

Laser Diode Tester 개발과 비전 피드백을 이용한 위치 보정

김재희*, 유철우⁺, 박상민⁺⁺, 유범상⁺⁺⁺

(논문접수일 2003. 11. 7, 심사완료일 2004. 7. 5.)

Development of Laser Diode Tester and Position Compensation using Feedback with Machine Vision

Jae-Hee Kim*, Cheol-Woo Ryu⁺, Sang-Min Park⁺⁺, Beom-Sahng Ryuh⁺⁺⁺

Abstract

The development of LD(Laser Diode) tester and its control system based on the graphical programming language(LabVIEW) is addressed. The LD tester is used to check the optic power and the optic spectrum of the LD Chip. The emitter size of LD chip and the diameter of the Detector(optic fiber and photo diode) are very small, therefore the test device needs high accuracy. But each motion part of the test device could not accomplish high accuracy due to the limit of the mechanical performance. So, an image processing with machine vision is proposed to compensate for the error. By adopting our method we can reduce the error of position within $\pm 5\mu\text{m}$.

Key Words : Laser Diode(레이저 다이오드), Laser Diode Tester(LD 테스트 장치), Machine Vision(머신비전), Feedback Control(피드백 제어), Image Processing(영상처리)

1. 서론

최근 각국에서는 현재의 통신기반 수용능력을 높여서 정보의 대용량화, 초고속화를 시킴으로써 초고속 정보통신 기반을 구축하기 위한 다양한 계획들이 추진되고 있다. 초고속 정보통신 환경 구축에 있어 기본이 되는 것이 초고속, 대용량의 정보를 전송하는 광통신 기술이다. 이 광통신 기

술에서 가장 핵심이 되는 것은 광통신용 광소자의 개발이다. 주요 광소자 기술은 광소재 기술, 광소자 제작기술과 광패키징 기술, 측정·평가 기술 및 그에 대한 장비기술 분야 등이 있다. 최근 연구 되고 있는 광소자의 핵심 기술은 집적화, 고속화, 저가격화, 전광회로화(All Optic Circuit) 및 신패키징기술 등이다. 이러한 기술을 뒷받침하기 위해서는 그에 상응하는 고정밀의 장비 및 제어기의

* 전북대학교 정밀기계 대학원 (rofa@chonbuk.ac.kr)
주소: 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동1가 664-14
+ 전북대학교 정밀기계 대학원
++ 전주공업대 자동차과
+++ 전북대학교 기계항공시스템공학부

개발이 필수적이다^(1,2).

본 연구는 광통신 전달시 전기적 신호를 광신호로 변환해주는 LD(Laser Diode) Chip의 전기적, 광학적 특성을 측정하는 LD Tester를 설계 제작하고, 장비 제어를 위한 알고리즘을 개발한다. LD Chip-bar Tester에 사용된 리니어 스텝핑 모터(Linear Stepping Motor)의 물리적 정밀도가 시스템에서 요구하는 제어 정밀도에 미치지 못하기 때문에 위치 정밀도를 보정하기 위하여 엔코더(Encoder) 외에 비접촉 측정기술로 많이 쓰이는 머신비전(Machine Vision)⁽³⁻⁶⁾을 사용하였다. 머신비전은 LD Chip-bar의 초기점을 탐지하여 프로버(Prober)와 Detector 수광부에 이동명령을 내리고, 이동 후 프로버의 위치 오차 및 LD 발광부와 Detector 수광부의 정렬 상태를 확인하여 위치 보정을 위한 피드백 제어⁽⁷⁻¹¹⁾를 실시한다. Graphical Programming Language (LabVIEW)를 기반으로 전체 시스템 제어 알고리즘을 개발한다.

