

비접촉 센서를 이용한 레이저 자동 포커싱

장정원*, 김재구, 신보성, 장원석, 최지연 (한국기계연구원)

Laser Auto Focus Using Non-Touch Sensor

J. W. Chang, J. G. Kim, B. S. Shin, W. S. Chang, J. Y. Choi (Korea Institute of Machinery & Material)

ABSTRACT

In this paper, there was finding laser beam focal length using the camera at the work with laser preprocess. A process have some similarity that the laser direct writing was condition of unused other light source in order to a partical object of working substrate, so we worked finding focal length using yellow light. As we found focal lengths from three points of substrate edges, The focal length of all substrates was able to be computed by calculating a plane equation using these three point. Also we make a device and software that can automatically perform all of the processes.

Key Words : Laser Focusing, Vision, Image Processing, Laser Fabrication.

1. 서론

지금까지 카메라를 이용한 비접촉식 센서에 대해서 많은 연구결과가 있었고, 그 응용범위에 있어서도 여러 가지 수많은 것들이 연구되어 왔다. 그 중에서 레이저를 이용한 가공을 할 때, 레이저광의 포커싱은 레이저의 단위면적당 출력(Intensity)을 증가시키기 위해서 레이저가공의 전처리 작업으로써 필수 불가결한 요소이다. 현재까지 이러한 과정을 수동이나 반자동방법으로 수행하던 것을 정밀도를 향상시키고 레이저가공의 품질을 증가시키기 위해 완전 자동화의 필요성이 증가되어 왔다.

또한 레이저 어블레이션(ablation)과 같은 주위 환경(광원)의 영향을 잘 받지 않는 작업도 있지만, 본 논문에서 수행한 레이저 응용작업은 직접묘화(Laser Direct Writing)와 같은 광경화성 물질로 이 작업은 레이저를 이용하여 시편을 경화시키는 프로세스 이므로 주위 광원의 영향이 크고, 접촉식 프로브(Probe)나 기타 거리 센서를 사용할 경우 시편 분자구조 변화나 변형을 가져올 수가 있다. 또한 레이저 가공시 레이저광의 초점거리는 사용하는 렌즈에 따라 달라지므로 이러한 초점거리(Focal length) 측정을 유동적이고 자동으로 측정할 필요가 있다. 그러므로 레이저광의 집속 렌즈와 카메라의 초점렌즈를 Fig.1 과 같이 사용하여, 카메라 초점거리와 레

이저광의 초점거리의 차이를 실험적으로 측정할 수 있다면 레이저 가공시 카메라의 초점을 맞춤으로서 레이저광의 초점거리를 알아낼 수 있다.

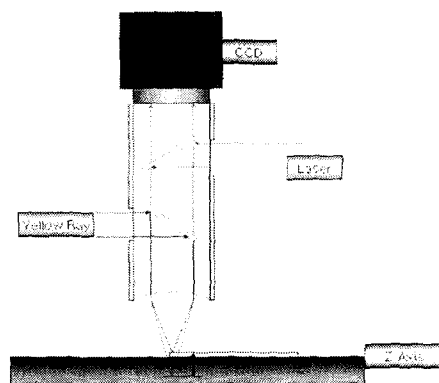


Fig. 1 Schematic Diagram of Light Path.

또한 일반적으로 정밀한 가공을 위해서는 초점 렌즈의 배율을 고배율로 사용하는데 이러한 고배율 렌즈는 유효 초점 거리의 범위가 수 μm 정도이므로 빔의 초점 거리를 정확하게 잡는 것은 레이저 가공을 위한 가공 정도를 높이는 데 중요한 요소이다.

2. 수행 방법

본 논문에서는 이러한 레이저가공에서 중요한 과정인 레이저 빔 초점거리를 찾는 데 카메라를 이용하고 카메라의 포커싱 방법 중에서도 다른 많은 방법들 중에서도 시편자체에 어떤 식별마크나 다른 표시를 할 수 없으므로 서로 다른 세 점에서 시편의 가장자리 부분과 뒤 스테이지 부분과의 높이 차이를 이용하여 포커싱을 하는 방법을 사용하였다.

이러한 작업을 위한 전체 시스템의 개략도는 아래 Fig. 2 와 같다.

