

고정밀 Align을 위한 Gantry-stage의 열 변형 오차 제어 연구

A Study on Thermal Deformation Error Control of Gantry-Stage for the High-Precision Align

*조성만¹, 박기남², 조웅³, 송춘삼⁴, #김종형⁵

*S. M. Cho¹, G. N. Park², W. Cho³, C.S. Song⁴, #J.H. Kim⁵ (johnkim@snut.ac.kr)

¹서울산업대학교 나노생산기술연구소, ²서울산업대학교 나노아이티공학과, ³서울산업대학교 기계설계 자동화공학부, ⁴서울테크노파크, ⁵서울산업대학교 기계설계 자동화공학부

Key words : High-precision align, Thermal deformation, Positional error, Least square method, Feedback control, Gantry-stage

1. 서론

최근 LCD와 반도체 제조공정에서 요구되는 피치의 사이즈가 점점 작아짐에 따라서 고정밀도의 alignment 장비에 대한 요구가 늘어나고 있다. alignment 작업에서 가장 중요한 부분은 align의 정밀도이다. 고정밀의 align 작업에서 alignment system 변형이 발생하면 측정 시 오차가 발생하여 목표 정밀도에 맞추기 어려운 상황이 발생하게 된다.^(1,2)

고정밀도를 위해 나노단위의 변위 측정을 위한 센서들이 존재한다. 일반적으로 레이저파장의 간섭현상을 이용한 레이저 간섭계가 대표적인 측정 장치로 이용된다. 하지만 가격과 설치 장소에 제약을 받으며, 특히 외부환경에 따라서 정확도가 변화하기 때문에 온도와 압력, 습도에 대한 공기 굴절률의 보상이 필요하다^(3,4). 이에 비해 또 다른 측정 장치로 리니어 엔코더가 이용되고 있는데, 이는 상대적으로 고가이며, 구현가능 길이에 제한이 있는 문제점이 있다. 또한 장비가 정밀하여 충격과 진동에 약하고 완전 밀폐구조의 구현이 어려워 상대적으로 고장률이 높다는 단점이 있다.

본 논문에서는 상대적으로 가격과 설치 공간제약이 적은 API(Absolute Positioning Interfacing) 시스템을 이용하여 실시간으로 측정된 스테이지의 변형^(5,6)에 따른 절대 좌표 위치 오차와, 온도에 따른 스테이지의 열 변형으로 인한 오차요인을 분석, 규명하고, 되먹임제어⁽⁷⁾를 이용하여 오차를 보정하는 시스템을 구성하고 적용해 보고자 한다.

2. 시스템 구성

본 연구에서는 실시간 오차측정을 위하여 옵토다이나믹스사의 APITM-100을 Fig. 1과 같이 gantry-stage의 브리지에 장착하여 시스템을 구성하였다. Table 1은 API 비전시스템의 스펙이다. 스테이지 측정방법은 레이저 간섭계와 API를 스테이지의 브리지에 장착하여 각각 X축 측정 값과 Y축 측정 값을 비교하였다. 이때 API를 이용한 측정은 스테이지를 이송시키며 X, Y좌표를 동시에 측정하였고, 레이저 간섭계는 스테이지의 X축, Y축을 각각 측정하였다. 또한 온도측정을 위하여 스테이지에

Table 1 API specification

System Dimensions (mm)	Head	72(w)x127(H)x63(D)
	Controller	260(w)x115(H)x262(D)
	Illuminator	74(w)x118(H)x258(D)
Weight	Head	630g
	Controller	4.5Kg
	Illuminator	2.0Kg
Measurement	Repeatability	< 0.1 μ m
	Working Distance	40mm \pm 100 μ m
Host Interface	Communication	TCP/IP
Input Power	Controller	220VAC, 1.2A
	Illuminator	220VAC, 1.5A
USB-TC	Temperature	15~35 $^{\circ}$ C (\pm 0.25 $^{\circ}$ C)

MEASUREMENT COMPUTINGTM사의 USB-TC를 장착하여 실시간 온도변화를 측정하였다. 실험은 리니어 가이드로 제작된 시스템이므로 구동시 진동이 발생하여 충분한 안정화 시간을 충분히 가진 후 측정 실험을 수행하였고, 20분간격으로 100회 반복 수행하였다. 또한 실험실 온도를 20~25 $^{\circ}$ C 로 유지하여 실험 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

API를 이용하여 실시간으로 측정된 위치오차를 레이저 간섭계의 측정 오차와 비교한 결과 최대 0.2 μ m 이내의 오차를 나타내었다. 이는 현재 상용화되어 있는 스테이지의 오차 범위 내 측정이 가능함을 보여준다. Fig. 2는 동일한 스테이지의 변형을 API와 레이저 간섭계를 비교한 데이터이고, Fig.3은 안정화 시간에 따른 구동 오차를 나타낸다.



