

特輯 : 레이저 가공

레이저를 이용한 마킹 시스템 및 응용 기술

김 형 식*

Introduction to Laser Marking System and Applications

H. S. Kim*

ABSTRACT

The laser marking system is widely used in many industrial manufacturing companies as an effective process, because it is versatile, clean, and fast to run. Minimal heat deformation and zero tool wear can be obtained using fast and non-contact process of laser marking. As an introductory level, the basic knowledges about laser marking system layout and its components are presented with diagrams. The effects, requirements, and application examples of laser marking process are also described in this paper.

1. 개 요

레이저 마킹 시스템은 전기·전자부품, 자동차용 명판, stereo 조작 판넬, 공구 등의 중요한 부품상에 회사명, 제원, 기호 등을 생산공정에 구애받지 않고 영구적으로 마킹할 수 있어 신뢰성이 매우 높다. 레이저 마킹은 높은 에너지 밀도를 가지고 있는 레이저 빔의 특성을 이용하여, 레이저 빔이 물체에 조사될 때 표면의 일부를 선택적으로 증발시킬 수 있는 효과를 이용하므로써 제한된 면에 국부적인 마킹이 가능하다. 또한, 비접촉식 가공법으로서 고속으로 작업이 가능하고 결과가 미세하며 컴퓨터 컨트롤에 의한 재현성을 가지며 표면이 증발하여 원하는 형상을 얻을 수 있기 때문에 전처리 및 후 공정이 필요치 않고, 전기적으로 제어가 용이하여

연속되는 제조일련번호, 바코드 등 자동화가 절실히 필요한 라인에 응용 효과가 매우 양호하다. 마킹기는 비접촉식으로 작은 면적에 짧은 시간 동안 작업의 수행이 가능하기 때문에, 공구의 마모가 없으며 열에 의한 제품의 변형을 방지하여 부품에 손상을 입히지 않고 공정을 수행 할 수 있다.

2. 레이저 마킹의 원리 및 특징

레이저 마킹의 원리는 작은 면적에 고에너지 밀도를 가지고 있는 레이저 빔의 특성을 이용하여 피가공물에 레이저 빔을 조사시켜 가열, 용융, 증발시키고 혹은 화학반응이 일어나는 현상을 이용하여 표면 가공이 가능하게 하므로서 종래의 인쇄, 각인등의 방법이 갖는 단점을 보완할 수가 있어 레이저 응용분야에서 레이저 절단 및 천공기술과 함께 가장 많은 사용되고 있다.

* 비회원, 현대중공업 산업기술연구소

대부분 레이저 마킹기에 사용하는 발진기로서는 저출력의 CO₂ 레이저나 또는 Q-switch pulse를 사용한 CW(continuous wave) Nd:YAG 레이저를 사용하고 있으나, 최근에는 레이저가 발달함에 따라 TEA CO₂ 레이저나 파장이 매우 짧은 엑시머 레이저를 사용한 마킹 시스템의 등장으로 사용영역이 확대되고 있다.

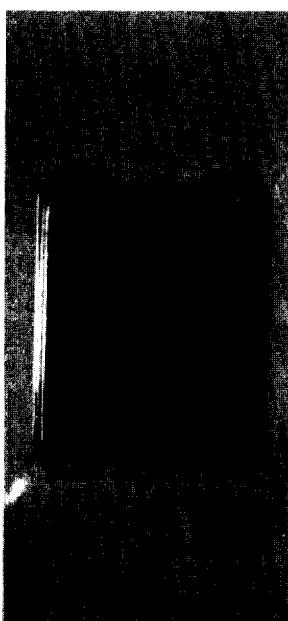
Nd:YAG 레이저의 1.06μm의 파장은 금속 및 비금속에 어느정도 흡수가 가능하여 거의 모든 재료에 사용이 가능하지만, 목재 및 ceramic등 비금속류에는 10.6μm의 CO₂ 레이저가 잘 흡수 되므로 CO₂ 레이저를 주로 사용하며 엑시머레이저는 Nd:YAG 레이저

저보다 작은 파장을 가지므로써 미세한 마킹에 유리하며, 이러한 레이저 마킹의 특징을 나열해 보면 아래와 같다.

