

펄초 레이저 시스템을 위한 거울의 정밀 각도 제어

Precision Angular Control of Mirror for a Femto-second Laser System

#박영우¹, *정종관¹

#Y. W. Park(ywpark@cnu.ac.kr)¹, *J. K. Jung¹

¹ 충남대학교 메카트로닉스공학과 BK21 메카트로닉스사업단

Key words : Laser beam steering system, Precise angular control, magnetostrictive actuators, mirrors

1. 서론

지난 20년 동안에 레이저 가공 분야는 용접(welding), 절삭(cutting), 스크라이빙(scribing), 드릴링(drilling), 마킹(marking) 등 다양한 산업분야에서 적용되고 있다. 공작물 가공을 위한 레이저의 정밀 각도 제어하기 위해 거울을 이용한 레이저 각도 변조 시스템이 이용되고 있다. 기존 레이저의 각도 변조에 널리 사용되고 있는 갈바노 미러 대신 초정밀 각도 제어를 위해 3개의 초정밀 구동기를 120° 각도로 배치하여 거울의 2축 각도 제어를 하는 메커니즘을 구현하였다. 초정밀 구동기로는 자기변형 구동기를 이용하였으며 3개의 구동기에서 발생하는 직선적인 변위를 2축 각 변위로 바꾸기 위한 Flexure Hinge를 사용하였다. 또한 자기변형 재료를 이용한 구동기는 가해진 입력(자기장)에 대한 변위 및 힘 응답이 히스테리시스(hysteresis) 특성을 갖고 있으며 이러한 성질로 인해 초정밀 제어에 어려움이 따른다. 이러한 히스테리시스에 의한 비선형성을 보상해주기 위하여 히스테리시스를 수학적으로 모델링함으로써 입력과 출력 사이의 관계를 이용하여 입력과 출력이 선형성을 갖도록 하였다. 본 논문에서는 자기변형 재료를 이용한 구동기의 설계 및 제작을 시작으로 히스테리시스 보상을 구현하고 이를 2축 거울의 정밀 각도 제어에 이용하였다.

2. 레이저 각도 변조 시스템

본 논문에서 제안하는 레이저 각도 변조 시스템은 2축 제어를 위해 두 개의 거울을 이용하는 갈바노미터 대신에 세 개의 구동기를 이용하여 하나의 거울만으로 2축 제어를 할 수 있도록 한 시스템이다. 2축 각도 제어를 위하여 세 개의 선형 구동기를 120° 각도로 배치하여 거울의 2축 각도 제어를 하는 메커니즘을 구현하였다. 구동기에서 발생하는 선형 운동을 회전 운동으로 바꾸기 위하여 플랫폼에 노치 타입의 플렉서 힌지를 포함시켰다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 레이저 각도 변조 시스템이다. 시스템은 세 개의 자기변형 구동기와 노치 타입의 플렉서 힌지 그리고 하나의 거울로 구성되어 있다. 시스템의 전체 크기는 지름 91 mm 에 112 mm 높이로 되어 있으며 디일렉트릭(dielectric) 거울의 크기는 지름 25.4 mm 에 8 mm 두께로 되어 있다.

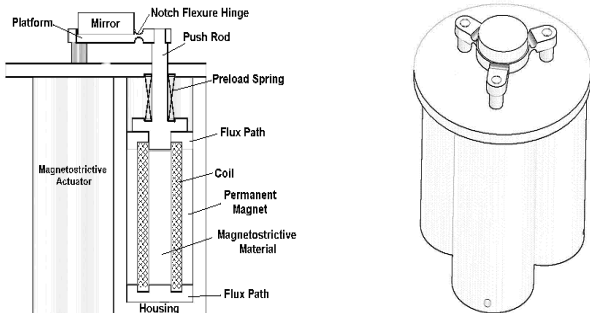


Fig. 1 Schematic of the laser beam steering system

2.1 자기변형 구동기

자기변형 구동기는 원기둥 타입의 자기변형재료(Ø10 mm × L50 mm), 보빈, 코일, 실린더 타입의 영구자석(알리코 v), 예압

스프링, 하우징으로 구성되어 있다. 자기변형재료는 변형률이 1000ppm으로 50µm로 결정하여 길이 50mm, 직경 10mm의 치수를 갖는 원기둥 타입 자기변형 재료를 선정하였고 그 주위에 0.45 mm 코일을 880턴 감았다. 자기변형 구동기의 성능을 높이기 위하여 7.5 MPa의 코일 스프링으로 예압을 주었으며 고정적인 바이어스(bias)를 인가하여 양방향 움직임이 가능하도록 실린더 타입의 영구 자석을 포함시켰다. 자기변형재료의 길이를 50mm로 결정하였으므로 약 1000ppm까지의 변형을 사용한다고 할 때, 이때의 H값 입력범위는 0에서 1kOe가 되어, 500Oe는 영구자석을 이용하여 인가하고 1000턴의 코일에 3A를 입력전원으로 결정하였다. 계산 결과의 확인 및 구동기의 세부치수를 결정하기 위해 FEMM을 이용하여 시뮬레이션을 하였으며, 결과는 그림 2와 같다.

