

레이저를 이용한 진동측정장치 The Measurement System of Vibration using Laser

진 동 희 *, 전 병 철 *, 조 종 두 **, 김 재 도 **

D.H.Jin * , B.C.Joun * , C.D.Cho **, J.D.Kim **

* 인하대학교 내하원 기계공학과

** 인하대학교 기계공학과

Abstract

In this study low priced laser measurement system was made, so its reliability was investigated. Intensity distribution of laser beam measured by devised system and FFT analyzer and their results were examined for proving reliability of devised system.

Transmitted laser beam intensity on photodiode changed by eccentrically rotating of disk cam and motor speed. To get results, photodiode and devised amplifier were used for changing voltage. After that, response signal was calculated by signal analysis program.

It was found that the vibration of disk cam could be measured by the intensity distribution of laser beam and the same tendency was obtained by FFT. Change of motor speed effected the distribution of laser beam, which was obtained by devised system. Also linear distribution was got by sensitive balancing switch on amplifier according to the transmission of laser beam on photodiode.

제 1 장 서 론

1.1 연구목적

기존의 계측방법은 대부분 전촉식 측정법으로 측정 후에 측정물에 변형을 초래할 수 있으며, 센서를 측정물에 직접 접촉시킬 수 없는 경우에는 계측할 수 없는 단점이 있다. 이에 따라 고가의 측정장비에 따른 제약에도 불구하고 최근에는 비접촉식 측정법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이며, 그중에서 레이저빔을 이용한 계측은 빛이 고속도로 전파하므로 검출이나 신호처리면에서 실시간 계측과 측정대상물을 비접촉 방식으로 측정을 하여 영구적인 변화를 주지 않으며 파장영역도 γ 선에서 가시영역, 적외영역에 이르고 짧은 파장의 빛을 이용하면 서브미크론, 나노미터영역까지 높은 정밀도의 계측을 할 수 있다.

레이저빔과 광센서를 이용한 계측은 이미 각종 공작기계의 운동 오차를 측정하는 방법, 소형 정밀기계의 미세진동 측정기 등에 사용되고 있으며, 레이저를 이용한 재료가공시 발생하는 레이저빔의 산란 및 강도를 포토다이오드를 이용하여 측정을 한 뒤 이를 되먹임하여 레이저가공의 제어²⁾에 이용하고 있다.

최근에는 반도체레이저와 IC의 발달로 소형 경량으로 취급하기 쉬운 계측기가 개발되고 이들이 기계의 일부로서 내장되는 경향이 있으며 메카노옵틱스(mechano-optics)라는 용어가 사용되고 있다. 선진각국에서는 레이저를 이용해서 위치를 측정하는 트래킹(tracking) 시스템의 개발^{6,7)}과 고속회 레이저를 이용하여 인공위성의 운동 상태의 계측과 제어⁸⁾ 등 다양한 연구를 수행하고 있다.

본 연구에서는 레이저빔을 이용한 저가의 계측시스템을 구축하기 위해 이에 대한 신뢰성을 검토하는 것을 목적으로 한다. 즉 고인한 계측시스템을 이용하여 모터에 의해 회전하는 원판캠의 미세진동을 측정하여 얻어지는 신호와 FFT(파형분석기)에 의해서 얻어지는 신호를 비교 해서하여 고인한 계측시스템이 회전하는 물체의 미세진동 측정에 적합함을 검토하고자 한다. 이를 위해 편심회전하는 원판캠에 레이저빔을 조사하고 후방에 포토다이오드를 설치하여 편심회전에 따른 레이저빔의 완전차단, 부분조사, 완전조사의 강도분포변화를 포토다이오드와 증폭기를 통하여 전압의 변화로 측정을 하며, A/D 변환기를 통하여 digitalized된 신호로서 컴퓨터의 신호해석 프로그램과 연결되어 실시간 측정을 할 수 있도록 한다. 한

편 얻어지는 신호에 대한 신뢰성을 주기 위해 FFT 에서 얻어지는 신호와 비교검토한다.