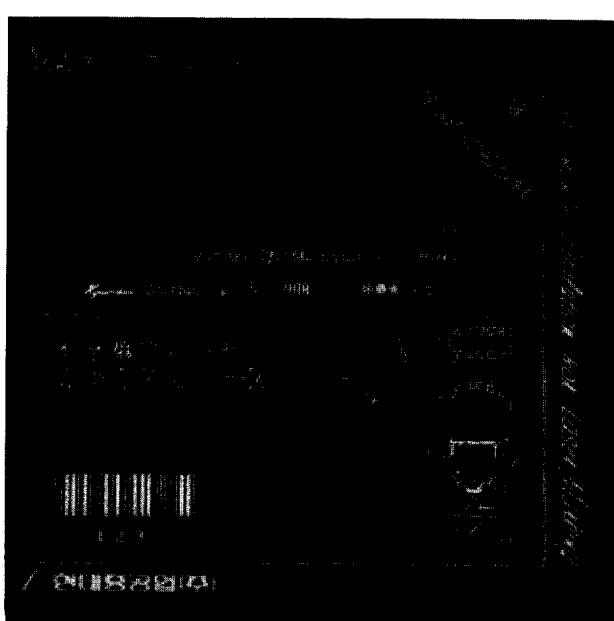
- ① 고속, 고정도의 비접촉 가공 가능
- ② 요철면에도 마킹이 가능
- ③ 영구적
- ④ 전기적 제어가 용이하여 재현성이 우수하며 자동화 라인에 도입이 용이
- ⑤ 전처리, 후처리가 불필요함.



(a) Handy phone 조작판넬 문자 마킹



(b) 시계 뒷판의 로고 및 문자 마킹

(c) Anodizing한 알루미늄판의 각종 기능 마킹
그림1. 레이저 마킹 샘플

- ⑥ 컴퓨터로 만들어진 가공 데이터를 사용하므로써 기타의 마킹에 비해서 공정의 감소

따라서 이와 같은 특징을 이용하여 레이저마킹이 여러 분야에 적용되고 있다. 예를 들면 회사명, 제조번호, 형식, 기호 등을 마킹하는 자동차 명판, 전자·전기부품, 공구, 측정기기부품, 조작판넬 등이 있다. 또한 사용자 프로그램도 대부분의 제품이 WYSIWYG(What You See is What You Get) 방식을 채택해 마킹 전에 실제 마킹 결과를 미리 화면상으로 예측할 수 있게 되었고 하드웨어의 조정도 프로그램상에서 가능하도록 하며 각종 Word Processor의 글자체나 그래픽 프로그램의 디자인 결과도 마킹이 가능하게 되었다. 따라서 신뢰성, 응용성 및 쉬운 제어 방식때문에 공장 자동화 라인에서 하나의 구성장비로서 큰 역할을 하고 있다.

