

리니어모터를 이용한 고속 저중심 스테이지의 개발과 정밀도 향상

송창규*, 김정식+, 김경호**, 박천홍***

Development for Scanning Type Stage Driven by Linear Motors

Chang Kyu Song*, Jeong Sik Kim+, Kyung Ho Kim**, Chun Hong Park***

Abstract

Linear motor is very rapidly substituted for rotary motor and ball screw for precision positioning applications because of its characteristics such as high speed, no backlash and simplicities. A precision positioning system which is composed of linear motion(LM) guide and linear motor is widely used since it has easy controllable property but this system has low accuracy problem caused by friction of the LM guide. In this study, a scanning type XY stage is manufactured and some experiments is performed to improve the accuracy of the stage.

Key Words : linear motor, scanning type, moving accuracy, repeatability, simultaneous control

1. 서론

리니어모터는 속도와 가속도에 기계적 제한이 없어서 100m/min 이상의 고속성을 가진다는 점과 백래쉬가 없고 마찰이 작으며 설계가 간편하다는 점^[1] 때문에 고속 공작기계 및 반도체 제조, 검사장비에서 기존의 회전모터와 볼스크류를 빠르게 대체하고 있다. 특히 300mm 웨이퍼를 가공하는 반도체 공정의 검사장비와 유리기판의 사이즈가 2m를 넘는 7세대 LCD 제조공정의 검사장비에서는 대부분 리니어모터를 채택하고 있다. 이렇듯 사용 빈도가 높아지고 있는 리니어모터의 수용에 대응하기 위하여 국내에서도 수개의 리니어모터 제조업체가 리니어모터를 자체 개발하여 시장확대에 적극 나서고 있다. 이러한 때에 국내 모델의 리니어모터로 이송계를 제작하여 정밀도를 검증하고 정밀도를 향상하는 방안을 강구하는 것은 의미가 적지 않다고 할 수 있다.

리니어모터로 구성되는 반도체나 LCD 검사장비에서 높은 정밀도를 요구하는 공정의 특성상 안내계는 대개 공압 베어링을 사용한다. 하지만 공압베어링은 강성이 떨어지고

제작 및 제어의 난이도가 높아 가공 목적의 공작기계에서는 사용하기 곤란하다. 따라서 다소 정밀도가 떨어지더라도 강성이 높고 제작이 간편한 LM가이드로 구성된 리니어모터 이송계를 요구하는 응용분야가 존재한다. 하지만 LM 가이드를 사용하면 필연적으로 마찰의 문제 때문에 정밀도의 저하가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 LM 가이드와 리니어모터로 고속 이송계를 구성하고 정밀도를 향상하는 방법에 대해 논의한다. 이를 위해 국산 리니어모터로 저중심형의 이송계를 제작하였으며 위치결정정도와 운동정밀도 및 2축 동기제어 실험을 통하여 정밀도 향상에 대하여 논한다.

2. 고속 저중심 리니어모터 스테이지의 제작

리니어모터의 또다른 장점인 슬립성을 이용하여 저중심의 LM 베어링 XY 스테이지를 설계/제작하였다. 제작된 스테이지는 XY 테이블이 한 평면상에서 구동되도록 H자 형태로 설계되었으며 이러한 설계 구조는 반도체 제조장

* 발표자, 한국기계연구원 공작기계그룹 (song@kimm.re.kr)
주소: 305-343 대전시 유성구 장동 171
+ 충남대 대학원 기계공학부
++ 한국과학기술원 기계공학과
+++ 한국기계연구원 공작기계그룹

비로 사용되는 노광장치의 최근 추세인 scan&repeat 방식에 적합하다. 제작된 고속 저중심 XY 스테이지를 Fig. 1에 나타내었다.

