및 부스러기(surface debris)를 줄여 가공정밀도를 향상시키기 위한 공정기술이다. 대표적 적용분야가 FPCB의 절단으로서 아래 사진은 다중고속조사공정과 단일저속조사공정의 비교한 예이다. 그림 15에서 저속반복가공의 경우 고속반복의 경우보다 거친 절단면을 얻을 수 있다. 저속반복가공의 높은 펄스반복율(200kHz, 400kHz)의 영역에서는 가공 후 저항값이 각각 1Ω 및 0.5Ω으로



통전이 되는 현상이 발견되었고 이는 단락을 유발할 수 있는 중대한 결함으로 판단된다. 본 시스템을 이용한 고속반복가공 공정의 경우 FPCB의 절단시 단면이 균일해 지며 단락현상도 사라졌고 그림 16과 같이 스캐너의 작업영역을 벗어나는 가공물의 경우에도 적용이 가능하였다.

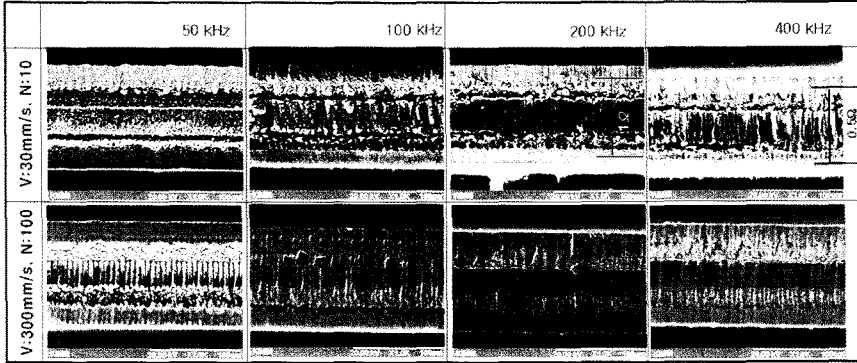


그림 15. SEM images of a cut edge of a FCCL by pico-second laser ablation under the following conditions : Scanning speed(30, 300mm/s) and repetition rate (50~400kHz) when using average power(0.6W)

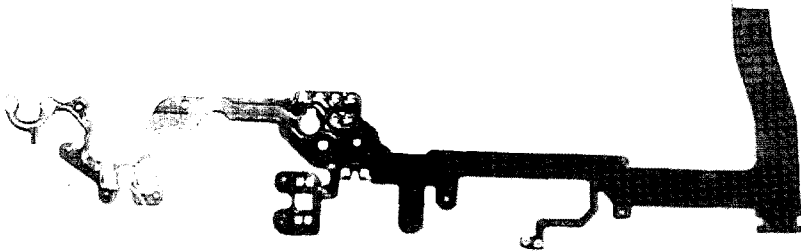


그림 16. Fabricated FPCB by high speed multi scanning process(length : 150mm)

FPCB를 이용한 선행연구를 기반으로 Hybrid 빔 이송장치를 이용하여 ITO와 태양전지에 대하여 각각 면가공 및 선가공 실험을 수행하였다. 면가공의 경우 스테이지의 저속이송에 따라 횡방향으로 스캐너가 고속반복이동을 함으로써 해칭가공을 수행할 수 있는 기능으로 기존의 마스크를 이용한 가공공정에서의 에너지 손실 그리고 형상이 제한되던 문제점을 해결할 수 있었다. 아래 그림은 Hybrid 빔이송장치를 이용하여 면가공하는 모습 및 이를 이용하여 제작된 ITO패턴을 보여주고 있다.

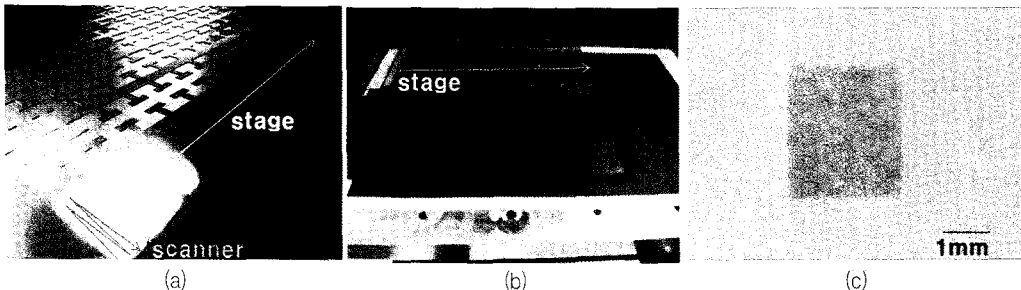


그림 17. ITO patterning process : (a) conceptual schem, (b) scanning process on ITO and (c) patterned ITO



그림 18은 태양전지의 스크라이빙공정을 보여주고 있으며 Hybrid 빔이송시스템을 이용한 선가공에 해당된다. 본 Hybrid 빔 이송공정은 저속 정밀스테이지를 이용한 가공의 열영향 및 스캐너의 한정된 가공영역의 단점을 개선할 수 있었다. 즉 그림 18의 왼쪽사진과 같이 200mm/s의 스테이지 이송과 동시에 2,000mm/s의 스캐너를 이동 함으로써 스테이지의 대면적 가공공정과 스캐너의 고속 정밀가공공정의 장점을 활용할 수 있다.

