

전산기를 이용한 CNC 공작 기계의 동적 정밀도의 평가에 대한 연구

권혁동*

Computer Aided Dynamic Accuracy Evaluation on CNC Machine Tools

H. D. Kwon *

ABSTRACT

In this paper, a new measurement system has been developed for measuring servo errors of CNC machine tools. Unlike the ball link bar method using circular path, the developed system uses two orthogonal straight paths for measurement of errors, giving relatively short test length. For position measurement, linear displacement sensor and steel cube have been designed, and the software for relevant data sampling and error evaluation has been implemented.

Key Words: Dynamic Accuracy(동적 정밀도), Machine Tool(공작 기계), Servo Error(서보 오차), Feed Drive Error(피드 드라이브 오차), Set-up Error(설치 오차)

1 서 론

마이크로 프로세서 기술의 급속한 발전으로 대부분의 공작기계에 CNC-Controller가 부착되어, 높은 생산성과 균일한 가공을 이루게 되었다. 게다가 새로운 가공방법의 등장(Laser cutting)과 더 미끈한 가공 면을 위해 공작 기계의 이송 속도에 대한 요구가 점점 증가되고 있다.

고속 이송 속도하의 운전에서는 서보 오차(Servo Error)가 지배적이어서 이의 측정을 위한 방법의 개발이 필요하였다.

Telescopic Ball Bar 방법, 또는 Double Ball Link

Bar 방법, 또는 Ball Link Bar 방법^(1, 2, 3, 4, 5, 6)으로 불리는 측정방법으로 공작기계의 기하학적 오차와 서보 피드 드라이브(Servo Feed Drive) 오차를 측정할 수 있다.

그러나 Ball Link Bar는 Linear Variable Differential Transformer 형태의 센서를 이용하게 되는 데, LVDT의 자체 길이로 인하여 최소 길이가 100mm 정도에 제한된다. 이와 같이 Ball Link Bar는 최소 길이가 한정되어 길이의 영향에 따라서 기하학적 오차가 측정 결과에 포함되고 측정 경로가 원호형상에 한정되는 불리한 점이 수반된다.

이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 이 논문에서는 두 개의 직선 디지털 위치 센서를 이용하여 공작 기계의 동

* 생산기술연구원 생산시스템 개발센터

적 서보 오차를 측정하는 장치를 개발하고, 한 CNC 공작 기계에서 동적 정밀도를 평가하였는데, 이에 대한 실험 장치, 실험과정 오차 분석에 대해 기술하고자 한다.

2 실험

공작 기계의 서보 영향에 의한 피드 드라이브 오차(Feed Drive Error)를 측정하기 위해 실험 장치를 개발하였으며, 개발된 장치는 철제 기준 사각주(Reference Cube), 직선 디지털 위치 센서, 치구, 마이크로 컴퓨터로 구성되어 있고, Fig. 1에서 실험장치의 전체적인 개략도를 보여주고 있다.

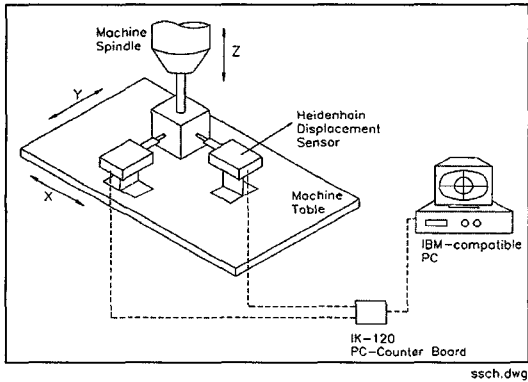


Fig. 1 실험장치의 개략도.

이 측정 장치에서는 공작기계가 주어진 NC-Program에 의하여 동작하는 동안 스피indle과 머신 베드의 상대운동을 위치 센서가 감지하여 컴퓨터에 기록하였다가 실험이 끝난 후에 서보 오차의 분석을 실시하게 된다.

2.1 실험 장치

사용된 기준 철제 사각주는 세 개의 면이 연마된 후 래핑(Lapping)되었고, 직경 10 mm의 봉을 사각주의 한면에 공업 구조용 접착제로 부착하여 공작기계의 스피indle에 삽입시킬 수 있는 구조로 되어있다(Fig. 2).

공작기계의 스피indle에 부착된 사각주의 운동을 측정하기 위해 두 개의 직선 디지털 센서(Heidenhain MT12B)를 사용하였는데 주요한 제원은 다음과 같다.

