한국정밀공학회지 제24권 제4호 (2007년 4월)
Journal of the Korean Society for Precision Engineering Vol. 24, No. 4, April 2007

◆특집◆ Display 제조 공정에 적용된 Machine Vision 사례

평판 디스플레이의 투명 평판 유리 형상 검사를 위한 광센서 개발과 응용

서평원*, 유영기**, 오춘석***

Development of an Optical Sensor for Inspection the Shape of the Transparent Flat Glass for Flat Panel Display

Pyeong Won Seo*, Young-Kee Ryu** and Choonsuk Oh***

Key Words : Calibration (교정), Hologram Laser (홀로그램 레이저), Focus Error Signal (포커스 에러 신호)

1. 서론

영상매체의 발전에 따라 TV나 컴퓨터 모니터 등에 사용되는 TFT-LCD, PDP, EL등의 평판 디스플레이 장치들의 대형화, 고화질, 고정밀도가 요구되어지고 있다. 이러한 디스플레이 장치들은 영상표시를 위해 유리를 사용하고 있는데, 사용되는 유리의 형상과 두께는 디스플레이 장치들의 성능에 영향을 준다. 특히 장치가 대형화 되면서 대형 평판 유리의 변형된 형상과 균일하지 않은 두께는 디스플레이 장치들의 고화질, 고정밀도를 막는 주요한 요인이 되고 있다. 따라서 디스플레이 장치용 평판 유리의 형상 및 두께를 측정하는 센서의 요구가 많아지고 있다. 그러나 아직까지는 유리의 형상과 두께를 측정하는 센서 및 시스템은 고가이고, 측정방법 또한 많은 문제점을 가지고 있다.

평판디스플레이 장치들은 평판 유리를 사용하는데, 장치들의 대형화, 고화질이 요구됨에 따라 평판 유리 또한 대형화와 고정밀도의 형상이 요구되어진다. 평판 유리는 제조 공정상 고온상태에서 성형되기 때문에 그 형상을 정밀하게 측정하기는 매우 어렵다.

기존의 접촉식 센서는 완전하게 성형되지 않은 고온의 유리표면에 센서를 접촉시킴으로써 유리 형상의 변형 및 표면 결함을 일으킬 수 있고, 고온의 유리와의 반복적인 접촉으로 인한 센서 팁의 손상, 센서의 열팽창 등의 측정오차가 생길 수 있다. 이러한 접촉식 센서의 단점을 보완하기 위해서는 유리표면에 접촉해야 하는 문제점을 해결하고 고속, 고정밀 측정을 위해서 광학식 센서를 사용해야 한다. 일반적인 거리 측정용 광학식 센서는 측정 원리에 따라 삼각측정법과 간섭계 등이 있다. 삼각측정법은 레이저를 측정하고자 하는 물체의 표면에 반사 시켜서 되돌아오는 빛의 위치를 검출하여 변위를 측정하므로 주위의 광량 변화나 온도에 따른 레이저의 파장변화에 영향을 받지 않는다. 그러나 삼각측정법은 난반사 성분에 대해서는 높은 정밀도로 측정 할 수 있는 반면, 경면반사 영역에 해당하는 유리와 같은 정반사 물질의 표면에 대해서는 정확한 반사각을 맞추어 주지 않으면 측정이 불가능하다는 단점이 있다. 이에 반해 간섭계는 레이저 파장간의 간섭효과를 이용하므로 0.1㎚이상의 높은 정밀도로 측정 할 수 있지만 고가의 센서시스템이고

* 선문대학교 전자공학부
** 선문대학교 정보통신공학부
Tel. 041-530-2356, Fax. 041-530-2910, E-mail ryu@sunmoon.ac.kr
정밀계측, 광 응용 계측기술, 화상처리, 컴퓨터 비전 분야에 관심을 두고 연구 활동을 하고 있다.
*** 선문대학교 정보통신공학부

공정에서의 실시간 유리의 형상을 측정하기에는 적당하지 않다.