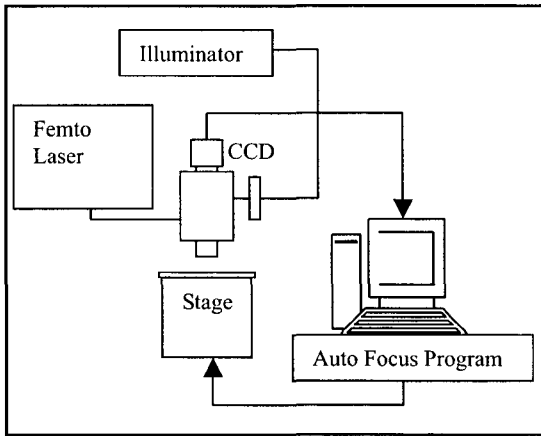


Fig. 2 Schematic Diagram

여기서 먼저 수행절차를 살펴보면 먼저 CCD 를 이용하여 초점 거리를 좀더 쉽게 찾기 위해 가공하고자 하는 시편의 가장자리 부분으로 이동한다. 이렇게 가장자리부분으로 이동한 이유는 뒷배경과 시편의 높이 차를 이용하여 시편의 모서리(edge) 부분의 에지를 좀더 쉽게 찾을 수 있기 때문이고, 또한 탐색 면적을 넓게 가짐으로서 전체 시편을 하나의 완전 평면이라고 가정하기 위함이다. 이러한 작업을 위해 먼저 가장자리로 이동하고 현재 X, Y 좌표 값을 획득한 후 CCD 를 이용하여 영상 데이터를 획득하고, 이 획득된 데이터를 이용하여 이미지 처리를 한다.

이미지 처리를 할 때, 초점이 완전히 맞지 않는 부분부터 시작하는데 초점이 완전히 맞지 않을 경우 적당한 임계값을 가지고 영상데이터를 임계값 처리 (Thresh Holding)를 한 후 에지를 검출하면 전체 영상이 모두 백색으로 변한다. 이곳에서 Z 축을 아래 위로 임의의 거리만큼 움직이면서 흑색데이터를 찾는 작업을 수행한다. 흑색데이터가 추출되면 Z 축으로 움직이는 거리를 줄인 후 영상의 에지 검

출(Edge Extraction)작업을 수행하였다. 에지 검출을 위해서는 일반적으로 수평, 수직 방향의 에지 검출에 적당한 Prewett 마스크를 이용한 회선방법(convolution)을 사용하였다. 이렇게 에지를 검출 후 시편이 원형이지만, 고배율 렌즈를 사용하므로 영상데이터에서 시편의 에지는 곡률 반경이 커서 거의 직선에 가깝게 검출된다. 그러므로, 시편의 에지가 가장 직선에 가깝고 선명하게 검출되는 Z 축 높이를 초점 위치로 결정한다.

이러한 작업의 수행 과정을 영상획득 한 것이 아래 Fig. 3 과 같다.

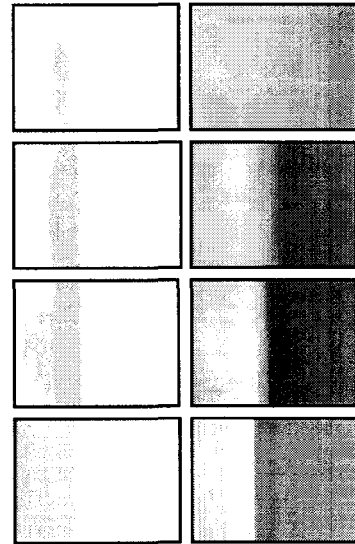


Fig. 3 Acquired Image Data While Finding A Focus Point

이렇게 각 가장자리부분에서 Z 축 초점 좌표와 X, Y 좌표 값을 찾은 후 $ax + by + cz + d = 0$ 와 같은 평면의 방정식을 이용하여 임의의 가공 위치 점에서 초점 높이를 계산하였다. 평면의 방정식을 계산하기 쉽게 아래 식 1 에 행렬형태로 나타내었다.

$$(a \ b \ c) \times \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d \\ d \\ d \end{pmatrix} = 0 \quad (1)$$

$$\therefore A = D \times M^{-1}$$

Where A is (a b c) matrix, M is variable matrix, D is const matrix

이런 방법으로 평면의 방정식을 구한 후 임의의 가공위치 X, Y 좌표값을 입력하여 현재 가공위치의 초점 높이를 구할 수 있었다.

이와 같이 초점 높이를 구한 후 수동으로 구한 최적의 좌표초점 높이에서부터 1um 씩 초점 높이를 변화하면서 레이저의 가공 선폭을 측정한 후 레이저 빔과 카메라 초점 높이간의 차이를 구하였다.

이상의 전체 과정을 아래 Fig. 4 에 흐름도로 나타내었다.

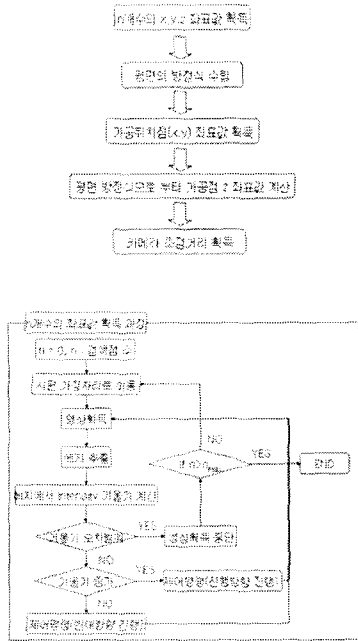


Fig. 4 Process Flow Chart

3. 실험

3.1 실험장치

본 연구를 수행하기 위해 구성된 실험장치는 레이저부는 800nm 파장의 극초단 펄스 레이저(Femto Second Laser)와 광학계이고, 비전부는 카메라를 이용한 이미지 처리를 위해 사용한 광원은 광경화성 시편이 반응하지 않는 파장영역인 황색광(Yellow lay)을 사용하였다. 그리고, 1um의 정밀도를 가지는 리니어 모터로 구성된 X, Y 스테이지와 80nm의 분해능을 가지는 스텝모터로 구성된 Z 축 스테이지를 사용하였다. 각 축 제어는 PWM 방식의 제어를 사용하였으며, 소프트웨어는 VC++를 이용하여 작업하였다. 그리고, 이러한 시스템의 전체 모습을 아래 Fig. 4에 나타내었다.

