

3차원 패터닝을 위한 레이저 헤드설계 및 열해석

예강현*, 최해운**,#

*계명대학교 기계공학과, **계명대학교 기계자동차공학과

Laser Head Design and Heat Transfer Analysis for 3D Patterning

Kang-Hyun Ye*, Hae-Woon Choi**,#

*Keimyung University Mechanical Engineering Dept.

**Keimyung University Mechanical and Automotive Engineering Dept.

(Received 23 March 2016; received in revised form 26 April 2016; accepted 16 May 2016)

ABSTRACT

A laser head was designed for micro-scale patterning and joining applications. The target feature size of the pattern was 100 μ m, and optics were designed to perform the target. Two singlet lenses were combined to minimize the chromatic aberration, and the geometry of the lenses was calculated by using the raytracing method with a commercial software program. As a restriction of lens design, the focal length was set at 100mm, and the maximum diameter of the lens or beam size was limited to 10mm for the assembly in the limited cage size. The maximum temperatures were calculated to be 1367 $^{\circ}$ C, 1508 $^{\circ}$ C, and 1905 $^{\circ}$ C for 10, 12, and 15 Watts of power, respectively. A specially designed laser head was used to compensate for the distance between the object and the lens. The detailed design mechanism and 3D data were presented. The optics design and detailed performance of the lens were analyzed by using MTF and spot diagram calculation.

Key words: Laser(레이저), Patterning(패터닝), Design(설계), Optics(광학)

1. 서 론

생산기술의 비약적인 발전으로 인하여 공작기계 시장은 단일기계 단품가공에서 벗어나 여러 가공을 복합적으로 수행함으로써 가공시간의 단축과 더불어 생산성 향상을 동시에 구현할 수 있게 되었다. 또한, 이로 인한 품질관리가 체계적으로 이루어지게 되어서 궁극적으로는 원가절감을 이루어서 제품 경쟁력 강화를 실현 할 수 있을 것으로 기대된다.

일반적으로 공작기계 가공기에 사용되는 공구들

은 모두 대상소재에 접촉방식으로 공구와 재료 모두 부하가 걸리게 되며, 정밀도 저하 및 에너지 효율성의 한계성을 지니게 된다. 일반기계가공에서 구현 할 수 없는 비접촉가공이 레이저를 통해서 가능하게 되었으며, 공작기계에 레이저 가공기술 접목하는 것은 이미 보편화 되어가는 추세이다.

특수 설계된 레이저 헤드를 이용하면 레이저 시스템을 가공물에 조사(irradiation) 하는 방식으로 비접촉 방식으로서 고도화된 3차원 자유형상을 구현 할 수 있으며, 절삭가공에 어려움이 있는 난삭재 가공이 가능해지며 또한 무마찰로 인한 고정밀도 가공을 기대할 수가 있다.^{[1],[2]}

다만, 레이저의 경우 가공물과의 거리를 직접 측정할 수 있는 방법이 없어서 공정 중 실시간으

Corresponding Author : ksmpe@heaven.ac.kr
Tel: +82-53-581-2239, Fax: +82-53-581-2295

로 거리를 측정하여 레이저 헤드(초점렌즈)와 가공물의 초점거리(focal length)를 일정하게 유지시켜주는 자동초점 기능이 반드시 필요하다.

이러한 자동초점에 대한 기본 연구를 위하여 가공물과의 거리를 실시간 측정할 수 있는 LRF (laser range finder)장치를 사용하여 실시간 Laser head 위치를 보정하고, 이를 통해 초점거리를 자동으로 일정하게 유지시켜줄 자동초점 기능을 갖춘 레이저 헤드 설계가 제안 되었다.^{[3][4][5]}

본 연구에서는 공작기계에 레이저 가공장치를 적용함에 있어서 발생할 수 있는 자동초점 기능을 갖춘 레이저 가공 헤드 설계에 대한 연구결과를 소개하고, 설계된 레이저 헤드에 가상조건을 적용하여 열 분포를 해석하는 시뮬레이션을 진행하고 레이저 가공시 발생할 수 있는 한계를 극복하는 방안에 대해서 알아보고자 한다.

2. 레이저 헤드의 하드웨어 구성

레이저 헤드의 하드웨어 구성은 광 전송 장치 (beam delivery system), 광학부(optics)와 구동부 (motion system)으로 이루어 지며 세부적인 설계 내용은 다음과 같다.

2.1 광 전송 장치(beam delivery system)

광 전송 장치는 beam delivery system은 Laser source에서 나오는 Beam을 각 파장대의 영역에 맞춰 전달해주는 장치이다.

