

정밀 이송용 리니어모터의 성능평가

*안성환, 황영국¹, 은인웅², 이춘만³, 최종경⁴

¹ 창원대학교 기계설계공학과 대학원, ²경기공업대 금형설계과, ³창원대학교 기계설계공학과, ⁴창원대학교 전자공학과

Performance Evaluation of Linear Motor for a Fine Positioning Feed System

S. H. Ahn, Y. K. Hwang¹, I. E. Eun², C. M. Lee³, J. K. Choi⁴

¹ Graduate school, CNU, ² Dept. of Die & Mold Design, KINST, ³ Dept. of Mech. Design & Manufacturing, CNU, ⁴ Dept. of Elec. Eng., CNU

Key words : Linear motor, Performance evaluation, Positioning accuracy, Repeatability, Laser interferometer

1. 서론

최근 전 산업 분야에 걸쳐서 고정도, 고속, 고가감속 및 고추력을 지닌 이송장치의 필요성이 증대되고 있다. 기존의 이송장치에서 위치와 속도를 제어하기 위한 기술로는 주로 회전형 전동기의 축에 볼스크류(Ball screw), 타이밍벨트(Timing belt) 등의 직선변환기구를 결합하여 이용한 것이 대부분이었다. 그러나 이러한 이송장치는 직선변환기구의 종속에 따른 마찰, 백래시(Backlash) 등으로 인해 고정밀, 고속, 고가감속 등의 실현에 그 한계가 있다. 이에 최근 직접적인 직선구동이 가능한 리니어모터(Linear motor)를 이용하여 고속, 고정도, 고가감속을 얻기 위한 연구가 많이 이루어지고 있다.

리니어모터는 기존의 직선운동기구와는 달리 별도의 직선변환기구를 사용하지 않고 전기에너지를 바로 직선운동에너지로 변환시켜주고, 비접촉 구동을 함으로 마찰에 의한 손실이 리니어가이던스에 한정되어 고정밀도의 구동을 실현할 수 있으며, 이동부를 경량화 시킴으로서 높은 속도 및 가속도를 쉽게 실현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이중 위치제어 능력은 모터의 적용시 기계구조, 부품, 제어장치의 주변기기 그리고 측정 장치 등 여러 부문에서 요구사항이 충족되어야 할 때 가능하므로 성능평가를 통한 오차 측정을 통해 각종 파라미터의 보정이 이루어져야 한다.⁽¹⁾

또한 리니어모터는 효율이 낮고 가동중 발생하는 열손실로 인해 모터와 주변기계가 가열되는 단점이 있다. 따라서 리니어모터 시스템을 고속, 고정밀 공작기계 등에 적용하기 위해서는 반드시 열특성에 대한 성능평가가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 제작된 시제품의 성능평가 및 리니어모터의 설계 개선을 위한 참고자료로 활용하기 위해 레이저간섭계를 이용하여 위치결정정밀도 및 반복정밀도를 측정하고, 서미스터를 이용하여 온도 변화 특성을 측정하고자 한다.

2. 성능평가

2.1 실험장치

Fig. 1에 성능평가에 사용된 실험 장치를 보여주고 있다. 실험 장치는 크게 리니어모터 시스템, 위치결정오차 및 온도 측정 장치로 구성되어 있으며 리니어모터 시스템을 정반위에 고정하여 실험을 수행하였다.



Fig. 1 Experimental set-up

실험에 사용된 리니어모터는 정격추력 800N, 정격속도 2.5m/s의 영구자석형 리니어동기모터이고, 이송계에는 분해능 1 μ m, 사용온도 -20~70 $^{\circ}$ C의 리니어스케일(RGH41X, Renishaw)이 부착되어있다. 위치결정오차 측정에는 레이저간섭계(ML 10, Renishaw)를 이용하였으며, 온도는 서미스터 센서를 이용하여 측정하였다.

2.2 위치결정정밀도

위치결정정밀도 측정을 위해 레이저간섭계를 이송테이블의 중앙 위치에 설치하고 300mm의 행정에 대하여 ISO230-2 규격에 의하여 위치결정오차를 평가하였다.

실험은 무부하 상태와 테이블에 50N과 100N의 힘이 가해진 세 가지 경우에 대하여 측정하였다. Fig. 2-4에 위치결정정밀도와 반복정밀도를 측정한 결과를 보여주고 있으며, Table 1에 그 결과를 요약하였다. 평가결과 세 가지 경우에 대하여 위치결정오차와 반복정밀도 모두 무부하 상태보다 부하량을 증가시킬수록 향상되는 것으로 나타났으며, 위치결정오차가 89~94 μ m로 상당히 크게 나타났다. 이것은 현재 모터 드라이버 및 리니어스케일에 대한 제어파라미터의 보정 문제, 실험 환경에서의 노이즈에 의한 펄스 신호의 왜곡 등 복합적인 요인에 의한 것으로 판단된다.