- 측정범위 : 0.5 μ m - 12 mm
- 허용 속도 : 0.25 m/sec
- 허용 충격 : 1000 m/sec/sec
- 사용 온도 : 0 - 50 deg in C

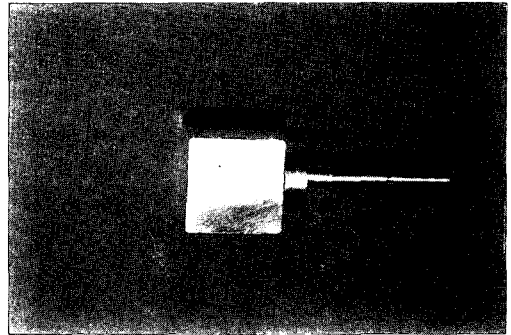


Fig 2 실험장치에 사용된 기준 철제 사각주

공작 기계가 동작하는 동안 스피indle과 머신 베드의 상대운동을 센서가 감지하여 컴퓨터에 기록하게 된다.

두 개의 센서를 고정시키기 위해 다음사항을 고려하여 치구를 Fig. 3과 같이 고안하였다.

- 센서를 정확한 위치에 확실하게 고정시킬 수 있을 것,
- 센서의 작용에 방해가 되지 않을 것,
- 쉽게 고정과 분리가 가능할 것,
- 머신 스피indle이 센서의 감지 범위를 벗어나 과도하게 운동하여도 센서를 손상시키지 않을 구조일 것

고안된 치구의 구조는 그림과 같으며 자기응용 고정장치(Magnetic Base Enclipse 100A)를 이용하여 머신 베드에 용이하게 부착 분리를 가능하게 하였고, 기계의 과도한 운동에도 센서의 손상을 방지할 수 있게 하였다.

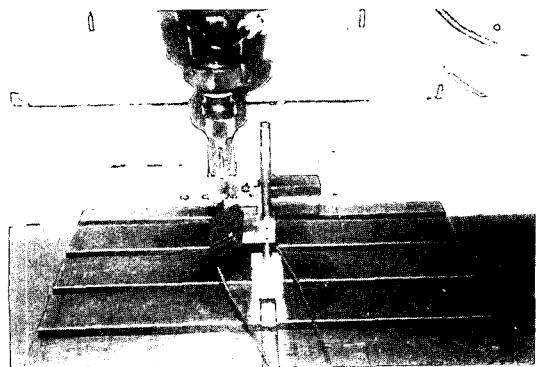


Fig. 3 센서 고정용 치공구.

2.2 측정 데이터의 획득과 분석

마이크로 컴퓨터를 사용하여 데이터를 획득하고 분석하였는데 여타 종류의 컴퓨터를 사용할 수도 있지만, 메모리와 속도의 불리함에도 불구하고 현장실험을 고려하여

마이크로 컴퓨터에서 실험장치를 구성하였다.

- CNC 공작 기계는 대체로 생산 현장에 설치되어 있고, 다른 컴퓨터의 지원이 가능하지 않은 경우가 많으나 마이크로 컴퓨터는 이동과 운반이 용이하다.
- CNC 공작기계가 FMS나 CIM 환경에서 작동될 경우에는 기계가 계속 가동되는 경우가 많아, 오차측정을 위해서 시간을 할애하기가 쉽지 않고 측정시간을 가능한 한 최소한으로 줄여야되는 데 실험 장치 설치와 실험수행에 마이크로 컴퓨터는 훨씬 더 유리하다.
- 물론 컴퓨터 메모리의 집적도 향상에 따른 컴퓨터의 성능이 점점 좋아지고 있다는 점도 고려되었다.

측정 데이터 획득과 해석을 위해 프로그램 언어 Microsoft C를 사용하여 소프트웨어가 개발되었다.

두 개의 센서를 공작기계의 X, Y 축과 평행하게 설치하고, NC-program 으로 주어진 측정 경로를 따라 기계가 동작될 경우 50 KHz의 속도까지 데이터를 획득할 수 있다.