본 연구에서는 앞서 설명한 여러 가지 문제점을 해결하기 위하여 평판디스플레이 장치의 위치를 고속으로 측정할 수 있는 저가의 비접촉식 광센서를 개발하기로 한다. 최근 발표된 논문 "평면 브라운관의 평판도 측정을 위한 비접촉식 광센서 개발"[1]에서는 홀로그램 레이저와 대물렌즈로 구성된 광학계를 사용한 비접촉식 광센서를 개발하였다. 위 논문에서 개발된 광센서는 유리의 형상을 고정밀도(±1㎛)로 측정 가능하다는 결과를 얻었다. 홀로그램 레이저는 CD-Player의 광 픽업에 사용하는 고정밀도의 광학소자로서 저가로 대량생산 되고 있어, 복잡한 기존의 광 픽업의 광학계를 하나의 광학소자로 대치하였다. 위 논문의 비접촉식 광센서는 홀로그램 레이저를 사용함으로써 고정밀 형상측정, 저가의 광센서 개발, 센서의 소형화를 이룰 수 있었다. 또한 "평판 투명 물체의 형상 및 두께 측정을 위한 비접촉식 광학센서 개발"[2]에서는 위 논문에서 개발된 비접촉식 광센서의 두 가지 문제점을 해결하였다. 첫째, 광센서에 사용된 레이저의 온도 특성상 온도변화에 따른 측정오차를 열전소자를 사용하여 레이저를 포함한 광학계의 온도를 일정하게 제어하였고,[2-3] 둘째 측정 방법상 광센서가 측정물체로 이송을 하면서 샘플링 한 데이터로 형상을 측정하기 때문에 고속측정에서는 센서와 측정물체가 충돌하는 경우가 발생하였는데 실시간 포커스 영역 알고리즘[5]으로 측정물체와의 충돌을 방지하여 실제 검사장비로서의 성능을 검증하였다. 그러나 센서를 구동함에 있어 초점위치를 찾기 위해 사용된 직선이송장치(Actuator)인 스테핑모터는 특성상 속도가 느리고 모터의 진동에 의한 오차가 발생하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 홀로그램 레이저 다이오드(Hologram Laser diode)의 포커스 에러 신호(FES : Focus Error Signal)[6]를 이용하여 광센서의 성능을 향상시키는 측정방법에 대하여 제시한다. 기존의 연구에서 초점 위치를 찾기 위한 정밀 구동 없이 FES(Focus Error Signal)신호 만으로 투명 평판 유리의 위치를 측정하는 방법을 제시한다. 이러한 방법을 사용함으로서 직선이송장치 (Actuator)를 사용하여 초점위치를 찾는 시간을 단축하고 모터 동작 시 발생하는 진동으로 인한 오차를 줄일 수 있을 것이다. 이러한 측정 방법으로 대표적인 경면 물체의 특성을 갖는 디스플레이 부품인 투명 평판 유리의 형상을 측정할 수 있다.

2. 홀로그램 레이저 다이오드

2.1 Hologram Laser의 구성

홀로그램 레이저 다이오드는 전통적인 광 픽업의 원리를 소형화, 경량화한 광학 소자로써 대 환경 성능의 향상을 하였다. Fig. 1의 홀로그램 광학소자(HOE)[6]는 한 장의 얇은 유리 윗면에는 홀로그램이 아랫면에는 트랙킹 빔 생성용 회절격자가 형성되어져 있다.

홀로그램 광학소자는 종래의 편광 빔 스프리터와 1/4 파장 판이 가지고 있는 기능을 가지고 있어 전형적인 광 픽업에 비해서 광학부품 수가 간소화 되었다.또한, 레이저다이오드와 포토다이오드가 하나의 패키지로 구성되어있어 소자 상호간의 위치와 정밀도가 매우 높다.

