

# 열 보조 자기기록용 광 전달 레이저 모듈의 설계 및 평가

## Design and evaluation of laser module for light delivery in heat assisted magnetic recording

최용복\*, 이문호\*\*, 김영주†

Yong-Bok Choi, Moon-Ho Lee and Young-Joo Kim

(2011년 3월 16일 접수; 2011년 3월 23일 심사완료; 2011년 3월 24일 게재확정)

### Abstract

The micro laser module was designed and prepared to deliver the light to the HAMR head. It consists of laser diode, photo diode and actuator to realize stable light delivery even though the head is fluctuated during the disk rotation. The optical evaluation was carried out with the actual distance between the light source and HAMR head with a range of reflectivity and it was found that the incident angle could be controlled within  $\pm 0.125^\circ$  to maintain same intensity into the HAMR head. It was also confirmed that the designed micro laser module is thermally stable without any severe effect on the magnetic head.

**Key Words :** Heat assisted magnetic recording, HAMR, Light delivery, Laser module, Micro actuator

### 1. 서론

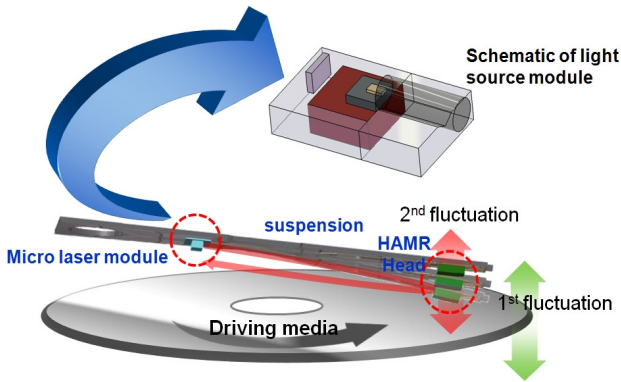
현대 사회에 필수적으로 요구되는 PC, 노트북, 휴대폰, MP3 등의 전자기기에는 디스플레이의 해상도가 증가함에 따라 기록되어야 할 정보량이 급속히 증가하고 있으며, 따라서 정보저장기술이 매우 빠르게 발전되고 있다. ODD, 플래쉬 메모리 등 다양한 정보저장기술이 존재하지만, 대용량의 측면에서는 하드 디스크 기술방식이 가장 유리하다고 할 수 있다. 아울러 현재 전세계적으로 차세대 대용량 하드디스크 기술로서 열 보조 자기기록 (Heat Assisted Magnetic Recording) 방식이 각광 받고 있다. 이 기술이 적용된다면  $1\text{Tb}/\text{in}^2$  이상의 기록밀도를 달성 할 수 있게 된다[1,2]. HAMR 기술의 완성을 위해서는 media, 근접장 광학 헤드뿐만 아니라 헤드까지의

정밀한 광 전송방식의 연구가 요구되므로, 본 논문에서는 외부광원으로부터 head 까지 정확한 광 전달에 관하여 연구하였다. 즉, 광원으로서 레이저 다이오드를 이용하여 소형 광학렌즈로 집광하여 헤드까지 정확하게 빛을 전달하는 마이크로 레이저 모듈을 설계, 제작 및 특성 평가하였다. Figure 1 과 같이 5400~7200 RPM 으로 고속 구동되는 하드디스크의 경우 media 의 진동이 발생하게 되는데, 이 때 헤드와 media 는 수 nm 의 일정한 간격으로 구동해야 하므로 헤드 또한 변위가 발생하게 된다. 본 논문에서 연구되는 마이크로 레이저 모듈의 기능은 헤드의 변위를 추적하여, 일정한 광량을 정확히 헤드에 전달하는 것이다. 또한, 실제 HDD 구동시 헤드의 변위에 따라 입사각도가 미세적으로 변하게 되므로, 이와 동일한 실험장치를 구성하고, 반사광량을 이용한 레이저 모듈 구동 연구를 수행하였다. 헤드 변위 보정을 위하여 마이크로 레이저 모듈의 구동 기능이 필요하므로 본 연구에서는 소형 액츄에이터가 탑재된 일체형 모듈 구조로 설계하였다. 액츄에이터의 구동은 포토 다이오드를 이용한 반사광량의 변화 검출을 통하여 이루어지며 이를 통하여 정확한 광 전달이 가능해진다.