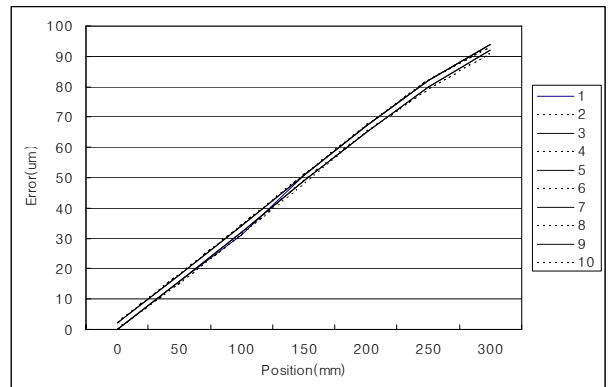


Fig. 2 Positioning accuracy for no-load

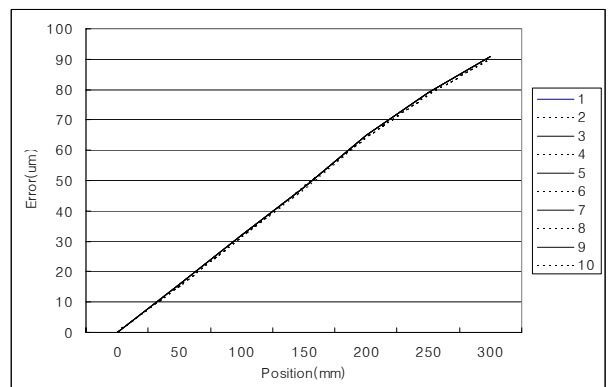


Fig. 3 Positioning accuracy for load 50N

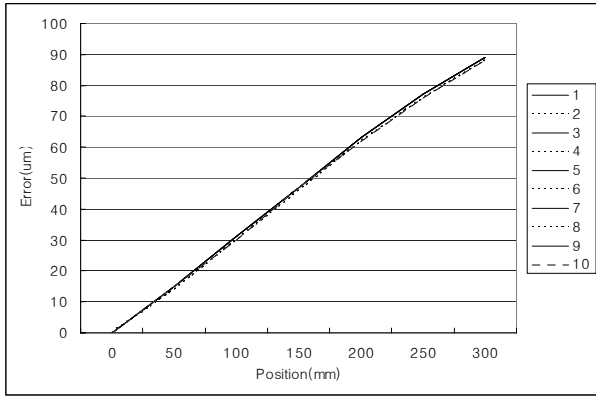


Fig. 4 Positioning accuracy for load 100N

Table 1 Results of positioning accuracy and repeatability

| | Load condition (N) | | |
|--|--------------------|----|-----|
| | 0 | 50 | 100 |
| Positioning accuracy (μm) | 94 | 91 | 89 |
| Repeatability (μm) | 3 | 1 | 1 |

2.3 열특성

리니어모터의 열특성은 궁극적으로 이송테이블의 열변위로 평가될 수 있으며, 이송테이블의 열변위는 열원인 리니어모터로부터 테이블로의 열전달에 의해 야기되는 온도상승에 기인한다.

리니어모터로부터 주변 구조물로의 열전달 기구는 주열원인 Primary part로부터 발생한 열은 냉각장치가 있을 경우 냉각 장치에 의해 밖으로 유출입 되고 나머지 열은 대류와 복사에 의해 테이블의 내면으로 전달되어 테이블을 가열시킨다. Secondary part 는 자체의 열원은 적으나 Primary part 의 밑면으로부터 공극을 통하여 대류와 복사에 의해 가열되고 이 열은 열전도에 의해 베드로 계속 전달된다. 또한 리니어모터의 운동 중 LM 가이드상에서 발생한 마찰열은 테이블과 베드로 전달된다.⁽²⁾

본 연구에서는 리니어모터의 열특성에 대한 성능평가를 위해 리니어모터에 100N, 200N의 힘을 가할 때 이송테이블의 상면과 베드의 측면, Primary part의 정면, 세 부위의 온도변화를 서미스터를 이용하여 측정하였다. Fig. 5에 각각의 온도에 대한 측정부위를 나타내었다.