2. LD Tester

본 연구에서 개발한 LD Tester는 Fig. 1과 같이 막대기 형태로 배열된 LD Chip의 광 파워와 광 스펙트럼을 측정하는 장비이다. LD Chip의 측정항목은 순전류-광출력 특성(I_f-P_o 특성), 순전류-순전압 특성(I_f-V_f 특성), LD의 역전류 특성, 광 스펙트럼(Spectrum) 특성(파장 특성) 등이다. 측정은 전용치구에 LD Chip-bar를 장착한 후 머신비전을 이용하여 LD Chip-bar의 전극과 프로브(Probe), LD Chip의 발광부와 Detector 수광부를 정렬한다. 정렬된 상태에서 I-L, FFP, 파장 등을 자동으로 측정하여 데이터를 메인 PC에 전송하고, 메인 PC에서는 측정된 데이터를 분석하여 파일로 저장하거나 CRT, 프린터 등에 출력한다^(8,9).

Fig. 1은 측정대상인 LD Chip-bar의 형상으로 길이가 10mm로 40개의 LD Chip으로 구성된다. LD Chip은 프로브가 Chip

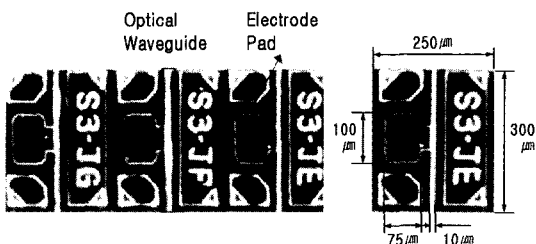


Fig. 1 LD chip-bar used in test

에 전류를 공급하는 전극패드(Electrode Pad)의 크기는 75×100µm이며, 빛을 발광하는 광도파로(Optical Waveguide)의 크기는 10µm이다.

LD 광도파로에서 방출된 광신호를 수광하여 Chip의 특성을 측정하는 Detector 수광부는 광신호를 전기신호로 변환하는 PD(Photo Diode) 광소자와 광파이버(Optic Fiber)가 사용된다. Detector 수광시 광손실을 최소화하여 최적의 데이터를 얻기 위해서는 LD 광도파로와 Detector 수광부를 정밀하게 정렬해야 한다. Detector 수광부에 쓰이는 PD Chip의 경우 크기가 300×300µm이지만, 광을 수광하는 부분의 직경은 100~150µm이고, 광파이버의 경우 빛을 수광하는 코어(Core)의 직경은 단일모드의 경우 10µm, 다중모드의 경우 50µm이다. 본 연구에서는 LD의 광도파로와 Detector 수광부의 크기를 고려하여 LD Tester 개발시 위치제어 정밀도를 ±5µm으로 설정하였다. 광 파워는 PD를 사용하여 측정하고, 단일모드 광파이버보다 직경이 커 제어하기 쉬운 다중모드 광파이버를 사용하여 광 스펙트럼을 측정하였다.

Table 1은 장비 개발에 사용된 리니어 스텝핑 모터의 사양으로 위치제어 정밀도가 설정값인 ±5µm보다 크다. 따라서 LD Tester 개발에 사용된 모터의 정밀도를 보상하기 위해 머신비전을 이용한 피드백 제어 알고리즘을 적용하였다.

Table 1 Mechanical performance of linear stepping motors

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

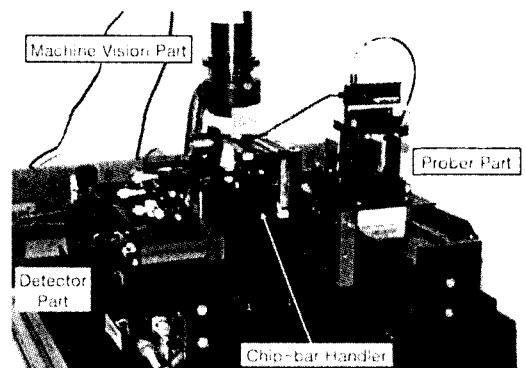


Fig. 2 Laser Diode(LD) test device

2.1 LD Tester의 구성

LD Tester는 Fig. 2와 같이 Chip-bar Handler, Prober부, Detector부, Controller부, Machine Vision부로 구성되어 있다. Fig. 3은 전체 시스템의 구성도로 Main PC는 머신비전에서 획득한 영상 처리와 각 구동부의 제어에 사용한다. Prober부와 Detector부는 리니어 스텝핑 모터에 의하여 이동되고, 프로브의 상하 운동은 2상 스텝 모터를 사용하였다. Fig. 4는 LD Chip의 전극과 프로브, Detector와의 위치 관계를 나타내고 있다.

