

◆ 특집 ◆ 직선 · 회전모터 구동 이송 · 회전체 연구 VII

회전식 및 직선식 레이저 모듈 개발에 관한 연구

A Study on the Development of the Rotary and Linear Laser Modules

심민섭¹, 황성주¹, 김동현¹, 이춘만^{1,✉}
Min-Seop Sim¹, Seong-Ju Hwang¹, Dong-Hyeon Kim¹, and Choon-Man Lee^{1,✉}

¹ 창원대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.)
✉ Corresponding author: cmlee@changwon.ac.kr, Tel: +82-55-213-3622

Manuscript received: 2013.12.23 / Revised: 2014.1.10 / Accepted: 2014.1.16

Recently, laser processing technologies have been developed in many different industrial fields. The laser processing technologies are widely being applied such as laser assisted machining, cladding, heat treatment and coating. In the laser modules of the laser assisted machining system, laser lens is very important for accuracy and productivity of product. As the laser beam size, shape and focusing distance change, heat input energy of preheating point can be changed, the laser module of the laser assisted machining system should be equipped with various lenses differing beam size, beam shape and focusing distance. In this study, the rotary and linear laser modules are suggested. The finite element analysis is carried out to certify the static and dynamic stabilities of the developed laser modules. Finally, the rotary and linear laser modules have been fabricated successfully using the analysis results.

Key Words: Laser lens (레이저 렌즈), Rotary and linear laser modules (회전식 및 직선식 레이저 모듈), Laser application technology (레이저 응용기술), Finite Element Method (유한요소법)

1. 서론

최근 현장에서 활용되는 가공기술이 발달됨에 따라 과거에 가공이 힘들었던 소재들을 쉽게 가공하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 과거에 가공이 힘들었던 소재란 알루미늄(alumina), 지르코니아(zirconia), 파인세라믹스(fine ceramics), 초내열합금(high heat-resistance alloy) 등의 난삭재를 예로 들 수 있다.¹⁻⁴ 이들은 대부분 높은 단열성과 내구성, 취성 등으로 인해 소재를 가공하여 제품화하기가 어렵고, 또 가공하는데 고가의 비용이 들어 여러 측면에서 크게 제약받고 있다. 이에 공작기계 등을 통한 난삭재 가공기술의 지속적인 개발이 요구되고 있는 실정이다.

최근 정보통신, 가공, 계측, 의료 등 수많은 분야에서 레이저 응용 기술이 각광받고 있다. 클래딩(cladding), 열처리(heat treatment), 커팅(cutting), 브레이징(brazing) 등 다이오드 레이저의 응용 복합기술 분야는 점점 확대되고 있는데, 이 중에서도 선반이나 밀링을 레이저와 결합시킨 레이저 보조가공(Laser Assisted Machining)은 난삭재 가공을 위하여 활발히 연구되는 가공기술 중 하나이다.⁵⁻⁸

Kaylon등⁹은 레이저 보조가공에서 소재를 예열할 때, 시간의 변화에 따른 소재의 표면온도에 대하여 수치해석으로 계산하였다. Yang등¹⁰은 레이저 보조 밀링에서 질화규소재를 가공할 때 구동 온도 변화의 특징에 따라 관찰되는 레이저와 질화규소의 상호작용 메커니즘에 관하여 연구하였다. Ahn등

¹¹은 레이저 보조가공에서 유한요소해석을 통하여 이동하는 열원의 효율적인 해석방법을 제시하였다. **Rozzi**등¹²은 레이저 보조가공에서 수치해석을 통해 질화규소의 표면온도 예측에 대해 연구하였다. **Kim**등¹³은 레이저 보조가공에서 효율적으로 난삭 재를 가공하기 위하여 킬팅축과 부가 1축이 결합된 2-축 매니플레이터 제작에 관한 연구를 수행하였다. **Kim**등¹⁴은 레이저 보조 가공에서 고속 가공을 적용하기 위한 설계 안정성 확보에 관하여 연구하였다.

