

스윙 암 타입 초소형 광 픽업 시스템의 방열 설계

Micro Thermal Design of Swing-Arm Type Small Form Factor Optical Pick-up System

이지나[†], 김홍민*, 강신일*, 손진승**, 이명복**

Jee-Na Lee[†], Hong-Min Kim*, Shinill Kang*, Jin-Seung Sohn** and Myung-Bok Lee**

Abstract

The new multimedia information environment requires smaller optical data storage systems. However, one of the difficulties encountered in designing small form factor (SFF) optical pick-up is to emit the heat which is generated from laser diode(LD). Heat generated at the LD can reduce the optical performance of the system and the lifetime of LD. Therefore, it is important to include the thermal design in the design stage of SFF optical pick-up system for high performance and the longer lifetime of LD, and furthermore, to analyze the thermal characteristics of LD in detail micro heat transfer analysis is necessary. In the present study, micro heat transfer analysis was performed using the finite element method for the $28 \times 11 \times 2 \text{ mm}^3$ super slim swing-arm type optical pick-up actuator for Blu-ray disk. Two different materials were used for a swing-arm; a double layer polycarbonate/steel structure and a single aluminum structure.

Key Words : Small form factor, Optical pick-up, Laser diode, Thermal design

1. 서론

광 정보저장기에서 광 픽업(Optical pick-up) 시스템은 광 디스크 기관(Optical disk substrate)으로부터 정보를 획득하거나 광 디스크 기관으로 정보를 기록하는데 있어 매우 중요한 장치이다. 이러한 광 픽업 시스템은 레이저 다이오드(Laser diode), 포토 다이오드(Photo diode) 및 대물 렌즈(Objective lens) 등 다양한 광학 소자를 장착하고 있다. 오늘날의 광 정보저장기기의 발전 방향은 정보저장의 고밀도화를 핵심으로 하여 시스템의 고속화와 소형화를 추구하고 있다[1-3].

일반적으로 광 정보저장기기의 구동 시 다양한 원인에 의해 열이 발생하게 되며, 이러한 열의 발생 근원으로 액츄에이터의 구동에 따른 열,

레이저 다이오드 구동에 따른 열, 액츄에이터 및 레이저 다이오드의 구동회로에서의 열 등을 들 수 있다. 이러한 열은 광 픽업 시스템의 열변형을 초래하거나[4] 레이저 다이오드의 성능 저하, 광 픽업 시스템 내의 광학 시스템의 열변형에 의한 성능 저하 등을 초래하기도 한다[5,6]. 광 정보저장기기의 소형화에 따른 광 픽업 시스템의 소형화는 시스템과 시스템 외부와의 접촉 면적을 감소시키고, 시스템 내에서 발생하는 열이 외부로 방출되는 것을 어렵게 한다. 따라서 광 정보저장기기 소형화에 따른 열 문제는 온도에 민감한 레이저 다이오드의 성능을 저하시키고 수명을 단축시켜 시스템의 열적 안정성 및 그 기능을 크게 저해하는 요소로 작용할 뿐만 아니라 광 픽업의 열변형 및 광학 소자의 열변형으로 인한 시스템의 광학적 성능을 저해하게 된다. 따라서 광 정보저장기기의 소형화 추세와 더불어 광 정보저장기기 시스템의 열적 안정성을 확보하는 일이 광 정보저장기기의 발전에 있어 무엇보다 중요한 과제가 되고 있으며 광 정보저장기기의 열적 안정성을 확보하기 위해서는 초소형 광 픽업 시스템의 설계 과정에서 시스템의 방열을 고려한 설계가 고려되어야 한다. 또한 초소형 광 픽업 시

[†] 연세대학교 기계공학부
E-mail : snlkang@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-2829 FAX : (02)362-2736

* 연세대학교 기계공학부
** 삼성중합기술원 재료소자연구소
논문접수일 (2005년 10월 7일)

스텝의 방열 설계를 위해서는 레이저 다이오드에서 발생된 열이 마이크로 스케일(micro scale)과 매크로 스케일(macro scale)이 결합된 멀티 스케일(multi-scale)의 시스템 내에서 어떠한 양상으로 전달되어 방출되는지에 대한 고려와 광 픽업 시스템의 구성 물질과 형상 변화에 따른 방열 경향을 파악하는 과정이 반드시 수반되어야 한다. 본 연구에서는 광 픽업 시스템의 주된 열원 중의 하나인 레이저 다이오드에서 발생하는 열의 방열을 위한 초소형 광 픽업 시스템에 초점을 맞추었다. 이를 위해 $28 \times 11 \times 2 \text{mm}^3$ 크기의 블루레이 디스크용 초소형 스윙 암 형태의 광 픽업 액츄에이터를 모델링 하고 유한요소해석을 통해 멀티 스케일 열전달 해석(multi-scale heat transfer analysis)을 수행하였다.