2.2 Chip-bar Handler

Chip-bar Handler는 작업자가 LD Chip-bar를 고정시키기 위한 장치로 Fig. 5와 같이 시스템에 탈·부착이 용이한 Magnetic Base를 이용하여 제작하였다. LD Chip-bar가 측정 작업 도중 움직이지 않도록 진공을 이용하여 고정하였고, LD Chip-bar 로딩시 Suction Hole에 정확히 위치시킬 수 있도록 Chip-bar 정렬 가이드를 부착하였다. LD가 놓이는 부분에 Chip에 전류를 공급하기 위하여 금도금 처리하

였다.

Suction Hole은 Chip 크기를 고려하여 직경 200 μ m로 가공하였다. 일반 드릴링 작업으로는 Hole 가공이 어려워 한국기계연구원(KIMM)의 Nd:YAG Laser 장비를 이용하여 가공하였다. 레이저 가공의 특성상 가공물의 윗면보다 바닥면의 구멍이 작게 가공되어 ϕ 0.2mm의 드릴로 Laser 가공된 Hole을 마무리 가공하였다.

2.3 Prober Part

Prober부는 각 LD Chip의 전극에 전류를 공급하는 장치로, Probe를 각 Chip 사이로 이동시키는 전후(X축) 운동과 프로브가 Chip에 전류를 공급하기 위한 상하(Z축) 운동 부분으로 구성되어 있다. Prober부의 전후(X축) 운동은 리니어 스텝핑 모터(LMPA741)를 이용하였다. Table 1과 같이 X축 운동에 사용된 모터의 정밀도가 요구 정밀도 $\pm 5\mu$ m에 미치지 못하므로 머신비전을 이용한 피드백 제어를 실시하여 위치를 보정하였다.

Fig. 6은 Prober부의 상하 운동(Z축) 기구부의 모델링과 설계 도면이다. 프로브의 상하운동은 2상 스텝모터를 사용하였고, 응차거리가 25 μ m인 포토센서를 이용하여 상하운동을 제어하였다. 모터의 회전은 풀리(Pulley)를 통하여 볼스크루(Ball Screw)로 전달되어 프로브를 상하 운동시킨다.