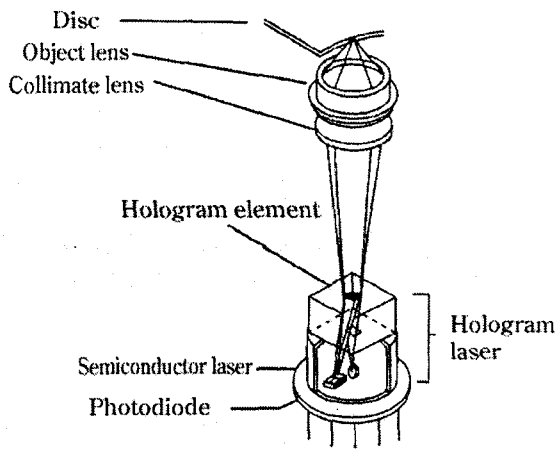

Fig. 1 Configuration of the hologram laser optics

2.2 포커스 에러 신호와 초점 거리

Fig. 2는 초점거리가 f_0인 광센서를 이송하면서 측정한 포커스 에러 신호의 그래프이다. 포커스 에러 신호는 앞서 설명한 홀로그램 레이저다이오드 내부에 있는 5분할 포토다이오드의 출력신호를 샘플링하여 얻을 수 있다. 광센서의 초점이 측정 유리의 앞면(A)을 통과 할 때는 d_1구간, 유리의 뒷면(B)을 통과 할 때는 d_2구간에 해당 한다. 이때 점 a', b'은 공기에서 유리 또는 유리에서 공기로 굴절률이 급격하게 변하는 지점으로, d_1, d_2의 영역에서 포커스 에러 신호는 기준 값을 중심으로 교차하는 지점으로 그림과 같이 FES 신호가 발생한다.

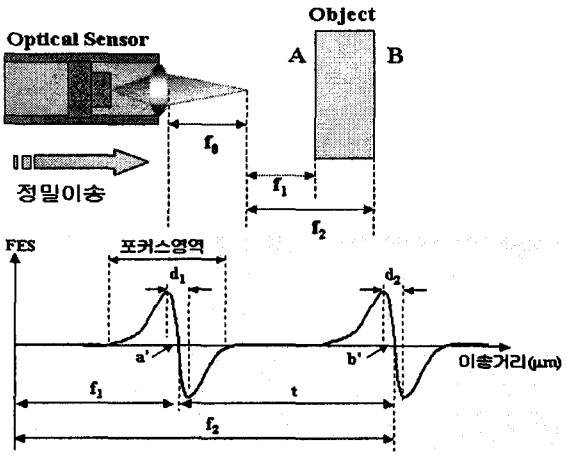

Fig. 2 Focus error signal

3. 측정 원리 및 개발 센서시스템 구성

본 연구에서는 홀로그램 레이저 다이오드의 포커스 에러 신호를 이용하여 Fig. 2의 d_1영역을 측정하고, 이 값을 이용하여 거리에 따른 전압의 변화를 측정하여 측정 물체의 형상 및 두께를 측정하는 방법에 대한 연구를 한다.

3.1 시스템의 구성

본 연구에서 개발한 센서의 구성으로는 레이저의 광량을 일정하게 제어하기 위해 사용하는 홀로그램 레이저 다이오드의 APC(Automatic Power Control)회로, 포토다이오드의 미약한 신호를 증폭하는 신호 증폭기가 내장되어 있고 아날로그 디지털 변환 보드(A/D Converter Board), 측정물체의 반사도에 따라서 레이저의 파워를 조절하는 LPC (Laser Power Control)회로, 센서내의 온도를 일정하게 유지하는 열전기냉각기(TEC) 제어회로로 구성된다.

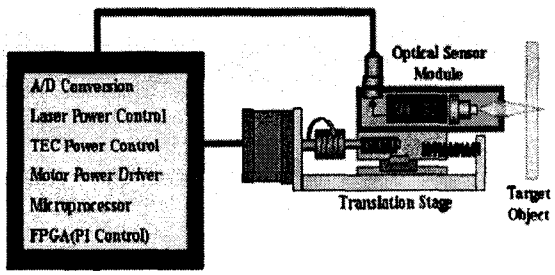

Fig. 3 Configuration of optical sensor

3.2 신호증폭 및 AD변환

Fig. 2의 포커스에러신호(Focus Error signal)는 홀로그램 레이저 내부의 5분할 포토다이오드에서 발생하는 전류 값이 전압으로 변환되어 출력되는 것이다. 그러나 이 때, 출력되는 전압(Pick to Pick)은 수백 mV이하의 미세한 신호이다. 미세한 전압은 신호 증폭기(Signal Amplifier)를 통하여 100에서 200배 증폭을 한다. 증폭된 포커스에러 신호는 저역 통과 여파기 (Low Pass Filter)를 거쳐서 고주파 영역을 제거하고, 12Bit 아날로그 디지털 변환기(A/D Converter)를 사용하여 디지털 데이터로 변환하여 저장한다.