3. 시스템의 구성

각 회사의 제품마다 구성요소가 같지 않으나, 일반적으로 레이저 마킹 시스템을 구성하는 요소를 그림 2에서 보면 하드웨어 구성품으로서는 레이저

발진기, 빔 expander(up-collimator), scanning system(galvanometer와 deflector), Q-switch, 촛점 렌즈(f-렌즈, flat-field 렌즈) 및 이 장치들을 제어 할 수 있는 컨트롤러 및 소프트웨어가 필요하다. 근래에는 대개 DA/AD 컨버터를 내장한 컨트롤보드(control board)를 컴퓨터내에 삽입하므로써 시스템의 간편성을 추구하고 있다. 또한 소프트웨어의 기능으로서는 하드웨어를 제어 할 수 있는 기능을 가질뿐만 아니라, x-y galvometer 및 광학 lens를 사용하기 때문에 생기는 distortion 보정을 위한 기능이 필요하다. 이 차수에 의한 결과를 보면 그림 3과 같은데 이것을 수정하기 위하여 컨트롤러 혹은 소프트웨어에서 렌즈에 따른 factor를 고려하여 미리 역으로 보상할 수 있는 기능이 주어져야 한다. 또한 이밖에도 소프트웨어에는 각종 글자체 및 vector 혹은 raster file을 마킹할 수 있는 기능뿐만 아니라 serial number, 바코드를 마킹 할 수 있도록 하는 기능 등 여러가지 기능을 추가 할 수 있고, CAD file이나 image 스캐너로 읽은 사진같은 bitmap 화상 마킹도 가능하게 할 수 있다. 즉 우리가 레이저 프린터 혹은 plotter에서 출력할 수 있는 모든 것이 레이저 마킹기로서도 가능케 할 수 있다는 것이다. 레이저 마킹 시스템을 구성하는 구성품의 특징을

