

비전 피드백 제어를 이용한 광통신 Laser Diode Test Device 개발

유철우*, 송문상, 김재희(전북대 대학원 정밀기계공학과),
박상민(전주공업대 기계계열), 유범상(전북대 기계항공시스템공학부)

Development of Laser Diode Test Device using Feedback Control with Machine Vision

C. W. Ryu*, M. S. Song, J. H. Kim(Prec. Mech. Eng. Dept., CNU)
S. M. Park*(Mech. Eng. Dept., JTC), B. S. Ryuh(Mech. Eng. Divi., CNU)

ABSTRACT

This thesis is on the development of LD(Laser Diode) chip tester and the control system based on graphical programming language(LabVIEW) to control the equipment. The LD chip tester is used to test the optic power and the optic spectrum of the LD Chip. The emitter size of LD chip and the diameter of the receiver(optic fiber) are very small. Therefore, in order to test each chip precisely, this tester needs high accuracy. However each motion part of the tester could not accomplish high accuracy due to the limit of the mechanical performance. Hence, an image processing with machine vision was carried out in order to compensate for the error, and also a load test was carried out so as to reduce the impact of load on chip while the probing motion device is working. The obtained results were within $\pm 5\mu\text{m}$ error.

Key Words : Laser Diode, LD(Laser Diode Test Device), 광통신, Machine Vision

1. 서론

최근 각 국은 현재의 통신기반 수용능력을 높여 서 정보의 대용량화, 초고속화를 시킴으로써 광대역 및 실시간 전송을 요하는 통신서비스를 수용하기 위한 초고속 정보통신 기반을 구축하기 위하여 다양한 계획들을 추진되고 있다. 이러한 초고속 정보통신 환경 구축에 있어 기본이 되는 것이 초고속, 대용량의 정보를 실질적으로 전송하는 광통신 기술이다. 광통신 기술에서 가장 기본이면서도 핵심이 되는 것은 광통신용 광소자의 개발이라 할 수 있다. 특히, 광통신 기술 중에는 실질적으로 광통신에 쓰이는 부품에 대한 연구가 중요하다. 주요 광부품의 구성기술은 광소재(부품)기술, 광소자 제작기술과 광패키징(광모듈)기술, 측정·평가 기술 및 그에 대한 장비기술 분야 등으로 나눌 수 있다. 최근 주요 선진국들이 개발하고 있는 첨단 광부품 핵심기술은 집적화, 저가격화 및 신패키징기술개발, 고속화, 전광회로화(All Optic Circuit) 등이다. 이러한 기술을 뒤받침 하

기 위해서는 그에 상응하는 고정밀의 장비개발 및 제어방법의 개발이 필수이다^{1,2}.

본 연구는 광통신 기술의 핵심소자중의 하나인 LD(Laser Diode)를 측정하는 시스템을 설계하고, 이를 제어하는 알고리즘을 개발하여 자동화하는데 목적이 있다. 측정대상인 LD는 전송해야할 전기적 신호를 광신호로 변환하는 광소자로서 측정에 사용된 LD Chip의 사이즈는 $300\mu\text{m}$ 정도이다. 그러나 실제 광신호를 방출하는 발광부의 사이즈는 $10\mu\text{m}$ 이내의 매우 작은 크기를 갖는다. 또한 광특성의 측정에 있어서 LD Chip의 발광부 뿐만 아니라 Detector의 수광부인 광섬유의 직경이 매우 작으므로 광전송에 있어 최적의 광특성치를 얻기 위해서는 발광부와 수광부의 정확한 정렬이 필요하게 된다.

LD Chip Test Device 시스템의 자동화를 추진하는데 있어 제어대상체(LD Chip의 방출부)가 수 μm 의 정밀제어를 요구하나 제어시스템에 사용되는 리니어 스텝핑 모터(Linear Stepping Motor)의 물리적 정밀도는 제어목표에 크게 못 미친다. 위치 정밀도를 보정

하기 위하여 엔코더 외에 비접촉 측정기술로 많이 쓰이는 머신비전³⁻⁵을 이용하여, Graphical Programming Language(LabVIEW)를 기반으로 한 시스템 제어의 자동화 알고리즘을 개발한다. 머신비전은 프로브가 LD 칩의 발광부를 정확히 탐지하도록 영상처리를 통하여 위치 오차값을 확인하고, 오차값을 보정하기 위한 피드백 제어⁶⁻¹⁰를 적용하였다.