Fig. 4는 홀로그램 레이저 다이오드 내부의 5분할 포토다이오드의 출력을 받아 세한 신호를 증폭하여 포커스 에러 신호(Focus Error Signal)를 측정하기 위한 회로이다.

3.3 Automatic Power Control

레이저 광의 기본적인 특성으로서 지향성, 수렴성, 단색성, 단펄스성과 같은 이점이 있는 반면에 온도에 민감한 단점을 갖는다. 광 출력이 급격하게

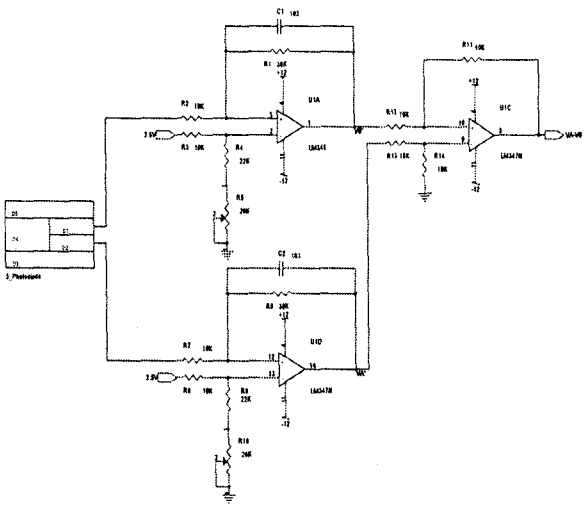

Fig. 4 Preamplifier for converting current to voltage

올라가는 전류 값을 문턱 전류 I_{th}로 부르고 값을 넘는 곳에서부터 레이저의 발진이 시작한다. 문턱 전류는 온도와 함께 다음의 관계로 상승한다.

$$I_{th} \propto I_{th0}\exp(\frac{T_i}{T_o})$$

Ti는 접합온도이고, To는 특성온도로 불리어지는 정수로 제품에 따라 대략 50^oK에서 200^oK 정도까지의 값을 취한다. To의 값이 작을수록, 문턱 전류의 온도 의존성은 크게 된다. 일정한 출력으로 레이저를 장시간 동작시키면 서서히 동작 전류가 증가되고 계속 증가하다가 결국 발진하지 않게 된다. 결국, 반도체 레이저의 수명은 유한하며 그 수명은 주위온도, 동작전류, 광 출력 등에 의해서 변화한다. 그러므로 온도가 오를수록 문턱 전류가 상승하여 높은 광 출력을 얻기 어렵다. 따라서 넓은 온도 범위에 걸쳐서 정광 출력 동작을 시키기 위해서는 온도가 올라가면 전류를 증가시키고, 온도가 내려가면 전류를 감소시키도록 전류를 자동적으로 변화시키는 회로가 필요하다. 이 같은 회로는 Fig. 5에서 보는 것과 같이 모니터 포토다이오드의 수광 출력전압을 기준의 전압과 비교하여 끊임없이 같아지도록 구동전류를 제어하는 피드백 회로에 의하여 실현된다. 이 같은 반도체 레이저의 구동 제어 회로를 APC(Automatic Power Control)회로라 한다. APC(Automatic Power Control)회로는 홀로그램 레이저 다이오드 내부의 모니터 포토다이오드의 출력 전압과 일정한 기준전압(Vref)의 오차를 피드백 하여 레이저의 구동전류를 제어하는 회로이다.

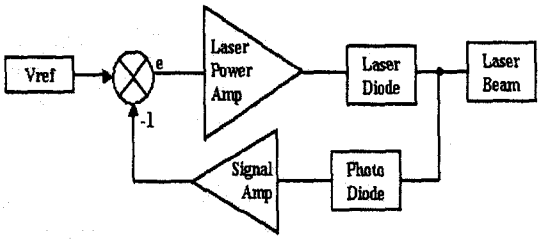

Fig. 5 The design of automatic power control

Fig. 6의 APC 회로도에서 온도 및 외부 영향에 의해 레이저의 광 출력이 증가하면 트랜지스터 베이스 전압이 증가하고 트랜지스터의 이미터 전류 즉, 레이저의 구동 전류가 감소하여 광 출력이 감소한다.

