

고속 HMC 이송계의 운동 특성 평가

홍원표*, 강은구, 이석우, 최현종(한국생산기술연구원)

Performance Assessment of Linear Motor for High Speed Machining Center

W. P. Hong, E. G. Kang, S. W. Lee and H. Z. Choi (KITECH)

ABSTRACT

Recently, the evolution in production techniques (e.g. high-speed milling), the complex shapes involved in modern production design, and the ever increasing pressure for higher productivity demand a drastic improvement of the dynamic behavior of the machine tool axes used in production machinery. And also machine tools of multi functional and minimized parts are increasingly required as demand of higher accurate in some fields such as electronic and optical components etc. The accuracy and the productivity of machined parts are natural to depend on the linear system of machine tools. The complex workpiece surfaces encountered in present-day products and generated by CAD systems are to be transformed into tool paths for machine tools. The more complex these tool paths and the higher the speed requirements, the higher the acceleration requirements are needed to the machine tool axes and the motion control system, and the more difficult it is to meet the requirements. The traditional indirect drive design for high speed machine tools, which consists of a rotary motor with a ball-screw transmission to the slide, is limited in speed, acceleration, and accuracy. The direct drive design of machine tool axes, which is based on linear motors and which recently appeared on the market, is a viable candidate to meet the ever increasing demands, because of these advantages such as no backlash, less friction, no mechanical limitations on acceleration and velocity and mechanical simplicity. Therefore performance tests were carried out to machine tool axes based on linear motor. Especially, dynamic characteristics were investigated through circular test.

Key Words: Linear motor(리니어모터), Feeding system(이송계), Machine tools(공작기계), Positioning error(위치오차), Contouring error(윤곽오차)

1. 서론

최근의 생산시스템은 수요자의 요구에 맞추어 다중소량화 경향이 뚜렷해지고 부품 또는 제품의 다기능화 및 소형화가 급속하게 진전되고 있으며, 여기에 보조를 맞추어 제품의 고정밀도가 그 어느 때보다 강하게 요구되고 있다. 이에 따라 공작기계를 이용한 정밀 가공기술의 필요성이 증가하게 되었고 공작기계가 공작물의 가공정도에 미치는 영향에 대한 평가가 많은 관심을 모으고 있다. 이는 가공된 공작물의 정밀도는 그것을 가공한 공작기계의 정밀도에 의해 좌우되기 때문이다.

일반적으로 가공 공작물의 정확도란 가공된 공작물과 치수 및 기하학적 기준간의 일치 정도를 말

한다. 공작물의 정확도는 공작물 성능의 가장 중요한 측정 기준이므로 정확한 공작물 생산이 중요하다. 반면 공작물의 가공 오차는 가공된 공작물과 치수 및 기하학적 기준간의 불일치 정도를 말하며 여러가지 오차 원인들을 가지고 있다. 그 중에서도 공작기계의 오차가 공작물의 오차에 가장 큰 영향을 미친다. 그렇기 때문에 고정밀도의 부품을 가공하기 위해서는 공작기계의 정밀도를 미리 평가하여 그 결과를 설계에 반영시킬 필요가 있다고 생각되며, 또한 공작기계의 정밀도를 측정하여 요구하는 정밀도가 충분히 나올 수 있다는 판단아래 제품을 가공하여야 한다.

공작기계의 정밀도는 공작물에 그대로 반영되기 때문에 국제표준화기구(ISO)나 일본공업규격(JIS)

에서는 공작기계의 정밀도 시험에 관한 내용을 점차 보강하여 공작기계의 성능을 평가하고 있다. 그 가운데 정적 정밀도 시험의 하나로 직선운동의 기하학적인 정밀도, 예를 들면 진직도, 직각도, 평행도 및 평면도 등을 측정하도록 되어 있다. 그러나 공작기계의 이송운동이 고속화되고 제품의 고정도화가 점차 강하게 요구됨에 따라 단순하게 각 운동축의 기하학적인 정밀도를 측정하여 공작기계를 평가하는 것만으로는 불충분하다고 생각된다.

특히 NC 공작기계는 기존의 수동식 공작기계가 가지고 있는 기계 부품과 같은 하드웨어적인 요소 이외에, 이를 제어하기 위한 수치제어 장치가 결합되어 있는 형태이므로 하나의 시스템으로서 정밀도를 평가해야만 한다. 실제 NC 공작기계를 이용한 가공시 공작물의 오차에 영향을 미치는 공작기계의 오차는 기계적인 장치 및 수치제어 장치가 복합된 윤곽에 의한 위치 운동 정밀도에 대한 오차이다.

기존의 회전형 모터에 의한 공작기계의 경우 기하학적인 오차요인으로 이송부의 조립 및 제작오차 이외에도 온도의 변화에 의한 오차발생이 많은 비중을 차지하였고, 이에 대한 오차의 보정연구가 활발히 진행되었다. 그러나 리니어 모터의 경우에는 별도의 냉각시스템을 이용함에 의해 주위 온도의 변화 및 기계 자체에서 발생된 열에 의한 오차 발생에 능동적인 대처가 가능하기 때문에 이에 대한 영향이 상대적으로 작다. 반면, 기하학적 요소 이외에 고속 (100m/min 이상) 운동이 필수이기 때문에 진동 및 추종 오차 등 고속 운동시에 수반되는 오차요인이 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 최근 공작기계 이송계의 요구사항인 고속, 고정밀화 추세에 따라 그 수요가 증가하고 있는 리니어 모터에 대하여 고속 이송시의 운동 특성을 평가하고자 한다. 운동오차 요인에 대한 분석을 수행하기 위해 고속이동시의 윤곽오차 등을 분석하고자 한다.

