

500W급 광섬유 레이저 출력 전송 모듈 End Cap의 구조 및 열전달 해석

고가진*, 김재열**,#, 허상휴***

*조선대학교 일반대학원 기계시스템공학과, **조선대학교 기계시스템·미래자동차공학부,
***포미(주)

A Study on the Structural and Heat Transfer Analysis of the 500W-Class Optical Fiber Laser Output Transmission End Cap Module

Jia-Chen Gao*, Jae-Yeol Kim**,#, Sang-Hu Heo***

*Dept. of Mechanical System Engineering, Graduate School of Chosun University

**School of Mechanical System & Automotive Engineering, Chosun University

***Photonics Mediate Co.,Ltd

(Received 16 March 2017; received in revised form 24 May 2017; accepted 22 July 2017)

ABSTRACT

In recent years, the optical fiber laser has been widely used in industrial fields due to its excellent economical efficiency and its suitability for industrial applications. This usage has increased even further since the KW class Laser was developed. In this paper, structural analysis and heat transfer analysis of a 500W class optical fiber laser end cap module was performed. The stability of end cap housing with the efficient heat dissipation structure of a 500W-class end cap was evaluated. This research determined the optimal design that should be applied to the design and evaluation of future KW class laser output modules.

Key Words : Optical Fiber Laser(광섬유 레이저), High Power Laser(고출력 레이저), End Cap(엔드캡), Structural Analysis(구조 해석), Heat Transfer Analysis(열전달해석)

1. 서 론

레이저는 매질, 공진기, 펌핑 소스로 구성되며 매질의 종류에 따라 가스 레이저, 고체 레이저, 반도체 레이저, 그리고 광섬유 레이저 등으로 분류되고 있다. 특히 고출력 레이저에 대한 산업계의 요구로

레이저 개발을 위한 요소기술에 대한 연구는 물론 시장을 형성하는 주요 산업으로 레이저가 주목받고 있다.

품질 좋은 고출력 레이저를 얻기 위해서는 매질의 냉각이 필수적이며, 고전적인 rod-type의 레이저는 rod의 내부와 표면의 온도 차로 인해 rod자체가 볼록 렌즈를 적용하여 레이저의 빔품질과 출력의 저하를 가져오는 등의 불안정한 현상을 야기시킨다. 이와 같은 현상을 줄이기 위해서는 매질의 냉

Corresponding Author : jykim@chsoun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7745, Fax: +82-62-230-7035

각이 관건인데, 매질의 냉각을 용이하기 위해 매질을 기하학적으로 변형하여 rod의 직경을 작게 하고, 길이를 길게 함으로써 체적에 대한 표면적 비율을 높여 냉각 효율을 높이는 방식이 연구 되었는데, 이것이 광섬유 레이저의 유래라 할 수 있다^[1].

초기 형태의 광섬유레이저는 1980년대에 이르러 회토티류 광섬유를 이용한 최초의 단일모드 광섬유 레이저 및 증폭기의 개발로 진전을 이루었으며, 이러한 기술 진전은 저손실 광섬유를 통한 초고속/원거리 광섬유 통신기술의 혁신적인 발전을 이루어 내어 1990년대에 시작되어 오늘날에 이른 인터넷 시대의 도래를 이끌게 되었다^[2-3].

이러한 광섬유 레이저 기술은 1990년대 후반까지는 주로 광통신 응용에 국한되어 있었기 때문에, 발생하는 광출력의 세기는 통상적으로 mW급에 머물러 있었으며 대부분의 고출력 레이저는 기체 레이저 및 인터넷 관련시장의 포화상태와 더불어 그 거품이 붕괴되면서 광통신 연구분야에만 집중되던 연구 열기가 다름 아닌 고출력 광섬유 레이저분야로 다변화하게 되었으며 이로 인해 2000년대 초반 많은 연구기관들이 막대한 연구비 지원을 받으면서 기존 방식의 기체 레이저 및 고체레이저를 대체 할 수 있는 고출력 광섬유 레이저 연구 분야를 개척하게 되었다^[3-10].

고출력 광섬유 레이저 기술은 그동안 발전을 거듭해온 광섬유 통신 기술과 펄프용 반도체 레이저 기술의 기반을 두어 급속한 기술적 진전을 이루어 2000년대 초반 최초의 KW급 고출력 단일 모드 광섬유 레이저를 개발하였으며, 이후 계속된 발전을 통해 2010년대에 이르러 KW급을 상회하는 단일모드 광섬유 레이저가 상품화되어 다방면의 과학기술 및 산업현장에서 기존방식의 기체 및 고체레이저들을 점진적으로 대체하고 있으며, 광섬유 레이저 고유의 특성을 이용한 다각도로 그 응용 기술 변모를 꾀하고 있다.