† 연세대학교 기계공학과  
E-mail : yjkim40@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2123-6852

\* 연세대학교 정보저장기기연구센터

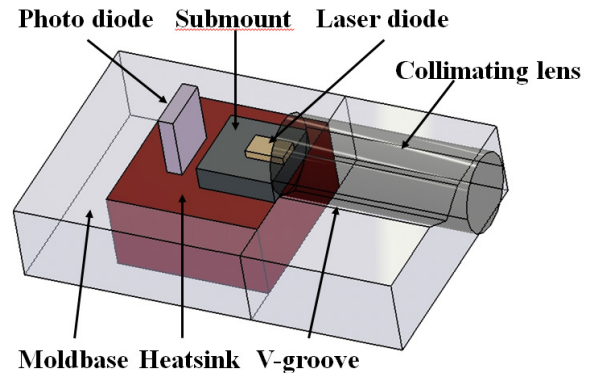
\*\* 연세대학교 기계공학과



**Fig. 1** Concept of light delivery methods proposed in this research and fluctuation of head in the heat-assisted magnetic recording system

## 2. 레이저 모듈의 개념 및 구조

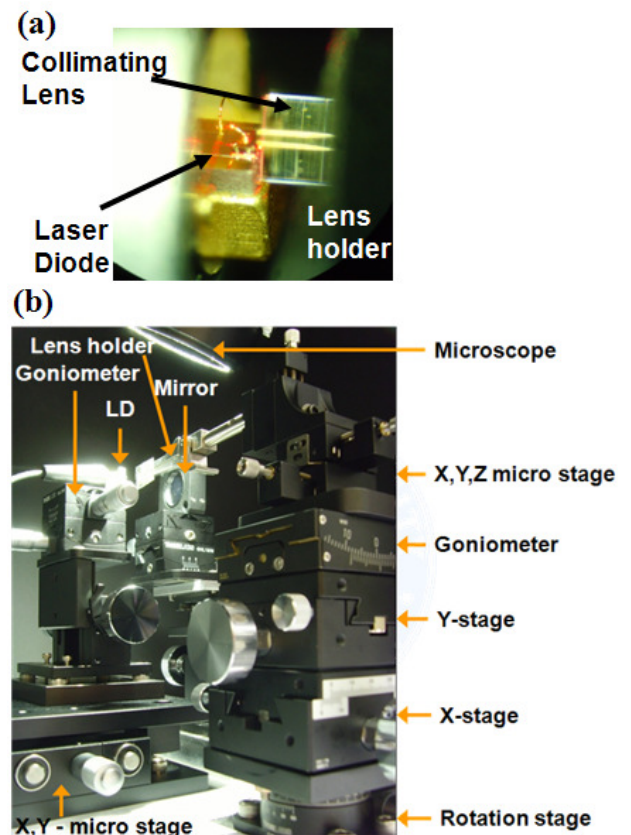
Figure 2 에 나타난 바와 같이 본 연구에서 개발하는 마이크로 레이저 모듈은 650nm 파장의 레이저 다이오드(LD), 반사된 광량의 영향을 측정하는 포토 다이오드(PD)로 구성되어 있다. 또한, 레이저 다이오드에서 발진된 광을 자기헤드까지 균일하게 입사할 수 있도록 평행광을 만들어주는 콜리메이팅 GRIN lens (N.A.=0.46, Diameter=1mm, Length=2.6mm, Reflective index=1.61, Index constant  $A=0.61\text{mm}^{-1}$ ) 와 레이저 다이오드의 수명 향상을 위하여 방열 역할을 하는 Cu heatsink 구조로 구성된다. 설계된 레이저 모듈의 크기는 너비 3mm, 길이 5mm, 높이 1.8mm 로서 소형 모듈로서 설계되었다. 이러한 마이크로 레이저 모듈은 헤드 구동시 진동의 영향이 없는 서스펜션의 E-block 에 탑재되어 HAMR 헤드의 입사부에 광을 일정하게 조사하게 된다. 그러나, 헤드는 media 의 회전에 따라 상하로 일정 범위의 변위를 갖게 되며 이로 인하여 입사광과 헤드 사이에 tilt 가 발생하여 일정한 광량을 헤드 내부로 조사하기 어렵게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 헤드의 일부분을 반사판으로 설계하여 반사되어 되돌아오는 광량의 변화를 측정하여 이를 모듈과 일체화된 액추에이터의 제어 기준으로 사용하고자 한다. 광량 변화는 레이저 다이오드와 포토 다이오드의 신호변화를 통하여 검출하며, 이를 이용하여 Fig. 1 과 같이 액추에이터를 구동하여 입사각 및 헤드의 상대적 위치를 보정하여 입사 광량을 일정하게 유지한다는 개념이다. 액추에이터는 레이저 모듈 아래에 박막 PZT 구조로 삽입되어 구동된다