2. LD Test Device의 개발 목표

본 연구에서 개발한 LD Chip Tester는 LD Chip의 광파워와 광스펙트럼을 측정하는 장비이다. LD를 테스트하는 장비는 단파장대(350~950nm) 또는 장파장대(900~1700nm) LD chip-bar의 전기, 광학의 특성을 CW 또는 Pulse 전류구동에 의해 측정하는 장치이다. 측정은 전용치구에 의해 Chip-bar를 장치에 Setting하여 Monitor Camera에 의해 간단한 위치결정 조정으로 자동으로 I-L, FFP, 파장의 측정을 행한다. 측정부에 의해 LD의 특성을 측정하여 측정 데이터를 메인 PC로 전송하고 메인 PC는 측정 데이터를 처리하여 CRT나 프린터 등에 출력한다^{7,8}.

Fig. 1은 본 연구에서의 측정대상인 LD Chip-bar로 길이는 10mm이고, 공진기장은 250 μ m, Chip 두께는 100 μ m, Chip의 폭은 300 μ m이다. Prober가 Chip에 전류를 공급하는 전극패드의 크기는 75 \times 100 μ m이며, 광출력부(도파로)의 크기가 10 μ m이다.

LD Chip의 발광부의 크기는 10 μ m이하의 크기를 갖으며, 수광부에 쓰이는 광파이버(Optic Fiber)는 단일모드와 다중모드 광파이버 모두 125 μ m의 직경을 가지나, 실제 단일모드의 경우는 파이버의 중심에서 반경 5 μ m이내에, 다중모드의 경우는 반경 25 μ m~30 μ m이내에 국한되어 있다. 따라서 LD Chip Tester의 개발은 광신호를 송수신함에 있어 광손실을 최소화하도록 측정하기 위해서는 \pm 5 μ m 정도의 매우 정밀한 제어가 필요하다.

장비개발에 사용된 리니어 스텝핑 모터는 그 분해능(Resolution)이 1~10 μ m 이상이고 반복정밀도가 2 μ m 이상, Accuracy가 \pm 5~20 μ m 정도이므로 제어목표치를 크게 못 미치고 있다. 따라서 본 연구에서는 LD Chip Tester의 개발에 있어 모터의 목표치에 미치지 못하는 물리적 정밀도를 보상하기 위해 머신비전을 이용한 피드백제어를 수행한다.

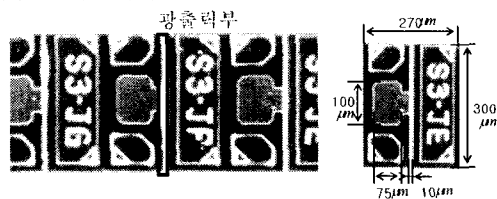


Fig. 1 LD Chip-bar used in test

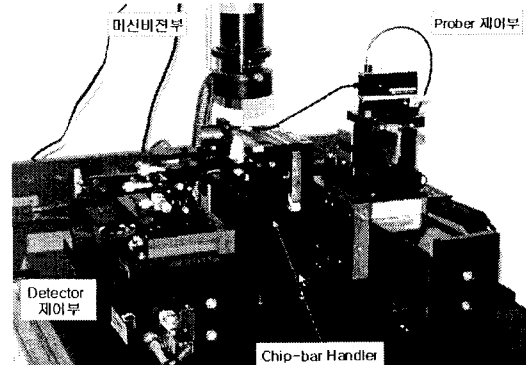


Fig. 2 Laser Diode(LD) Test Device

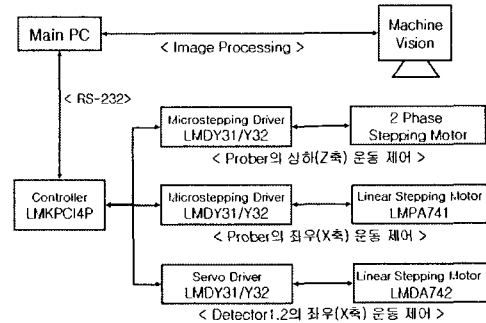


Fig. 3 Block diagram of system constitution

Table 1 Mechanical performance of linear stepping motor

Model	Max. Vel. (m/s)	Max. Acc. (m/s^2)	Repeatability (μ m)	Resolution (mm/step)	Accuracy (μ m)
LMPA-741/742	1.5	20(2g)	2	0.001~0.01	\pm 5~20