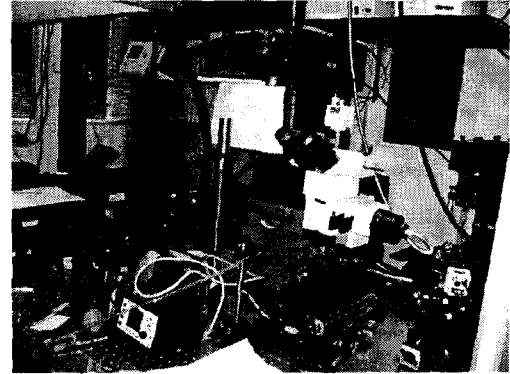


Fig. 5 Auto Focus and Fabrication System with Femto Second Laser

3.2 실험결과

반복된 실험을 통해서 카메라의 초점 거리와 레이저 빔의 초점거리의 편차를 구할 수 있었다. 그 초점 거리 편차를 적용해서 가공한 시편과 실제 수동으로 초점을 찾은 후 가공한 결과 모습을 아래 Fig. 6에 나타내었다.

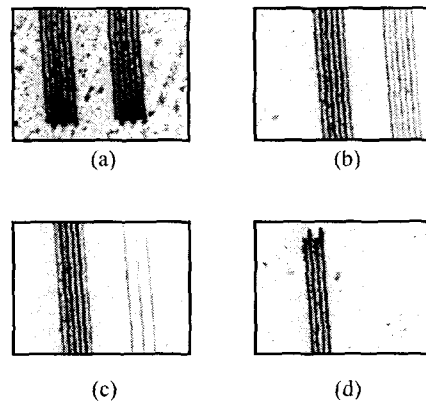


Fig. 6 The Result of Laser Fabrication with Active and Passive Focusing Method

위 실험 결과에서 볼 수 있듯이 임의의 세 점에서 수동으로 초점위치를 잡고 가공한 결과와 본 연구에서 수행한 방법으로 가공한 결과가 초기 시작점 Fig.6의 a 과 같이 비슷하나 가공 길이를 10mm로 하였을 경우 b, c, 에서 볼 수 있듯이 점점 갈수록 가공이 되지 않다가 결국 d에서 보듯이 가공이 전혀 되지 않음을 알 수 있다. 아래 Fig. 7에 위 실험의 시작점과 끝점의 초점 위치를 같은 높이에서 본 그림과 보정한 후 초점위치를 본 그림을 나타내었다.

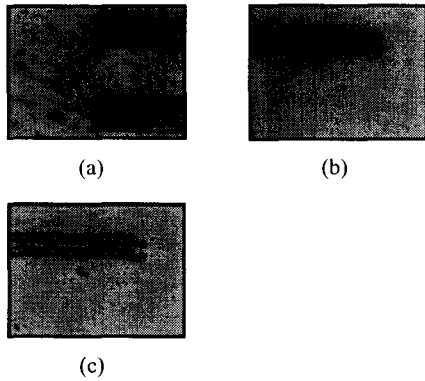


Fig. 7 The Compare of Start point and End Point
 (a) start point (b) end point (c) end point, where (a) and (b) is the same z axis height

4. 결론

이상과 같이 레이저가공을 위한 빔의 포커싱 포인트를 찾는 데 있어서 현재까지 수동이나 또는 반자동으로 행해지던 방법을 자동화 할 수 있었으며, 또한 레이저 빔의 직경을 작게 하기 위해 고배율 렌즈를 사용한 경우 수동으로 찾는 점이 정확도 편차를 줄일 수 있었다. 또한 광경화성 수지와 같은 광원이나 주위 환경에 민감한 재료에 있어서 본 연구에서 제시한 방법으로 수행함으로써 좀더 좋은 가공결과를 얻을 수 있었다. 그리고, 향후 좀더 카메라 초점 위치와 레이저 빔의 초점 위치 편차를 실험을 통해서 수백 nm 까지 찾을 수 있다면 더 정밀한 가공을 할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. R. A. Javis, "Focus optimization criteria for computer image processing," *Microscope*, Vol. 24, No.2, pp.163-180, 1976.
2. F. Hugh and D. White, "Sensor models and multi sensor integration", *IEEE J. of Robotics and Automation*, RA-2(No.1), 1986
3. Ramesh Jain, "Focusing," *Int. J. of Compute. Vision*, Vol. 1, pp. 223-237, 1987
4. 이석원, 이동성, 박희재, "MTF 방법에 의한 카메라 렌즈 초점 자동 측정 시스템 개발", *KSPE*, pp.264-270, 1996
5. O. Faugeras, "Three Dimensional Computer Vision" Academic Press, 1996