레이저의 렌즈는 제품의 정밀도 및 생산성에 매우 중요한 영향을 미친다. 레이저 처리를 하고자 하는 제품에 경사각이나 3차원 곡면 등이 있어 예열면적이 크게 변화하는 경우, 처리과정에서 예열하는 부분의 단위면적당 입열에너지가 감소 또는 증가할 뿐만 아니라, 빔 내 형상의 높이 차이가 나타날 수도 있다. 이러한 입열에너지 등의 변화는 레이저의 렌즈를 이용하여 초점거리, 빔의 형상, 빔의 크기 등을 조절하여야만 한다. Fig. 1에 다이오드 레이저의 다양한 응용 복합기술에서 사용되는 레이저 빔(laser beam)의 각기 다른 사이즈를 나타내었다.

이처럼 다이오드 레이저가 응용되는 많은 분야에서 레이저 종류에 따른 다양한 빔 사이즈를 요구하고 있다. 따라서 한 레이저 모듈에 여러 종류의 렌즈들이 필요하다. 이에 본 연구에서는 근거리 초점용, 원거리 초점용, 사각 빔, 원형 빔, 빔 사이즈 등 형태와 용도가 다른 다수의 렌즈를 한꺼번에 장착하여 교환 할 수 있는 회전식 및 직선식 레이저 모듈을 개발하였다.

유한요소해석을 통해 설계안의 안정성을 검증하고, 해당 데이터를 기초로 시작품을 제작하였다.

2. 회전식 및 직선식 레이저 모듈의 구조

본 연구에서 개발하고자 하는 레이저 모듈은 회전식 레이저 모듈과 직선식 레이저 모듈이다. 회전식 레이저 모듈은 1Step당 회전각이 0.72°인 스테핑 모터(A8K-M566)를 이용해 제어되며 렌즈하우징(lens housing)의 회전수가 100 rpm으로 구동되도록 설계 하였다. 직선식 레이저 모듈은 BALL SCREW (BNT 1605-2.6)을 통해 렌즈의 직선 이동을 표현하였다. Fig. 2에 설계전문 소프트웨어 CATIA V5R19를 이용하여 설계한 회전식 및 직선식 레이저 모듈의 3D 모델링 구상도를 나타내었다.

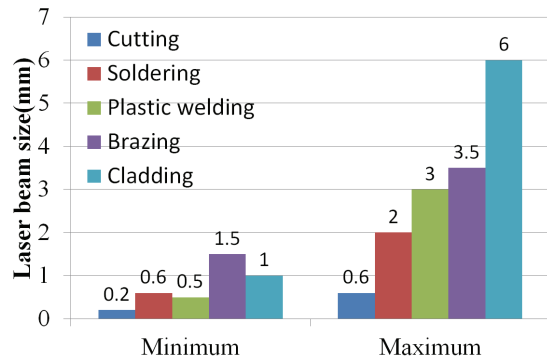
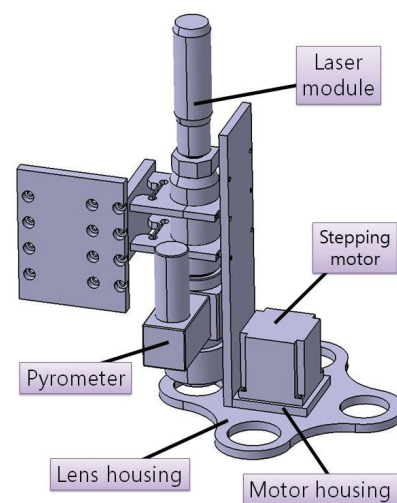
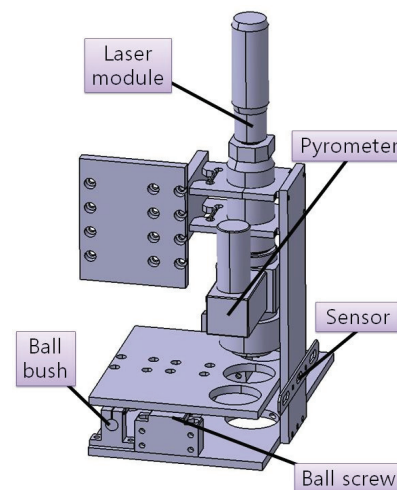