**Fig. 2** Schematic structure of micro laser module

## 3. 레이저 모듈의 광학 평가 실험

마이크로 레이저 모듈은 헤드 구동 시 일정 변위를 갖는 헤드를 추적하며 정확한 광을 입사할 수 있는 제어가 요구된다. 이를 위하여 헤드가 상하로 움직임에 따라 레이저 다이오드 및 포토 다이오드에 입사된 광량을 측정 할 수 있도록 광학 실험을 다음과 같이 수행하였다.



**Fig.3** (a) Coupling of laser diode and GRIN lens (collimating lens)  
(b) Optical evaluation setup for micro laser module

실제 시스템과 같은 조건으로 광원은 진동이 발생하지 않기 때문에 움직임 없이 고정하였으며, 헤드는 tilt가 발생하기 때문에 마이크로 고니오미터

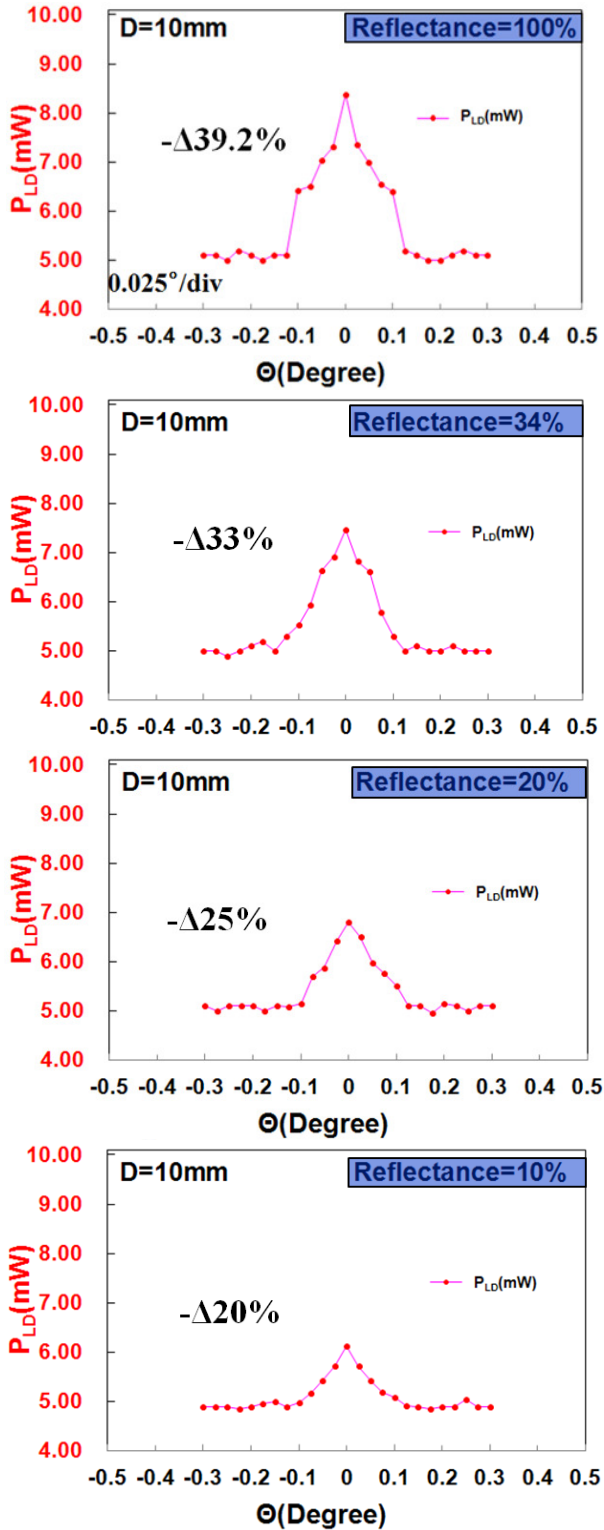


Fig. 4 Detected optical intensity on photo diode by tilt angle and reflectance of the reflector