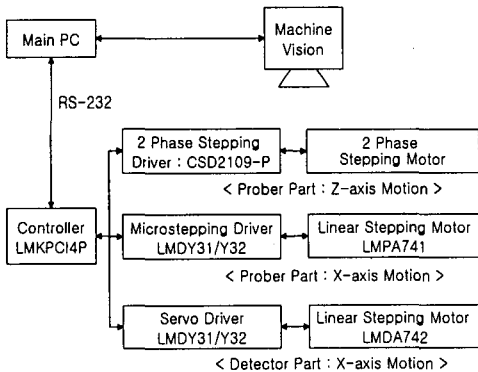


Fig. 3 Block diagram of system constitution

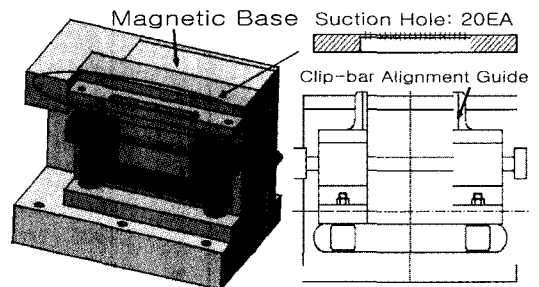


Fig. 5 Structure of LD chip-bar handler

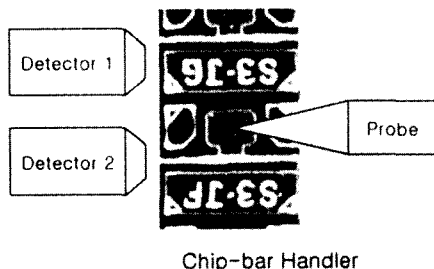


Fig. 4 Position of the electrode, probe and detector

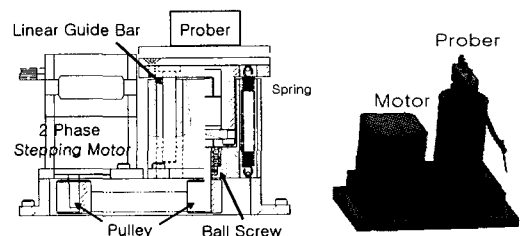


Fig. 6 Structure of probing motion part(Z-axis)

2.4 Detector Part

Detector부는 LD Chip의 광 파워와 광 스펙트럼을 측정하는 장치로 Detector 1은 PD를 이용하여 LD Chip에서 방출되는 광 파워를 측정하고, Detector 2는 광 스펙트럼 특성을 다중모드 광파이버를 사용하여 측정한다. Detector 1, 2는 프로브가 전극을 찍은 상태에서 전후(X축)로 이동하면서 측정을 수행한다. Detector부는 Detector 1, 2를 부착하기 위한 XYZ Stage 2개와 전후(X축) 이송을 위한 리니어 스텝핑 모터(LMPA742)로 구성된다(Fig. 7). XYZ Stage는 수동으로 Chip 광도파로와 Detector 사이의 거리를 조절하며, 10 μ m 분해능을 가진다.

LD Chip과 Detector 정렬시 광도파로의 광이 퍼지는 기울기와 Detector의 수광부 크기를 고려하여 필요한 위치제어 정밀도와 Chip과 Detector 사이의 간격을 결정해야 한다. 일반적으로 광 스펙트럼 측정은 광학렌즈를 이용하여 LD 광을 광파이버 코어에 집중시켜 측정한다. LD Chip의 광도파로와 PD, 광파이버 코어 크기를 고려하여 위치제어 정밀도를 $\pm 5\mu$ m으로 결정하였고, Chip과 Detector 사이의 간격은 5mm로 설정하였다. Detector 제어부에 사용된 리니어 스텝핑 모터(LMPA742)의 위치 보상을 위하여 엔코더(Encoder)를 부착하였고, 비전을 이용하여 피드백 제어를 수행하였다⁽⁷⁻¹¹⁾.

2.5 Machine Vision Part

머신비전부는 LD Chip의 초기 위치를 탐색하고, 각 Chip간 이동시 영상처리과정을 통하여 위치값을 찾아 위치 에러를 보상하기 위하여 활용하였다⁽³⁻⁶⁾. 머신비전은 1/2 " B/W CCD Camera(JAI CV-M50), 0.75X~4.5X 수동 줌

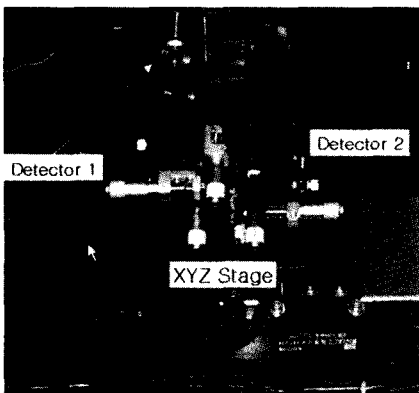


Fig. 7 Detector control part

렌즈(ML-Z07545D), 조명, BT848 칩을 이용한 비전보드(PCI_8134)로 구성된다.

머신비전을 이용한 피드백 제어는 필요한 위치 정밀도에 미치지 못하는 Detector부와 Prober부의 리니어 스텝핑 모터 위치정밀도를 보상한다. 머신비전은 영상처리를 통해 다음 Chip 전극 중심점까지의 거리를 측정하여 각 리니어 스텝핑 모터를 구동하기 위한 데이터를 Controller에 전송해 준다.