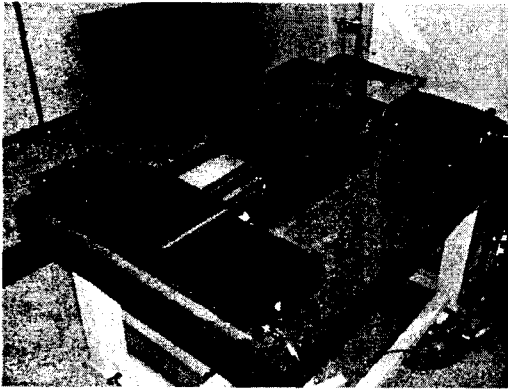


Fig. 1 Scanning type LM guide XY stage

구동용 리니어모터는 X축 1개, Y축 2개 등 총 3개가 사용되며, 국산인 삼익LMS의 모델을 선정하였다. 각 축의 이동거리는 X축은 350mm, Y축은 300mm로 설계하였으며 Y축의 경우 Y1축이 주동축, Y2축이 종동축이 되어 동기제어되고 Y축방향의 yawing오차를 보정하게 된다. 각 축의 리니어스케일(Renishaw)에 의한 feedback signal을 이용하여 0.1 μm 분해능으로 구동하도록 되어 있다. 한편, 양 축 오차의 보정, 고속 구동등을 위해서는 2축 동시보정 library 및 고속구동기능을 갖는 controller가 필요하게 되며, 본 연구에서는 PMAC controller를 주 구동 controller로 선정하여 실험하였다.

3. XY stage의 정밀도 향상 실험

scanning type XY stage는 고속성을 가지면서도 서브 마이크론의 정밀도를 가지는 것이 중요하다. 따라서 성능시험은 고속성과 정밀도에 주안을 두고 실험하였다.

3.1 위치정밀도 특성 실험

각 축의 운동정밀도를 레이저 간섭계(HP 5529A)로 측정하였다. 먼저 X축의 직선 운동 오차를 Fig. 2에 보였다. X축의 측정결과를 보면 반복정밀도는 1.7 μm 로서 상당히 좋은편이나 위치정밀도는 15 μm 나 되는 큰 값을 보였다. 위치

정밀도는 systematic 오차이므로 피치오차보정기법에 의해 보정이 가능하다. 보정된 X축의 위치정밀도를 Fig 3에 보였다.

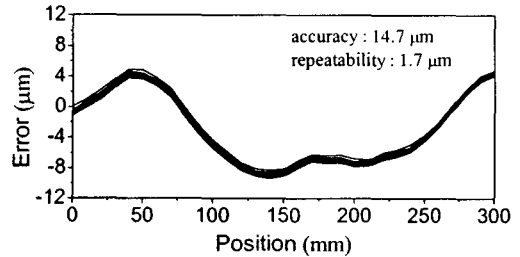


Fig. 2 Position accuracy before compensation(X axis)

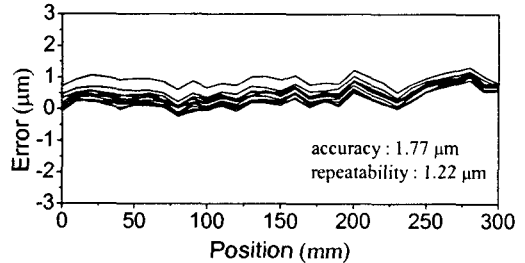


Fig. 3 Position accuracy after compensation(X axis)

보정후의 위치정밀도와 반복정밀도가 각각 1.77 μm , 1.22 μm 로서 서브 마이크론의 연구목표에는 미치지 못하였는데 그 이유로는 LM 가이드 고유의 마찰 문제 때문^[2-5]이다. LM 가이드의 마찰문제 해결을 위한 정밀도 향상기법에 대한 연구가 추가로 수행되어야 한다.

3.2 운동정밀도 특성 실험

운동정밀도는 각축의 진직도를 측정하였다. Fig. 4와 Fig. 5에 x축의 수평진직도와 수직진직도를 각각 보였다. 수직진직도는 3.75 μm 로서 일반적인 공작기계 운동정밀도에 근사하지만 수평 진직도는 10 μm 가까운 값을 보이므로 수정 가공 알고리즘^[6]에 의해 수정 조립을 수행하였다.

Fig. 6은 수정가공 전후의 X축 수평 진직도를 비교한 결과이며 Fig. 7은 수정가공후의 레일 형상오차를 예측한 결과이다.

