

연구 동향

### 레이저 미세가공기술의 최근 동향

서 정, 신동식, 손현기, 이제훈  
한국기계연구원 광응용생산기계연구실

#### 1. 서 론

최근 레이저 미세 가공공정은 디스플레이, 에너지, 반도체, 전자부품 산업에 폭넓게 적용되고 있으며, 대형화, 단납기화(고속가공), 다품종 소량 생산, 유연화, 미세가공화, 및 복합가공화로 정의할 수 있다(Fig. 1 참조). 이에 따라 고속 레이저 가공기술은 크게 고속 미세가공기술 및 대면적 가공기술로 표현할 수 있고 각각 시스템 기술과 공정최적화 기술을 포함하고 있다. 따라서, 본 내용에서는 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술의 개발 동향을 소개하고자 한다.

#### 2. 국내 · 외 관련기술의 현황

고속 미세 가공기술은 고속 레이저 포커싱 기술, 초정밀 고속이송시스템 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/패터닝기술 등이 있다.

대면적 미세가공기술은 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, hybrid 빔 이송기술, 대면적 시편용 지그 제작 기술, 및 초정밀 롤가공기술 등으로 구성된다.

고속 미세 가공시스템 기술은 대면적화/고집적화 추세의 전자부품, 디스플레이, solar Cell 등에 적용되는 미세구조물을 고속으로 가공하는 기술로서 갈바노모터를 사용하는 고속 스캐너와 정밀 스테이지의 2가지 구동장치를 연동하여 적용되고 있다. 핵심 기술로서는 스캐너와 스테이지 또는 로봇 등의 연동제어기술, 광학설계기술 그리고 대면적/고속가공 공정기술로 이루어 진다.<sup>1</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. hybrid 빔 이송기술은 Fig. 2에서 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.

<ul style="list-style-type: none"> <li>● 디스플레이</li> <li>● 대형화 (100" )</li> <li>● 고화질화 (QXGA)</li> <li>● 다품종화</li> <li>● 급속한 가격 하락</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 반도체</li> <li>● 고집적화 (Tera-level)</li> <li>● 다품종화</li> <li>● Wafer의 대형화(300mm)</li> </ul>	

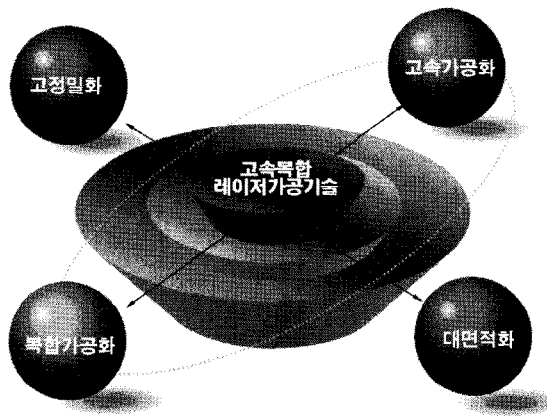


Fig. 1 주요 레이저 가공분야의 추세.

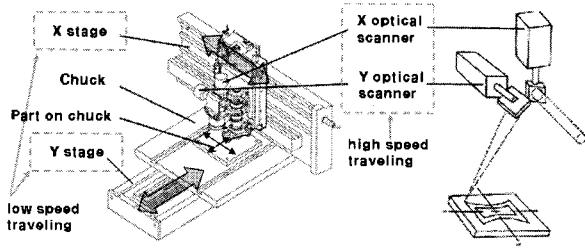
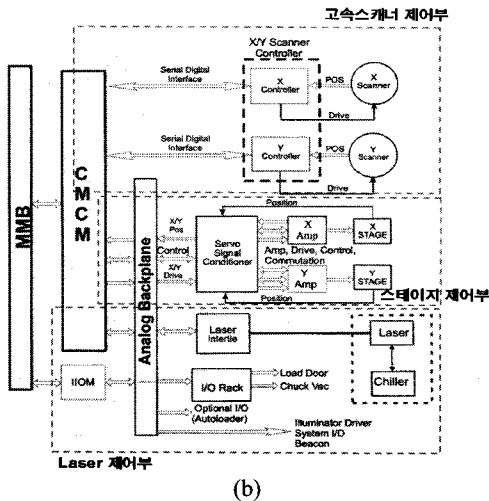


Fig. 2 Hybrid 빔 이송기술의 개요

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 알 고리즘 제작에 독보적인 기술을 보유하고 있다.