2.6 Controller Part

Controller부는 영상처리에 의한 위치 정보와 각각의 센서 신호를 처리하여 각 모터의 구동을 제어한다. Controller부는 HIWIN사의 LMKPCI4P 보드를 사용하여 프로버의 전후(X축), 상하(Z축) 운동에 사용된 LMPA741과 2상 스텝핑 모터, Detector의 전후(X축)운동에 사용된 LMPA742를 제어한다. 각 센서 신호들의 처리와 Main PC의 통신은 100-pin SCSI 2 Connector를 이용했으며, 메인 PC를 이용하여 각 모터 구동을 제어하였다.

3. LD Tester 구동제어 프로그램

LD Tester를 제어하기 위한 구동 프로그램은 LabVIEW를 기반으로 프로그래밍 하였고, 전체 프로그램은 Fig. 8과 같이 Initialization, Manual, Automation으로 구성하였다. Initial 프로세스는 Fig. 9와 같이 각 모터들의 파라미터 값을 초기화하고 원점으로 이동시키며, 통신 및 사용된 컨트롤 카드를 초기화한다. 또한 에러 발생유무와 초기화가 제대로 수행되었는지 등과 같은 장비의 상태를 표시한다. Manual은 작업자가 수동으로 한 칩씩 이동시켜 칩의 특성을 측정하는 과정으로 Automation에서 하나의 칩을 측정하는 부분을 수동으로 작업할 수 있도록 프로그래밍한 프로세스이다.

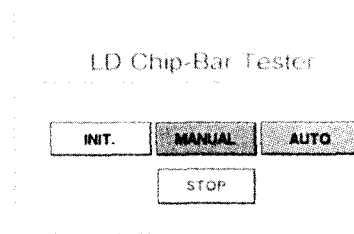


Fig. 8 The initial menu of LD tester program

Automation 프로세스는 LD Chip-bar 로딩 후 칩의 크기를 입력해주면 나머지 측정 과정을 자동으로 처리하는 프로세스이다. Fig. 10과 같은 과정을 거쳐 작업이 수행되며, Fig. 11은 Automation 프로세스의 패널이다. 자동 처리 과정에서 칩간 이동시 리니어 모터의 오차보정을 위하여 피드백 제어 알고리즘을 적용하였다. 리니어 모터를 다음 칩 위치로 이송한 후 Chip 전극과 프로브, Detector 사이의 위치 오차를 측정하여 오차가 설정값인 $\pm 5\mu\text{m}$ 이상이면, 오차보정을 수행하여 오차가 설정값 이내로 정렬할 때까지 피드백을 반복하도록 프로그램 하였다.