고출력 광섬유 레이저 광원은 최종 출력단 광섬유에서 대기의 굴절율과 광섬유의 굴절률리 상이한 관계로 출력단 내부로 되반사가 발생하며 이는 레이저 시스템의 성능을 저하시키거나 손상을 발생시키는 주요한 원인이 된다. 또한 출력단의 광원의 세기가 강하기 때문에 출력단 광섬유의 손상이 발

생한다^[4].

이러한 광섬유 출력단의 손상과 시스템 내부로 되반사를 방지하기 위해 고출력 광원의 전송을 위한 특수 광섬유 출력단 소자가 요구되고 있으며, 이러한 소자는 광학적 안정성뿐만 아니라, 시스템적인 안정성과 작업자의 안정성이 고려됨에 따라 고출력 광섬유 레이저 출력 전송을 위해 KW급 광섬유 출력 전송 모듈의 개발이 필요하다.

본 논문은 KW급 광섬유 출력 전송 모듈을 개발하기 위해 500W급 광섬유 레이저 출력 전송모듈의 출력특성의 안정성을 연구하였다. 구체적으로 열적, 구조적으로 500W급 END CAP의 효율적인 방열 구조 END CAP 하우징의 안정성을 평가하였다.

2. 본 론

2.1 해석 모델링

고출력 레이저 전송모듈 End Cap의 초기 설계 단계에서 해석을 실시하기 위해서 2D도면을 바탕으로 Catia프로그램을 활용하여 모델링 작업을 진행하였으며, 아래와 같이 End Cap(Fig. 1)과 End Cap 하우징(Fig. 2)의 3D모델링을 나타내고 있다^[11-12].

End Cap 하우징의 재질은 열적 발열특성은 다소 낮지만 기계 가공 특성이 우수한 알루미늄으로 선정하였다.

2.2 구조 해석 및 결과

구조해석을 위한 UGNX Nastran를 기반으로 End Cap 결합구조에 따른 결합하중 분석을 진행하였으며, 다물체 동역학 기법을 적용한 동적 구동 시뮬



Fig. 1 End cap 3D modeling

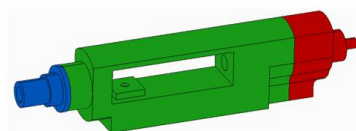
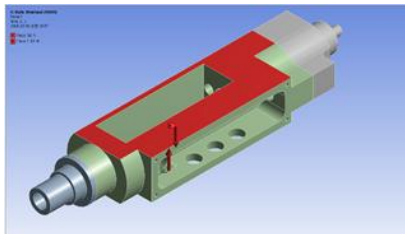
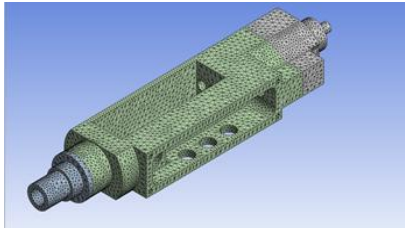


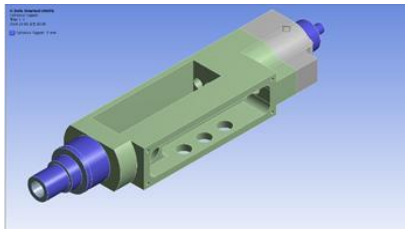
Fig. 2 End cap housing 3D modeling



(a) Condition of force



(b) Meshing



(c) Condition of fix

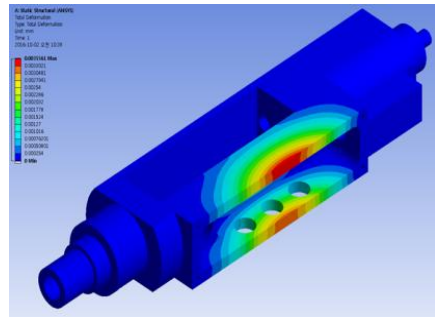
Fig. 3 Boundary condition of structural analysis

Table 1 Materials properties

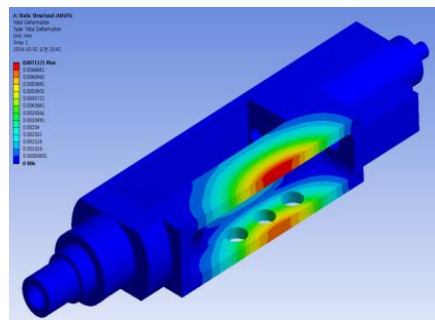
Density (kg/m^3)	2770
Tensile yield strength (MPa)	280
Compressive yield strength (MPa)	280
Tensile ultimate strength (MPa)	310

레이션 분석을 통한 최적의 구조해석을 진행하였다. 요소망은 Nodes 488,947개, Elements 284,884으로 생성하였다.

