

갈바노미터 스캐너를 이용한 레이저 마킹 시스템
설계 제작에 관한 연구

조 태 익, 이 건 이

대우중공업 기술연구소 레이저 응용 연구실

A study on the design of the laser marking system
using galvanometer scanner

Tae Ik Cho, Kun Ee Lee

Laser App. Lab. Technical Center Daewoo Heavy Industries, LTD.

Abstract

To perform the marking on metal with high speed and non-contact using the laser beam of high energy, laser marking system is designed and fabricated applying the galvanometer scanner capable of high speed-precise beam positioning controlled by microprocessor.

Laser is a Q-switched Nd:YAG producing multi-mode, wavelength, 1060nm. Optical system is composed of beam expander, scanning mirror and flat field lens.

Consequently, the laser marking is satisfactorily achieved regardless of kinds of metal.

위하여 파장이 1060nm인 CW Pumped, Q-Switched Nd:YAG 레이저를 이용하였으며 갈바노미터를 채용한 벡터 스캐닝형의 레이저 마킹 시스템을 선택하였다.

마킹 모드는 Q-rate에 따른 Dot의 순간적인 Overlap으로 이루어진 Engrave모드를 선정하여 시스템을 설계, 제작하였다.

레이저 마킹 시스템은 크게 나누어 레이저, 빔 전송계, 시스템 제어계 및 Auto-Feeding Unit로 구성되며 본 연구에서는 마킹 대상물에 따라 구성이 달라지는 Auto-Feeding Unit는 고려하지 않았다.

레이저 빔 전송계는 Electrical Shutter, Up-Collimator, 2개의 갈바노미터 스캐너 및 스캐닝 미러, 집속렌즈로 구성되어 있다. 본 연구에서는 상기의 부품을 조합하여 레이저 마킹 시스템을 설계, 제작하여 레이저 마킹의 실현을 관찰하였다.

1. 서 론

과거의 기계나 전자 부품의 마킹 방법은 윤선 혹은 펀칭등이 이용되어 왔으나 자동화가 어려울 뿐 아니라 많은 결점을 안고 있었다.

최근 들어 공장자동화의 물결을 타고 제어성이 좋고 자동화가 용이한 레이저를 이용한 마킹 시스템이 실용화 되었다.

레이저 마킹의 특징은 고속, 비접촉 마킹이며 피가공물의 변형이 적고 활자, 잉크등이 불필요하며 공구 마모가 없을 뿐 아니라 후처리가 불필요하고 영구적이다. 또한 마이크로 프로세서에 의하여 제어되기 때문에 조작이 용이하고 문자나 도형등이 프로그램에 의하여 쉽게 변경되기 때문에 자동화가 용이하다. 이러한 장점으로 인하여 현재 반도체 산업, 기계, 전자부품, 자동차 부품등을 위시한 각종 부품 산업에 널리 이용되고 있다.

레이저 마킹 방법에는 Mask Image마킹과 Scanning Type마킹으로 크게 나눌 수 있으며 Scanning Type마킹에는 Raster Scan형과 Vector Scan형이 있다.

본 연구에서는 금속 및 고경도 금속등에 마킹을 하기

2. 시스템 구성

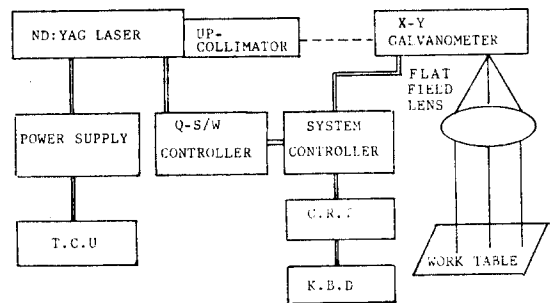


그림 1. 시스템 구성도

본 연구에서 설계, 제작한 레이저 마킹 시스템은 그림 1과 같으며 주요 구성은 레이저, 빔 전송계 및 시스템 제어 HW/SW로 되어 있다.