제 2 장 이 른

2.1 레이저빔의 강도분포

레이저빔은 전자파이기 때문에 빔의 단면형태와 강도의 분포는 원형이지만 분포는 일정하지 않다. 일반적으로 비입의 강도 분포는 중앙이 크고, 중앙에서 멀어질수록 완만하게 작아지는 분포이다. 일반적인 레이저빔의 3차원 강도 분포는 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$I = I_0 \exp(-x^2/2a^2 - y^2/2b^2) \cdot f(z) \quad (1)$$

여기서 $f(z) = \alpha z$, I_0 는 레이저빔의 첨두 강도(peak intensity)이다.

레이저빔의 강도분포 해석시 z축에 의한 분포의 변화는 거의 없으므로 2차원 타원형 가우시안 분포로 해석을 할 수 있다. 만약 $a=b=r_0$ (r_0 :레이저빔의 직경), $x=y=r$ (r :빔의 중심으로부터 원주방향의 거리)이면 식 (1)은 아래와 같이 된다.

$$I = I_0 \exp(-r^2/r_0^2) \quad (2)$$

식 (2)는 기본적인 단일 횡모드의 정규화률분포를 나타낸다.

2.2 편심회전에 따른 레이저빔 강도분포변화

레이저빔이 편심회전하는 원판캠에 조사될 경우 편심회전에 따라 포토다이오드에 입사되는 레이저빔의 강도분포가 변하게 된다. Fig. 1에서와 같이 레이저빔이 x축에 대해 θ 의 각을 이루면서 원판캠에 조사될 경우 입사된 강도분포함수(transmitted intensity function) $d(p, \theta)$ 는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$d(p, \theta) = \log \left[\frac{I_0}{I(p, \theta)} \right] \quad (3)$$

여기서 I_0 는 조사된 레이저빔 첨두강도(peak intensity)이며, $I(p, \theta)$ 는 포토다이오드에 입사된 레이저빔의 강도분포로서 포토다이오드와 평행한 P축 위의 한점에서 측정된 값이다.

제 3 장 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

(1) 실리콘 (Si) 포토다이오드

본 실험에 사용된 실리콘 포토다이오드는 Melles Griot 사의 제품으로 분광감도 영역이 350~1100 nm로 특히 600~900 nm의 파장영역에서 감도가 최대가 되며 입사광량에 대한 출력 전류의 직진성과 고속의 응답성을 가지고 있다. 또한 실리콘 포토다이오드는 온도에 의한 변화가 적고, 암전류(dark current)가 적으며 집음특성(NEP)이 우수하다.

(2) 광전소자 증폭기

포토다이오드에서 출력되는 전류신호를 다루기 용이한 전압신호로 변환시키고, 전압신호에서 다시 필요한 성분만을 골라내는 작업이 필요하다.

Fig. 2는 증폭소자(OP Amp)인 FET(Field Effect Transistor) 입력형 TL 082가 관계된 포토다이오드 증폭기의 회로도이다. 포토다이오드에서 나오는 신호를 증폭하기 위하여 컴퓨터로부터 12V의 전원에 저항을 연결시킴으로써 각각 +6V, 0V, -6V를 만들었으며, 10k Ω 의 반고정 저항을 이용하여 offset을 조정하게 하였다. 포토다이오드에 증폭기를 연결하여 전류-전압신호로 변환을 하고, 증폭비(R_f/R_i)를 결정하는 저항의 크기는 레이저빔의 강도에 따라 결정된다. 한편 변환된 전압신호는 인터페이스를 통해 컴퓨터에 입력되며 입력되는 신호의 집음의 계기를 위해 증폭기에 입력감도 조절위치를 설치하였다.

(3) He-Ne 레이저

Melles Griot사의 제품으로 출력이 10mW, 파장이 632.8nm, 빔직경이 0.68mm로 계측에 주로 사용하는 소형레이저이다.

3.2 실험방법

본 연구에서 구성한 실험장치는 He-Ne 레이저와 전원 공급장치의 발광부분과 포토다이오드, 증폭기, A/D 변환기, 컴퓨터, FFT(Aco Type 8330) 등으로 구성된 수신부분으로 이루어져 있다. 한편 모터와 전원공급장치, 모터의 회전축에 부착된 원판캠 등으로 측정대상을 구성하였다.