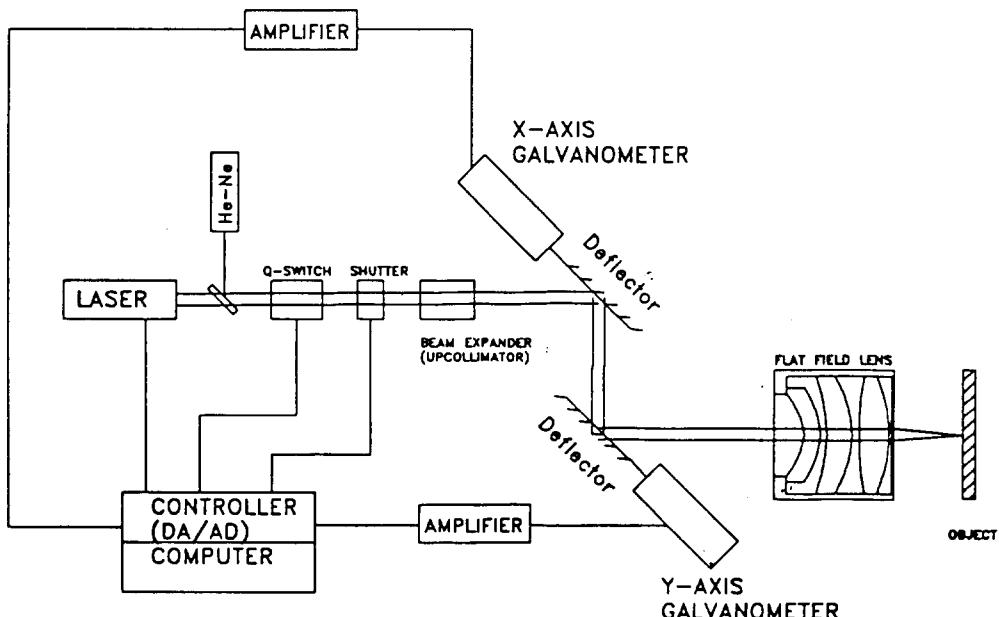


그림2. 빔 스캐너 타입의 레이저 마킹 시스템 구성도

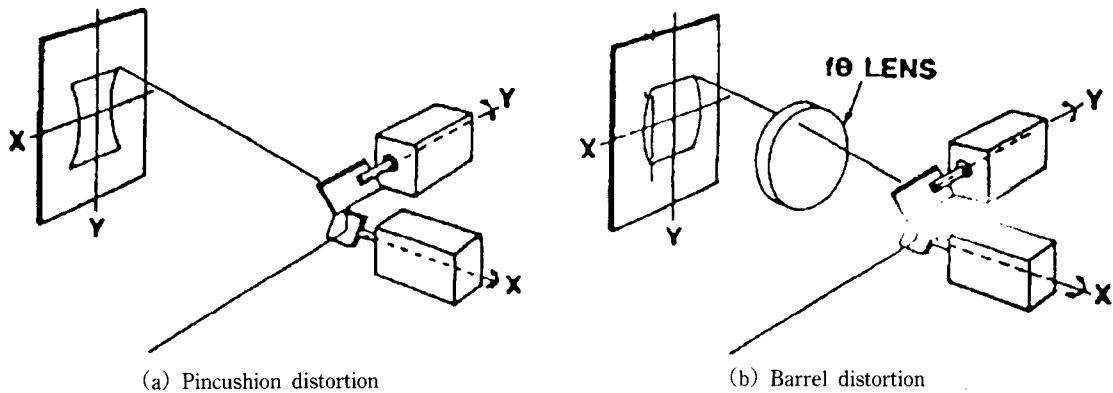


그림3. 빔 스캐너 및 f-θ 렌즈특성에 의한 찌그러짐 현상

간략하게 살펴보면 아래와 같다.

Galvanometer scanner는 일반 모터와 달리 중심으로부터 한정된 각도까지만 회전 할 수 있도록 만들어져 있는 closed loop의 analog servo 모터의 일종으로서 매우 작은 관성력과 높은 분해능을 가지고 있다. 그러나 기하학적인 경로차에 의하여 1개의 반사경에 의해서 tangent 오차를 발생시키며, 2개의 반사경이 조합하여 평면상에서 형상을 만들 때에는 두 반사경에 의한 영향으로 찌그러진 형상을 만들게 된다. 이 결과를 pincushion distortion이라 부르며 그림3(a)과 같다. 1개의 반사경이 만든 tangent error는 특별히 가공된 f-렌즈(flat-field 렌즈)로 수정이 가능하지만 두개의 반사경이 조합되어 생긴 pincushion distortion은 완벽하게 수정 할 수 없어 보정하기 위한 특별한 수식이 필요하다. 이 수식을 이용하여 최종 image를 수정한다.

Q-switch는 pulse 출력을 얻기 위하여 사용되며 장치로써 elector-optic switch와 acousto-optic switch가 있으며 일반적으로 Nd : YAG 레이저에는 acousto-optic switch가 사용되어지고 있다. Acousto-optic Q-switch는 광학발진기내의 레이저발진을 억제하기 위하여 광학발진기와 반사경사이의 cavity내에 위치하여 레이저빔의 광 경로를 제한한다. 즉 발진기 내부에 저장되어지는 에너지양을 증가시킨 후 광 경로를 해제하므로써 높은 출력력을 얻게된다. 이러한 과정을 한 싸이클 단위로 반복하여 펄스형태의 출력력을 얻게 되는 것이며 0에서 50kHz 까지의 조정이 가능하다.

Beam expander는 사용 광학계에 따라서 갈리안 혔과 케플러니안 혔이 있으면 대개 zoom이 가능하여

배율을 조정할 수 있으나 고정 배율로 되어 있는 것도 있다. 원문 그대로 빔의 크기를 크게하여 마킹 물체의 높이를 조절 할 수 있게도 하나 궁극적인 목적은 최종 빔 spot을 scanner 및 f-th 렌즈에서 가능한 작게 얻고자 사용되어진다.

f-θ 렌즈는 flat-field 렌즈라고도 칭하며 렌즈의 어느점을 지난 빛이 물체에 맷힐때 자체에서 생기는 barrel distortion과 galvanometer에서 생긴 tangent error가 서로 보정되어 distortion이 수정 되도록 디자인이 되었지만 실제로는 2축의 galvanometer를 사용 할때에는 두개의 효과가 복합되어 목적한 상이 짜그러짐 없이 정확하게 맷히질 않는다(그림3.(b) 참조). 따라서 이것을 보정해 주기 위해서는 하드웨어적으로는 galvanometer의 calibration이 필요하며 컨트롤러의 gain값으로 조절한다. 앞에서 말한 소프트웨어적으로 수정 할 수는 있으나 계산을 항상 하여야 하고 이에 따라 역으로 distortion 효과를 주어야 하기 때문에 주로 하드웨어적으로 수정하는 방법을 사용한다.