Nd:YAG 레이저를 이용한 마킹 시스템에 있어서 CW상태의 마킹은 평균 출력은 높으나 Peak power가 낮고 Heating효과만 나타나며 용융, 제거 과정은 일어나지 않

기 때문에 마킹에 사용할 수 없다.

따라서 효율적인 레이저 마킹은 평균 출력보다는 Peak power가 높아야 한다. 이에 필요한 출력 밀도는 $10^4 - 10^7 \text{ Watts/cm}^2$ 이며, Peak power는 비등점이 높은 재질을 용융, 기화시키기 위해서 70Kw가 되어야 한다.

그 결과 레이저는 금속류에 흡수율이 크고 높은 Peak power를 얻을 수 있는 파장이 1060nm인 CW Pumped Q-Switched Nd:YAG 레이저를 이용하였다. 본 시스템에 이용된 Q-Switched Nd:YAG 레이저의 최대 peak power는 80Kw, 최대 펄스에너지는 16mJ, 최대 펄스폭은 200nsec이며 Pulse repetition rate는 10Hz-50KHz가변이다. Q-Switched Nd:YAG 레이저의 평균 출력과 Peak power와의 관계는 그림 2와 같다.

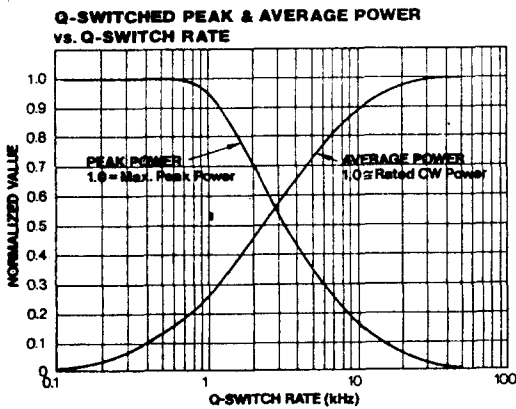


그림 2 Q-rate와 출력과의 관계

빔 전송계는 Up-Collimator, 2개의 갈바노미터 및 Scanning Mirror와 집속렌즈로 그림 3과 같이 구성하였다. 레이저 빔이 집속되었을 때 초점의 크기는 초점거리, 빔 확산율, 빔 확대율에 의하여 결정된다.

빔 확산율은 레이저 출력이 증가함에 따라 커지고 빔 직경을 크게 확대함에 따라 감소한다. 따라서 Up-Collimator를 이용하여 레이저 빔을 Up-Collimate시켜 빔 확산율을 줄이고 초점거리를 적절히 선택하면 원하는 초점크기를 얻을 수 있으며 이것은 마킹의 선폭을 결정하게 된다. 그러나, 빔 확산율을 적게 하기 위하여 빔 확대율을 크게 하면 Scanning Mirror크기가 커야 하기 때문에 Mirror의 관성이 커져 보다 큰 출력의 갈바노미터가 필요하게 되고 응답 속도가 떨어지게 된다.

스캐너의 종류는 Polygon Mirror 스캐너, 홀로그램 스캐너, 갈바노미터 스캐너등이 있다.

본 시스템에서는 고출력의 벡터 스캐닝에 적절한 X와 Y방향의 2개의 갈바노미터 스캐너를 채용하였고 주어진 데이터에 따라 적절히 빔 Positioning을 하여 고속 비접촉으로 벡터 스캔형의 마킹을 실현하였다.