레이저빔을 모터에 의해 회전하는 원판캠의 끝면에 조사하여 편심회전에 따른 레이저빔 강도분포의 변화를 측정하였으며 이를 통하여 원판캠이 부착된 모터의 회전상태를 측정할 수 있도록 하였다.

모터에 부착한 원판캠을 회전축의 중심으로부터 10mm의 편심을 주어 회전에 따른 높이의 변화를 주었으며, 높이의 변화에 따라 조사된 레이저빔의 강도분포변화를 측정하기 위해 포토다이오드를 설치하였다. 즉 레이저빔을 원판캠의 중심으로부터 최고위치에 조준을 하였으며, 회전에 따라 레이저빔이 포토다이오드에 입사와 차단을 반복할 수 있도록 하여 강도분포변화를 측정하였다. 한편 레이저빔이 포토다이오드의 수평면적내에 위치할 수 있도록 높이게이지(height gage)를 이용하여 포토다이오드의 위치를 조절하였다.

포토다이오드에서 발생하는 전류는 증폭기를 통하여 전압으로 변환을 하고 이를 A/D 변환기와 연결하여 컴퓨터의 신호 해석 프로그램과 연결하였다. 아울러 구성한 신호해석 프로그램에 의해 얻어지는 주파수의 신뢰성을 위해 포토다이오드

에서 얻어지는 전류의 변화를 FFT로 측정을 하여 이를 비교하였다. 입사되는 레이저빔 강도분포의 측정장치 개략도는 Fig. 3과 같다.

제 4 장 실험 결과 해석

레이저빔의 특징인 단색성, 지향성, 고휘도를 조합하여 시간적, 공간적으로 활용하면 종래의 방법으로 측정할 수 없던 각종 계측이 가능하다. 그러나 레이저빔은 전기장과 자기장이 결합된 특성을 지닌 횡파의 전자기 방사선으로 일정한 좁은 폭을 갖고 지속되는 청천파이다. 레이저의 주기적인 정현파의 성분과 측정시 발생하는 신호가 혼합되어 상당한 오차를 발생시킬 수 있어 이를 해결해야 한다. 본 실험에서는 증폭기에 감도조절스위치를 설치하여 레이저빔이 포토다이오드에 완전조사, 원진차단, 부분차단된 경우 각각 일정한 값을 지닌 직선으로 나타나다도록 하였다.

Fig. 4.2는 공급전압 3.0V, 회전수 1700rpm인 경우로 원판캠의 곡면 부분에 레이저빔을 조사하여 원판캠의 변위에 따른 레이저빔의 분포를 보여주고 있다. 한편 원판캠의 회전에 따른 주기적인 레이저빔의 분포를 통하여 안정된 모터의 회전상태를 확인할 수 있었다.

모터의 회전속도가 증가함에 따라 모터의 회전축이 원판캠의 중심으로부터 편심되어 있어 원판캠의 회전각도변화에 따른 원심력의 불균형으로 일정한 주기를 갖는 가진력이 발생하여 공진현상을 일으킨다. 이는 회전속도가 증가함에 따라 원판캠의 상하진폭이 커짐을 확인할 수 있었다. Fig. 4.5는 공급전압 7.5V, 회전수 4600rpm인 경우로 정점(peak point)이 발생한 것을 확인할 수 있었으며, Fig. 4.3, Fig. 4.6, Fig. 4.7는 각각 공급전압 4.5V, 9.0V, 12.0V, 회전수 2800rpm, 5500rpm, 6000rpm인 경우로 원판캠의 상하진폭이 커짐에 따라 높낮이 없는 분포를 보였다. 이는 공진현상에 의해 발생한 결과라 생각된다. 이를 해결하기 위해서는 모터의 고립화(isolation)와 잡음(noise)제거, 모터의 공진모드 등 동특성을 사전에 검토해야만 한다. 아울러 레이저와 포토다이오드의 설치에도 모터의 진동영향을 사전에 충분히 고려해야만 한다.

Fig. 4.1는 공급전압 1.5V, 회전수가 720rpm인 경우로 FFT와 고안한 신호분석프로그램에서 분포에 차이를 보였다. 이는 회전수가 지속인 경우 레이저빔의 분포변화와 이를 해석하는 시간이 맞지 않아 발생한 결과라 생각된다. 이를 위해서는 신호분석프로그램에서 시간에 대한 보정이 필요하다.

