

원테스트를 통한 공작기계의 오차분석

안일혁*, 김성수*, 민경석*(고려대학교 대학원 기계공학과),
최우천**, 홍대희**(고려대학교 기계공학과)

Error Diagnosis of a Machine Tool by Circular Tests

Il Hyuk Ahn, Sung Soo Kim, Kyung Seok Min(Mecha. Eng. Dept., Graduate School, Korea University),
Woo Chun Choi, and Daehie Hong (Mecha. Eng. Dept. Korea University),

ABSTRACT

Contouring errors are important especially for high speed and precision machining. Since the contouring errors of a machine tool affect the error of a machined part directly, it is necessary to find the contouring errors by some relevant tests. In this study, contouring errors are obtained by performing circular tests with a grid plate. Various error sources are diagnosed by a least square method.

Key Words : Contouring Errors (윤곽오차), Circular Test (원테스트), Machine Tool(공작기계), Grid Plate(그리드판)

1. 서론

공작기계의 윤곽오차는 바람직한 기준 경로에서 벗어난 정도로 정의된다. 윤곽오차는 가공된 공작물의 오차에 직접 영향을 주므로, 공작기계의 윤곽 성능은 적절한 테스트를 하여 가공 전에 아는 것이 중요하다. 고속가공은 많은 장점을 가지고 있어서 점차 많이 요구되고 있다. 그러나 고속은 윤곽오차를 증가시키므로 고속에서 특히 윤곽정밀도가 특히 중요하다.

공작기계의 윤곽오차에 대한 연구가 일부 이루어졌다. 볼바를 이용한 원테스트 방법[1]이 소개되었고, 윤곽성능을 시험하는 방법으로 많이 채용되었다. [2]에서는 NC 공작기계의 운동오차를 측정하는 방법과 오차의 원인을 분석하였다. [3]에서는 윤곽성능과 대부분의 채용테스트가 수행하는 정적 성능사이에는 큰 차이가 있음을 보였다. [4]에서는 볼바 시스템을 사용하여 공작기계 오차의 측정과 분석을 수행하였다. 윤곽오차에 관해서는 주로 윤곽오차를 줄이기 위한 제어에 관한 연구가 많이 이루어졌다 [5-8].

본 연구에서는 원테스트(circular test)를 수행하고, 이 결과로부터 공작기계가 갖는 오차를 분석하였다.

2. 윤곽테스트와 실험장치

공작기계에는 많은 종류의 오차가 존재한다. 기계 자체, 서보 시스템 혹은 외부 요인에 의해 발생한다. 윤곽오차에 영향을 주는 것으로 공작기계에는 다음과 같은 오차가 존재한다.

- 기하학적 오차
- 기구학적 오차
- 서보 관련 오차
- 탄성변형에 의한 오차

이러한 오차들은 원테스트 결과에 모두 포함되어 나타나기 때문에 이를 적절한 방법으로 분리해야 한다.

본 연구에 사용된 공작기계는 수직 머시닝센터로 (Fig. 1). 비교적 큰 오차를 갖고 있어서, 오차가 뚜렷이 나타난다.

윤곽오차를 측정하는 원테스트에는 볼바(ballbar)가 주로 많이 사용되나, 볼바는 일정한 반경의 원에만 적용이 가능하므로 본 연구에서와 같이 다양한 크기의 원궤적의 테스트에는 부적합하다. 본 연구에서는 Fig. 2 에 나타난 그리드판(grid plate) 을 사용하여 원테스트의

궤적을 따라서 발생하는 윤곽오차를 측정하였다. 이것은 비접촉식으로 좌표를 측정하는 센서이다.