로 실험 장치를 구성하였다. 포토 다이오드가 일체화 되어 있는 레이저 다이오드를 사용하여 Fig. 3 과 같이 광학 실험 장치를 구성하였다. 좌측에는 레이저 다이오드 모듈을 마이크로 스테이지 위에 설치하였으며, 우측에는 반사판을 마이크로 스테이지와 마이크로 고니오미터를 이용하여 설치하였다. 또한 GRIN 렌즈를 이용하여 평행한 레이저 빔을 구성하였다. LD controller 를 이용하여 레이저 광출력 및 반사광에 의한 광량 변화를 측정하였으며 이를 통하여 헤드 tilt 에 의한 반사광량 변화에 의한 영향을 알 수 있었다. 실제 시스템에서 마이크로 레이저 모듈과 헤드 사이의 간격이 10mm 에서 실험 한 결과 Fig. 4 와 같은 데이터를 얻을 수 있었다. Figure 4 는 헤드에 입사되는 광량에 대한 반사율의 영향을 확인하기 위하여 반사율을 각각 100%, 34%, 20%, 10%로 달리하여 실험하였으며, 그래프는  $\pm 1/40^\circ(0.025^\circ)$ 씩 tilt 하여 포토 다이오드에서 검출된 광량변화를 나타내고 있다. 광량변화는 레이저 다이오드의 기존 광량과 반사되어 되돌아온 추가 광량의 합을 power 값으로 측정하였다. 실험 결과, 헤드의 tilt 각도가  $\pm 0.125^\circ$ 범위 이내로 유지될 때 광량변화를 확인 할 수 있었으며, 따라서  $\pm 0.125^\circ$ 범위내에서 제어된다면 헤드를 추적하며 정확한 광 전달이 이루어질 수 있음을 확인하였다. 아울러 peak intensity 에서 saturation intensity 로 줄어든 상대적 광량은 각각 반사율에 따라 39%, 33%, 25%, 20%가 감소하였음을 확인 할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 25%의 반사광량 차이로 충분히 액츄에이터를 제어 할 수 있기 때문에 입사된 면적의 20%를 반사판으로 하여 레이저 광이 입사될 수 있는 HAMR 헤드 설계가 요구된다. 그레이팅을 이용한 입사 방식의 헤드[3]인 경우 20%의 빛은 헤드 제어용 반사광으로 사용되고, 나머지 80%는 HAMR 에 필요한 근접장광 입사영역으로 활용되는 헤드 설계가 가능하다.

또한 실제 HAMR 헤드에 조사되는 beam size 를 알아보기 위하여 측정 실험을 수행하여 Fig. 5 와 같은 결과를 얻었다. Figure 5 는 자기 헤드 위치에 조사된 광을 beam map 장비를 이용하여 측정된 beam profile 를 나타내고 있다. 레이저 모듈로부터 10mm 에 위치한 헤드에 입사된 beam size 는 x-axis 의 FWHM 은  $374\mu\text{m}$ , y-axis 의 FWHM 은  $355\mu\text{m}$  로 측정되었다. 따라서 이 beam size 에 맞는 열 보조 자기 기록 헤드의 입사 grating 이 설

계되어야 한다. 실제 현재의 자기헤드에 일체화 되는 HAMR 헤드를 가정했을 때, 입사 광을 위한 그레이팅 크기는 이 보다 작은 150 $\mu\text{m}$  이하가 되어야 하며 따라서 beam size 를 줄이는 노력이 필요하여 현재 optical fiber 를 이용한 방식으로 연구가 진행 중에 있다. 또한 실제 열 보조 자기기록 system 에서는 다양한 media 구조에 따라 입사 광량이 영향을 받기 때문에 실제 미디어 가열에 필요