Fig. 1은 광 전송장치의 개략도이며 레이저광이 레이저 헤드에 입사되면, 먼저 Hot Mirror를 통해 가시광(visible light) 영역의 파장 (380nm~750nm)은 투과를 시키고, 레이저(ir light)는 반사를 시켜 광을 전달 해준다. 그와 반대 되는 역할로 Cold Mirror를 이용하여 가시광 영역은 카메라에 전달 되도록 설계 되었다. 동축으로 설계되어서 레이저 광이 집속되는 위치를 타겟하여 실시간으로 공정 모니터링 및 용접 전 용접 심(seam)을 추적할 수 있도록 설계 되었다. 또한 Fig. 1(c)의 경우는 광학 부품을 고정시킬 케이지(cage)에 대한 설계이다.

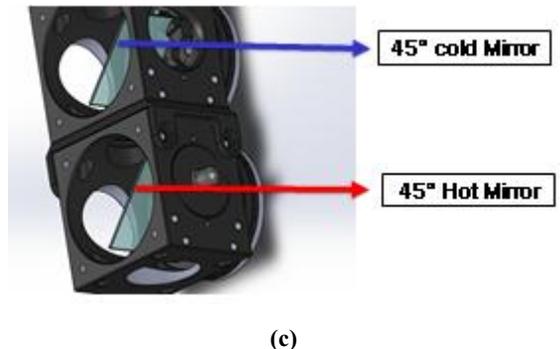
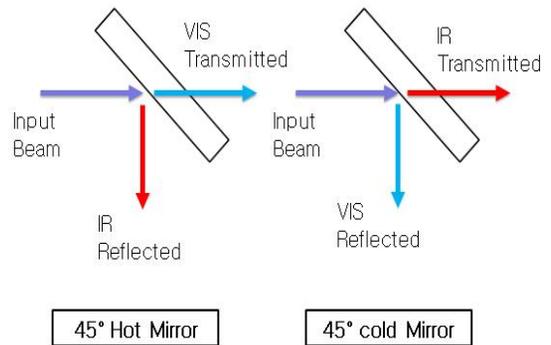
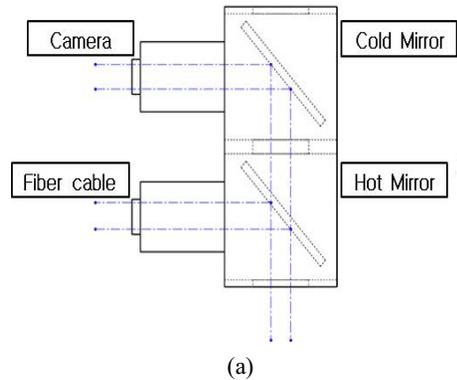


Fig. 1 Schematic of Beam delivery system (a) arrangement of hot/cold mirrors (b) The concept of hot/cold mirrors (c) 3D modeling

2.2 광학부 설계 (optics design)

레이저 헤드 파트는 가공에 사용될 레이저 파장 영역 1050nm~1620nm를 고려하여 Fig. 2와 같이 광선추적기법(ray tracing)으로 설계하였다.

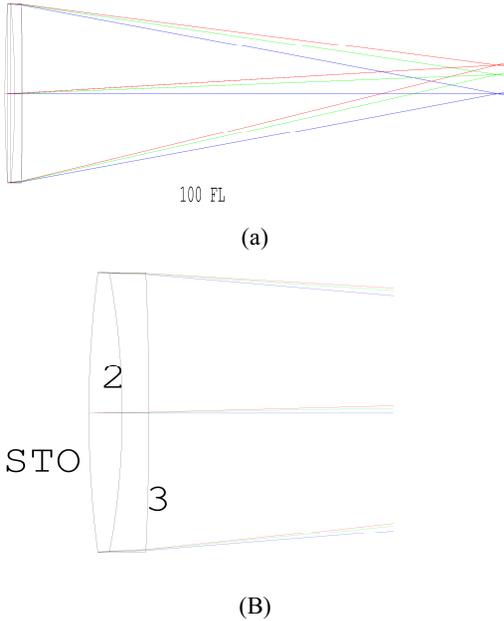


Fig. 2 Lens design data (a) Arrangement of lens (b) Enlarged view of optics

Table 1 Lens dimension

ID	Curv.	Thick	Mat'l	Rad.
OBJ	Flat	∞		8.3
STO	64.5	2	N-BAK1	8.3
2	-45.4	1.6	N-SF8	8.3
3	-185.2	100		
IMA	Flat	-		