2. 초소형 광 픽업의 모델링

본 연구를 위해 서로 다른 재료로 설계된 두 가지의 스윙 암 형태의 액츄에이터를 사용하였다. 그림 1은 본 연구를 위해 사용된 액츄에이터의 3차원 모델을 보여주고 있다. 그림 1(a)는 첫번째 형태의 액츄에이터로 폴리카보네이트의 양 면을 스틸이 감싸고 있는 복층 구조로 되어있는 것이 특징이며, 그림 1(b)는 또 다른 형태의 액츄에이터로 알루미늄의 단층 구조로 되어 있는 것이 특징이다. 두 모델을 구성하는 재료와 구조는 액츄에이터로서의 동적 성능이 초소형 광 픽업용 액츄에이터로 적당하도록 설계되었다. 그림 2(a)는 각각의 액츄에이터에 장착된 광학 벤치(Optical bench)를 확대한 모습을 보여주고 있다. 레이저 다이오드(LD)가 레이저 다이오드 마운트(LD mount)에 금속층(metal solder layer)에 의해 접합되어 있고 레이저 다이오드 마운트는 광학 벤치와 Ag 에폭시(epoxy)로 접합되어 있다. 또한 그림 2(a)의 확대 그림을 통해 금속층은 네 종류의 매우 얇은 금속 박막으로 이루어져 있음을 확인할 수 있다. 금속 박막의 두께는 금속의 종류에 따라 서로 다르며 그 범위는 $0.06 \mu\text{m} \sim 4.5 \mu\text{m}$ 이다. 그림 2(b)는 레이저 다이오드에서 레이저가 발진되는 영역의 구조를 보여주고 있다. 레이저 다이오드의 레이저 발진 영역 구조를 확인할 수 있다. 레이저 다이오드에서 발생하는 열은 레이저 다이오드의 레이저 발진부에서 발생되며, 블루레이 디스크(Blu-ray disk)용 광 픽업의 구동 시 발열량의 범위는 $100 \text{mW} \sim 250 \text{mW}$ 이고 실제 레이저 다이오드의 구동 시 발생할 수 있는 최대 발열량은 570mW 이다.

3. 유한 요소 해석을 통한 열전달 해석

3.1 유한 요소 모델

두 가지의 스윙 암 형태의 액츄에이터의 열전달 해석을 통한 방열 분석을 위하여 각각의 모델에 대해 유한 요소 모델(Finite element model)을

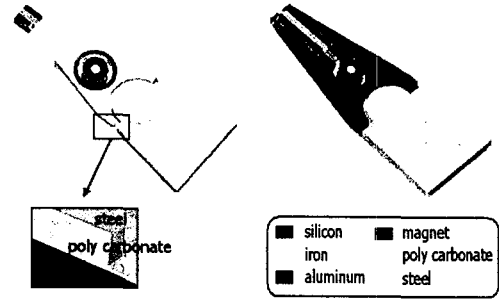


Fig. 1 Three dimensional models of swing arm type actuators: (a) double layers structure of polycarbonate and steel and (b) single aluminum structure

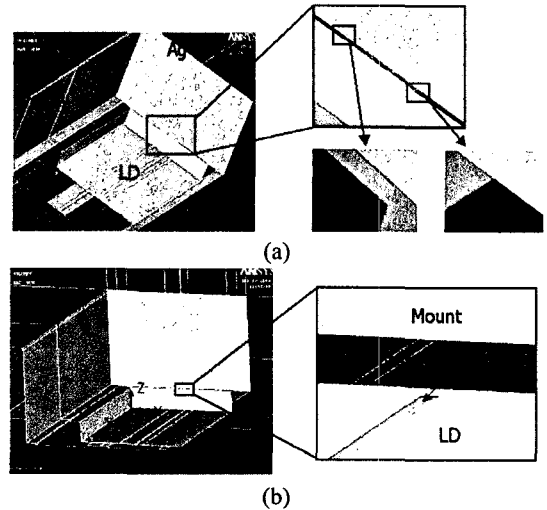


Fig. 2 Structure of (a) laser diode and metal solder layers (b) laser emitting part of laser diode