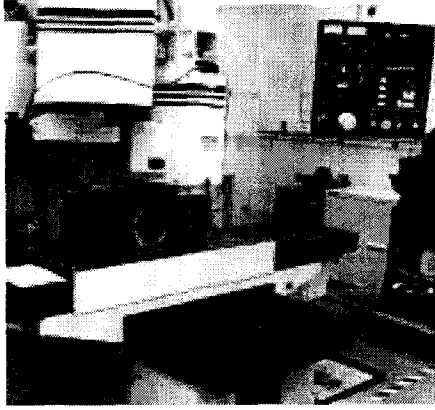


Fig. 1 Machine tools used in the tests.

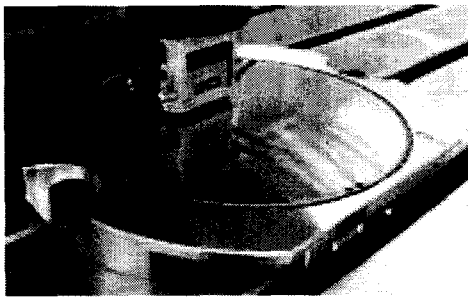


Fig. 2 Heidenhain grid plate.

3. 실험결과와 분석

원테스트에서 원호의 반경은 5-20mm 로 변화시키고, 이송속도는 100mm/min-4000mm/min 로 변화시켰다.

Fig. 3 은 여러 이송속도에 대해서 반시계방향 궤적에 대한 윤곽오차를 보여준다. 이 그림에서 X 방향보다 Y 방향의 백래시가 크다는 점과 이송속도가 커짐에 따라 반경이 다소 줄어든다는 점을 알 수 있다.

3.1 오차 분석

공작기계에서는 여러 오차 성분이 존재한다. 일부는 위치에 따라 변하기도 하고, 또 일부는 이송속도에 의존하기도 한다. 다음 오차 성분들은 본 연구에서 공작 기계의 오차 분석을 위해 고려한 것이다.

- X 방향 평균 백래시 오차
- X 방향 백래시의 차이
- Y 방향 평균 백래시 오차

- Y 방향 백래시의 차이
- X 축에 대한 Y 축 서보랙(servo lag) 오차
- 진동에 관련된 오차
- 주기적 오차
- 직각도 오차
- 서보 랙에 의한 반경의 감소

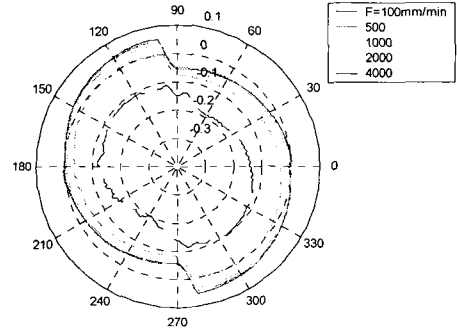
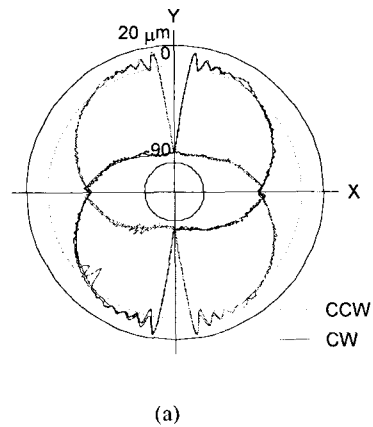


Fig. 3 Error traces for various feed rates.

오차 성분에 대한 상세한 식은 참고문헌 [9]에 나타나 있다. 이러한 식들을 사용하여 실험결과에 가장 근접한 오차 성분을 구하였다.

Fig. 4(a)는 실험결과와 예측한 결과를 보여주고, (b)는 두 결과의 차이를 보여준다. 그림에 나타난 바와 같이 예측된 결과가 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

Fig. 5 는 분석된 오차 성분을 보여준다. 예측된 결과가 실험결과와 잘 일치하므로 이 그림에 나타난 오차 성분은 공작기계가 갖고 있는 오차 성분이라고 볼 수 있다. 이렇게 구한 오차 성분을 이용하여 공작기계로 가공한 공작물의 윤곽오차를 예측할 수 있다.