Fig.1 Optical measurement system on gantry-stage

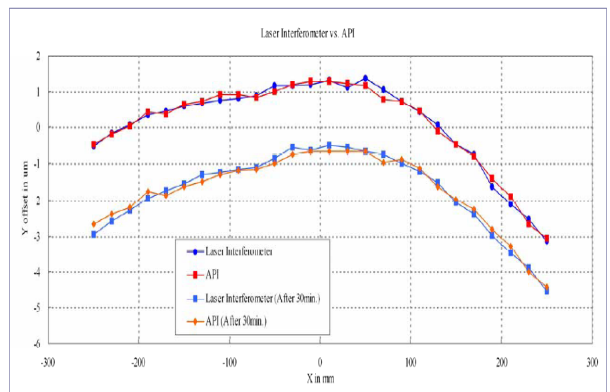
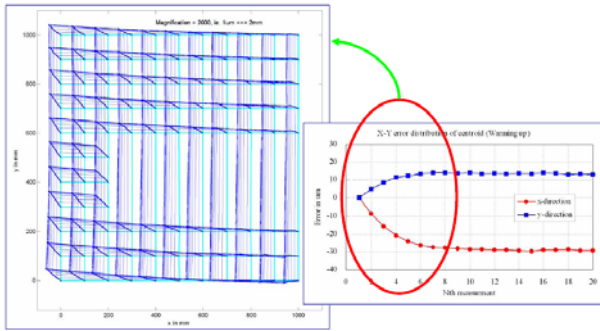
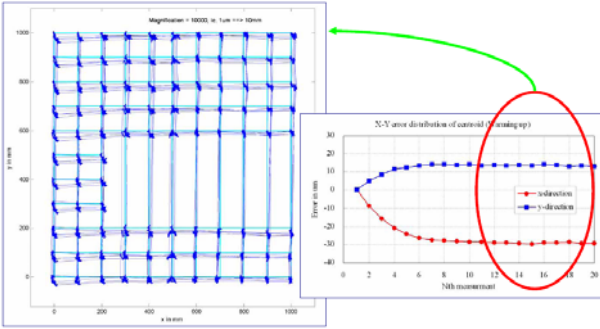


Fig. 2 API vs. Laser interferometer



(a) warming up



(b) steady-state

Fig.3 X-Y Distribution of centroid

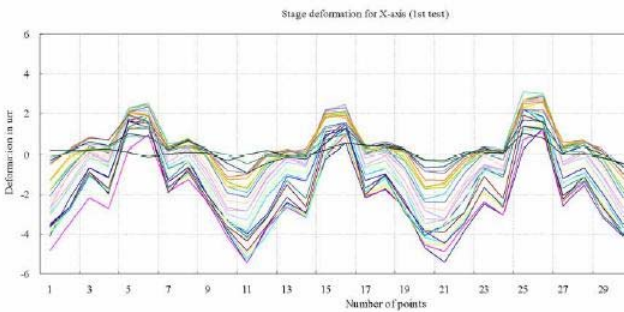


Fig.4 Test Comparison for X-axis

Fig.4는 20분 간격으로 100번의 측정을 시행 한 결과이다. 실험 결과 스테이지는 최저 20 μm , 최고 26 μm 의 값을 나타내었다. 이는 5 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 변화에서 최대 6 μm 의 변형이 일어남을 나타낸다. 또한 이러한 패턴은 100번의 테스트 결과 비슷한 과형으로 나타났다. 또한 최소제곱법을 이용하여 과형에 가까운 근사식을 만들고 이를 되먹임제어를 이용하여 오차에 대한 보정을 하였다.