4. 레이저 마킹 시스템의 분류 및 특징

레이저 마킹기는 마킹을 위하여 조사하는 빔의 동작상태에 따라, 사용하는 레이저 발진기 종류에 따라 분류를 할 수 있다.

4.1 레이저 빔의 동작상태에 따른 분류

그림 4와 같이 빔 동작 상태에 따라 빔 이동형
즉 빔 scanning 방법 및 빔 고정 방법으로 크게 2

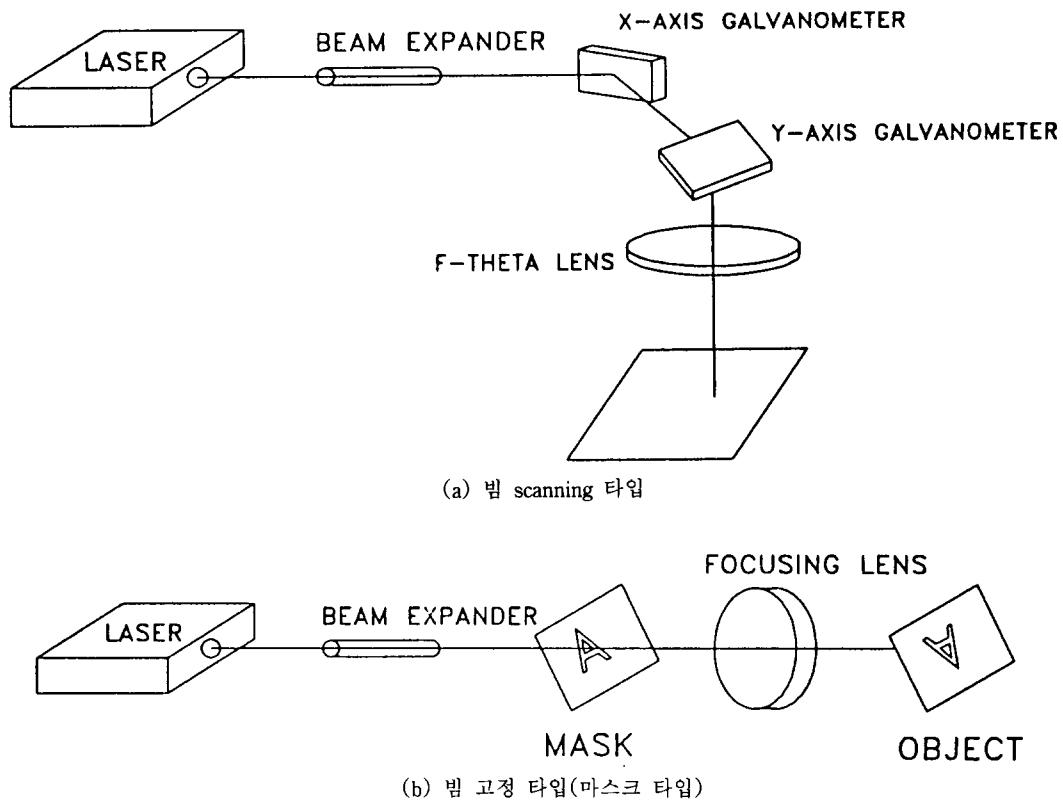


그림 4. 마킹 방법에 따른 광학계 구성도

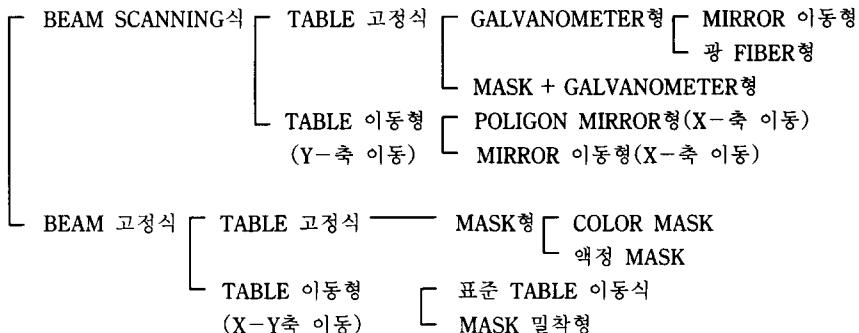


표 1. 빔의 동작 상태에 따른 시스템 분류

가지로 분류할 수 있는데, 세부 분류를 보면 표 1과 같다.

각 시스템의 특징을 보면 빔 scanning 타입은 제조번호와 같이 매번 변화하는 마킹 형상을 따라 신속하게 대응을 할 수 있는 특징이 있으며, 마스크

타입에 비교하여 보다 정밀한 마킹이 가능하나 scanning을 하기 위한 galvanometer 컨트롤러의 조정 기술의 요구된다. 근래에는 galvanometer 및 컨트롤러의 기능이 향상됨에 따라 3,000mm/sec정도의 고속 뿐만 아니라 보다 정밀한 scanning^o가

능하게 되었다.

4. 2 레이저 발진기에 따른 분류

종래에는 산업용으로는 Nd : YAG 혹은 CO₂ 레이저를 사용한 시스템이 주종을 이루었다. CO₂ 레이저는 마킹후 마킹 폭이 약 85μm이며 Nd : YAG 레이저는 파장이 짧아 CO₂ 레이저보다 정밀한 마킹이 가능하다. 최근에는 레이저가 발달함에 따라 TEA CO₂ 레이저나 엑시머 레이저를 사용한 마킹 시스템도 상품화 되어 사용되고 있다. TEA CO₂ 레이저는 큰에너지의 레이저 펄스가 요구되는 축전기의 마킹 등에 사용된다. 또한 최근에는 193 nm ~351 nm의 짧은 파장을 갖고 펄스 반복도가 높은 엑시머 레이저의 사용이 증가하고 있는데, 위와 같은 성질 때문에 미세하고 정도가 높은 가공이 가능하게 되었다. 