(a)



(b)

Fig. 3 Hybrid 빔 이송장치가 내장된 (a)PCB 드릴러 및 (b)제어개념도 - ESI사(미국)<sup>2</sup>.

이외의 hybrid 빔 이송장치가 적용된 사례는 FPD 가공, 태양전지 분야에서의 각종 공정시스템에서 찾을 수 있다. FPD 가공의 대표적 적용분야는 ITO패터닝이 있다. 영국의 Powerlase사는 PDP용 ITO 박막을 제거하기 위한 장치 및 레이저를 개발하였으며, 1,064 nm의 파장을 방출하는 Q-switched DPSS Nd:YAG 레이저(Powerlase사) 및 homogenizer (LIMO 사)를 공정에 적용하여 국내에 납품을 하고 있다. ITO패터닝의 경우 Powerlase사 외에도 세계적으로 다양한 기관에서 공정연구 및 시스템 제작이 진행되고 있는데 대표적으로 영국의 Exitech사 일본의 Osaka대 및 Hitachi Zosen사 등이 있으며 이와 같은 시스템은 스테이지의 정밀이송과 스캐너의 고속이송의 hybrid 빔 이송방법을 사용하였다. 이외에도 독일 LZH,<sup>3</sup> 미국 ESI사는 solar cell의 제작을 위한 비어홀 드릴링, 그루브 가공, 박막 제거공정 등에 레이저를 사용한 연구결과를 제시하고 있으며 생산성 및 품질의 향상에 레이저 가공공정의 가능성을 보여주고 있다.

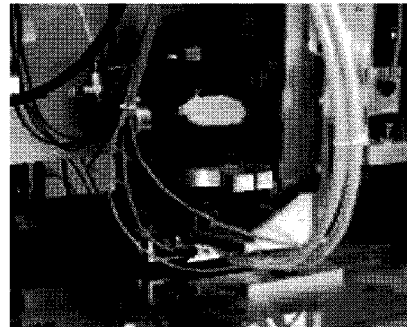


Fig. 4 Hybrid system for PDP - Exitech사.

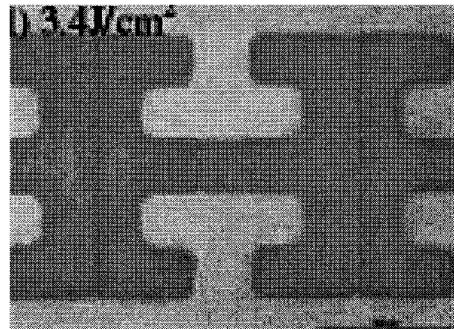


Fig. 5 PDP 패터닝 샘플 Powerlase사.

국내에서 hybrid 빔 이송시스템은 직접적인 개발이 이루어진 바가 없으나 많은 중소 업체(예 : Laser & Physics)에서 ESI사 장비의 구동 메커니

즘을 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 정부출연연구소 및 이오테크닉스<sup>4</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.

### 3. 한국기계연구원 (KIMM)에서의 레이저 미세가공기술개발 현황

한국기계연구원 지능형생산시스템 연구본부 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. 한국기계연구원 주요사업, 지정부 성장동력사업 및 산업원천기술개발사업과 병행하여 연구를 진행해 왔으며, 향후에도 지속적으로 진행할 예정이다.