Fig. 4.4는 공급전압 6.0V, 회전수가 3960rpm인 경우로 레이저빔의 분포가 비슷한 양상을 보였으나 고안한 계측시스템에

서는 FFT와 달리 신호에 잡음성분이 발생한 것으로 생각된다. 앞으로 레이저빔에 의한 계측시 포토다이오드의 수신부분에 잡음을 제거하는 방법과 연구가 있어야 하리라 생각된다.

제 5 장 결 론

본 논문은 레이저를 이용한 계측시스템을 확립하여 측정에 사용될 경우 발생할 수 있는 문제점과 이에 대한 해결방법을 제시함을 목적으로 하였다. 이에 따라 레이저의 발광부분과 포토다이오드, 증폭기장치, A/D변환기, 컴퓨터 등의 수광부분으로 시스템을 구성하였으며, 모터에 의해 구동하는 원판캠의 회전상태를 측정해 이에 대한 티당성을 검토해 보았다. 본 연구에서 얻어진 결론을 아래의 같다.

첫째, 모터의 회전수 변화에 따른 원판캠의 진동을 레이저빔의 강도분포변화로 측정할 수 있었으며, 이를 통한 회전상태를 실시간적인 방법으로 확인할 수 있었다. 즉 모터의 회전이 안정된 경우 일정한 높낮이를 가지면서 주기적인 분포를 가진 데 반해 회전이 증가함에 따라 공진, 무게의 불균형 등으로 인한 이상분포를 확인할 수 있었다.

둘째, 본 실험에서는 증폭기에 감도조절스위치를 설치하여 레이저빔의 완전조사, 부분조사, 원진차단에 따라 일정한 값을 지닌 직선으로 나올 수 있도록 하여 레이저빔 자체의 변동에 대한 문제점을 해결하였다.

마지막으로, 신호분석프로그램에서 레이저빔의 분포변화를 해석하기 위한 시간에 대한 보정이 필요함을 확인하였다. 아울러 진동물체와 레이저 및 포토다이오드의 설치에 따른 고립화, 신호해석시 잡음의 문제를 고려해야만 한다.

참고 문헌

- [1]. K. Kim, K. F. Eman, S. M. Wu, "Analysis of Alignment Errors in a Laser-Based In-Process Cylindricity Measurement System", J. of Engineering for Industry, pp. 321-329, Vol. 109, 1987.
- [2]. Decker I., "Process Control in Laser Beam Cutting by Measurement of Light Emission", SPIE 650, pp. 210-215, 1986.
- [3]. H. B. Chen, L. Li, D. J. Brookfield, K. Williams & W. M. Steen, "Laser Process Monitoring with Dual Wavelength Optical Sensors", ICALEO'91, pp. 113-122, 1991.
- [4]. Eckhard BEYER & Peter ABELS, "Process Monitoring in Laser Materials Processing", Proceedings of LAMP'92, pp. 433-438, 1992.
- [5]. D. Maischner, A. Drenker, B. Seidel, P. Abels & E. Beyer, "Process Control During Laser Beam Welding", ICALEO'91, pp. 150-155, 1991.

[6].M. Vincze, J.P. Prenninger, H. Gander, "A Laser Tracking System to Measure Position and Orientation of Robot End Effects Under Motion", The International J. of Robotics Research. pp. 305-314, vol. 13, No. 4, 1994.

[7].C. During, "Real Time Optical Measurement of Position", Mechatronics, pp. 125-138, Vol. 4, No. 2, 1994.

[8].K. I. Schultz, S. Fisher, "Ground-based laser rader measurement of satellite vibrations", J. of Applied Optics, pp. 7690-7695, Vol. 31, No. 36, 1992. [9].Anthony Vanderlugt, Optical Signal Processing, A Wiley-Interscience Publication, 1992.

[10].Joseph J. Carr, Sensors and Circuits, Prentice-Hall, 1993.

[11].Clarence W. deSilva, Control Sensors and Actuators,Prentice-Hall, 1989.