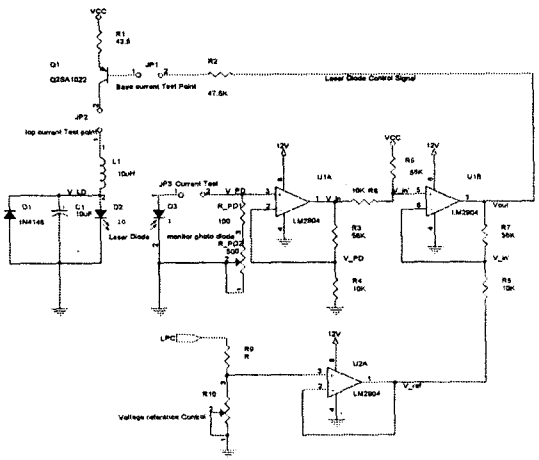

Fig. 6 The circuit diagram of a automatic power control

역으로 레이저의 광 출력이 감소할 때 트랜지스터 베이스 전압이 감소하고 트랜지스터의 이미터 전류가 증가하여 레이저의 광 출력은 증가한다. 본 연구에서 사용된 홀로그램 레이저 다이오드의 사양에 따라 실험을 한 결과 Fig. 6과 같은 APC회로를 설계하였다.

3.4 열전 냉각기(TEC) 온도 제어기

열전기냉각기(TEC)[8-9]는 전류의 흐름에 따라 열을 한쪽 면에서 반대쪽 면으로 전달하는 장치로, 기구적인 움직임이 없어도 열을 전달할 수 있는 장점이 있다. 열전기냉각기는 전류의 흐름으로 온도 제어를 할 수 있어 전류의 방향에 따라 발열과 냉각의 방향을 바꿀 수 있다. 열전기냉각기는 두 세라믹 판 사이에는 P-type, N-type 반도체물질(Bismuth)들이 전기적으로 직렬, 열적으로는 병렬로 놓여있는데 이러한 특성을 가진 물질을 열전소자(Thermo element)라 한다. 이러한 열전소자에 전류를 흐르게 하면 냉각하는 면은 열을 흡수하고, 흡수된 열은 다른 면으로 전달되어 방열판을 통해 공기 중으로 분산된다. 이때 열의 흡수량은 전류량과 열전소자의 수에 비례한다.

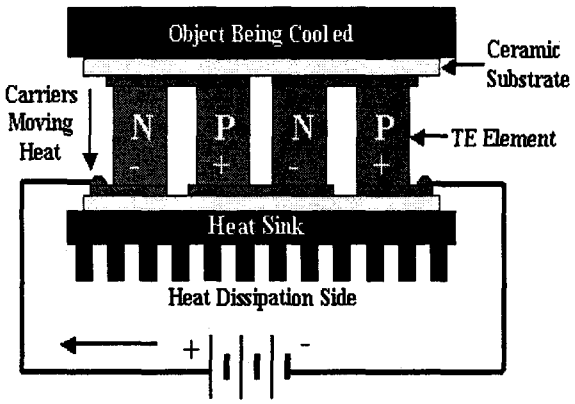

Fig. 7 The principle of the TEC(Thermo Electric Cooler)

Fig. 8은 광센서의 내부 온도를 일정한 온도로 유지하기 위한 열전기냉각기 제어기이다. 센서 내부에 장착한 서미스터(Thermistor)에 의해서 측정된 온도를 이용하여 피드백 된 현재 온도와 목표 온도와의 오차 값이 P·I·D 제어기와 전력 증폭을 통해 열전기냉각기의 구동 전류의 방향과 크기를 제어하여 광센서 내부 온도는 일정하게 유지된다. 본 연구에서는 열전기냉각기의 구동전류를 제어하는 회로를 이용하여 열전기냉각기 제어기 회로를 구성하였다.