Fig. 1 Laser beam size for diode laser application¹⁵



(a) The rotary laser module

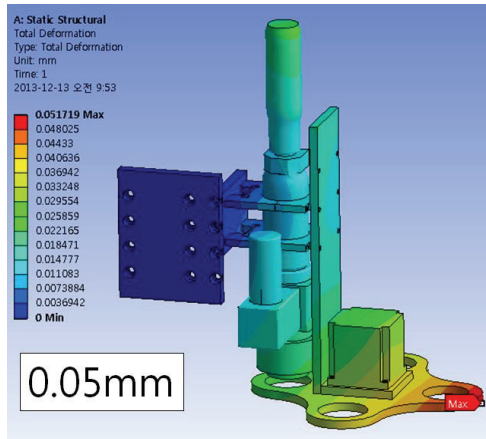


(b) The linear laser module

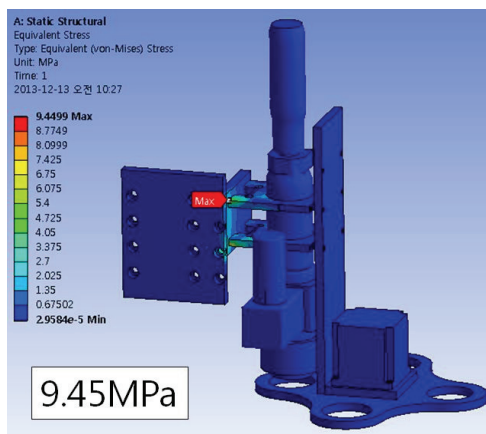
Fig. 2 3D model of rotary and linear laser modules

Table 1 Material properties

Material	Al6061
Density	2700 kg/m ³
Young's modulus	68.90 GPa
Poisson ratio	0.33



(a) Maximum deformation



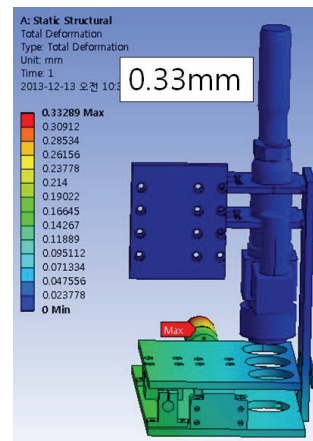
(b) Maximum stress

Fig. 3 The results of structural analysis of rotary laser module

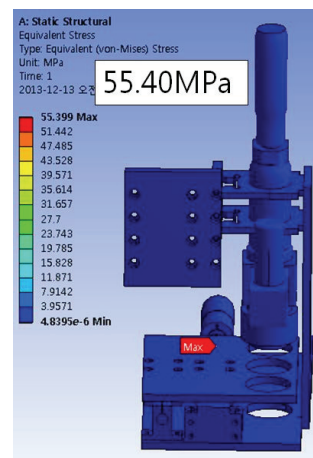
3. 유한요소해석

해석소프트웨어 ANSYS workbench 13.0을 사용하여 구조해석 및 모드해석을 진행하였다. 회전식 모델은 31,117개의 노드(nodes)와 16,213개의 요소(elements)를 가지며, 직선식 모델은 51,884개의 노드와 26,846개의 요소를 가진다.