[12].Muhammad Harunur Rashid, Power Electronics Circuits, Devices and Applications, Prentice-Hall, 1988.

[13].Kenneth R. Castleman, Digital Image Processing, Prentice-Hall, 1979.

[14].Khalil Seyrafi, S. A. Hovanessian, Introduction to Electro-Optical Imaging and Tracking Systems, Artech House, 1993.

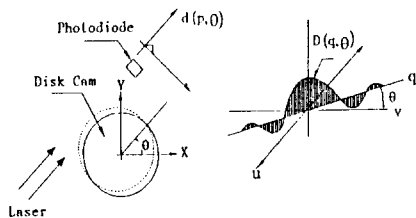


Fig. 1 Transmitted laser beam intensity distribution

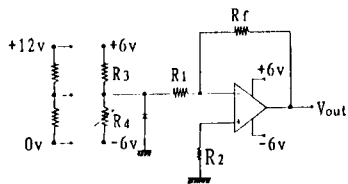


Fig. 2 Actual circuit of OP amp TL082
($R_1=1M\Omega$, $R_2=1K\Omega$, $R_3=3K\Omega$, $R_4=10K\Omega$, $R_f=10M\Omega$)

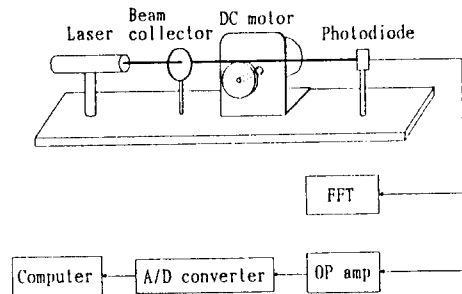
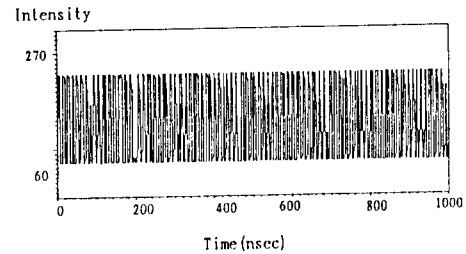
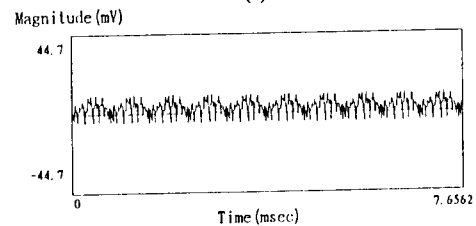


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

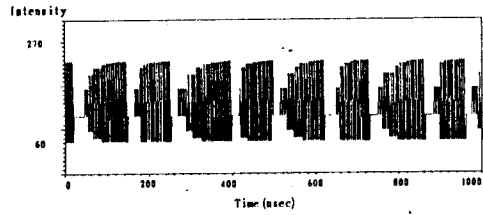


(a)

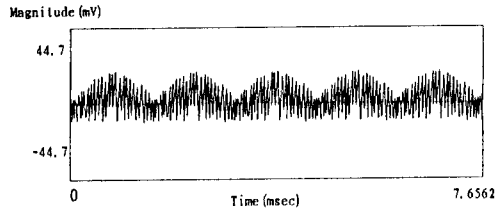


(b)

Fig. 4.1 Comparison of laser beam distribution
(a) devised measurement system
(b)FFT
(supply voltage:1.5V, 720rpm)

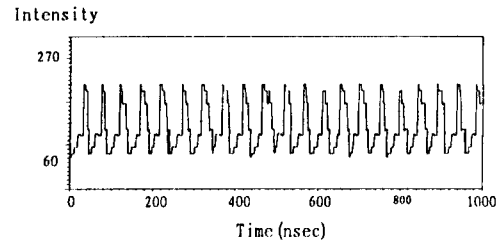


(a)

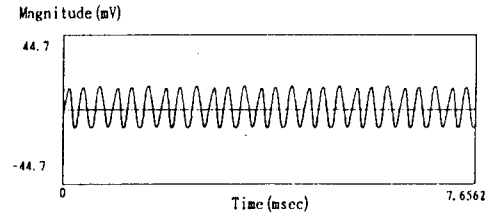


(b)