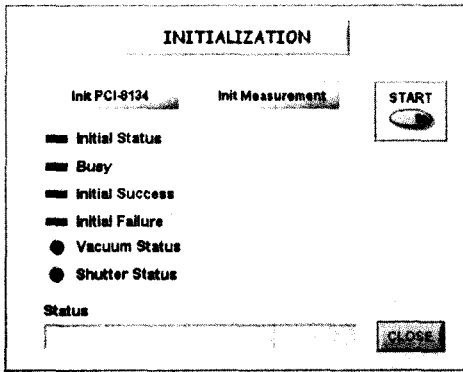


Fig. 9 Initial process panel

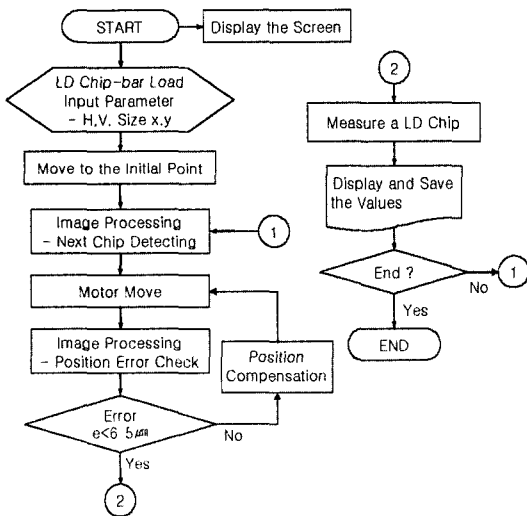


Fig. 10 Automation process flowchart

4. Machine Vision을 이용한 위치제어

4.1 Machine Vision을 이용한 영상처리

비전을 이용해 획득된 영상은 Fig. 12와 같은 영상처리 과정을 거쳐 LD Chip의 위치를 찾게 된다⁽³⁻⁶⁾. 먼저 영상을 분석하기 위해 이진화기법을 사용하여 초기 영상 ①에 임계값(Threshold Value)을 각각 100과 155로 설정하여 각각 이진화 영상 ②, ③으로 변환하였다. 이때 임계값의 결정이 중요하데, 여기서는 히스토그램의 분포를 보고 결정하였다. 다음으로 영상 ②, ③을 픽셀단위 빼기연산을 통해서

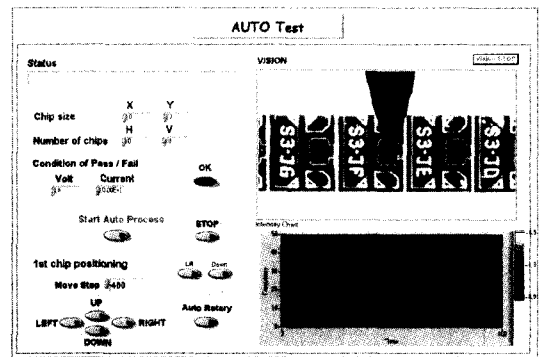


Fig. 11 Automation process panel

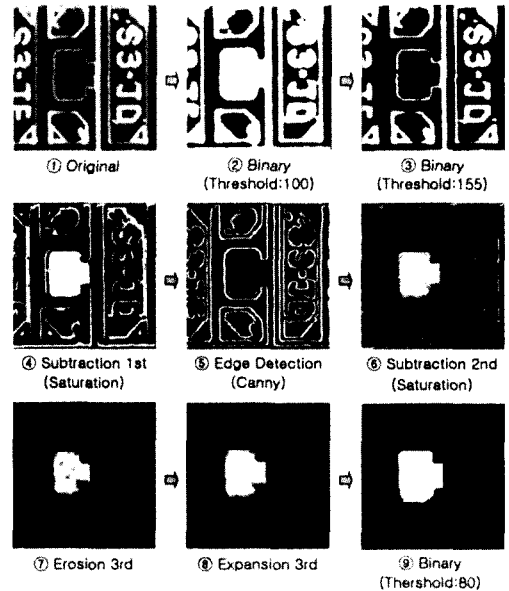


Fig. 12 Method of image processing used in experiment

영상 ④로 변환하고, 초기 영상을 캐니(Canny) 마스크를 이용한 윤곽선 검출기법을 활용하여 영상 ⑤를 얻었다. 또한, 영상 ④에서 영상 ⑤를 다시 픽셀단위 빼기연산을 하여 영상 ⑥과 같은 영상을 획득하였다. 이 과정에서 전극패드를 제외한 다른 부분들은 대부분 검게 나타나고 있으나, 원하지 않는 잡음도 내재하고 있다.

본 연구에서는 잡음을 제거하기 위하여 형태처리 모폴로지 (Morphology)기법을 이용하였다. 이 기법은 물체의 최외각선의 픽셀을 침식(Erosion)하거나 팽창(Dilation)시킴으로써 한 픽셀의 잡음을 제거하거나 혹은 두 픽셀로 확장하게 한다. 한 침식과 팽창과정을 각각 3번씩 반복 수행하여 영상 ⑦, ⑧을 획득한 후 다시 임계값을 80으로 이진화하여 최종영상 ⑨를 얻었다. 최종영상에서 볼 수 있듯이 전극패드 부분만이 깨끗하게 드러남을 알 수 있다. 따라서 제어대상 목표점이 되는 전극패드의 중심점을 쉽게 구할 수 있다.