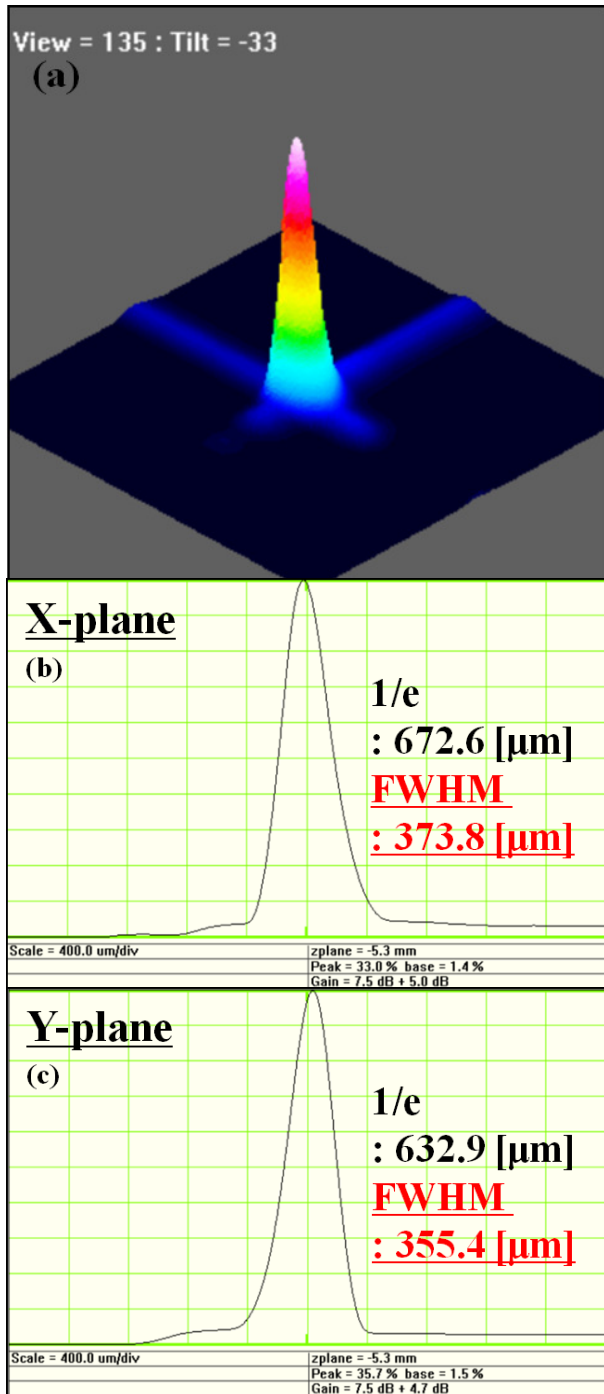


Fig. 5 Beam profiles of micro laser module on the head  
 (a) 3D capture and along (b) x-axis and (c) x-axis

한 광량, 그레이팅 효율 및 근접장광 효율 등을 동시에 고려하여 입사 광원의 power 를 설계하여야 한다[4,5].

HDD 구동시 헤드는 3 축으로 진동을 하게 되면서 동시에 여러 방향으로 tilt 를 유발한다. 현재 상용화 되어 있는 HDD 의 경우 media 구동시, 진동수는 90~120Hz 가 발생된다. 이 때 헤드는 vertical 방향으로  $\pm 1\sim 10\mu\text{m}$  진동하며, 헤드 자체 고유 진동은 off-track 방향으로  $\pm 10\text{nm}$ , down-track 방향으로  $\pm 40\text{nm}$ , vertical 방향으로  $\pm 20\text{nm}$  진동한다[6]. 헤드의 vertical 방향을 제외한 다른 진동은 매우 미세하기 때문에 고유 진동 부분에 대한 제어는 불필요함을 알 수 있다.

#### 4. 레이저 모듈의 제작

설계된 내용을 바탕으로 부품을 제작하고 마이크로 레이저 모듈을 조립하였다. Mold base 는 공정이 간단하고 용이한 RP (rapid prototype)로 제작되었으며, Cu heatsink 는 기계가공으로 제작되었다. 레이저 다이오드와 heatsink 는 전극으로 연결이 되어야 함으로 전기 전도도가 우수한 silver epoxy 로 bonding 하였다. 또한 GRIN 렌즈의 용이한 alignment 와 부착을 위해 mold base 에 V-groove 가