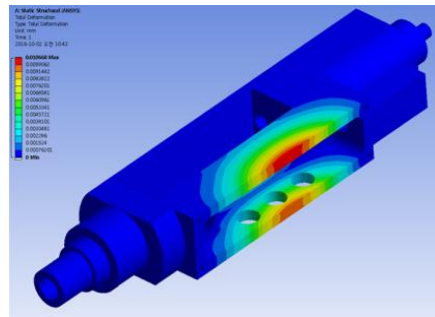
각각 50N, 100N, 150N, 200N을 적용시켜 Force를 가했을 시 구조 변형량을 분석하였다. 이때, 적용된 관련 물성값은 Table 1에 나타내었고, 해석에 사용되는 경계조건은 Fig. 3에서와 같이 End Cap의 바닥면을 고정하고, 하중은 윗면 영역으로 적용하였다. 아래 그림은 End Cap하우징의 구조해석 데이터를 나타내고 있다.



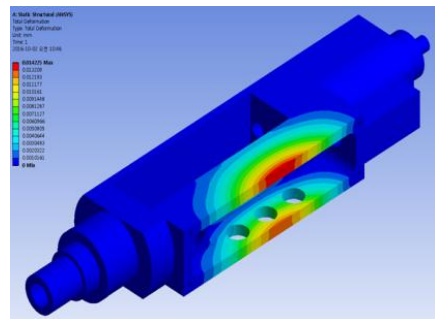
(a) 50N



(b) 100N



(c) 150N



(d) 200N

Fig. 4 Result of structural analysis

Table 2 Result of structural analysis

Force(N)	Deformation(mm)
50	0.0035561
100	0.0071121
150	0.010668
200	0.014225

Table 2의 해석 결과 통해 50N, 100N, 150N, 200N의 Force작용할 때 모든 해석결과에서 발생한 최대응력이 재료의 허용응력 보다 낮으므로 외부응력에 대해 구조적으로 안정적임을 알 수 있으며, 200N이 작용할 때 최대 변형량은 0.014225mm로 탄성변형이 있음을 알 수 있다.

2.3 열전달 해석 및 결과

열전달 해석은 UGNX Nastran를 활용하였다. 해석 조건으로는 End Cap 출력부 끝단부에 각각 0.5W, 1W, 3W, 5W별 10sec 동안 열원을 가했을 때 열전달 해석을 진행 하였으며, 재료는 AI를 적용시켜 외기 20℃ 자연 대류 조건으로 열해석을 진행 하였다. 아래 그림은 End Cap 하우징의 열전달 발열부를 나타내고 있다(Fig. 5).

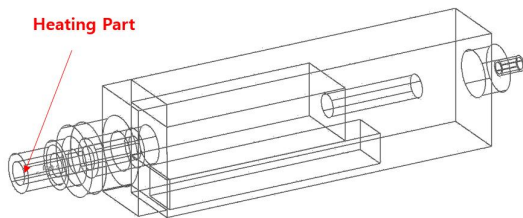
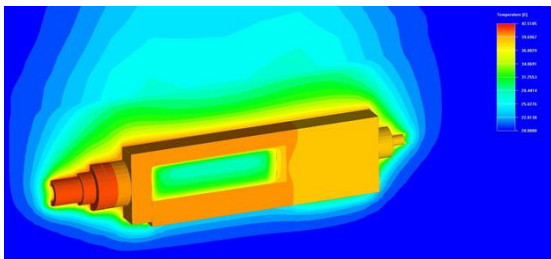
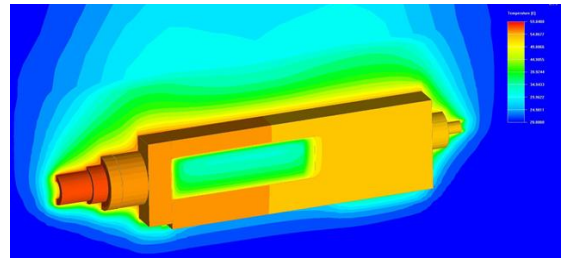