Fig. 6, 7은 온도측정 결과를 나타내고 있다. 측정 결과 두 경우 모두 동일한 경향을 나타내었으며 T₁, T₂측의 온도변화는 초기에 급격히 상승하고 일정 시간 이후에는 특정 값으로 수렴하는 것으로 나타났다. 이때 T₁과 T₂의 온도변화 곡선이 거의 동일하게 나타나며, 하중이 가해질 경우 T₁측의 온도 상승이 제일 크고 T₁측의 온도 상승에 동기 하여 T₂측의 온도 상승이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 동기식 리니어모터는 권선이 들어 있는 Primary part가 주 열원이고 유도식 리니어모터와는 달리 Secondary part의 열손실은 거의 없다. 따라서 주열원인 T₁측은 부하가 가해질 경우 전기적 손실동력에 의해 온도가 크게 상승하는 것이고, 본 실험에서 고려한 리니어모터가 Primary part와 이송테이블 사이에 냉각장치나 단열재 등의 부가장치 없이 직접 연결되어있는 구조로 되어있어 Primary part에서 발생한 열이

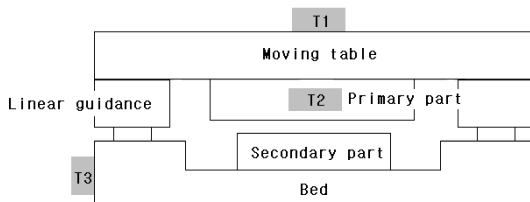


Fig. 5 Measuring points

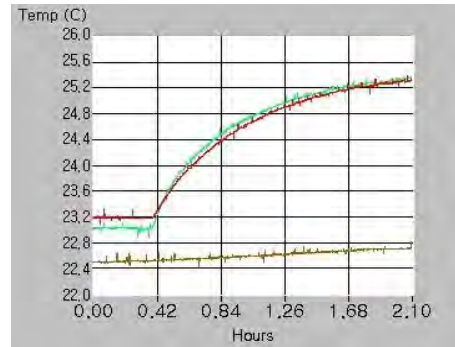


Fig. 6 Temperature rise on the linear motor system for counter force 100N

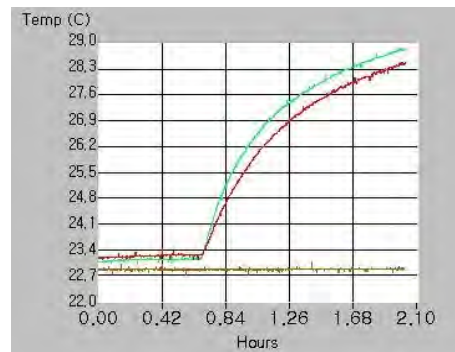


Fig. 7 Temperature rise on the linear motor system for counter force 200N

그대로 이송테이블로 전달되어 T₂측의 온도 상승 곡선이 T₁측의 온도 상승 곡선에 동기 하여 나타나는 것으로 사료된다. T₃측은 하중이 가해질 경우 초기에 비해 약 0.3°C의 온도 상승이 일어나는 것으로 나타났다.

3. 결론

본 논문에서는 레이저간섭계와 온도측정 장치를 이용하여 정밀이송용 리니어모터의 성능평가를 수행하였다.

실험결과 위치결정오차는 89~94 μm , 반복정밀도는 1~3 μm 로 측정되었다. 위치결정정밀도가 좋지 않게 나타난 것은 실험환경에서 노이즈에 의한 신호 왜곡과 컨트롤러 및 리니어스케일의 제어파라미터에 대한 보정 등 복합적인 영향 때문으로 판단된다. 향후 측정 데이터를 바탕으로 제어파라미터에 대한 보정 및 엄격한 실험 환경에서의 실험을 수행할 예정이다.

온도 측정결과 100N의 하중을 가했을 경우 T₁, T₂측에 약 2.4°C의 온도 상승이 이루어졌고, 200N을 가했을 경우는 약 7°C의 온도가 상승되었다. 또한 T₁측의 온도는 T₂측의 온도변화에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Eun, I. U., "Positioning Technology by Linear Motor," KSPE, Vol. 17, No.12, pp. 20-25, 2000.
2. Eun, I. U., "Optimization of the Thermal Behavior of Linear Motors with High Speed and Force[1st Paper]," KSPE, Vol. 19, No. 6, pp. 184-191, 2002.
3. Hwang, J. H., Park, C. H., Lee, C. H., Kim, S. W., "Improvement of the Laser Interferometer Error in the Positioning Accuracy Measurement," KSPE, Vol. 21, No. 6, pp. 167-173, 2004.