4.2 머신비전을 이용한 리니어 스텝핑 모터의 피드백 제어

본 연구에서는 리니어 스텝핑 모터의 구동 특성을 알아보기 위하여 머신비전을 이용한 피드백 보상을 하지 않을 경우와 피드백 보상을 했을 경우로 나누어서 모터 동작상태를 살펴보았다. 실험은 Prober부의 리니어 스텝핑 모터를 이용하였고, 머신비전을 1 μ m/pixel로 설정하여 위치에러를 측정하였다. 위치 에러는 일정 거리를 이동하면서 목표점과의 절대적인 오차량으로 정의하였다.

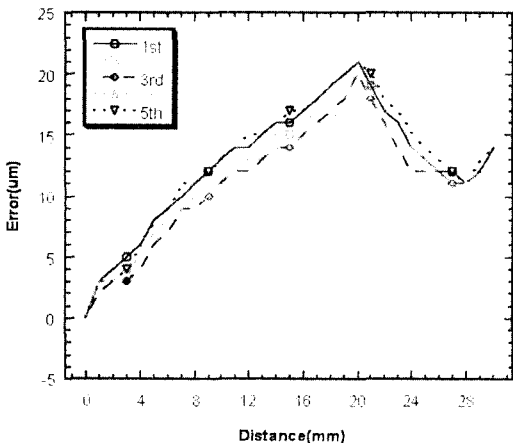


Fig. 13 Error rate measured without feedback

피드백 보상을 수행하지 않을 경우 리니어 스텝핑 모터의 구동 특성을 알아보기 위하여 Prober부의 리니어 스텝핑 모터를 1mm씩 이동하면서 모터의 위치 에러를 측정하였다. Fig. 13은 머신비전으로 피드백 보상을 하지 않을 경우의 모터동작상태로, 1mm 간격으로 이동하면서 5번의 반복실험을 수행하였다. 측정한 오차 값은 최대 21 μ m으로 Table 1의 정밀도 $\pm 5 \sim 20 \mu$ m 범위 내에 있으며, 반복정밀도 역시 2~3 μ m으로 영상처리 오차를 감안했을 때 모터의 사양과 일치하였다. 스텝핑 모터와 마찬가지로 리니어 스텝핑 모터는 스텝마다 오차가 누적되지 않으므로, Fig. 13과 같이 이송거리량에 따른 에러 값은 반복정밀도 내에서 일정한 형태를 지니게 된다. LD Chip-bar가 매 작업마다 같은 장소에 위치한다면 Calibration하여 사용할 수 있다. 그러나 개발된 시스템은 매 작업마다 LD Chip-bar가 동일한 장소에 위치한다고 볼 수 없으므로 위치 에러 보정 없이 모터를 사용할 수 없다.

머신비전을 이용한 피드백 제어를 했을 경우 모터의 동작 상태는 프로브를 한 Chip씩 이동하면서 측정하였다. Fig. 10의 Automation 순서를 따라, 오차가 설정값 이상이면 피드백 제어를 수행하였으며, 프로브 이동 후 Fig. 11의 영상과 같이 프로브와 전극 중심점 사이의 간격을 위치 에러로 정의하여 측정하였다. Fig. 14는 피드백 완료 후 각 목표점에서 프로브 끝이 설정된 오차한계 범위 안에 위치하였을 때 측정된 에러 분포 그래프이다. 결과 그래프에서도 알 수 있듯이 피드백 제어를 수행함으로써 에러값의 분포가 $\pm 5 \mu$ m 범위 내로 잘 수렴하고 있어 개발된 Test 장비의 제어에 머

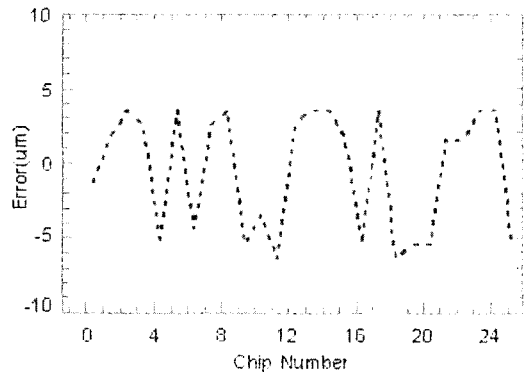


Fig. 14 Results of feedback using machine vision

신비전을 이용한 피드백 제어 알고리즘을 적용하였다.