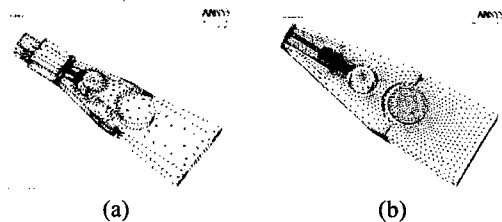


Fig. 3 Finite element models (a)model 1: double layers structure of polycarbonate and steel and (b)model 2: single aluminum structure

형성하였다. 그림 3 은 각각의 모델에 대한 액츄에이터의 유한 요소 모델을 나타내고 있다. 그림 2 에서 보여진 바와 같이 레이저 다이오드와 레이저 다이오드 마운트 및 금속 접합층 ($0.6 \times 0.2 \times 0.00006 \text{mm}^3$)이 매우 미세한 구조로 적층되어 있으며 광학 렌치와 그 외의 액츄에이터 ($28 \times 11 \times 2 \text{mm}^3$)는 상대적으로 큰 구조로 이루어져 있기 때문에 해석의 정확도를 위해 미세한 부분의 미세한 메쉬(Fine mesh)로, 상대적으로 큰 부분은 큰 메쉬(Coarse mesh)로 유한 요소 모델을 구성하였다. 이러한 유한 요소 모델은 해석의 정확성을 확보할 수 있을 뿐 아니라 해석에 소요되는 불필요한 시간을 줄이고 메모리 용량의 초과로 발생하는 해석상의 오류를 방지할 수 있다 [7,8].

3.2 재료의 물성

레이저 다이오드에서 발생한 열의 방열은 광학 렌치 및 액츄에이터를 통한 열전도와 액츄에이터 외부의 공기와의 접촉을 통한 방열에 의해 이루어진다. 따라서 액츄에이터의 방열 해석을 위해서는 광학 렌치 및 액츄에이터 내부에서의 열전도 및 공기의 대류에 의한 열 전달을 고려해야 하며, 각각의 형태의 열전달 모델에 필요한 재료의 물성이 전제되어야 한다. 본 연구에서 사용된 스윙 암 형태의 액츄에이터는 폴리카보네이트와 스틸의 복층 구조로 이루어진 모델과 알루미늄의 단층 구조로 이루어진 모델이다. 각각의 재료에 대해 열전달에 관계하는 재료의 물성은 밀도, 비열, 열전도도로, 표 1 에 재료의 물성을 정리하였다. 또한 액츄에이터 외부의 공기의 대류에 의한 열전달 해석을 위한 공기의 대류 열전달 계수(convection coefficient)는 자유 대류 상태에서는 $3 \sim 25 \text{W/m}^2\text{K}$, 강제 대류 상태에서는 $10 \sim 200 \text{W/m}^2$ 의 범위이다.

3.3 초기 조건 및 경계 조건의 설정

광 픽업의 구동 시 초기 상온의 액츄에이터는 레이저 다이오드의 발열에 의해 점차 온도가 상승하게 되고 액츄에이터 내부에서의 열전달 및 공기의 대류에 의한 열전달에 의해 정상 상태(Steady state)에 도달하였을 때 최고 온도 분포를 나타낸다. 이러한 현상에 대해 유한 요소 해석을 수행하기 위한 초기 조건(Initial condition) 및 경계 조건(Boundary condition)의 설정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 레이저 다이오드, 광학 렌치, 액츄에이터 및 이를 둘러싸고 있는 외부 공기의 초기 조건으로 25°C 의 상온 조건을 설정하였다. 또한 레이저 다이오드, 광학 렌치 및 액츄에이터

내부에서의 열전달은 일반 열전도 모델을 사용하였으며, 레이저 다이오드, 광학 렌치 및 액츄에이터의 공기와의 접촉 표면에서의 경계 조건으로 공기의 대류 조건 및 레이저 다이오드에서의 발열 조건을 설정하였다.