최소제곱법을 이용한 오차 제어 근사식은 다음과 같다.

$$y = ax^2 + bx + c \tag{1}$$

식(1)을 잔차 방정식의 형태로 바꾸면 식(2)가 된다.

$$e = \sum_{i=0}^{n-1} (y - ax^2 - bx - c)^2 \tag{2}$$

잔차 제곱의 합인 e의 값이 최소가 되는 값은 편미분을 통하여 구할 수 있다.

$$\frac{\partial e}{\partial a} = 0, \frac{\partial e}{\partial b} = 0, \frac{\partial e}{\partial c} = 0 \tag{3}$$

편미분을 통하여 얻어진 abc 세 변수의 값을 식(1)에 대입하여 근사식을 얻는다.

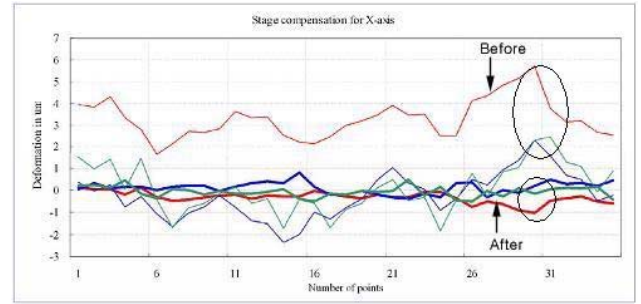


Fig.5 Error interpolation result

최소제곱법으로 얻어진 근사식을 통하여 스테이지 되먹임 제어를 수행한 결과는 Fig.5에 나타났다. 되먹임제어 전의 변형 오차는 최대 5.8 μm 의 변형을 나타내었다. 되먹임 제어 이후 변형 오차는 최대 1.2 μm 로 보정되었음을 볼 수 있다.

4. 결론

본 실험의 결과로 광학 시스템과 레이저 간섭계와의 스테이지 오차 측정 결과 두 시스템간의 오차 측정값은 최대 0.2 μm 를 나타내어 현재 상용화되어 있는 스테이지의 오차 범위 내 측정이 가능함을 확인하였다. 스테이지의 열 변형에 대한 오차를 측정 한 결과 온도의 변화에 따라 X축, Y축이 모두 변형을 일으킨다는 것을 알 수 있었고 온도의 변화가 많을수록 스테이지의 변형도 함께 증가한다는 것을 보여 주었다. 실험실의 온도가 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 25 $^{\circ}\text{C}$ 로 5 $^{\circ}\text{C}$ 의 변화를 보일시에 스테이지의 변형은 최소1.8 μm 에서 최대 7.6 μm 로 온도 변화 구간에서 5.8 μm 의 변형을 보였다. 온도의 변화에 의해 스테이지의 변형이 일어남을 확인하였다.

광학 시스템을 이용 스테이지의 열 변형 오차에 대하여 최소제곱법을 이용한 되먹임제어로 보정을 실시한 결과 X축은 보정 전 최대 5.8 μm 의 변형을 보이던 것이 최대 1 μm 로 보정이 되었음을 확인하였다.

후기

본 연구는 서울산업대학교의 서울시 기술기반구축 사업인 "3D Microsystem packaging을 위한 접합공정 및 장비개발"의 지원을 받았다.

참고문헌

1. Song, C., S., Cho, W., You, J., M., Kim, J., H., and Kim, J., H., "A study on the automated process planning of LCD module assembly line", Spring Journal of the KSMTE, 587-590, 2007.
2. W., You, K., I., Kim, J., H., and Kim, J., H., "A study on Real-time Measurement Method of precision stage positional errors using directly probing optical device", 2008.
3. Emura, T., and Wang, L., "A high resolution interpolation for incremental encoders based on the quadrature PLL method", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 84 ~ 90, 2000.
4. Hagiwara, N., Nishtani, Y., Yanase, M., and Saegusa, T., "A phase encoding method for improving the resolution and reliability of laser interferometer", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 548-551, 1989.
5. 최우혁, "리니어 모터의 열변형 오차에 관한 연구", 12-20, 2002
6. M. Matsuo, "High-speed test of thermal effects for a machine-tool structure based on model analysis, Precision Eng., April Vol. 8 No. 2, 1986
7. 조준호, "개선된 축소 모델에 의한 범용 PID 제어기 설계", 41-74, 2007