Fig. 6은 스캐너-스테이지 연동 제어를 위하여 개발한 S/W로서 고속이송이 필요한 스캐너 영역과 대면적 정밀이송이 가능한 스테이지 영역으로 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 상용디자인 S/W에서 제작된 도면을 DXF변환을 통하여 읽어 들여 가공에 사용할 수도 있다. On-the-fly 기능은 현재 zigzag, wobble 가공, fly fill 가공 등 세 가

지 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(Fig. 7 참조).

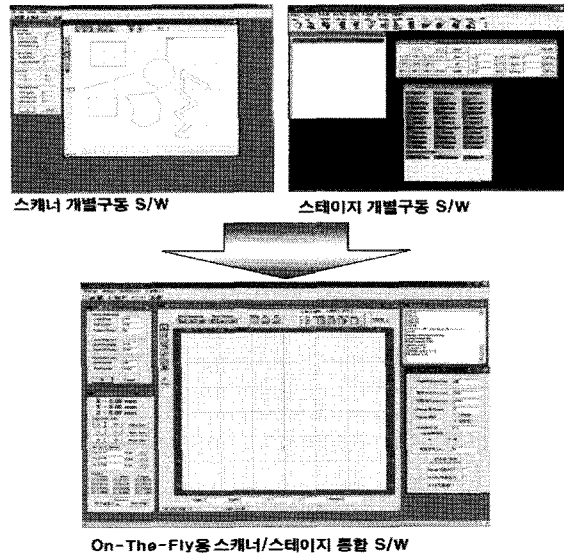


Fig. 6 Integration S/W for scanner and stage.

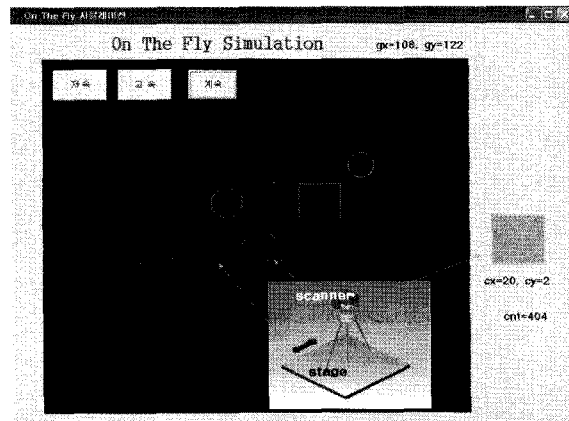


Fig. 7 Beam path simulation for on-the-fly.

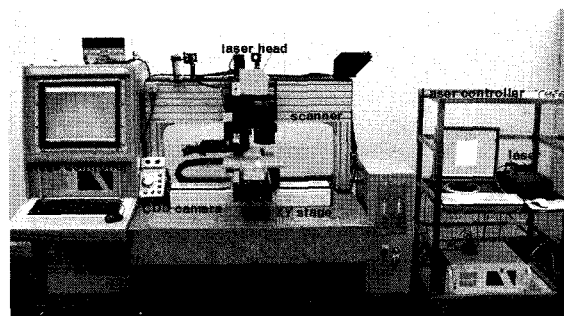


Fig. 8 XY-stage & scanner hybrid system [KIMM].

Fig. 8은 복합 레이저가공장치(XY-stage & scanner)를 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. 레이저는 IPG사 YLP모델을 사용하였으며 스캐너는 독일 Scanlab의 Hurriscan,<sup>14</sup> 스테이지는 국내 Justek사 JTM-0420-3R010 모델을 적용하였

다. PMAC 컨트롤러-Justek 스테이지간 그리고 각 스캐너의 RTC 보드와 IPG레이저 제어보드간 통신을 위한 인터페이스를 완성한 단계이다.