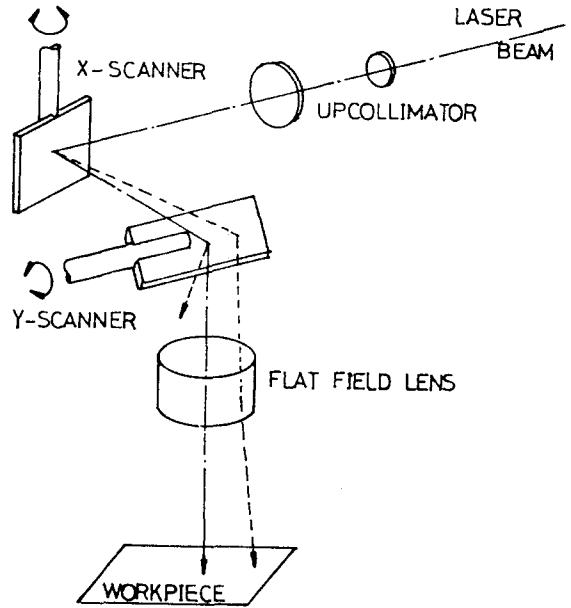


그림 3 레이저 빔 전송장치

본 시스템에서 도입한 갈바노미터는 Resonant 스캐너로서 구조는 그림 4와 같다. 갈바노미터는 그림과 같이 Solid Iron Rotor Core와 그 주위를 둘러싼 4개의 Longitudinal Pole Piece를 가진 Stator 및 Position Sensor등으로 구성된다.

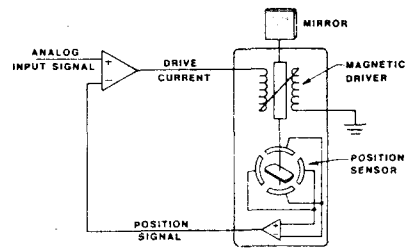


그림 4 갈바노미터 스캐너 구조

Mirror는 Mirror Mount에 의해 직접 Rotor에 부착되어 있으며 구동 토크는 Drive Coil에 흐르는 Drive Current에 의해 발생한다. Position은 그림의 Analog 입력 신호에 의해 결정된다. Full Angle Rise Time을 최소화하기 위해서는 그림 5.1과 같은 곡선이 되도록 Servo Gain과 Damping Factor를 조정해야 한다.

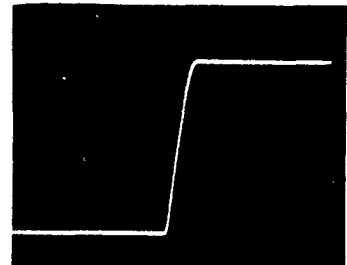


그림 5.1 Critically-Damped Response

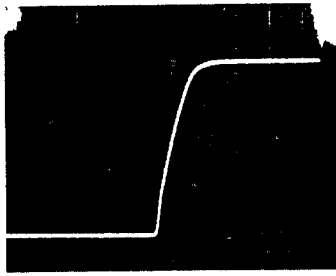


그림 5.2 Over-Damped Response

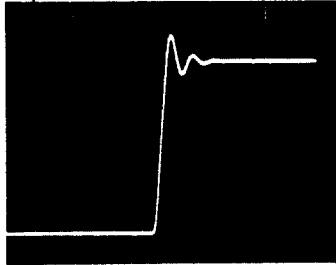


그림 5.3 Under-Damped Response

그림 5 Damped Response

레이저 마킹에 있어서 집속렌즈는 Focal Plane이 평면에 형성되어야함으로 초점크기가 전 Image Plane에서 균일해야 한다. 그림 6은 상기 사항을 실현하기 위한 복합 렌즈 시스템이다.

일반적인 단순 집속렌즈를 마킹에 이용할 경우 렌즈수차 즉, Pincushion등이 발생하여 직선부는 휘어지고 광축 부분에서는 선명한 마킹이 가능하지만 중심축에서 멀어질수록 선폭이 커지고 흐려지는 결점이 있어 균일한 마킹을 할 수 없다. 따라서 렌즈의 수차 및 초점을 보정할 수 있는 복합 렌즈군으로 구성된 Flat Field 렌즈로 구성할 경우 보다 선명하고 뚜렷한 마킹을 실현함과 동시에 보다 적은 렌즈를 이용하여 보다 큰 마킹 면적을 얻을 수 있다.