2. 실험 장치

리니어 모터를 이용한 리니어 시스템의 고속이송시 운동특성을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같이 실험장치를 준비하였다. 리니어 시스템에 대한 사양은 Table 1에 나타나 있으며, 최고속도가 116m/min정도이며 가속도가 최고 4G정도의 고속이송이 가능한 이송시스템이다. 고속운동시의 운동특성을 분석하기 위해 잘 알려진 방법으로 원호운동 통한 분석이 가능하며, 고속원호 운동시의 정밀한 측정을 위해 레이저 불바 측정장비를 이용하였다. Table 2에 레이저 불바 측정 장비에 대한 자세한 사양이 나타나 있으며, 최대 3.6m/sec의 이송속도

에 대한 측정이 가능하며, 분해능이 0.01 μ m정도 이다.

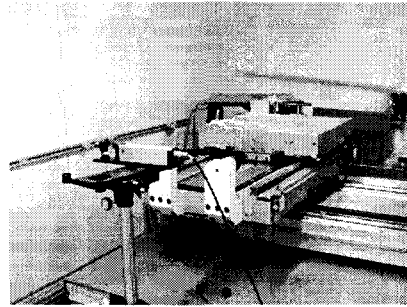


Fig. 1 Experimental Setup of Performance Test of Linear Motor

Table 1 Specifications of Linear Motor

	X axis	Y axis
Weight	675(kg)	230(kg)
Max. axis stroke	660mm	530(mm)
Max. acceleration	15(m/s ²)	40(m/s ²)
Max. velocity	116(m/min)	116(m/min)
Peak force	14500(N)	14500(N)
Cont. force	6600(N)	6600(N)
Stiffness	26000(N/um)	26000(N/um)

Table 2 Specifications of Laser Ball Bar

Contents	Values
Company	OPTODYNE, INC.
Resolution	0.01 μ m
Max. velocity	3600 mm/sec
Measurement range(Diameter)	152mm
Temperature range	15.5 °C - 32 °C
Measurement distance	15m

3. 성능평가 실험

3.1 원호운동특성

고속이송시의 원호운동측정 결과가 Fig. 2에 나타나 있다. 이송테이블의 이송속도는 1m/min이며, 반경은 50mm이다. 측정은 레이저 불바 반사경을 테이블 측에 부착한 후 원호운동을 수행하면서 고속레이저 측정기로 X축과 Y축 각각의 실제이송 위치를 측정한 후 둘간의 신호조합을 실시한다.

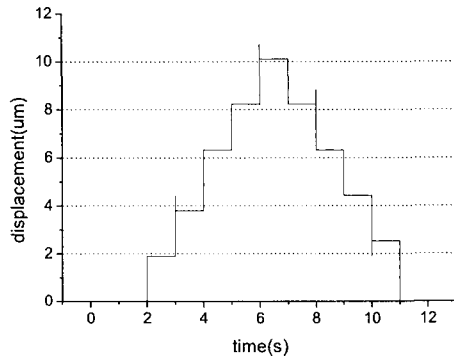


Fig. 5(b) Step response of linear motor(2μm)

4. 결론

고속 공작기계용 리니어 모터의 고속운동성을 평가하기 위해 원호운동 및 미소이송에 따른 특성을 평가하였다. 그 결과 다음과 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 리니어 모터의 공작기계 적용시 모터자체의 질량이 테이블에 부가되기 때문에 큰 질량에 따른 고속 응답성을 얻기 매우 어렵다.

둘째, 따라서 리니어 모터의 공작기계 적용시 고속 응답성을 위해서는 일반 볼스크류 채용 회전형 모터 보다 고강성의 구조로 설계 함으로서 제어 계인 상승을 가능하게 하도록 해야 한다.

셋째, 리니어 모터의 속도에 따른 반경감소의 경향은 응답속도에 의한 지수형태의 감소를 보인다.

후 기

본 논문은 산업자원부 중기거점 과제 “고속 지능형 가공시스템의 개발” 사업의 연구비를 지원 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최현중, 강은구, 정일용, 이석우, “공작기계용 리니어모터의 운동성능 평가에 관한 연구,” 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp.215-220, 2002.
2. P. VAN DEN BRAUMBUSSCHE, J. SWEVERS, H.

VAN BRUSSEL and P. VANHERCK, “ Accurate Tracking Control of Linear Synchronous Motor Machine Tool Axes,” *Mechatronics*, Vol. 6, No. 5, pp.507-521, 1996.

3. Jenq Shyong Chen and Cheng Chang Ling, “Improving the Machine Accuracy Through Machine Tool Metrology and Error Correction,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 11, pp198-205, 1996.
4. A.N. POO, J. G. BOLLINGER and G.W. YOUNKIN, “Dynamic Errors in Type I Contouring Systems,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol.IA-8, No.4, pp477-484, 1972.
5. YUNG C. SHIN, “Handbook of Design, Manufacturing & Automation,” John Wiley, pp.243-258, 1994.
6. Y. Kakino, Y. Ihara, A. Shinohara, “Accuracy Inspection of NC Machine Tools by Double Ball Bar Method,” Hanser Publishers, 1993.
7. Kyong Gee Ahn, “Development of and Estimation System for Volumetric and Thermally Induced Errors of a Machine Tool,” Ph.D. thesis, Korea Advance Institute of Science and Technology, 1999.