3. LD Test Device

본 연구의 LD Tester Device의 시스템은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 Chip-bar Handler, Prober 제어부, Detector 제어부, Controller부, Machine Vision부로 크게 다섯 부분으로 나뉜다. Fig. 3은 전체 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. Table 1은 Prober 제어부, Detector 제어부에 사용된 리니어 스텝핑 모터의 사양이다.

3.1 Chip-bar Handler

Fig. 4의 Chip-bar Handler 부분은 사용자가 LD Chip-bar를 비전 영상을 보고 상단의 Suction Hole에 정렬한 후 전체 State에 고정시키기 편하도록 Optical Equipment에 사용되고 있는 Magnetic Base를 이용하였다. Suction Hole의 크기는 Chip의 크기를 고려하여 200 μ m 정도의 직경으로 일반 드릴링 작업으로는 작업이 어려워 한국기계연구원(KIMM)의 Nd:YAG Laser

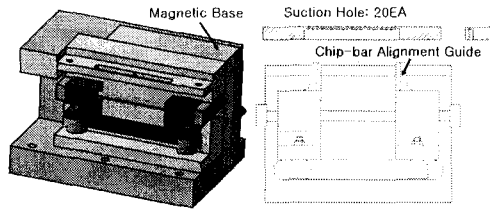


Fig. 4 Structure of LD chip-bar handler

장비를 이용하여 가공한 후 $\phi 0.2\text{mm}$ 의 드릴로 Laser 가공된 부분을 마무리 가공을 하였다.

3.2 Prober 제어부

Prober는 각 LD Chip의 전극패드에 전류를 공급 하는데 사용되어지며, Prober의 전후(X축) 운동은 리니어 스텝핑 모터(LMPA741)를 이용한다. Chip의 전극패드 크기가 $75\mu\text{m}$ 정도 되므로 전후(X축)로 이동 시 오차한도를 감안하여 $10\mu\text{m}$ 이내의 Accuracy와 $2\mu\text{m}$ 정도의 반복정밀도를 가져야 한다. 또한 Prober의 상하(Z축)운동의 제어를 위해 2상 스텝모터를 사용하고, 용차거리가 $25\mu\text{m}$ 인 포토센서를 사용하여 제어 하였다.

3.3 Detector 제어부

Fig. 2에서 Detector의 역할은 두 가지로 Detector 1은 LD Chip에서 방출되는 광의 세기를 측정하고, Detector 2는 방출되는 광의 스펙트럼의 특성을 측정한다. 측정대상인 LD Chip의 광출력부가 $10\mu\text{m}$ 정도로 매우 작기 때문에 Prober의 제어보다 더욱 정밀한 제어가 요구된다. 특히, Detector 2의 경우에는 빛을 수광하는 PD(Photo Diode)가 매우 작기 때문에 더욱 정확한 정밀도가 요구되게 되는데 이는 광학렌즈를 이용하여 광을 포커싱함으로써 개선할 수 있으므로 위치오차를 감안하여 $5\mu\text{m}$ 정도의 정밀한 제어가 요구되어 리니어 스텝핑 모터(LMPA742)에 엔코더를 사용하여 제어하였다⁶⁻¹⁰.

3.4 Machine Vision부

본 연구에서는 머신비전을 이용하여 모터의 제어 시 LD Chip의 정확한 위치점을 탐색하고, 위치에러를 보정하기 위하여 활용하였다³⁻⁵. 사용된 CCD Camera는 JAI CV-M500 이며, 영상캡처는 BT848 칩을 이용하였다. 캡처된 영상의 영상처리는 Main-PC의 Visual C++로 작성한 프로그램으로 LD Chip의 위치값을 계산하여 Controller에 그 에러 값을 보정하도록 하였다. Fig. 5는 Visual C++로 작성한 영상처리 프로그램의 메인창이다.