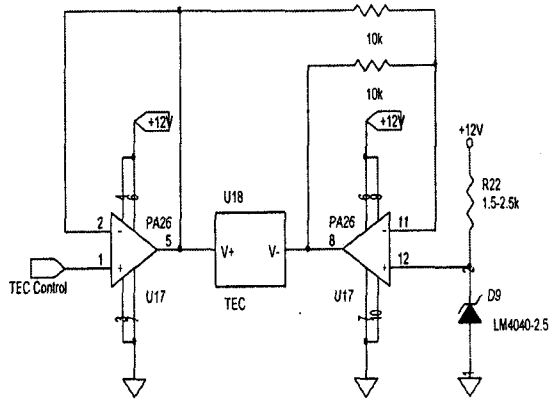

Fig. 8 The circuit diagram of the TEC controller

4. 결과 및 고찰

Fig. 9는 본 연구를 위한 포커스 영역 측정 시스템의 실제 제작된 모습을 보여주고 있다. 광센서의 포커스 영역을 측정하기 위해 직선 이동 장치인 Voice Coil Motor를 일정한 간격으로 이송시키면서, 광센서의 포커스 영역을 측정한다. 본 실험에서는 광센서의 성능과 특성을 테스트하기 위한 실험을 한다. 우선 온도 변화에 따른 측정오차실험, 온도제어실험, 온도제어와 함께 유리두께 측정실험을 통하여 센서가 온도변화에 대하여 향상된 성능을 가지고 있음을 검증한다.

실험 장치는 포커스 에러 신호를 얻기 위해서 유리시편을 0.5㎛단위로 이송하면서 데이터를 획득할 수 있도록 설치하였다. 그리고 온도 변화에 따른 센서의 성능을 테스트하기 위해서 센서의 주변 온도를 변화시켜 포커스 에러 신호와 센서내부의 온도를 측정하였다.

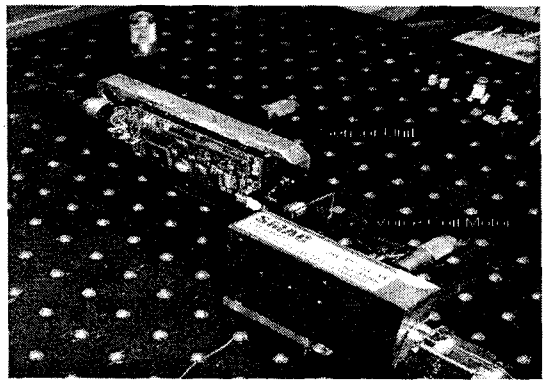

Fig. 9 Experimental setup for focus range

4.1 신뢰성 테스트

이번 실험에서는 센서의 온도를 제어하면서 센서의 신뢰성을 테스트한다. 신뢰성 테스트는 약 $\pm 5^{o}C$의 온도변화가 발생하는 실험실에서 일정한 초점거리와 두께를 가지는 유리시편의 한 점을 100시간동안 반복 측정하여 센서내부의 온도제어, 초점거리, 두께측정의 오차를 관찰한다.

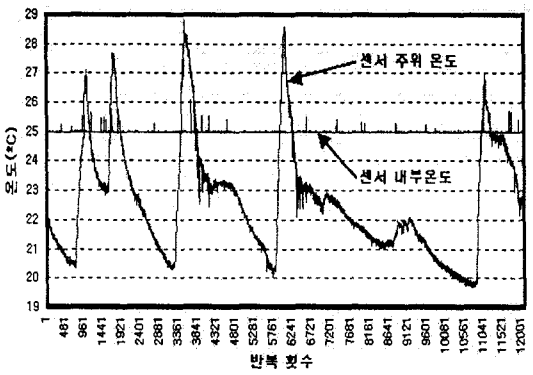

Fig. 10 Experimental results of the sensor temperature variation

Fig. 10은 센서의 주위온도와 센서 내부 온도를 측정한 데이터이다. 주위 온도는 약 $\pm 5^{o}C$의 온도 변화를 가지지만 센서내부의 온도는 $\pm 0.1^{o}C$로 제어되고 있다.

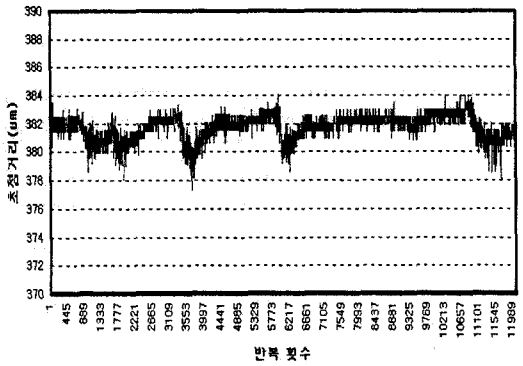

Fig. 11 Experimental results of the measured positions of the specimen

Fig. 11은 센서 내부 온도 제어상태에서 제1초점거리를 측정한 것으로 온도변화에 대해서 $\pm 2\mu m$의 오차를 가지고 있다.