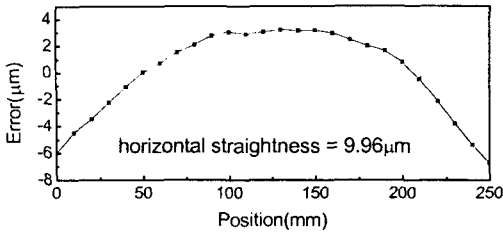


Fig. 4 Horizontal straightness(X-axis)

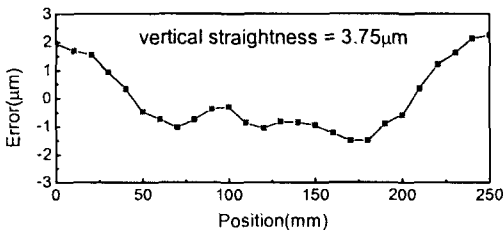


Fig. 5 Vertical straightness(X-axis)

Fig. 6에서 보면 수정 가공한 결과 X축의 수평 진직도가 10 μ m에서 4 μ m로 향상되었고 또한 레일의 형상오차도 Fig. 7에서 보면 40.8 μ m에서 20.7 μ m로 향상되었다. Scanning type 스테이지는 위치결정정보보다 운동정밀도가 스테이지의 성능을 결정짓는 항목이므로 수정가공 기법에 의한 운동정밀도 향상은 중요한 성과이다.

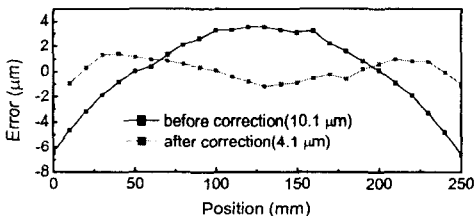


Fig. 6 Horizontal straightness after correction

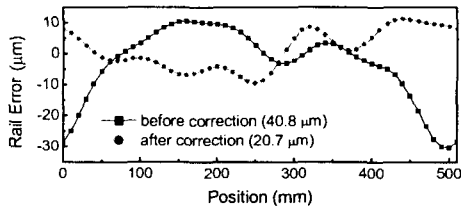


Fig. 7 Rail Error after correction

3.3 고속성 실험

scanning type의 XY stage에서는 정밀도 못지않게 고속성이 중요하다. 특히 300mm 웨이퍼 시대에 있어 공정장비에 사용되는 스테이지는 그 속도가 곧바로 장비의 생산성과 직결되므로 매우 중요한 항목이 된다. 0.1 μ m의 분해능을 갖는 스케일을 사용하는 스테이지에서는 부품들이 속도를 제약하게 된다. 먼저 스케일 자체가 고속에서도 안정적으로 펄스를 내보내 주어야 하며 또한 이를 읽어 들이는 제어기의 카운터도 고속이 가능하여야 한다. 이러한 점을 감안하여 제어기는 Delta tau사의 turbo PMAC2를 선정하였고 스케일은 Renishaw사의 RGB를 채택하였다. turbo PMAC2의 카운터는 본 연구의 목표인 700mm/sec의 속도 이상으로 0.1 μ m의 스케일에서 출력되는 엔코더 시그널을 읽을 수 있다. 또한 Renishaw의 스케일은 700mm/sec가 한계라고 카탈로그에서 밝히고 있다. 하지만 실험을 수행한 결과 스케일이 700mm/sec의 속도에서는 안정적으로 엔코더 시그널을 출력하지 못하여 620mm/sec가 한계임을 알 수 있었다. Fig. 8에 X축을 대상으로 600mm/sec의 속도로 구동한 결과를 보였다.

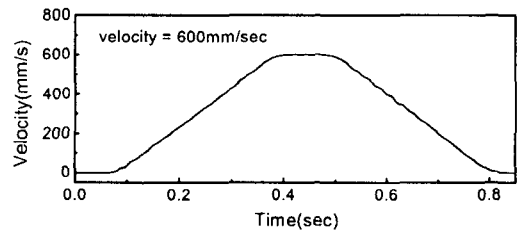


Fig. 8 Result of high speed test(X-axis, 600mm/s)

일반적으로 0.1 μ m의 분해능의 리니어스케일에서 700mm/sec의 구동 속도가 한계임이 알려져 있고 실제 본 실험에서 600mm/sec의 속도를 달성했으므로 향후 스케일 기술이 발전하면 0.1 μ m의 분해능에서 700mm/sec의 속도가 구현 가능하다고 할 수 있다.