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 고속반복조사하여 절단

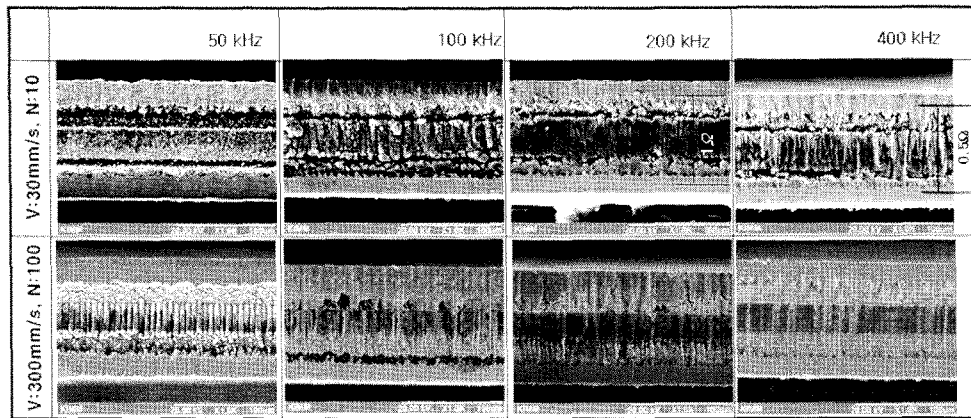


Fig. 9 SEM images of a cut edge of a FCCL by pico-second laser ablation under the following conditions: scanning speed (30, 300 mm/s) and repetition rate (50~400 kHz) at an average power of 0.6 W.

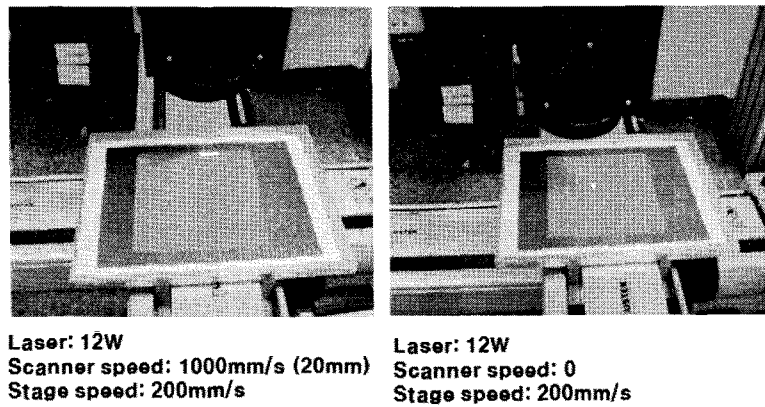


Fig. 10 Pictures of (a) hybrid process and (b) stage only process for solar cell scribing.

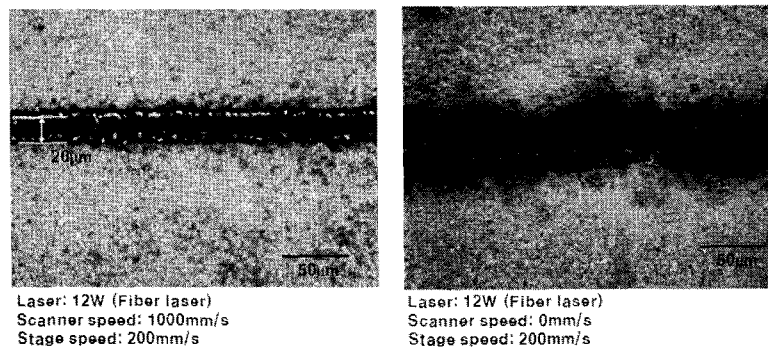


Fig. 11 Experiment results of (a) hybrid process and (b) stage only process for solar cell scribing.

하는 기술로서 열축적현상을 최소화하여 열영향 및 부스러기(surface debris)를 줄여 가공정밀도를 향상 시키기 위한 공정기술이다. 대표적 적용분야가 FPCB의 절단으로서 아래 사진은 다중고속조사공정과 단일저속조사공정의 비교한 예이다. Fig. 9에서

저속반복가공의 경우 고속반복의 경우보다 거친 절 단면을 얻을 수 있다. 저속반복가공의 높은 펄스반 복율(200 kHz, 400 kHz)의 영역에서는 가공 후 각 각 1  $\Omega$  및 0.5  $\Omega$ 으로 통전이 되는 현상이 발견되 었고 이는 단락을 유발할 수 있는 중대한 결함이다.