3.1 구조 해석



(a) Maximum deformation



(b) Maximum stress

Fig. 4 The results of structural analysis of linear laser module

3.1.1 회전식 레이저 모듈

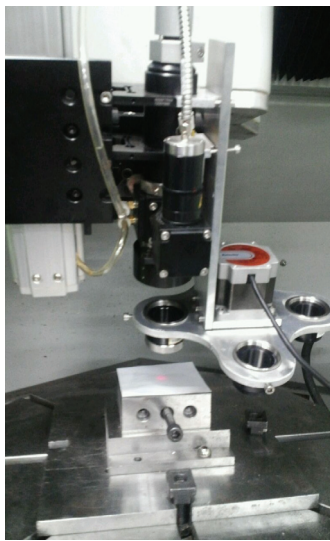
회전식 레이저 모듈의 구조해석을 수행하였다. 본 해석에 사용되는 재료는 Al6061이며 해당 소재의 물성치는 Table 1에 나타내었다. 최대변위값은 0.05 mm로 해석되었으며, 최대응력은 9.45 MPa로 해석되었다. Fig. 3에 최대변위와 최대응력의 구조해석 결과를 나타내었다.

3.1.2 직선식 레이저 모듈

직선식 레이저 모듈의 구조해석을 수행하였다. 구조해석과 마찬가지로 재료는 Al6061로 수행하였으며, 최대변위값은 0.33 mm로, 최대응력은 55.40 MPa로 해석되었다. Fig. 4에 최대변위와 최대응력의 구조해석 결과를 나타내었다.

Table 2 Natural frequency of rotary and linear laser modules

Mode number	Rotary frequency(Hz)	Linear frequency(Hz)
1	77.00	19.71
2	108.89	25.36
3	175.35	27.74
4	223.53	46.05
5	242.24	56.02
6	278.98	84.52



(a) The rotary laser module



(b) The linear laser module

Fig. 5 Photograph of fabricated laser modules

3.2 모드 해석

3.2.1 회전식 레이저 모듈

공진영역의 주파수 대역을 검토 및 분석하기 위해 모드 해석을 수행하였으며 모드 해석을 통해 얻어낸 결과를 Table 2에 나타내었다.¹⁶ 본 해석의 1차모드 고유진동수는 76.90 Hz에서 발생하였다. 회전식 레이저 모듈 작동시 스테핑 모터의 최대 회전속도가 100 rpm이므로 공진주파수는 약 1.67 Hz이다. 따라서 1차모드 고유진동수가 공진주파수에 비해 매우 크게 도출되었으므로 본 해석모델은 안정적으로 설계되었다고 판단된다.

3.2.2 직선식 레이저 모듈

직선식 레이저 모듈의 모드 해석을 실시하였다. 기본적인 해석방향은 회전식 레이저 모듈과 동일하며 모드 해석을 통해 얻어낸 결과를 Table 2에 나타내었다. 직선식 레이저 모듈의 1차모드 고유진동수는 19.71 Hz에서 발생하였으며, 직선식 레이저 모듈에 사용된 모터(K35-1)의 회전 속도가 100 rpm이므로 회전식과 마찬가지로 공진주파수는 약 1.67 Hz이다. 1차=모드 고유진동수가 공진주파수에 비해 크게 도출되었으므로 회전식과 마찬가지로 안정적이라고 판단된다.

4. 레이저 모듈 제작

3장에서 수행한 구조해석 및 모드해석 결과를 바탕으로 실제 제작을 수행하였다. 각 부품들의 소재는 해석과 동일하게 Al6061 소재를 사용하였으며 제작 후 설치한 레이저 모듈의 사진은 Fig. 5에 나타내었다.

5. 결론

본 연구에서는 형태와 용도가 다른 다수의 렌즈를 한꺼번에 장착하여 사용할 수 있는 회전식 레이저 모듈과 직선식 레이저 모듈을 개발하였다. 구조해석 및 모드해석 등 유한요소해석을 수행하여 안정적으로 설계되었는지 검증하였고, 해석결과를 토대로 시작품을 제작하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 아래와 같다.