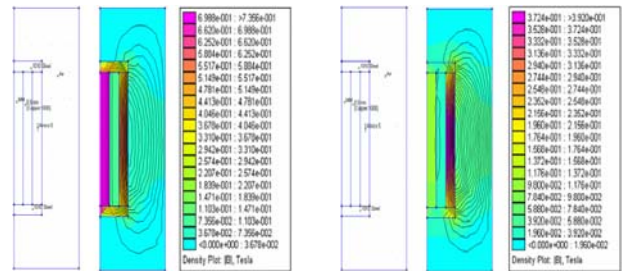


Fig. 2 Magnetic flux contour (880 turns of coil and ±2 ampere of current)

자기변형 재료에 인가될 자기장의 입력 범위는 약 111.41~14.32kA/m의 범위 내에서 약 1300ppm의 변형을 일으켜 자기변형 재료의 길이인 50mm를 고려해 볼 때, 약 60µm까지 변위를 낼 것으로 예상되었고, 위 시뮬레이션 결과를 토대로 구동기를 제작하여, 실험을 통해 약 30µm의 구동 범위를 위한 적정 수준의 입력값을 찾았다.

자기변형 재료를 이용한 구동기의 히스테리시스 보상을 위하여 구동기의 설계 및 제작을 시작으로 고전적인 Preisach 모델을 변형하여 히스테리시스 보상을 구현하고 이를 선형 보상기에 적용하여 구동기의 제어기로써의 이용하였다.

2.2 플랫폼

플랫폼은 자기변형 구동기에서 발생하는 선형 운동을 회전 운동으로 바꾸기 위한 노치 타입의 플렉서 힌지 구조를 포함하도록 설계하였다. 그림 3은 노치 타입의 플렉서 구조의 설계변수가 되는 각 치수를 나타낸다. 설계 변수 R은 노치의 반지름, t는 노치의 두께, b는 노치의 길이, l은 플렉서의 길이를 나타낸다.

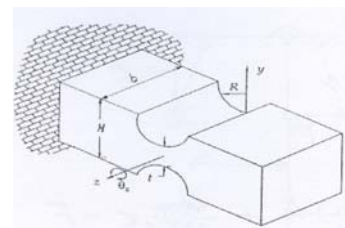


Fig. 3 Hinge mechanism

Fig. 22에서의 각 치수는 $R=3.5\text{mm}$, $t=1.5\text{mm}$, $b=30\text{mm}$, $L=23\text{mm}$ 이고 $E=72 \times 10^6 \text{mN/mm}^2$, $\sigma_Y = 270 \times 10^3 \text{mN/mm}^2$ 인 알루미늄을 재료로 선정하였다. 계산 결과 알루미늄 플렉서 힌지 구조에 항복응력 0.1배 수준의 스트레스가 인가되었을 때 구조는 약 $30\mu\text{m}$ 의 변위를 낼 수 있음을 확인하였다. 실제 구동 시에는 양방향으로 $30\mu\text{m}$ 의 변위를 내므로 단방향으로는 이의 절반인 $15\mu\text{m}$ 만 구동하면 되므로 실제 구동 시에는 알루미늄 항복응력의 약 0.05배만 걸릴 것으로 예상되었다. 결정된 파라미터 값을 이용하여 Pro-Engineer를 이용해 3D 모델링을 하고 Pro-Mechanica를 이용하여 해석을 하였다. 해석은 다음과 같은 두 가지에 관하여 실시하였다. 첫째는 플렉서 구조가 구동되기 위해 필요한 힘을 역으로 계산한 뒤 구조의 동적인 안정성을 확인하는 것이며, 셋째는 이때 구조에 걸리는 최대 스트레스를 알아봄으로써 구조의 재료로 선정된 알루미늄의 항복강도와 비교를 통해 구조의 안정성을 알아보는 것이다.

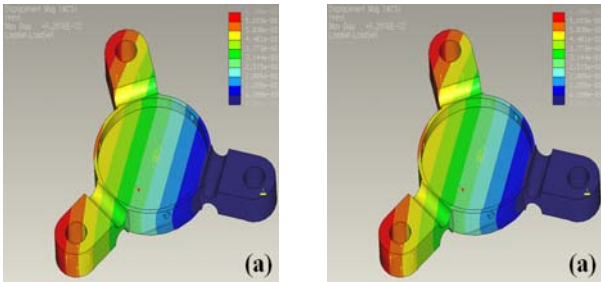


Fig. 4 Result of analysis (a) displacement and (b) stress

플렉서 힌지 구조 설계 시 고려한 점은 동적인 안정성이다. 자기변형 재료에 의한 구동범위인 $30\mu\text{m}$ 의 범위 내에서 시뮬레이션 해본 결과 동적인 안정성을 갖추었음을 확인하였고 또한 최대 변위에서 알루미늄의 항복응력을 고려했을 때 역시 탄성 영역의 10분의 1 수준에서 구동됨을 예상할 수 있었다.