5. 결론

본 연구에서는 광통신용 핵심 광소자 중 Laser Diode (LD)를 위한 LD Tester를 설계 제작 하고, 머신비전을 이용하여 LD Chip에 적합한 영상처리 프로그램을 개발하였다. 시스템 운용 프로그램은 Initialization, Manual, Automation 프로세스 부분으로 나누어서 작업자가 작업 상태에 따라 수작업 및 자동 작업이 가능하도록 Graphical Programming Language(LabVIEW)를 이용하여 작성하였다.

개발한 시스템의 Test 대상인 LD Chip의 크기, LD 광도 파로와 Detector의 정렬 정밀도를 고려하여 제어 목표치를 $\pm 5\mu\text{m}$ 로 설정하였으나, Test 장비에 사용된 리니어 스텝핑 모터의 정밀도가 $\pm 5\sim 20\mu\text{m}$ 로 제어목표에 미치지 못하기 때문에 위치 에러를 보정하기 위하여 머신비전을 이용한 피드백 제어 알고리즘을 적용하였다. 실험 결과 위치 에러가 $\pm 5\mu\text{m}$ 의 오차범위 내로 수렴하여 본 연구에서는 머신비전을 이용한 피드백 제어 알고리즘을 적용하여 LD Tester를 개발하였다.

본 장비 개발을 통해 획득한 설계 및 제작 방법과 영상처리 알고리즘은 LD Chip뿐만 아니라, PD, 화합물 반도체 등의 Tester, Sorting 장치 개발에 적용될 수 있으며, 이를 위하여 다양한 형태의 미세 Chip에 대응할 수 있는 영상처리 알고리즘의 개발이 필요하다.

참고 문헌

- (1) Wilson, J., and Hawkes, J., 1998, *Optoelectronics-an Introduction*, Prentice Hall.
- (2) Haus, H. A., 1984, *Waves and Fields in Optoelectronics*, Prentice Hall.
- (3) Rosenfeld, Azriel, 2001, "From Image Analysis to Computer Vision: An Annotated Bibliography, 1955-1979," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 84, No. 2, pp. 298~324.
- (4) Jang, W. S., Jang, J. K., and Shin, K. S., 1998, "An Application of Computer Vision System for the Determination of Object Position in the Plane," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineer*, Vol. 7, No. 2, pp. 62~68.
- (5) Jang, W. S., Kim, K. S., Joo, C. J., Lee, S. M., Kim, C. H., and Kim, D. H., 1999, "A Study on the Determination of 3-D Object's Position Based on Computer Vision Method," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineer*, Vol. 8, No. 6, pp. 26~34.
- (6) Carlo Colombo, Eckhard Kruse, and Paolo Dario, 1995, "Control of Camera Motions from the Planning of Image Contours," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 16, pp. 29~38.
- (7) Samir Mekid, 2000, "High Precision Linear Slide. Part I: Design and Construction," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, No. 7, pp. 1039~1050.
- (8) Samir Mekid, and Olivier Olejniczak, 2000, "High precision linear slide. Part II: control and measurements," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, No. 7, pp. 1051~1064.
- (9) Li Xu, and Bin Yao, 2001, "Output feedback adaptive robust precision motion control of linear motors," *Automatica*, Vol. 37, No. 7, pp. 1029~1039.
- (10) Shin, G. B., Lee, J. W., and Oh, J. H., 1997, "A Study on the Micro Stepping Drive to Reduce Vibration of Step Motors," *Journal of KSPE*, Vol. 14, No. 5, pp. 118~127.
- (11) Weck, M., Krüger P., and Brecher C., 2001, "Limits for Controller Settings with Electric Linear Direct Drives," *International Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 41, No. 1, pp. 65~88.