- 1) 레이저 응용 기술 작업 시 다양한 빔 형태와 크기를 가지는 렌즈를 필요로 한다. 이에 본 연구에서는 형태와 용도가 다른 렌즈를 장착할 수 있는 회전식 및 직선식 레이저 모듈을 제안

- 하였다.
- 2) 구조해석을 통해 최대변위, 최대응력을 계산하였고 안정적인 구조임을 확인하였다.
 - 3) 모드해석을 통해 1차모드 고유진동수를 확인하였으며 공진주파수에 비해 고유진동수가 큰 것으로 나타났으므로 본 해석모델은 안정적으로 설계되었다고 판단된다.
 - 4) 해석결과를 바탕으로 레이저 모듈을 제작하였고 원활하게 구동되는 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 제작된 레이저 모듈은 레이저 열처리 및 레이저 보조가공 시스템에 적용하여 활용될 예정이다.

후 기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013035186).

참고문헌

1. Melkote, S., Kumar, M., Hashimoto, F., and Lahoti, G., "Laser Assisted Micro-Milling of Hard-To-Machine Materials," *Journal of the CIRP*, Vol. 58, No. 1, pp. 45-48, 2009.
2. Kim, J. D., Lee, S. J., and Park, S. J., "The Basic Study on Machinability of Ceramics in CO2 Laser Assisted Machining," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 33, No. 2, pp. 322-329, 2009.
3. Olgun, U. and Budak, E., "Machining of Difficult-to-Cut-Alloys Using Rotary Turning Tools," *Journal of the CIRP*, Vol. 8, pp. 81-87, 2013.
4. Kim, D. H., Kim, K. S., and Lee, C. M., "Environment-friendly Machining Technology of Difficult-To-Cut Material," *Journal of the KSME*, Vol. 52, No. 2, pp. 43-47, 2012.
5. Yilbas, B. S., "Laser Short-Pulse Heating : Moving Heat Source and Convective Boundary Considerations," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 293, No. 1-2, pp. 157-177, 2011.
6. Jeon, Y. H. and Lee, C. M., "Current Research Trend on Laser Assisted Machining," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, Vol. 13, No. 2, pp. 311-317, 2012.
7. Lee, J. H., Shin, D. S., Suh, J., Cho, H. Y., and Kim, K. W., "Trends of Laser Integrated Machine," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 25, No. 9, pp. 20-26, 2008.
8. Zhang, C. and Shin, Y. C., "A Novel Laser-Assisted Truing and Dressing Technique for Vitrified CBN Wheels," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, Vol. 42, No. 7, pp. 825-835, 2002.
9. Kalyon, M. and Yilbas, B. S., "Laser Pulse Heating: a Formulation of Desired Temperature at the Surface," *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 39, No. 1, pp. 109-119, 2003.
10. Yang, B., Shen, X., and Lei, S., "Mechanisms of Edge Chipping in laser-Assisted Milling of Silicon Nitride Ceramics," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 49, No. 3-4, pp. 344-350, 2009.
11. Ahn, S. H. and Lee, C. M., "A Study on Large-Area Laser Processing Analysis in Consideration of the Moving Heat Source," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, Vol. 12, No. 2, pp. 285-292, 2011.
12. Rozzi, J. C., Pfefferkorn, F. E., Shin, Y. C., and Incropera, F. P., "Experimental Evaluation of the Laser Assisted Machining of Silicon Nitride Ceramics," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 122, No. 4, pp. 666-670, 2000.
13. Kim, D. H., Cha, N. H., Kim, T. W., and Lee, C. M., "A Fundamental Study on the Design of Two-axis Drive Manipulator for Laser-assisted Machining," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 29, No. 8, pp. 813-817, 2012.
14. Kim, K. S., Kim, J. H., Choi, J. Y., and Lee, C. M., "A Review on Research and Development of Laser Assisted Turning," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, Vol. 12, No. 4, pp. 753-759, 2011.
15. Nasim, H. and Jamil, Y., "Diode Lasers: From Laboratory to Industry," *Optics & Laser Technology*, Vol. 56, pp. 211-222, 2014.
16. Kim, D. H. and Lee, C. M., "The Static and Dynamic Analysis of a 45,000rpm Spindle for a Machine Tool and Evaluation of its Stiffness," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 28, No. 4, pp. 422-426, 2011.