3.4 동기제어 실험

동기제어되는 두축(Y1, Y2축)에 대해 동기제어 효과를 측정하기 위하여 주동축인 Y1과 종동축인 Y2축에 각각 레이저 간섭계(HP5529A)를 설치하여 속도를 측정하고 속도

차를 비교하였다. Fig. 9에 주동축인 Y1축 단독으로 구동할 때와 동기제어할 때의 두축간의 위치차와 속도차를 비교해 놓았다. Fig. 9에서 보면 동기제어의 경우에 단독구동보다 위치오차가 현저하게 줄었고 특히 구동시작과 정지시의 요동 발생이 없어졌음을 알 수 있다.

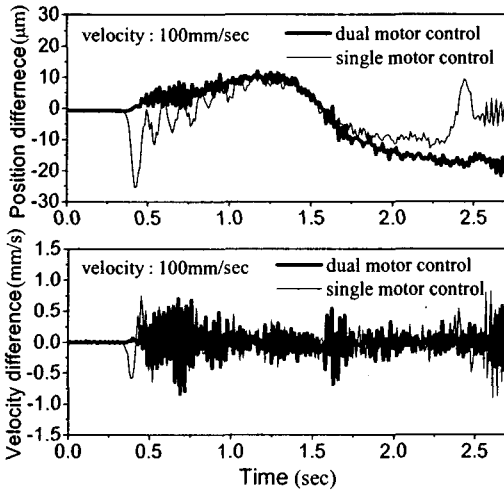


Fig. 9 Comparison of simultaneous control

4. 결론

리니어모터의 고속성을 사용하고 LM 가이드의 고강성 및 용이한 제작성을 이용한 scanning type 저중심 XY 스테이지를 설계/제작하였으며 정밀도 향상 실험을 수행한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 위치정밀도와 반복능은 보정 결과 $1.7\mu\text{m}$ 와 $1.2\mu\text{m}$ 를 얻어서 서브 마이크론의 성능을 보이지 않았다. 이것은 LM 가이드의 마찰에 기인한 것으로 마찰에 의한 영향을 최소화 하는 연구가 추가적으로 필요하다.

(2) 운동정밀도는 $10\mu\text{m}$ 의 직진도를 보였다. scanning type 스테이지에서는 위치정밀도보다 운동정밀도가 더 중요하므로 운동정밀도의 향상방안인 수정 가공 알고리즘을 적용하여 $4\mu\text{m}$ 의 직진도로 향상시킬 수 있었다.

(3) 고속성은 리니어스케일과 컨트롤러의 한계속도에 근접하는 600mm/sec 고속을 얻을 수 있었다.

(4) 동기제어되는 Y축의 두 축의 속도차는 동기제어되는 경우에 비교적 작았으며 특히 두축간 속도차에 의한 요동을

줄일 수 있었다.

참고 문헌

- (1) van Den Braembussche, P., Swevers, J., van Brussel, H., and Vanherck, P., 1996, "Accurate tracking control of linear synchronous motor machine tool axes," *Mechatronics*, Vol. 6, No. 5, pp. 507-521.
- (2) Chang, S. B., Wu, S. H., and Hu, Y. C., 1997, "Submicrometer Overshoot Control of Rapid and Precise Positioning," *Precision Engineering*, Vol. 20, No. 3, pp. 161~170.
- (3) Mao, J., Tachikawa, H., and Shimokohbe, A., 2003, "Precision Positioning of a DC-motor-driven aerostatic slide system," *Precision Engineering*, Vol. 27, pp. 32~41.
- (4) Mei, X., Tsutsumi, M., Tao, T., and Sun, N., 2004, "Study on the Compensation of error by Stick-slip for High-precision Table," *Int. J. of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 44, pp. 503~510.
- (5) Mao, J., Tachikawa H., and Shimokohbe A., 2003, "Double-integrator Control for Precision Positioning in the Presence of Friction," *Precision Engineering*, Vol. 27, pp. 419~428.
- (6) Kim, K. H., Park, C. H., Lee, H., and Kim, S. W., 2002, "Improvement of Motion Accuracy Using Transfer Function in Linear Motion Bearing Guide," *J. of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 19, No. 6, pp. 163~189.