주어진 측정경로의 길이가 매우 짧고 획득되어야 될 데이터 수가 많아서 샘플링 주기(Sampling Cycle)의 조절이 매우 중요하다. 컴퓨터의 Software Interrupt를 사용하여, 샘플링 주기의 조절을 시도하였지만, Interrupt Manager의 상황의 변동에 따라서 시간 간격이 바뀌게 되어서 결과가 좋지 않아, C 프로그래밍 언어에서 제공하는 속이 빈 FOR-Loop의 Iteration수를 조정하는 방식으로, 아주 짧은 Time Interval을 조절하였다. 이와 같은 방식을 이용하여 20000개까지의 데이터를 주어진 수행 경로에 따라서 샘플링 할 수 있다.

수행경로는 NC-program으로 주어지고 공작 기계에서 수행 경로의 시작과 컴퓨터에서의 샘플링의 시작을 일치 시켜야되는 데, Hardware Synchronisation이 존재하지 않으므로 Software Synchronisation방식을 고안하여 사용하였다.

이 고안된 방식에서는 공작기계를 작동시키기 전에 컴퓨터에서 두 센서를 구동시키고, 센서의 움직이는 양을 계속적으로 계속적으로 측정하여 저장한다. 이 상태에서 공작기계를 작동시켜 NC-program으로 표현된 수행경로를 시작한다. 그러면 공작기계의 스펀들과 머신 베드 사이의 상대운동이 시작된다. 이 상대 운동의 양이 센서로 감지되고 그 크기가 컴퓨터에서 계산되는 데 이 크기가 3 um 이상이 되면 본 데이터 샘플링을 시작하여, 컴퓨터 RAM 메모리에 기록을 시작한다.

2.3 측정 방법

종래의 Ball bar system에서는 측정경로가 원형 궤도에 한정되었지만, 개발된 실험 장치에서는 측정 경로가 특별한 형태에 국한되지 않고 자유롭게 주어질 수 있다. 그러나 다음과 같은 요소로 인하여 측정경로의 길이는 한정된다.

- 공작기계의 정밀도,
- 센서의 정밀도와 측정 범위,
- PC-counter board의 처리 속도,
- 컴퓨터의 제어 가능한 시간 간격,
- 컴퓨터에서 측정 데이터 저장에 이용 가능한 RAM 크기.

사용된 측정 경로는 Fig. 4 에서 나타난 것과 같은 경로인데 운동의 방향이 90 도로 바뀌는 위치에서 공작기계의 서보오차가 잘 관측될 수 있다. 사용된 측정 경로의 전체적인 길이가 매우 짧아서 공작 기계의 기하학적 오차를 사실상 배제시킬 수 있는 이점이 있다.

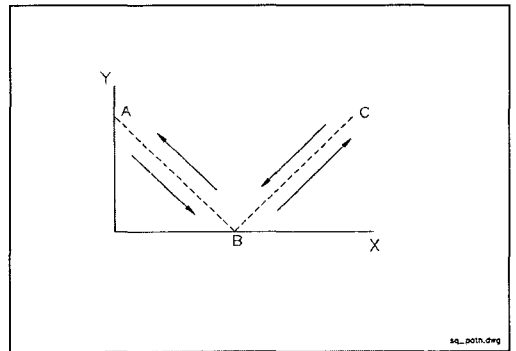


Fig. 4 실험에 사용된 측정 경로.

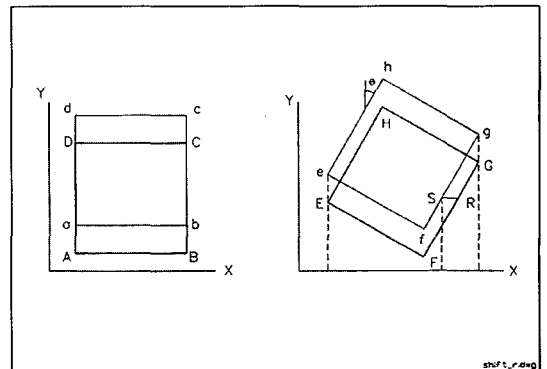


Fig. 5 실험장치 설치에 따른 오차.

한편 실험장치를 공작기계에 설치할 때 설치 오차(Setup Error)가 발생된다. 만일 Fig. 5의 오른쪽에 나타낸 것과 같이 일정한 각 만큼 회전되어 설치되어 있고, Y축 방향으로 기준 사각주가 이동되었을 때, SR 만큼의 X축 방향으로 오차가 측정된다. 그러나 설치에 따르는 회전오차가 없다면 Y축 방향으로 이동하여도 X축 방향으로 아무런 오차를 야기시키지 않는다.