3. 실험 구성

그림 5는 실험 구성을 나타낸다. 실험 구성은 레이저 각도 변조 시스템과 세 채널 전류드라이버, 전류 증폭을 위한 파워 서플라이, 레이저 영상을 취득하기 위한 CCD 카메라로 구성되어 있다.

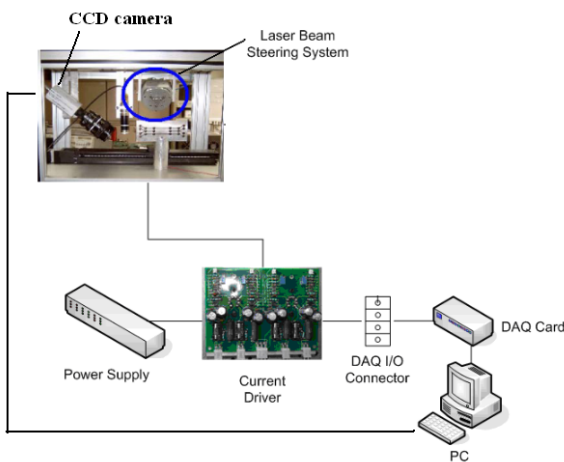


Fig. 5 Schematic diagram for experiment

4. 결론

개발한 시스템을 이용하여 레이저의 각도를 변조해 원 모양을 구현하는 실험을 하였다. 입력신호를 얻기 위하여 메틀랩을 이용하였다. 원하는 데이터를 생성하고 이를 자기변형 구동기에 입력할 수 있도록 히스테리시스 역보상을 통하여 각각 구동기에

입력할 데이터를 생성하였다. 그림 6은 각 구동기에 입력하기 위한 시뮬레이션 데이터와 이를 역보상한 데이터이다.

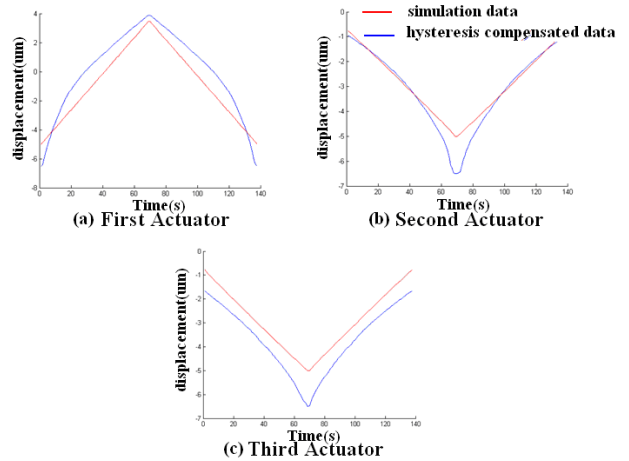


Fig. 6 Simulation to get hysteresis-compensated data

그림 7은 시뮬레이션과 실험을 통해 얻은 결과이다. 실험 결과 원하는 시뮬레이션 입력 모양과 유사한 형태의 결과를 얻었다.

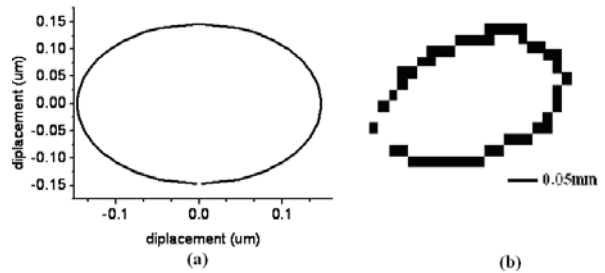


Fig. 7 (a) Simulated shape, (b) Experiment shape

본 논문에서는 자기변형 구동기를 이용한 거울의 정밀 각도 제어 시스템을 개발하고 이를 실험하였다. 실험 결과 개발된 시스템은 레이저의 각도를 변조하여 원하는 모양과 비슷한 결과의 모양을 생성할 수 있었다.

후기

본 연구는 중소기업청의 산학공동 기술개발사업으로 수행된 연구 결과임.

참고문헌

1. Young-Woo Park and Min-Cheol Yim, "Design and characterization of a magnetostrictive microactuator", Physica Status Solidi (A), Applied Research, vol. 201, Issue 8, pp.1983-1987, June 2004.
2. Stuart T. Smith, "Flexures: elements of elastic mechanisms", CRC Press; 2000.
3. Shane Woody, Stuart Smith, "Design and performance of a dual drive system for tip-tilt angular control of a 300 mm diameter mirror", Machtronics, vol. 16, Issue 7, pp.389-397, September 2006.