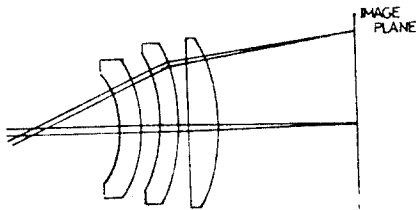


그림 6 Multi-elements Focusing Lens

3. 결과 및 검토

본 시스템을 설계, 제작하여 재질에 따른 마킹 상태를 비교 검토하였다. 글자의 폭은 0.8-2.3mm까지 레이저의 출력에 따라 변화하였다. 또한 렌즈의 수차 제거로 인하여 전 마킹 면적에서 같은 마킹 선폭 및 마킹 깊이를 가졌으며 $\pm 0.2\%$ 내의 직진성과 $\pm 0.01\%$ 의 반복

정밀도를 얻었다.

마킹의 Real Time제어를 위해서 직선 보간법을 채택하여 마킹을 실현했으며 향후 원호 보간법에 의한 완벽한 곡선 처리를 위해 연구하고 있다.

S/W제어로 그림 8과 같이 글자나 형상을 Tilt, Rotation, Radial 마킹 및 Serial Number 마킹을 실현하였다.



그림 8 마킹 종류

레이저 마킹을 실현할 때 특히 중요한 것은 렌즈의 수차 문제인데 수차 문제를 해결하기 위한 방법은 렌즈의 복합 구성과 Dynamic Focusing방법이 있다.

Dynamic Focusing방법은 넓은 면적에 대하여 균일한 Focal Plane을 얻을 수 있으나 Real Time제어의 실현이 선행되어야 한다.

본 시스템의 복합 렌즈에 의한 Flat Field Scanning을 할 경우 수차없이 넓은 면적의 마킹을 구현하기 위해서 많은 제한이 있다.

레이저 마킹은 모든 금속류에 마킹이 가능했으며 특히 고반사율의 물질을 마킹하기 위해서는 높은 에너지 밀도가 요구되었으며 구리의 경우 본 시스템에서는 평균 출력 50-60W에서 적절한 초점크기와 출력 밀도를 얻을 수 있었다. 정격 출력 90W에서는 빔 확산율이 커져 상대적으로 초점크기가 커지게 되고 에너지 밀도는 낮아져 좋은 마킹은 기대하기 힘들었다.

4. 결 론

본 연구에서는 갈바노미터 스캐너에 의한 레이저 마킹을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전 마킹면적에서 같은 선폭과 깊이를 갖은 마킹을 하였다.
- (2) Real Time제어를 위해서 직선 보간법(Linear Interpolation)을 채택하였으며 S/W적으로 L-Logo의 Tilt, Rotation, Radia마킹 및 Serial Number마킹을 실현했다.
- (3) 복합 렌즈 시스템을 채용 전 Image Plane에 걸쳐 일정크기의 초점 및 직선성을 얻었다.
- (4) 본 시스템을 이용 재질별로 마킹을 실시한 결과 불투명 수지류 및 플라스틱, 웨이퍼, 알루미늄, 스테인레스 스틸, 구리, 티타늄, 공 구강등의 고경도 금속, 즉, 금속류에 탁월한 마킹 능력을 보였다.

갈바노미터 스캐너에 의한 스캐닝 방법은 계속, Trimming시스템, Wafer Repair System, 레이저 프린터 팩시밀리, 레이다, Micor-Scan, Bar Code Reader

및 그래픽 시스템등의 기본 기술로 많은 연구 및 응용
이 기대된다.

참 고 문 헌

1. Burton Bernard, "Laser Marking Techiques", L.I.A, ICALED, Vol.31(1982)
2. John A. Nilson, "Laser Marking via Mask Projection", L.I.A, ICALED, Vol.31 (1982)
3. John F.Ready, Robert K. Erf, "Laser Applications", Academic Press, New York(1972)
4. Gerald F.Marshall, "Scanning Devices and Systems", Applied Optics and Optical Engineering, Academic Press, New York(1980)
5. "Barreling Distortion in XY optical Scanners", G.S.Technical Note NO.102
6. John B.Willis, "Techniques and Applications of Laser Marking", Lasers in Manufacturing, IFS, UK(1983)
7. S.S.Cherschan, "Lasers in Industry" L. I.A, OH(1972)