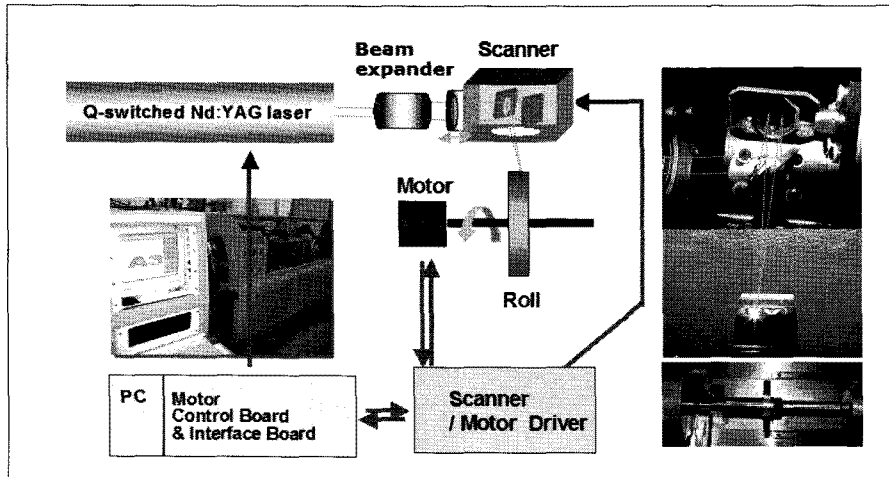


Fig. 12 인쇄롤 가공 시스템의 구성도.

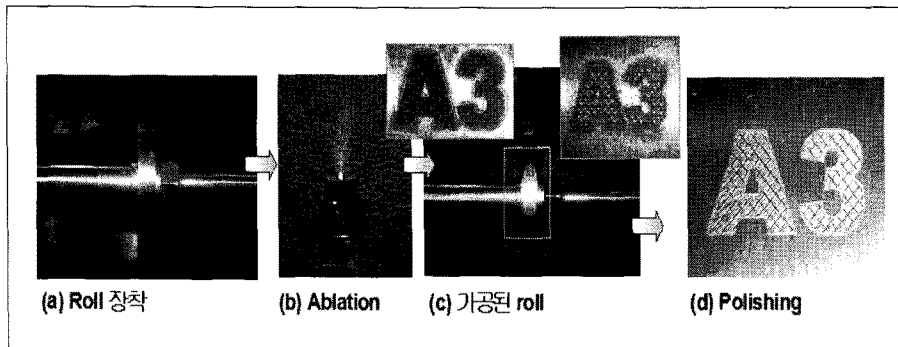


Fig. 13 레이저를 이용한 인쇄 롤 가공 순서.

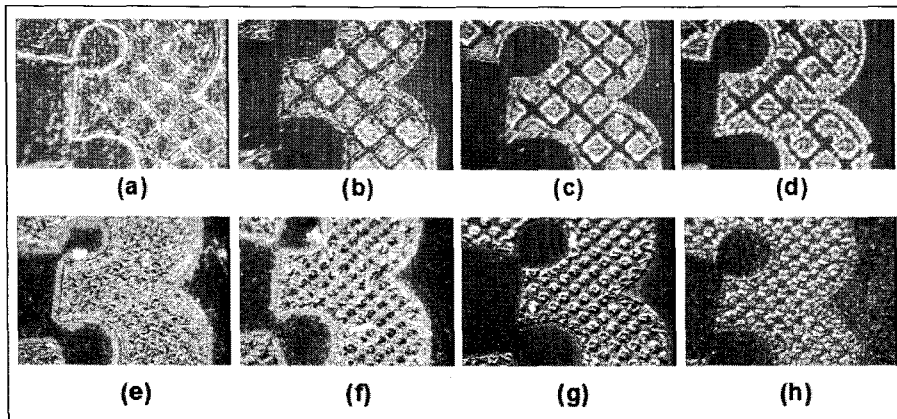


Fig. 14 레이저의 입력 변수에 따른 가공 형상.