Fig. 4.2 Comparison of laser beam distribution
(a) devised measurement system
(b) FFT
(supply voltage:3.0V, 1700rpm)

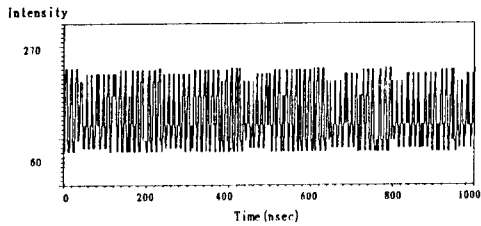


(a)

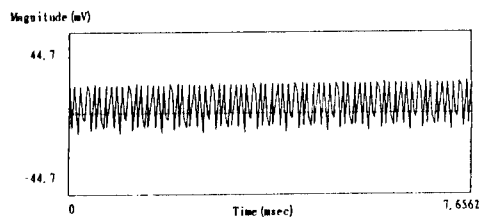


(b)

Fig. 4.4 Comparison of laser beam distribution
(a) devised measurement system
(b) FFT
(supply voltage:6.0V, 3960rpm)

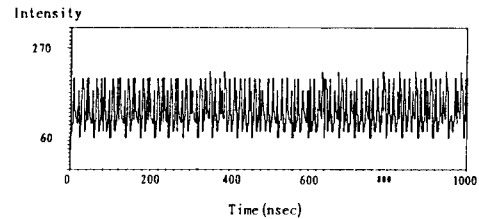


(a)

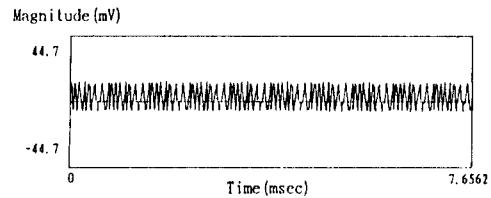


(b)

Fig. 4.3 Comparison of laser beam distribution
(a) devised measurement system
(b) FFT
(supply voltage: 4.5V, 2800rpm)

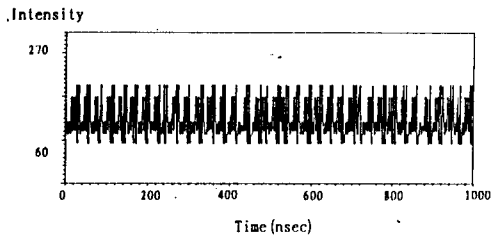


(a)

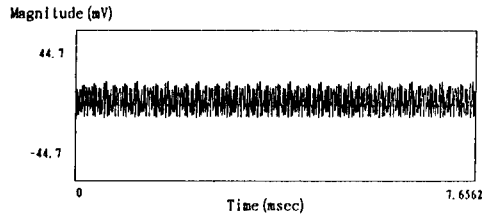


(b)

Fig. 4.5 Comparison of laser beam distribution
(a) devised measurement system
(b) FFT
(supply voltage:7.5V, 4600rpm)

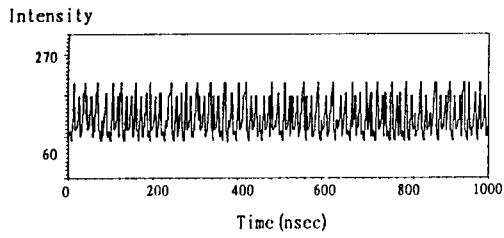


(a)

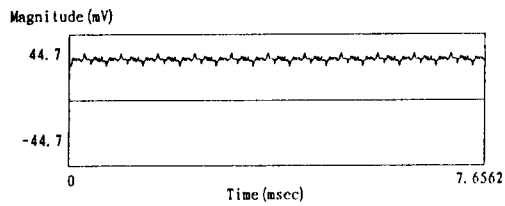


(b)

Fig. 4.6 Comparison of laser beam distribution
 (a) devised measurement system
 (b) FFT
 (supply voltage: 9.0V, 5500rpm)



(a)



(b)

Fig. 4.7 Comparison of laser beam distribution
 (a) devised measurement system
 (b) FFT
 (supply voltage: 12.0V, 6000rpm)