3.4 열전달 해석

앞에서 설명한 재료의 물성, 초기 조건 및 경계 조건을 적용하여 각각의 스윙 암 형태의 액츄에이터의 열전달 해석을 수행하였다. 공기의 대류에 의한 열전달은, 광 픽업의 구동 시 광 디스크 드라이브 내부에서의 공기의 흐름에 따라 그 조건이 다르게 분포하기 때문에 공기의 자유 대류에 의한 열전달 및 강제 대류에 의한 열전달을 모두 고려하였다. 공기의 대류 열전달 계수는 자유 대류 상태 및 강제 대류 상태를 모두 고려하기 위해 $3 \sim 200 \text{W/m}^2\text{K}$ 의 범위를 적용하였다. 또한 레이저 다이오드의 레이저 발진부에서의 발열량 조건으로 광 픽업의 구동 시 레이저에서 발생하는 발열량 $100 \text{mW} \sim 250 \text{mW}$ 범위 및 레이저 다이오드의 최대 발열량인 570mW 에 대해서도 적용하였다. 먼저 각각의 모델에 대해 공기의 대류 열전달 계수의 변화에 따른 열전달 해석을 수행하였고, 이를 토대로 액츄에이터의 방열 구조로 적당한 모델을 선정하였다. 선정된 모델에 대해 레이저 다이오드의 발열량에 따른 열전달 해석을 수행하였고, 이를 통해 선정된 액츄에이터의 방열 성능을 검토하였다. 그림 4 는 폴리카보네이트와 스틸의 복층 구조를 가진 액츄에이터에 레이저 다이오드의 발열량이 570mW , 공기의 대류 열전달 계수가 $200 \text{W/m}^2\text{K}$ 일 때의 열전달 해석 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 최대 온도는 레이저 다이오드의 발진부에서 나타나며, 레이저 다이오드와 멀어질수록 온도분포가 내려감을 알 수 있다.

Table. 1 Properties of materials related to heat transfer

Materials	Density (kg/m ³)	Specific heat (J/kgK)	Thermal conductivity (W/mK)
Aluminum	2700	900	210
Polycarbonate	1200	1900	0.21
Steel	7830	434	64
Magnet	8120	415	40
Copper	8933	385	401

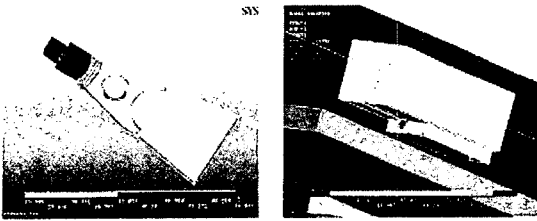


Fig. 4 Simulated temperature distribution of actuator with double layers structure of polycarbonate and steel: (a)whole part of actuator and (b) detail part of optical bench

4. 결과 분석

4.1 대류 조건에 따른 최대 온도의 변화

공기의 대류 조건에 따른 영향을 확인하기 위해 각각의 모델에 대해 공기의 열전달 계수를 변화시키면서 열전달 해석을 수행하였다. 이를 위해 레이저 다이오드의 발열량은 레이저 다이오드의 최대 발열량인 570mW 를 적용하였다. 이를 통해 대류 열전달 계수의 변화와 레이저 다이오드의 최고 온도와의 관계를 분석하였다.

그림 5 는 공기의 대류 열전달 계수와 열전달 해석에 의한 정상 상태에서의 레이저 다이오드에서의 최고 온도와의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 공기의 열전달 계수가 증가함에 따라 레이저 다이오드에서 분포하는 최대온도는 급격히 감소하다가 특정 열전달 계수 이후 서서히 감소함을 알 수 있다. 이는 공기의 대류가 활발할수록 레이저 다이오드에서 발생한 열의 방열이 잘 된다는 것을 의미한다. 또한 특정한 대류 열전달 계수 이후 서서히 감소하는 것은 액츄에이터 내부에서의 열전도에 의한 것으로 판단된다. 각각의 액츄에이터에 대한 결과를 보면 알루미늄의 단층 구조로 이루어진 액츄에이터가 폴리 카보네이트와 스틸의 복층 구조로 이루어진 액츄에이터보다 방열이 잘 되는 것을 알 수 있다. 이는 재료의 물성값과 관련이 있으며, 폴리 카보네이트의 경우 열전도 계수가 알루미늄보다 낮고, 비열이 높기 때문에 액츄에이터 내부에서의 열전도가 쉽게 발생되지 않기 때문이다. 따라서 레이저 다이오드에서 분포하는 최고 온도를 고려하였을 때, 폴리 카보네이트와 스틸의 복층 구조보다 알루미늄 단층 구조의 액츄에이터가 방열 구조로 적당하다고 판단할 수 있다.