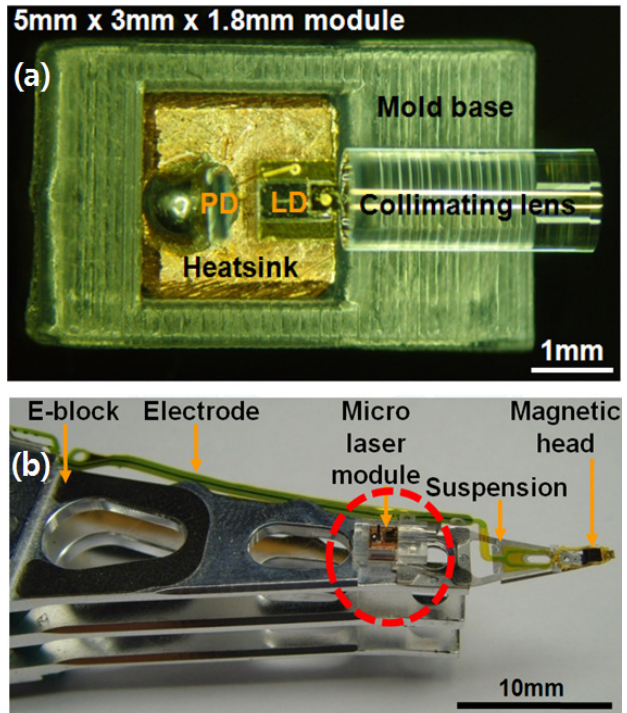


Fig. 6 (a) Assembly of micro laser module  
 (b) Configuration of micro laser module on the E-block



제작되었으며, UV epoxy 로 bonding 하여 최종 조립되었다. Figure 6 (a)는 조립된 마이크로 레이저 모듈의 광학사진이며, Fig. 6(b)는 현재 상용화되고 있는 HDD 서스펜션에 탑재된 모듈의 형상을 나타낸다. 설계된 모듈은 제작이 비교적 간단하며, 기존 HDD system 에 적용이 용이한 장점을 갖고 있다.

### 5. 레이저 모듈의 열 해석

마이크로 레이저 모듈의 광원으로 사용되는 레이저 다이오드에 있어서 방열 구조는 수명과 광량에 매우 중요한 요인이 된다. 온도 상승에 따른 레이저 다이오드의 수명 저하를 막기 위한 방열 설계 및 열해석 시뮬레이션을 수행하였다. Fluent 상용 프로그램을 이용하였으며, 사용된 LD, heatsink, 재료 등의 상수 값은 Table 1 에 제시되어 있다. LD output 은 7mW (Input voltage= 2.3V, Input current=30mA)로 가정하여 열 해석을 수행하였다. 마이크로 레이저 모듈은 레이저 다이오드에서 방출되는 열을 쉽게 전도시키기 위해서 열 전도도가 높은 구리로 heatsink 방열구조를 설계하였다. 레이저 모듈을 E-block 에 탑재한 구조로 상온에서 열 해석을 한 결과 Fig. 6 과 같이 레이저 다이오드의 온도는 38°C 까지 상승했으며, E-block 의 헤드부는 36°C, 스피들 모터가 있는 후반부에는 29°C 까지 온도가 상승했음을 확인하였다.

Table 1 Specification of laser module material

At 300K	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$C_p(\text{J/kg}\cdot\text{K})$	$k(\text{W/m}\cdot\text{K})$
LD (GaAs)	5316	325	50
Submount (Silicon)	2330	712	148
Heatsink (Cu)	8978	381	387.6
E-block (SUS301)	8030	500	16.2
Heat sink base (Polyethylene)	938	2200	0.35

레이저 다이오드의 구동 온도 범위는 0~70°C 이기 때문에 본 연구에서 설계된 레이저 모듈은 충분히 열적으로 안정함을 알 수 있다. 이는 모듈의 방열구조가 열전도도가 우수한 구리로 구성되었으며, E-block 의 재료 또한 스테인레스 스틸로서 열전도도가 우수하기 때문이다. 실제 자기헤드는 50°C 이내에서는 특성이 안정하기 때문에 reading/writing 구동에도 문제가 없음을 확인하였다.

### 6. 결론

차세대 열 보조 자기기록 기술에 필요한 마이크로 레이저 모듈을 설계, 제작하고 특성 평가를 수행하였다. 실제 미디어 회전 구동 시 미디어 및 헤드 변위에 따라 입사광을 균일하게 유지할 수 있는 방법으로서 반사광량의 변화를 측정하고 이를 바탕으로 마이크로 레이저 모듈의 구동 제어를 가능하게 하는 새로운 방식을 제안하였다. HAMR 헤드와 모듈 사이의 실제 거리에서 헤드부의 반사율(100%, 34%, 20%, 10%)을 달리하여 헤드 tilt 의 영향을 측정할 결과, 반사 광량 측정을 통하여 모든 경우에  $\pm 0.125^\circ$ 의 tilt 범위에서 헤드 변위를 제어 가능함을 확인 하였다. 따라서 그레이팅 방식의 HAMR 헤드의 경우, 광입사 면적의 20%를 반사판으로 설계하면 media 의 가열에 사용되는 광량을 80%로 높게 유지할 수 있게 되었다.