4.2 광 센서의 측정범위 측정

포커스 에러 신호 내부의 d_1영역을 측정하기 위해 우선 왕복 이송 변위 량을 설정한다. Fig. 12(a)는 일정량을 이송하면서 광센서의 FES 신호를 측정한 결과이다. Fig. 12(b)는 Fig. 12(a)를 확대한 것으로서 보는 것과 같이 출력 파형의 가장 높은 지점으로부터 가장 낮은 지점까지의 범위가 거리에 따른 전압의 관계를 확대하여 나타낸 그림이다.

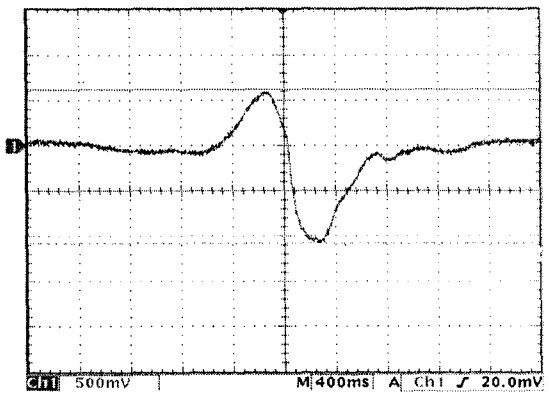

Fig. 12(a) FES outputs of the optical sensor

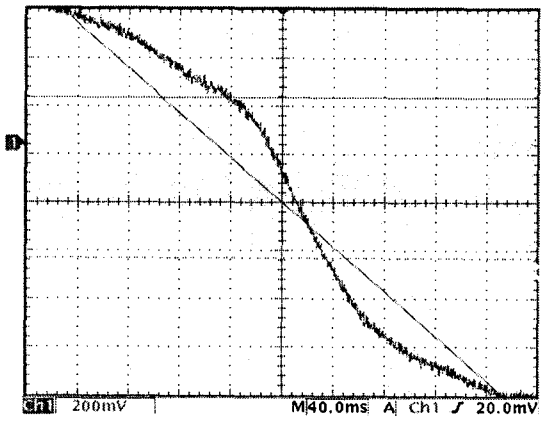

Fig. 12(b) FES outputs of the optical sensor (enlarged)

Fig. 13은 변위를 5㎛ 단위로 유리시편을 이송하면서 유리의 거리에 따른 전압의 변화를 측정한 데이터이다.

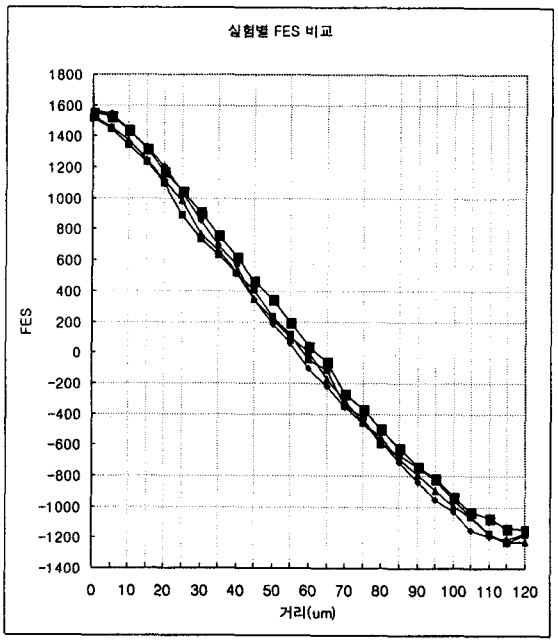

Fig. 13 Output voltage variation vs distance between sensor and object

각 거리에 따른 전압을 근사화 한 후, 이 거리에 따른 전압의 변화를 표로 구성 하고, 이 데이터를 이용하여 센서에서 측정된 FES 전압 값을 이용하여 실제 유리시편의 위치를 측정한 결과, 평균 최대 ± 4um의 오차를 보였다. 아래 Fig. 14의 보정과 실제 측정시의 위치 계산 흐름을 보여주고 있다. Fig. 15는 실험에 사용된 운영프로그램의 예로서 FES 신호를 실시간으로 보여주며 측정면의 높이를 측정한다.