4.2 레이저 다이오드의 발열량에 따른 최대 온도의 변화

레이저 다이오드의 발열량에 따른 영향을 확인하기 위해 발열량을 변화시키면서 열전달 해석

을 수행하였다. 이를 위해 앞 절에서 방열 구조로 적당하다고 판단된 알루미늄 단층 구조로 이루어진 액츄에이터의 방열 구조의 액츄에이터를 이용하여, 레이저 다이오드의 발열 조건을 실제 광 픽업의 구동 시 발생하는 발열량 100mW ~ 250mW 의 범위 에서 변화 시켰다. 앞 절에서 살펴본 바와 같이 대류 조건에 따라 레이저 정상 상태에서의 다이오드의 최대 온도가 다르게 나타나는 것을 알 수 있었지만 광 디스크 드라이브 내부 공기의 대류 조건을 정확히 확인하고 대류 열전달 계수를 설정하는 것은 매우 어렵기 때문에 앞 절에서 사용한 대류 열전달 계수 범위에 대해 열전달 해석을 수행하였다. 그림 6 은 레이저 다이오드의 발열량에 따른 정상 상태에서의

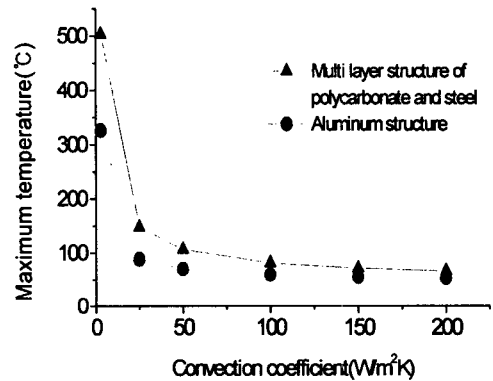


Fig. 5 The relations between convection coefficient of air and maximum temperature of laser diode of two different actuator models

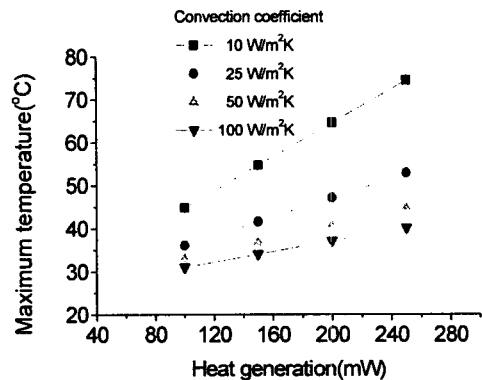


Fig. 6 The relations between heat generations of laser diode and maximum temperature of laser diode of aluminum structure actuator mode for variable convection coefficients