3.5 Controller부

Controller부는 HIWIN사의 LMKPCI4P Board를

사용하였고, Prober의 전후(X축)운동에 사용된 LMPA741과 상하(Z축)운동에 사용된 2상 스텝모터, Detector 1, 2의 전후(X축)운동에 사용된 LMPA742를 제어한다.

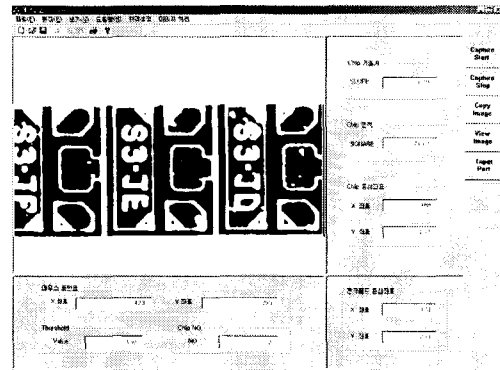


Fig. 5 Image processing program with machine vision

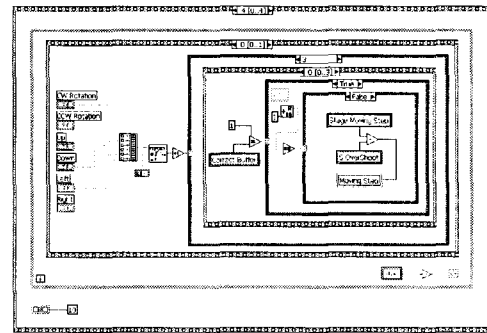


Fig. 6 Motion program of system based on LabVIEW

3.6 LD Test Device 구동 프로그램

본 연구에서는 LD Test Device를 제어하기 위한 구동 프로그램은 LabVIEW를 기반으로 모터의 파라미터 값들을 초기화하고 움직임을 테스트하는 부분(MRP Terminal)과 개발된 장비의 전반적인 제어를 담당하는 부분으로 나눌 수 있다. MRP Terminal 프로그램은 LMKPCI4P 제어기를 가진 운동제어 시스템의 설정과 구성, 테스트와 디버깅에 대하여 제어 보드를 제작한 HIWIN사에서 제공하고 있는 프로그램이다.

Fig. 6은 LabVIEW를 사용하여 개발한 LD Test Device를 제어하는 전체 응용프로그램을 나타내고 있다. 전체 응용프로그램에는 시스템 초기화 프로그램에서부터 각 축의 모션제어모드 설정, Pulse Input/Output Configuration을 하는 VI뿐만 아니라 각 Chip-bar의 Test된 결과 값의 데이터들을 배열로써 처리하는 VIs까지 많은 Sub_VIs로 이루어진다.