렌즈 설계시 초점거리를 100mm로 설정하였으며, 레이저 광의 직경을 20mm 이하 (16.6mm)로 하여서 실제 제품의 영역 내에서 간섭이 일어나지 않도록 설계 하였다. 이미지 위치에서의 초점다이아그램을 연산한 결과 전 파장영역과 최대 2°의 입사 빔 왜곡에도 최대 RMS 반경이 156.6μm 로 계산 되었으며, 이는 열처리용 렌즈직경으로 적합

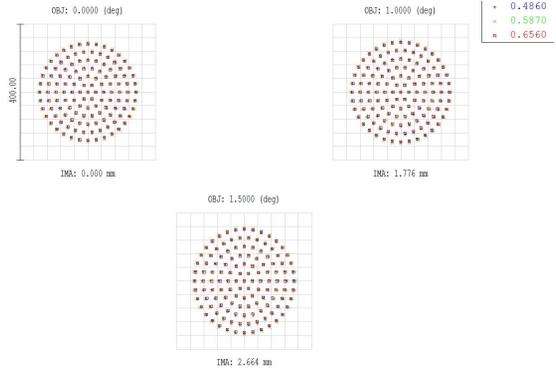


Fig. 3 Spot diagram analysis

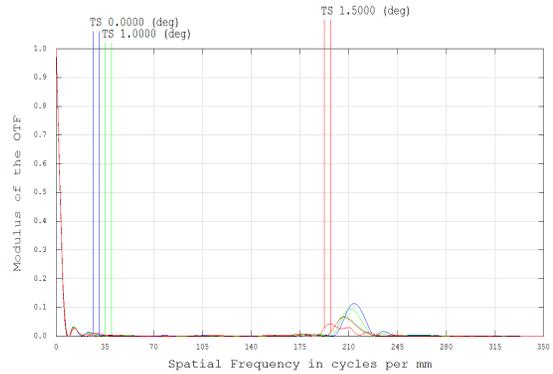


Fig. 4 MTF Analysis

할 것으로 판단이 된다. 상세한 시뮬레이션 연산 결과는 Fig. 3에 도시되어 있다.^{[6],[7]}

또한, 렌즈의 성능을 알아보기 위해서 FFT(fast Fourier transform) 변환을 이용하여서 회절 모델레이션 전달함수(diffraction modulation transfer function) 데이터를 구하였다.

일반적으로 MTF는,

$$MTF = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (1)$$

여기서 I_{max} 는 최대 밝기, I_{min} 은 최소 밝기를 말한다. 전 주파수 영역에서 RGB 영역에서, 빔입사 각 0°, 1° 그리고 1.5°를 가정하였으며 Modulation 한 결과가 Fig. 4에 예시되어 있다.^[8]

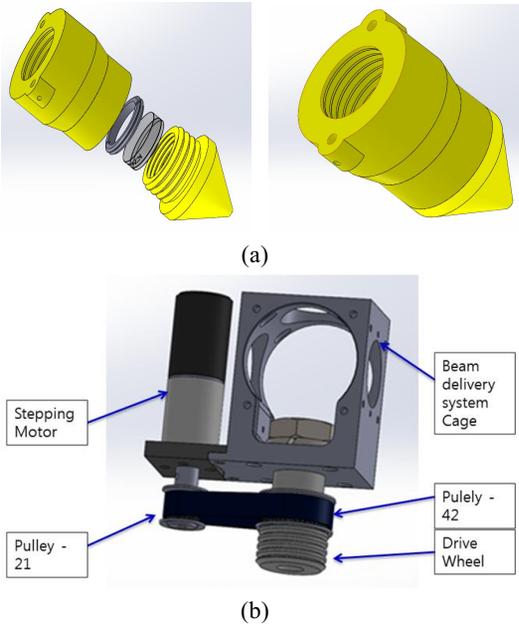


Fig. 5 Laser Head Design

이러한 설계 데이터를 기본으로 3차원 가공색수차 보정 렌즈를 사용한 광학설계를 Fig. 5와 같이 수행하였으며, 실시간 렌즈와 가공물의 초점거리를 보정 할 수 있도록 구동부를 설계 하였으며, 레이저 헤드부의 이송을 고려하여 이송 나사형태로 설계를 하였다.