레이저 다이오드의 최대 온도 분포와의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 레이저 다이오드에서의 최대 온도는 레이저 다이오드의 발열량이 증가함에 따라 증가하며, 그 관계는 선형적인 관계에 있음을 알 수 있다. 실제 광 디스크 드라이브 내의 공기의 유동 및 안전 계수를 고려하여 공기의 자유 대류 조건의 최대값인 $25\text{W/m}^2\text{K}$ 및 광 픽업 구동 시의 레이저 다이오드의 최대 발열량 250mW 을 고려할 때 최대 온도는 52.87°C 를 나타내고 있다. 또한 $10\text{W/m}^2\text{K}$ 인 자유 대류 조건 및 250mW 의 발열량 조건에서도 최대 온도가 75°C 를 넘지 않음을 확인할 수 있다. 이는 레이저 다이오드의 성능 변화를 초래할 뿐만 아니라 다른 광학 소자들의 열변형을 초래하여 광 픽업의 성능에 크게 영향을 줄 수 있는 온도의 제한 값으로 보고 있는 80°C 를 넘지 않음을 보여준다. 따라서 알루미늄의 단층 구조의 액츄에이터 모델은 초소형 광 픽업용 액츄에이터로 사용하기에 열적으로 안정된 구조임을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 $28 \times 11 \times 2\text{mm}^3$ 크기의 블루레이 디스크 용 광 픽업의 레이저 다이오드 구동 시, 발생되는 열에 의한 레이저 다이오드의 온도 변화를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에는 두 가지 종류의 액츄에이터 모델을 이용하였다. 하나는 폴리카보네이트와 스틸의 복층 구조를 가지며 다른 하나는 단층의 알루미늄 구조를 갖는다. 두 액츄에이터 모델에 대하여 동일한 경계 조건 하에서 수행된 시뮬레이션 결과, 단층의 알루미늄 구조를 갖는 액츄에이터가 폴리카보네이트와 스틸의 복층 구조를 갖는 액츄에이터에 비해 외부로의 열전달이 잘 이루어지는 것을 확인하였다. 또한 방열에 유리한 설계 조건을 갖는 알루미늄 액츄에이터 모델을 이용하여 다양한 경계 조건 하에서 레이저 다이오드의 온도 분포를 살펴보기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 대류 열전달 계수와 발열량의 변화가 레이저 다이오드의 온도 분포에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 단층의 알루미늄 구조의 액츄에이터 모델의 최대 온도는 자유 대류 조건에서의 대류 열전달 계수인 $10\text{W/m}^2\text{K}$ 의 조건과 250mW 의 최대 발열량 조건에서 74.5°C 임을 확인하였다. 위와 같은 경계 조건은 구동 되는 레이저 다이오드가 열적 안정성을 확보하기에 매우 불리한, 최악의 상황을 가정

한 경계 조건이다. 실제로 이러한 경계 조건이 성립되는 상황이 발생할 가능성은 매우 희박하다. 하지만 위와 같은 최악의 상황을 가정한 경계 조건에서도 레이저 다이오드의 최고 온도는 광 픽업의 성능을 크게 저해하는 온도 제한 값인 80°C 를 넘지 않는 것을 확인하였다. 본 결과를 통해 열해석 시뮬레이션에 적용된 액츄에이터 모델은 열적으로 안정한 구조라 판단할 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정 연구실 사업 중 “나노 몰드 및 고분자 나노 복제 기술의 나노 광전자소자 응용” 연구과제로서 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] D. Cho, S. Lee, B. Song, S. Kim, S. Jung, K. Kim, 2005, “Two dimensional actuators for ultraslim mobile optical disk drive”, IEEE transactions on magnetics, Vol.41, No.2
- [2] H. Shih, C. Chang, K. Lee, C. Chang, 2005, “Design of optical head with holographic optical element for small form factor drive systems”, IEEE transactions on magnetics, Vol.41, No.2
- [3] S. Luitjens, M. Blum, B. Boer, M. Vander Aa., 2003, “Small form factor portable-Blu drive: power consumption considerations”, IEEE transactions on consumer electronics, Vol.49, No.3
- [4] S. Cho, Y. Seo and S. Kang, 2003, “3D Measurement of Micro Thermal Deformations in an Optical Pick-up base Using Holographic Interferometry”, Opt. Eng. Vol.42, pp.3198-3203.
- [5] H. Kim, S. Cho, Y. J. Kim and S. Kang, 2004, “Effect of Thermal Deformation of Optical Pick-up on the Optical Performance”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.43, No.7B, pp.4795-4796.
- [6] H. Kim, S. Cho, J. Lee and S. Kang, 2004, “Effect of Thermal Deformation of Optical Pick-up Base on the Optical Performance”, The Korean Society For Technology of Plasticity, 2004 spring conference proceeding, pp.105-108.
- [7] C. Zienkiewicz and K. Morgan, 1983, “Finite elements and approximation”, Chap. 3, John Wiley & Sons, Inc. pp.95-160,
- [8] ANSYS Verification Manual-2nd Edition, 1993, Swanson Analysis Systems, Inc