이와 같은 영향을 찾아내기 위해 본 측정경로 이전에 예비 측정경로 (Fig. 6의 경로 OA OBCO) 를 사용하여 실험을 수행하였다.

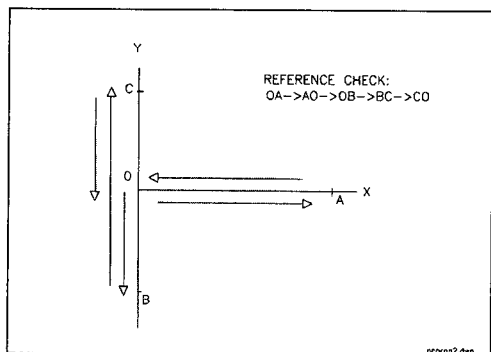


Fig. 6 설치 오차를 찾아내기 위한 예비 시험 경로.

2.4 측정 데이터 해석

샘플된 데이터는 기준 점으로부터 상대적인 위치를 측정할 값이다. 이 값에는 설치 오차도 포함되어 있어서 직접 해석에 사용하기 곤란하다. 따라서 예비 실험을 통하여 획득된 데이터를 바탕으로 설치 오차를 찾아내어 본 데이터에서 이 설치 오차를 제거하였다.

본 실험에서 사용된 수행 경로는 운동의 방향이 90도로 바뀌는 두개의 직선 경로인데, 획득된 데이터에서 운동의 방향이 바뀌는 점(전환점 Turning Point)을 찾아내어 수행경로의 전반부와 후반부로 나누어 데이터 해석하는 것이 요구된다.

이 전환점에서 운동 속도가 국부적으로 최소가 된다는 점을 이용하여, 샘플한 데이터에서 속도를 계산하였다. 계산된 속도를 Plotting하면, 전기적인 펄스와 같은 피크(Peak)가 많이 나타나는 데, 전기회로의 Low-pass-filter와 같은 원리의 알고리즘을 사용하여 비교적 미끈한 속도 곡선을 얻을 수 있었다. 얻어진 곡선에서 국부적인 최소 값을 찾아내어, 이에 해당되는 위치를 전환점으로 사용하였다.

획득된 데이터로부터 NC-Program으로 주어진 이상

적이 수행 경로까지의 거리를 오차로 잡고, 전환점을 경계로 전반부와 후반부로 나누어 오차를 계산하였다.

3 CNC 공작기계에의 적용

개발된 측정설비를 이용하여 Fig. 7에서와 같은 CNC Controller(FANUC 6MB)^(7, 8)가 설치된, 3축 Machining Centre(TAKISAWA MAC-V3)의 서보 오차를 측정하였다. 이 Machining Centre는 X=510, Y=400, Z=360mm 범위에서 가공이 가능하고 최소변위는 1 μ m 이며 이송속도는 1-5000 mm/min 이다.

서보 오차는 고속 이송 운전에서 두드러지므로 이송 속도 4000 mm/min (최고 이송속도의 80%)까지 수행하였으며, 비교를 위하여 이송속도 500 mm/min에서도 수행되었다.

Fig. 8 과 Fig. 9 에서 각각의 이송속도로 운전되는

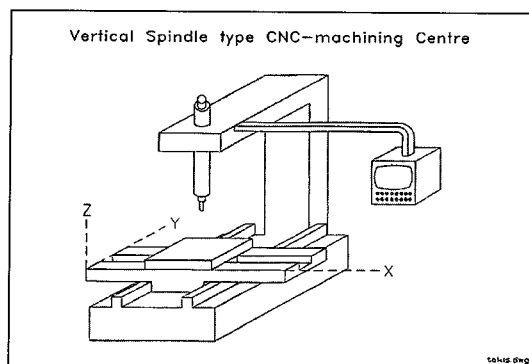


Fig. 7 실험에 사용된 공작 기계의 외관

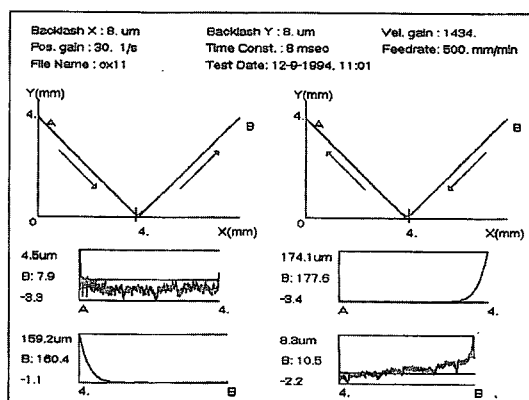


Fig. 8 저속 이송의 측정결과

동안 측정된 서보오차를 보여 주고 있다. 획득된 데이터로부터 시험 경로 상에서 실제운동의 전환점을 찾아내어, 전반부와 후반부로 나누어서 실제 측정 위치와 이론적인 경로의 최소거리를 오차로 계산하여 Fig. 8 과 Fig. 9 의 왼쪽 중간과 아래 그림 에서 각각 Plot 하였다.