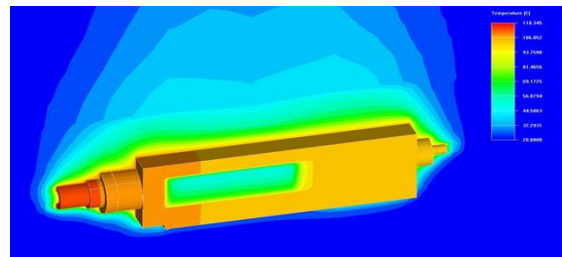
Fig. 5 Heating part of end cap housing



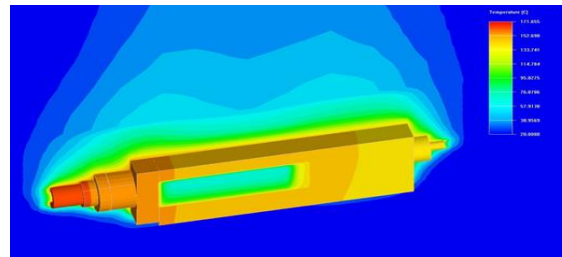
(a) 0.5W



(b) 1W



(c) 3W



(d) 5W

Fig. 6 Heat transfer analysis of end cap housing

Table 3 Result of heat transfer analysis of end cap housing

Heat input(W)	Heat transfer(℃)
0.5	Max. 42 / Min. 36
1	Max. 59 / Min. 49
3	Max. 118 / Min. 93
5	Max. 171 / Min. 133

위 데이터는 End Cap 열원부에서 최대온도 분포를 나타내고 있으며, 축 방향으로 열전달이 이루어지고 있는 현상을 보여주고 있다. W에 따른 최대 온도값과 최소 온도값이 차이가 커지고 있으며, 이는 열충격이 반복적으로 가해지는 상황에서 열변형

및 열응력에 따른 파손여부를 나타내고 있다. 이에 본 모듈은 열충격을 반복적으로 받는 조건이 아니므로 열변형 및 열응력에 대한 구조적 안정성과 건전성이 확보됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 고출력 광섬유 레이저 출력 전송 모듈 제작에 앞서 End Cap에 대한 구조 및 열적 안정성 평가를 연구하기 위해 End Cap Housing의 구조해석 및 열전달 해석을 진행하였으며 아래와 같은 결론을 도출 하였다.

1. 3D 모델링된 End Cap Housing에 하중을 부여하여 구조해석결과 200N이 작용할 때 최대 변형량은 0.014225mm로 탄성변형이 있으므로 안전한 구조로 판단된다.
2. 열전달 결과 열충격이 반복적으로 가해지는 상황에서 열변형 및 열응력에 따른 파손이 될 수 있으나, 본 모듈은 열충격을 반복적으로 받는 조건이 아니므로 열변형 및 열응력에 대한 안정성과 건전성이 확보 되었다고 판단된다.
3. 본 연구를 통해 향후 KW급 레이저 출력모듈의 설계 및 평가시 안정성의 중요한 데이터로써 최적설계가 적용될 것이다.

REFERENCES

1. Han, Y. H., "Principle and Application of Fiber Lasers," Optical Science and Technology, Vol. 14, No. 2, pp. 58-33, 2010.
2. Kang, S. H., "Development of 10W Optical isolator part for optical fiber laser," 2011.
3. Sahu, Y. J., Payne, D. and Nilsson, J., "Ytterbium-doped Large-core Fiber Laser with 1 kW of Continuous Output Power," Electron Letters, Vol. 40, No. 8, pp. 470-471, 2004.
4. Kim, J. W., "Study on optical Fiber Cleaving by Using Femtosecond and Picosecond Laser," 2014.
5. Ahn, D. G., Kim, M. S., "A Study on Heat Transfer Characteristics of Laser Cutting for the CSP IN Sheet

- Using High-power CW Nd:YAG Laser," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 5, No. 1, pp. 51-58, 2006.
6. Kim, J. Y., You, K. J., Park, R., "Study on the Photoelectric Composite Cable for Hybrid Interconnection Implementation", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp. 138-145, 2017.
7. Lee, S. T., Park, S. G., Choi, H. W., "CFRP Laser Joining Computer Simulation in a Parallel Kinematic Machine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 1, pp. 77-82, 2017.
8. Kang, D. C., Kim, J. H., "A Study on the Corrosion Characteristics of a Metal Surface by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 1, pp. 83-89, 2017.
9. Kang, B. S., Ahn, D. G., Shin, B. S., Shin, J. K., "A Fundamental Study on Polymer/Metal Additive Method using a UV Laser for Consumer-oriented 3D Helmet Products", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 89-94, 2016.
10. Ye, K. H., Choi, H. W., "Laser Head Design and Heat Transfer Analysis for 3D Patterning", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 46-50, 2016.
11. Kim, S. T., Lee, S. J. and Choi, Y. H., "Thermal Characteristics Analysis of a High Speed Spindle System by Using FSI Method," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 3, pp. 83-88, 2014.
12. Kim, W. H., Jung, B. H., Oh, M. H., Choi, S. W. and Kang, D. M., "Effect analysis in Laser Metal Deposition of SKD61 using AISI M2 Power," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 50-56, 2015.