또한 레이저 다이오드, 포토 다이오드, heatsink 및 평행광을 위한 GRIN 렌즈를 포함하는 부품을 확보하여 설계, 제작된 mold base 와 함께 조립하여 마이크로 레이저 모듈을 제작하였다. 이에 대한 광학평가를 통하여 HAMR 헤드에 조사되는 광의 FWHM 은 평균 340 $\mu\text{m}$  가 됨을 확인하였으며 이를 바탕으로 실제 HAMR 헤드 구조의 설계가 가능하다. 또한 향후 입사 빔 사이즈의 감소 연구를 통하여 현재 자기 헤드크기

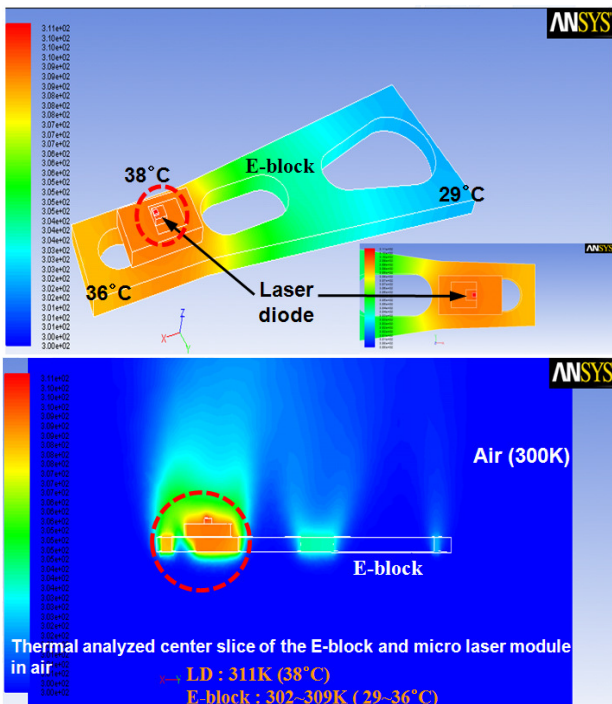


Fig. 7 Thermal analysis of laser module on the E-block

에도 적용할 수 있다. 아울러 마이크로 레이저 모듈의 방열 특성 시뮬레이션을 수행하여 본 연구에서 제안되는 레이저 모듈이 열적으로 안정한 구조임을 입증하였다. 본 연구를 통하여 확보된 우수한 HAMR 광전달 방식은 모듈의 지속적인 소형화 연구와 동반하여 향후 차세대 HDD의 핵심기술이 될 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 주관 전략기술개발사업 “마이크로 기능성 초정밀 핵심 요소부품 제조기반기술개발”의 3 세부 “마이크로 액츄에이터용 초소형 부품 제조 및 모듈화 기술”의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

- [1] Mark H. Kryder, Edward C. Gage, 2008, “Heat Assisted Magnetic Recording”, IEEE Trans. On Mag., Vol. 96, No. 11, pp.1810~1817.
- [2] T.W. Mcdaniel, W.A. Challener, 2003, “Light Delivery Techniques for Heat-Assisted Magnetic Recording”, Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 42, pp.981~988.
- [3] C. Peng, W.A. Challener, 2004, “Input-grating couplers for narrow gaussian beam: Influence of groove depth, Opt. Express”, Vol. 12, No. 26.
- [4] D-S. Lim, H.-S. Oh and Y.-J. Kim, 2009, “Near-Field Optical Coupling and Enhancement in Surface Plasmon Assisted Heat Assisted Magnetic Recording Media”, Japn. J. Appl. Phys., 48, 03A060.
- [5] M.A. Seigler, W.A. Challener, et al., 2007, “Heat Assisted Magnetic Recording with a Fully Integrated Recording Head”, Optical Data Storage 2007, Proc. Of SPIE Vol. 6220.
- [6] Kiely and Hsia, 2006, “Three-Dimensional Motion of Sliders Contacting Media”, ASME J. Trib. Vol 128, p. 525-533.