저속의 이송 속도(500mm/min)에서는 비교적 적은 오차 (전반부 7.9 um, 후반부 160.4 um)가 발생되었고 돌아오는 방향의 시험경로에서도 비슷한 형태로 측정되었다.

고속 이송 운전 하에서는 상당한 오차가 시험경로 상의 전환점 주위에서 발생되었다. 오차 범위는 39.3 um 후반부에서 1184.5 um 가 발생되었다.

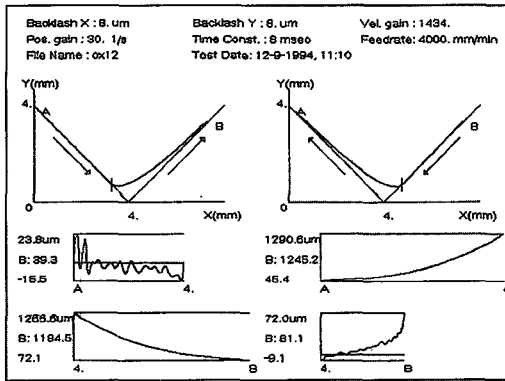


Fig. 9 고속 이송의 측정결과

개발된 측정 설비는 시험 경로가 매우 짧아서 (12 mm 까지) 공작기계의 운동 범위가 클 경우에 측정된 데이터에 포함될 수 있는 기하학적 오차를 거의 배제시킬 수 있고, 측정 경로가 Ball Link Bar에서처럼 원호궤적에 한정되지 않아서 방향이 90도로 바뀌는 직선 경로를 이용하여 공작기계의 서보 특성을 효과적으로 측정할 수 있었다.

4 결 론

CNC 공작 기계의 서보 오차의 평가를 위해 측정 장치를 철제 기준 사각주, 직선 디지털 위치 측정 센서, PC-counter board, 마이크로 컴퓨터를 이용하여 개발하였다. 개발된 장치에서는 방향이 90 도로 바뀌는 두개의 연결된 직선 경로를 활용하여, 공작 기계의 서보 영향에 의

한 오차를 효과적으로 분석할 수 있었다.

개발된 측정 장치를 이용하여, 한 CNC 공작기계에 적용시켜 고속 이송 조건에서 동적 정밀도를 측정하였으며, 측정 결과 상당한 오차를 보여주었으며 이 공작기계에 부착된 CNC Controller의 계수의 재 조정이 필요한 것을 보여 주었다.

개발된 장치는 매우 간단하고 마이크로 컴퓨터에서 개발되어 비용 면에서도 매우 저렴하여 공작기계의 동적 정밀도 분석에 많은 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

1. Bryan, J.B. A simple method for testing measuring machines and machine tools. Precision Engineering, Vol. 4, No. 2. 1982.
2. Burdekin, M., Jywe, W. Optimising the contouring accuracy of CNC machines using the CONTISURE system. 28-th International MATADOR Conference 1992. (Macmillan Press, Manchester).
3. Kakino, Y., Ihara, Y. and Shinohara, A. Accuracy inspection of NC machine tools by double ball bar method. 1993. (Hanser Publishers, Munich, Vienna, New York).
4. Kunzmann, H., Waeldele, F. On testing coordinate measuring machines (CMM) with kinematic reference standards (KRS). CIRP Vol. 32/1, 1983.
5. Knapp, K. Test of the three-dimensional uncertainty of machine tools and measuring machines and its relation to the machine errors. CIRP 32/1, 1983.
6. Kakino, Y., Ihara, Y. Nakatsu, Y. The measurement of motion errors of NC machine tools and diagnosis of their origins by using telescopic magnetic ball bar method. CIRP 36/1, 1987.
7. Fanuc Ltd. FANUC SYSTEM 6M-MODEL B Operator's manual. 1982.
8. Fanuc Ltd. FANUC SYSTEM 6M-MODEL B Maintenance manual. 1982.