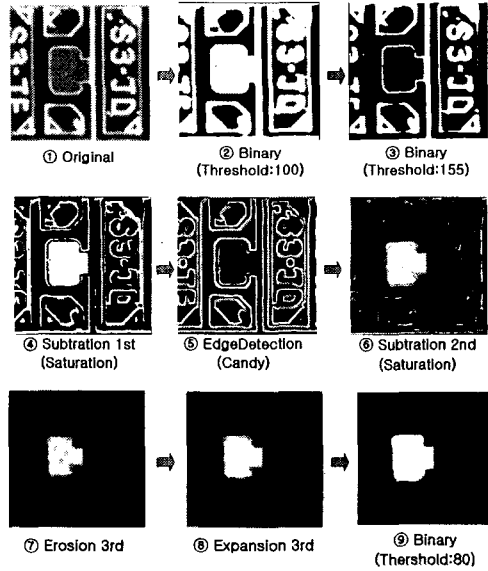


Fig. 7 Method of image processing used in experiment

4. Machine Vision을 이용한 위치오차 보상

Fig. 7은 영상처리의 구현에 위하여 사용된 과정을 나타내고 있다^{3,5}. 먼저 영상을 이진화기법을 사용하여 원래의 영상 ①에 임계값(Threshold Value)을 각각 100과 155로 설정하여 이진화 영상(②, ③)으로 변환하였다. 다음으로 ②, ③ 영상을 픽셀단위 빼기 연산을 통해서 ④와 같은 영상으로 변환하고, 원래의 영상을 캐니(Canny) 마스크를 이용한 윤곽선 검출기법을 활용하여 ⑤와 같은 영상을 얻었다. 그리고 ④영상에서 ⑤영상을 다시 픽셀단위 빼기 연산을 하여 ⑥과 같은 영상을 얻었다. 원치 않는 잡음을 제거하기 위하여 형태처리 모듈로지 (Morphology)기법을 이용한 침식과 팽창과정을 각각 3번씩 반복 수행 (⑦, ⑧) 한 후 다시 임계값을 80으로 이진화하여 최종영상(⑨)을 얻었다. 최종영상을 이용하여 제어대상 목표점이 되는 전극패드의 중심점을 쉽게 구할 수 있다.

Fig. 7과 같이 머신비전을 이용한 영상처리과정에서 한 픽셀당 실제거리를 계산하면 약 $0.9\mu\text{m}$ 이므로 모터 동작시 목표점까지의 오차를 보상하는 피드백량은 한 픽셀단위인 $0.9\mu\text{m}$ 만큼씩 이동하도록 할 수 있다. 하지만 Table 1에서 알 수 있듯이 사용모터의 분해능(Resolution)이 $1\sim 10\mu\text{m}$ 이상이고 반복정밀도가 $2\mu\text{m}$ 이상이므로 영상 내의 목표점에 Probe 끝이 정지하도록 결정하는 위치의 허용한계(머신비전을 이용한 피드백 제어에 있어 오차한계)를 목표점

으로부터 $\pm 5\mu\text{m}$ 정도로 여유를 주어 Probe 끝이 그 영역 안으로 들어오면 프로그램의 동작을 멈추도록 하였다. 이것은 Fig. 1과 같이 측정대상인 LD Chip의 전극패드의 크기가 $75\times 100\mu\text{m}$ 이므로 측정하기에 충분히 만족할 만한 수치이다.

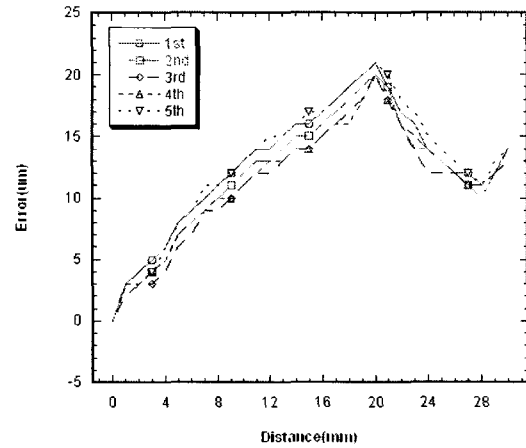


Fig. 8 Error rate measured without feedback

Fig. 8은 머신비전으로 피드백 보상을 하지 않은 상태에서의 모터동작상태로 원점에서부터의 거리에 따른 오차값의 변화를 나타내고 있다. 오차 값은 모터사양의 Accuracy와 거의 비슷한 범위 내에 있으며, 거리량이 증가할수록 오차 값은 점점 증가하다가 이동거리량이 21mm 이상인 지점에서부터는 감소하기 시작하여 28mm 이상의 이동량에서부터는 다시 오차가 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 5번의 반복실험에 있어 동일한 지점에서의 반복정밀도의 차이가 $2\sim 3\mu\text{m}$ 정도임을 알 수 있다.