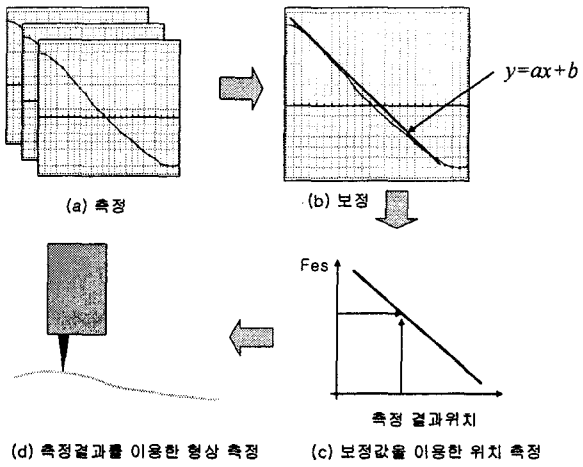

Fig. 14 Sensor calibration and measurement flow

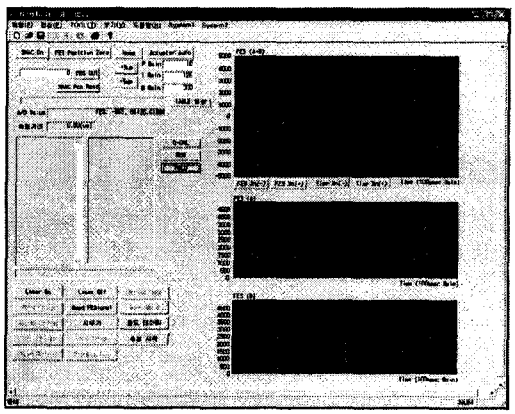

Fig. 15 Operating software to monitoring the measuring output

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 홀로그램 레이저 유닛의 포커스 에러 신호를 이용하여 실시간으로 경면물체의 형상을 측정할 수 있음을 실험을 통하여 보였다.

실험결과를 통하여 홀로그램 레이저 유닛과 렌즈사이의 간격을 조절함으로서 심도를 조절하면, 실험결과보다 더 정밀한 고정밀도의 측정이 가능함을 알 수 있었다. 실제의 측정에서 측정 반사도가 일정한 경우 고속의 실시간 경면물체의 위치 및 두께의 측정이 가능함을 실험을 통하여 알 수 있었고, 본 실험에서 사용한 심도영역에서는 ± 4um의 위치 오차를 보였다.

향후 연구과제로는 실시간의 측정 및 정밀도 향상을 위해서 홀로그램 레이저 유닛과 광학계 정렬 및 신호 처리용 회로의 안정성을 높여 측정 정밀도를 향상 시킬 계획이다.

후기

본 연구는 2007년도 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Lee, J. H. and Ryu, Y. K. "Development of a non-contact optical sensor for plate shape measurement of a cathode-ray tube," Proce. of the 14th KACC, pp.278-281, 1999.
2. Youn, S. P. and Ryu, Y. K., "Development of a non-contact optical sensor for measureing the shape of transparent plates," Proce. of the 15th KACC, pp.214-218, 2000.
3. Youn, S. P. and Ryu, Y. K., "Development of a non-contact optical sensor for measuring the shape and thickness of the transparent objects," Optomechatronic System, SPIE, Vol. 4190, pp.11, 20-28, 2000.
4. Zhang, J. H. and Cai, L., "An Auto Focusing Measurement System with a Piezo electric Translator," IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, Vol.2, No.3, pp.7~9, 2001.
5. Lee, Y. C., Youn, S. P. and Ryu, Y. K, "Measurement of a shape of glass using the Hologram Optical System," Proce. of the 15th KACC, pp.1660-1664, 2001.
6. SHARP, "Laser Diodes/Hologram Lasers User's Manual," SHARP, Japan, pp.2~3, 1992.
7. SONY, "CD-Pickup CXA2568M User's Manual," http://www.sony.co.jp/~semicon/Datasheet/en/, a6801660.pdf
8. Marlow industries, "Thermoelectric Cooling System Design Guide," pp.2,14, 1998.
9. Ferrotec America Corporation, "Technical Reference Manual-Part2," http://www.ferrotec-america.com.