다른 레이저는 빔의 형상이 원형이나 엑시머 레이저의 빔은 직사각형을 이루고 있는 것도 하나의 특징이다. 또한 엑시머 레이저 가공의 큰 특징은 abrasion 이라는 비열적인 가공을 하기 때문에 가공면을 깨끗하게 다듬질 할 수 있다. 사용하는 고정도 가공의 예를 들어보면 폴리머 필름, 세라믹, 유리 등에 사용이 가능하다.

마킹 시스템에 사용하는 레이저 발진기 종류에 따라 분류하여 위의 두가지 타입의 적용성을 비교하여 보면 표2와 같다.

5. 마킹 조건 및 영향

레이저 마킹에 쓰이는 레이저 발진기를 보면 30watt~100watt의 저출력의 발진기를 사용한다. Nd : YAG 레이저의 경우 대개 연속발진시 60 watt 정도의 power를 가진 발진기가 주로 쓰이며, Q-switch를 사용하여 펄스를 생성하여 사용하며 30 kHz 정도이하에서 대부분의 재질에 대해 마킹이 가능하다. Q-switch 펄스가 낮으면 펄스와 펄스 사이의 시간이 길어져 평균 출력은 낮아지나 첨두 출력은 높아진다. 이러한 상태는 중발 효과를 높여주며 이때 나오는 최대 첨두 출력은 위의 경우에 10 kHz이하에서 약 60kw의 첨두 출력을 얻을 수 있다. 그러나 펄스가 빨라지면 평균 출력은 높아지나 첨두 출력이 낮아져 열 영향을 많이 받게 되어 산화, annealing, 색의 변화, 또한 용융도 가능해진다. 마킹이 가능한 빔 spot의 깊이는 pulse Energy와 사용되는 집광렌즈의 촛점깊이에 따라 제한을 갖는다. 이 spot의 깊이는 마킹할 부재의 f-θ 렌즈로 부터의 거리 및 그에 따른 위치 허용오차를 결정하여 준다. Spot 크기는 beam expander로 조정이 가능하며 대략적으로 촛점의 크기는 25~200μm 이다. 마킹영역 및 촛점거리는 f-θ 렌즈의 사양에 좌우되며 moving table을 사용하지 않을 경우에는 100 mm×100 mm의 마킹 영역의 렌즈를 주로 사용한다.