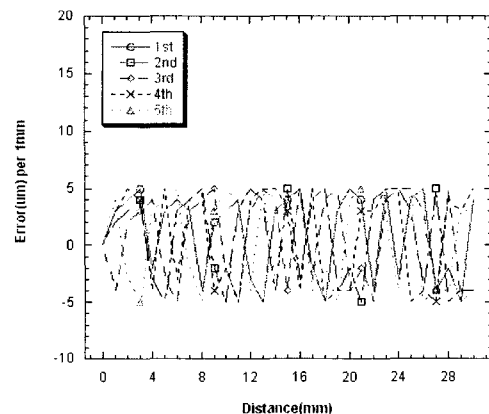


Fig. 9 Results of feedback using machine vision

Fig. 9은 머신비전을 이용한 피드백제어를 했을 경우의 모터구동에 나타나는 에러 분포를 나타낸다. 측정은 1mm 간격으로 모터를 전후로 이동시키면서

각 지점에서의 에러 값을 살펴보았다. 결과 그래프에서도 알 수 있듯이 에러값의 분포가 $\pm 5\mu\text{m}$ 정도의 범위 내에서 산재하고 있다. 이는 머신비전을 통한 피드백 과정의 오차 보정시 미리 주어진 에러의 허용한계값($\pm 5\mu\text{m}$)을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 또한 목표점을 향한 모터의 이동시 전진 방향으로 이동할 때의 오차가 후진 방향으로 이동할 때보다 측정되어지는 오차의 빈도수가 많았다. 위 그래프에서 보면 0(zero)를 기준으로 양의 방향에 더 많은 에러들이 산재하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 광통신용 핵심 광소자중 레이저다이오드(LD)를 테스트하는 장비를 개발하고, Graphical Programming Language (LabVIEW)를 이용하여 제어프로그램을 작성, 각 기구부의 동작상태를 확인한 후 그 개선방법에 대해 검토하였다.

개발한 시스템의 제어대상체가 수 μm 의 정밀제어를 요구하나 본 제어 시스템에 사용되는 리니어 스텝핑 모터의 물리적 정밀도가 제어목표에 다소 미치지 못했다. 보다 정확한 제어를 위해 머신비전을 이용한 영상처리를 통하여 오차 값을 확인하고, 이를 보정하기 위한 피드백 제어를 하여 그 결과를 검토하였다. 피드백 제어시 대상 목표점에 만족하도록 하는 위치결정의 허용한계(피드백에 있어 허용오차 한계 조건)를 목표점으로부터 $\pm 5\mu\text{m}$ 로 하여 실험한 결과 머신비전을 이용한 피드백 제어시 오차범위 내에서 잘 추종하였다.

참고문헌

1. 신상영, 김창민, 박진우, 이경식, 김부균, 채창준, 정영철, 정준, 이병호, 초고속 광통신 기술, 홍릉과학출판사, pp. 137-219, 1996.
2. H. A. Haus, Waves and Fields in Optoelectronics, Prentice Hall, 1984.
3. Azriel Rosenfeld, "From Image Analysis to Computer Vision: An Annotated Bibliography, 1955-1979" Computer Vision and Image Understanding Vol. 84, No. 2, pp. 298-324, 2001.
4. 장동혁, Visual C++을 이용한 Digital Image Processing 디지털 영상처리의 구현, 정보게이트, 2001.
5. Carlo Colombo, Eckhard Kruse, Paolo Dario, "Control of Camera Motions from the Planning of Image Contours" Robotics and Autonomous Systems, Vol. 16, pp. 29-38, 1995.
6. Samir Mekid, "High Precision Linear Slide. Part I:

- Design and Construction," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, No. 7, pp. 1039-1050, 2000.
7. Samir Mekid, Olivier Olejniczak, "High precision linear slide. Part II: control and measurements," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, No. 7, pp. 1051-1064, 2000.
8. Li Xu, Bin Yao, "Output feedback adaptive robust precision motion control of linear motors," Automatica, Vol. 37, No. 7, pp. 1029-1039, 2001.
9. 신규범, 이정우, 오준호, "스텝모터의 진동저감을 위한 마이크로 스텝 구동에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제14권 제5호, pp.69-77, 1997.
10. M. Weck, P. Krüger, C. Brecher, "Limits for Controller Settings with Electric Linear Direct Drives," International Journal Machine Tools & Manufacture, Vol. 41, No.1, pp. 65-88, 2001.