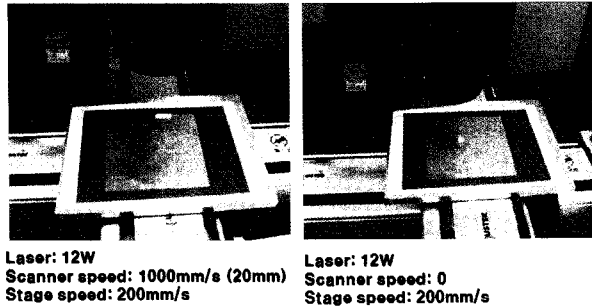


그림 18. Pictures of (a) Hybrid process and (b) stage only process for solar cell scribing

그림 19는 스크라이빙 가공된 태양전지의 예를 보여주고 있다. 왼쪽의 경우 Hybrid 빔이송이 적용된 가공샘플이며 오른쪽은 스테이지의 이송만으로 가공이 된 샘플이다. 이는 FPCB의 가공 실험결과에서 알 수 있었던 바와 같이 고속 Hybrid 가공공정의 경우 열영향 및 surface debris를 최소화 시킬 수 있는 장점이 있다는 것을 보여주고 있다.

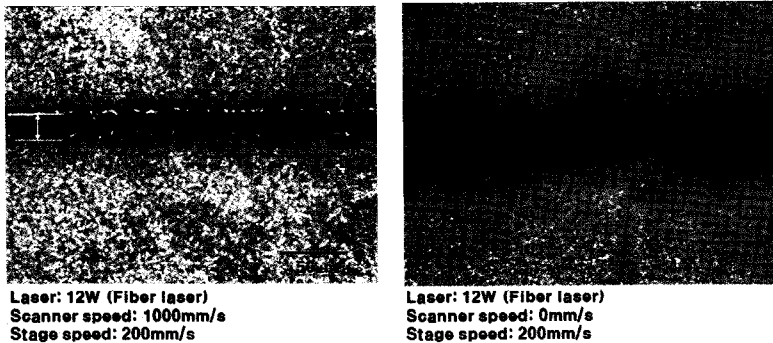


그림 19. Experiment results of (a) Hybrid process and (b) stage only process for solar cell scribing

## 5. 결 언

본 글에서는 레이저 가공의 시대적 요구사항인 고속화와 대면적화에 부응하기 위한 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술의 개발 동향을 분석하였다. 그리고, 한국기계연구원에서 개발하고 있는 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술 관련 연구개발 내용도 소개하였다. 향후 기대효과 및 활용방안은 다음과 같다.

- (1) 스캐너와 스테이지를 이용한 Hybrid 대면적 고속 가공기술은 FPD 공정, 태양전지 가공, 자동차의 리모트 용접(welding) 등과 같이 시대적인 요구사항에 부합되는 핵심기술로 판단된다.



- (2) Hybrid 대면적 고속 가공 시스템은 우리나라의 성장동력원으로서 주류를 이루고 있는 자동차, 디스플레이 산업에서의 필수적인 핵심 시스템임에도 불구하고 고성능 레이저 가공시스템의 설계능력 및 공정개발 측면에서 선진국과 기술격차를 보이고 있었다. 대면적 고속가공기술은 기존의 기술격차를 한층 줄이고 나아가 해외시장을 선도하기 위한 핵심기술중 하나로 판단된다.
- (3) Hybrid 대면적 고속 가공 시스템기술은 ESI(미국) 및 Exitech(영국)과 같은 몇몇 선진업체들의 독점을 견제할 수 있으며 기존에 핵심 광학시스템 기술을 아웃소싱에 의존하던 문제점을 해결하기 위한 발판이 될 것으로 판단된다.
- (4) KIMM 개발결과는 Hybrid 대면적 고속가공을 위한 기반구축에 불과하므로 추가적인 연구개발을 통하여 앞서 설명한 다양한 분야로의 적용이 필요한 실정이다.

## ✿ 참고 문헌

- [1] Abermen Z., Doors and Hoods Laser Welding Replace Gluing or Spot Welding, 25th ISATA Symposium, No. 921025, Florence Italy, 1992.
- [2] Williams N. T. and Waddell W., High Speed Resistance Seam Welding of Uncoated and Coated Steels, Technical Steel Research Commission of the European Communications, Report No. EUR 1150 EN, 1988.
- [3] Eimermann T., Hem Flange Laser Welding, 25th ISATA Symposium, No. 921089, Florence Italy, 1992.
- [4] F.Coste et al, A Rapid Seam Tracking Device for YAG and CO2 High Speed Laser Welding, Proc. ICALEO 85, pp. 217-223, 1998.
- [5] LIA Handbook of laser materials processing, Laser Institute of America, Magnolia Publishing Inc., pp.162-166, 2001.
- [6] Coste F. et al, A Rapid Seam Tracking Device for YAG and CO2 High Speed Laser Welding, Proc. ICALEO 85, F217-223, 1998.
- [7] 광학세계 (2006. 9), “국내 산업용 레이저 시장 동향”
- [8] ESI (Electro Scientific Industries), <http://www.esi.com>
- [9] LZH(Laser Zentrum Hannover), <http://www.lzh.de>
- [10] Daimler Chrysler, <http://www.daimlerchrysler.com>
- [11] 이오테크닉스, <http://www.eotechnics.com>



서 정

· 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부  
광응용생산기계연구실장  
· 관심분야 : 레이저 및 전자빔 응용 가공기술 및 시스템  
· E-mail : jsuh@kimm.re.kr



이 제 훈

· 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부  
광응용생산기계연구실 책임연구원  
· 관심분야 : 레이저 및 전자빔 응용 가공기술 및 시스템  
· E-mail : jaeholee@kimm.re.kr



신 동 식

· 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부  
광응용생산기계연구실 선임연구원  
· 관심분야 : 레이저 응용 복합가공 및 미세가공  
· E-mail : dsshin@kimm.re.kr