각종 재질에 따라 레이저 출력, Q-switch로 펄스

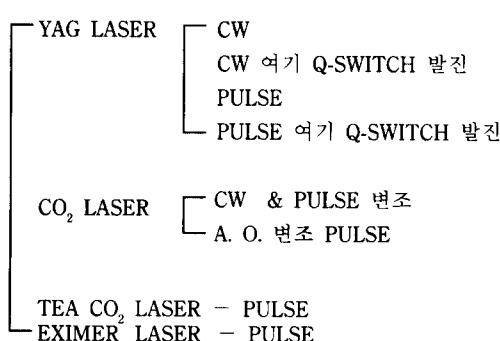


표 2. 발진기 종류에 따른 마킹 방식의 적용성

조정해야 할 사항들이 몇가지 추가되어야 하나 운용상의 기술로서 자세한 내용은 생략한다.

마킹시에 재질에 미치는 영향을 Nd:YAG 레이저를 사용할 경우를 예를 들어 보면, 용융점 이하에서는 비금속류는 색상의 변화가 따르나 금속류는 색상의 변화가 거의 없고 상 구조의 변화는 있을 수 있다. 또한 용융점에서는 대부분의 금속류는 색의 변화가 있으며 물질 고유의 빛의 반사를 온 변화된다. 예를들면 철, 금, 동은 흑색이나 진한갈색으로 변화된다. 페인트, 잉크, anodizing의 표면등은 마킹시에 그 물질만 깨끗하게 증발 시킬 수 있어, 효과적인 마킹을 위하여서는 주로 이 방법을 사용한다. 금속류 뿐만아니라 전기부품에 사용되는 Al_2O_3 나 세라믹 같은 재질은 표면을 증발시킬 수 있어서 이 효과를 사용하여 그루브를 형성시키며 출력을 높일 경우에는 구멍가공도 가능하다.プラス틱과 같은 물질에서의 화학적인 상변화는 뜻밖의 결과를 초래하기도 하는데 어두운 것이 밝게, 반대로 밝은것이 어둡게도 변한다.

Nd:YAG 레이저의 경우는 투명한 물체에서는 마킹이 되질 않아 통과하는데, 이 효과를 이용하여 투명한 재질로 코팅 되어있는 금속만의 표면에 마킹도 가능하다.

6. 실제 적용사례

몇년동안 50watt의 Nd:YAG 레이저를 제조업체에 판매하여 실제로 마킹에 적용한 대표적인 사례를 몇가지를 들어 보면 다음과 같다.

- ① 시계 뒷판의 로고 및 글자 마킹
- ② Car stereo의 button위 글자 마킹
- ③ 로고 및 글자 마킹(주물이용 음각→양각)
- ④ 목재 표면의 장식
- ⑤ 공구의 제조번호
- ⑥ 자동차 제조 명판
- ⑦ 자동차 부품의 제품 번호
- ⑧ Handy phone의 button
- ⑨ PCB FILM의 회로 마킹