3. 결과

설계된 레이저헤드와 광학부품을 구성하여서 컴퓨터시뮬레이션을 통해서 가상의 실험을 수행하였다. 레이저빔의 초점반경(*beam waist*)은 $100\ \mu\text{m}$ 로 하였고, 출력은 10Watt로 하였으며, Scanning 속도는 1500m/min으로 가정하여 수행 하였다. Fig. 6(a)(b)에 도시된 바와 같이 최대 온도는 1367°C로 측정이 되어서 열처리의 목적으로 적합 할 것으로 확인이 되었다. 또한, 동일조건에서 출력을 12Watt 상승시 1508°C, 15Watt 상승시 최대 온도는 1905°C까지 표면온도가 상승되었다.

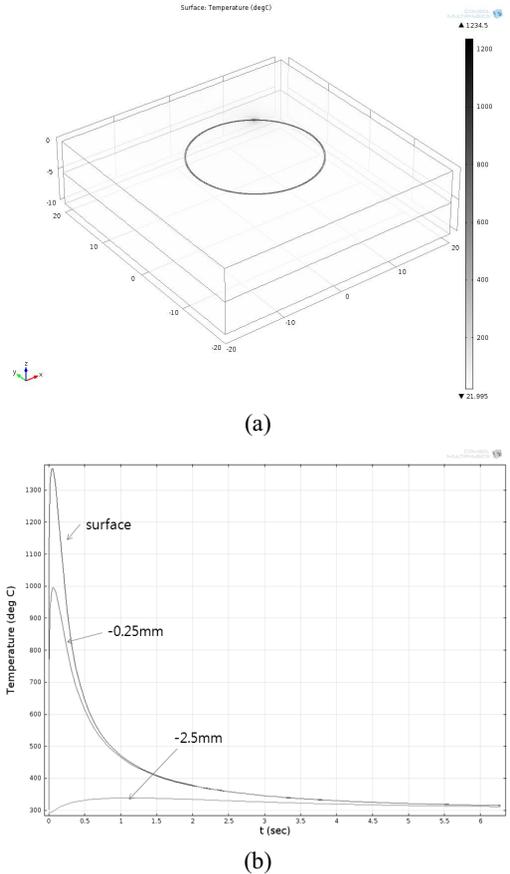


Fig. 6 Temperature Distribution (a) Surface heating at 10Watt (b) Temperature distribution at 10 Watt (c) Temperature distribution at 12 Watt

4. 결 론

3차원 미세패터닝가공을 위한 레이저헤드 설계를 수행하고, 미세패터닝(100 μ m)가공을 위한 광학부 설계 및 가상적용한 열해석에 대한 내용을 분석하고 정리하였다. 주어진 조건에서 100mm의 초점거리를 가지고, 자동초점보정기능을 가지도록 헤드가 설계 되었으며, 가상의 조건인 용접속도 1500mm/min, 출력 10Watt, 12Watt, 15Watt 범위 내에서 초점반경 100 μ m 조건에서 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 결과 미세패터닝과 집합에 충분한 표면온도 상승이 확인이 되었다. 향후 거리보정에 따른 초점의 크기 변화와 출력 및 용접속도를 변수로 한 추가적인 연구를 수행할 예정이다.

후 기

“이 논문은 KEIT 경제협력권사업 기술개발사업 (2015-0447)의 지원을 받아 수행되었습니다.”

REFERENCES

1. Kim, Y. and NA, S., "Interface design of laser hybrid machine based on machining center" , Journal of the KSMTE , pp.295-295, 2013,4
2. Kim, H., Wie, K, and Ahn, S., "Application of 5-axis Machining-laser Engraving, Molding Die Machining", Journal of Korean Society for Precision Engineering 23(10), pp.25-31, 2009,10
3. Lee, J. H., Shin, D. S., Suh, J., Cho, H. Y., and Kim, K. W., "Trends of Laser Integrated Machine" Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 9 pp. 20-26, 2008
4. Pyo. C. R., "Development of Auto Positioning Laser System by using Image Measurement Data," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12 No. 3, pp.36-40, 2013
5. Choi, K., Kim, S. and Shin, K., "Development of Automated Non-contact Thickness Measurement

- Machine using a Laser Sensor," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14 No. 2, pp. 51~58, 2015
6. Hecht, E., OPTICS, Pearson, pp. 583-650, 2014
7. ZEMAX-EE reference manual, <http://www.zemax.com>, 2010
8. Yoon, S. C., Shin, H. M., and Choi, H. W., "Optimum Design and Characterization of F-theta lens by a 3D Printer(II)", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4 pp. 49-54, 2015