Fig. 10은 태양전지의 스크라이빙공정을 보여주고 있으며 hybrid 빔 이송시스템을 이용한 선가공에 해당된다. 본 hybrid 빔 이송공정은 저속 정밀스테이지를 이용한 가공의 열영향 및 스캐너의 한정된 가공 영역의 단점을 개선할 수 있었다. 즉 왼쪽사진과 같이 200 mm/s의 스테이지 이송과 동시에 2,000 mm/s의 스캐너를 이동을 함으로서 스테이지의 대면적 가공공정과 스캐너의 고속 정밀가공공정의 장점을 활용할 수 있다.

Fig. 11은 스크라이빙 가공된 태양전지의 예를 보여주고 있다. 왼쪽의 경우 hybrid 빔 이송이 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.

Nd:YAG 레이저와 스캐너를 이용하여 선폭 100  $\mu\text{m}$ 급의 망점가공 방식으로 인쇄물을 가공을 수행하고 있다. 시스템의 전체적인 구성은 Fig. 12와 같으며, 시스템은 크게 Q-switched Nd:YAG 레이저, 스캐너, 구동 모터 및 드라이버, 제어용 PC, 그리고 광학계 등으로 구성되어 있다. 실험에 사용된 Nd:YAG 레이저의 펄스폭은  $2 \times 10^{-6}$  초, 반복율은 5 kHz, 첨두출력은 1.2 kW이다. 인쇄물의 회전축(X축)은 정속운전이 용이한 서보모터 구동 방식이며, 테이블 이송축(Y축)은 위치제어 방식이다. 인쇄물이 정지된 상태에서 스캐너에 의한 빔 이송으로 가공이 이루어진다.

Fig. 13은 인쇄물의 가공 순서로서 지그에 물을 장착하고 난 후, 어블레이션 가공을 하고 연마(polishing)를 거쳐 완성품이 제작되어지는 일련의 공정을 나타내고 있다. 실험 결과는 Fig. 14에 나타나 있으며, 각각 사각형 패턴과 원형 패턴으로 나뉘어 실험을 수행하였다. 실험에서 잉크 포켓의 제작 시 내부의 채움 무늬는 BMP 화일의 변환 형태인 raster 스캐닝으로 제작하였고, 문자 외곽선 처리기술을 개발하여 양질의 제품을 제작할 수 있었다.

#### 4. 결 언

본 글에서는 레이저 가공의 시대적 요구사항인

고속화와 대면적화에 부응하기 위한 고속 레이저 가공 및 장비 핵심기술의 개발 동향은 다음과 같이 분석되었다.

- (1) 스캐너와 스테이지를 이용한 Hybrid 대면적 고속 가공기술은 FPD 공정, 태양전지 가공 등과 같이 시대적인 요구사항에 부합되는 핵심기술로 판단된다.
- (2) Hybrid 대면적 고속 가공 시스템은 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) 한국기계연구원의 개발결과는 hybrid 대면적 고속가공을 위한 기반구축에 불과하므로 추가적인 연구개발을 통하여 앞서 설명한 다양한 적용분야로의 적용이 필요한 실정이다.

#### 후 기

본 논문은 한국기계연구원 2008 - 2009년도 주요 사업의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 1) 광학세계(2006. 9), “국내 산업용 레이저 시장 동향”
- 2) ESI (Electro Scientific Industries), <http://www.esi.com>
- 3) LZH(Laser Zentrum Hannover), <http://www.lzh.de>
- 4) 이오테크닉스, <http://www.eotechnics.com>