이밖에도 어려분야에 적용이 가능한데, 특히 마지막 ②, ⑧의 경우는 마킹된 전량이 외국으로 수출, 납품되는 것으로 특히 ⑧의 경우에는 레이저 마킹이전에는 실크 스크린 작업 및 7가지의 까다로운

값을 조정하여 첨두 출력의 조정이 필요하며, 요구하고자 하는 형상이 찌그러짐이 없이 마킹이 되기 위해서는 컨트롤러에서 혹은 소프트웨어로서 f-th 렌즈에서 발생되는 수차를 보정해 주어야한다. 이밖에도 마킹할 부재의 종류 및 마킹 형상에 따라 수작업 공정을 거쳐 생산하던 제품이었고 불량률이 매우 높았다. 레이저 마킹 시스템 도입으로 공정을 자동화하여 생산 극대화 및 불량률을 없앴다. 외국 주문 업체의 까다로운 글자체 및 초기의 코팅재의 불균일 때문에 몇번의 시행 착오를 거쳐 최적의 마킹 조건을 만들어 낸 것은 사용자나 공급자의 보람을 찾을 수 있었던 좋은 경우였다.

7. 맷 음 말

레이저 시스템 구성에 있어서는 레이저 발진기 기술 뿐만아니라 광학, 전기, 전자, 기계, 소프트웨어 기술이 필요하며 이 기능을 최대로 이용할때 최고의 성능의 시스템을 구성할 수 있다. 참고로 최근에 개발한 신제품의 특징을 보면 표3과 같다. 실제 사용시에는 레이저 출력, 필스주기 및 폭 조정과 같은 parameter를 적절하게 조정하여 공정의 최적 조건을 찾는 레이저 응용기술이 필요하다.

국내에서는 레이저 마킹 시스템을 거의 대부분 수입을 하여 사용하나, 국내에서 시스템을 제작하기 위하여서는 대부분의 하드웨어를 외국제품을 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 특히 마킹기의 가장 중요한 부품인 scanning부품은 해외의 특정 업체의 존도가 매우 높다. 따라서 시스템 가격인하 및 국내 기술 파급효과를 고려할 때 이러한 부분이

	OLD MODEL	NEW MODEL
마킹 영역	90×90(mm)	115×115(mm)
마킹 속도	300mm/sec	3000mm/sec
마킹 문자 종류	영문자 4벌	영문자 수십종, 한글 8벌
한글 폰트 및 도움말	불가능	가능
한글 구현	사용자 직접 설계	한글 지원 S/W 사용 :한글12벌, 일본어2벌, 한자4벌
컨트롤러 형태	완전 분리형	일체형(레이저 스캔 모듈)
컨트롤러통신방식	RS232C	컴퓨터 버스형(슬롯 삽입형)
사용자인터페이스	전용 소프트웨어의 LINE EDITOR를 이용한 TEXT입력	오토캐드 또는 윈도우즈의 응용 프로그램에서 그래픽 입력
확장성 및 Customization	하드웨어 의존도 심함	다양한 입출력 포트와 유연성으로 안정됨

표 3. 시스템 구성 및 기능 비교

국산화 되어야한다. 국내의 좁은 레이저 시장 및 뒤처져 있는 국내 레이저 기술수준을 세계 수준으로 올리기 위하여서는 대학 및 연구소, 산업체 등이 끊임없는 자체 기술 개발 및 정보 교류로서 관련 기술을 공유하는 등의 거시적인 정책이 필요하리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. R.C. Crafer. & P.J Oakley : *Laser Processing in*

Manufacturing, Chapman & Hall, pp102~104,
1993

2. Kurt Pelsue : "Precision, post-objective, two-axis, galvanometer scanning," Proc. of SPIE vol 390, pp70~78, 1983
3. J.S.Ehrmann : "Optics for vector scanning", Proc. of SPIE vol 1454, pp245~255, 1991
4. 김도훈 : 레이저 가공학, pp306~307, 경문사, 1992
5. レーザ新報 : No.17, 新報株式會社, 1991