(a)

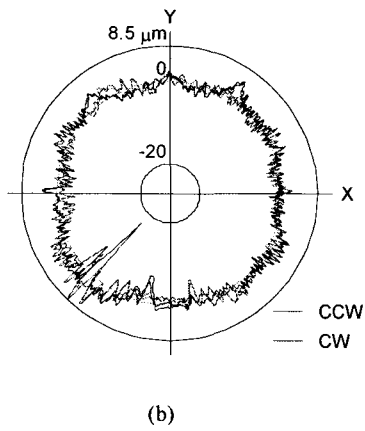
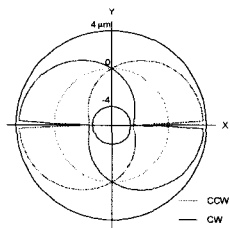
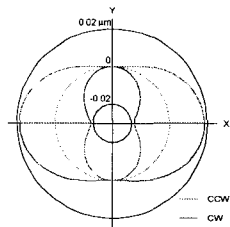


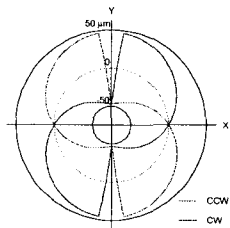
Fig. 4 (a) Measure and predicted errors and (b) residual error (R=10mm, F=2000mm/min).



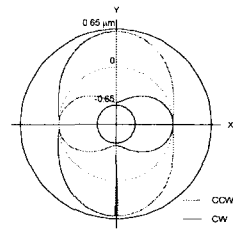
X mean backlash



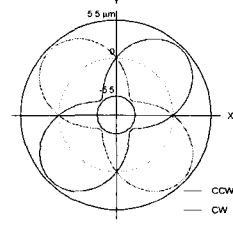
X backlash difference



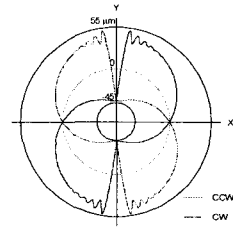
Y mean backlash



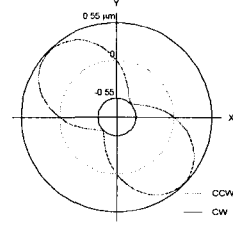
Y backlash difference



servo lag error



vibration and Y backlash



squareness error

Fig. 5 Error sources diagnosed (R=10mm, F=2000mm/min).

Fig. 6 은 반경감소량과 가속도와의 관계를 보여준다. 이 그림에 나타난 것처럼 반경감소량 결과가 반경에 무관하게 가속도에만 의존하는 경향을 보인다. 따라서 반경감소량은 가속도에 거의 비례한다는 것을 알 수 있다.

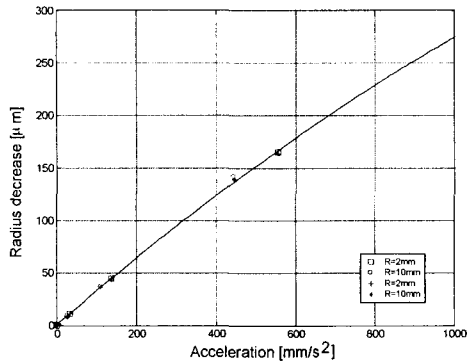


Fig. 6 Radius decrease vs acceleration.

4. 결론

공작기계의 윤곽성능을 테스트하는 방법으로 원 테스트를 다양한 이송속도와 반경에 대하여 수행하였다. 그리고 여러 가지 오차 성분을 수식화하여 실험결과에 대해 가장 근접한 오차 성분을 구하였다. 본 연구에서 구한 오차 성분은 실제 공작물의 윤곽오차를 예측하는데 이용될 수 있다.

그리고 이송속도가 커짐에 따라 궤적의 반경이 줄어들고, 이 반경감소량은 가속도에 거의 비례한 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초(과제번호: R01-2002-000-00419-0)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. W. Knapp, "Test of the three-dimensional uncertainty of machine tools and measuring machines and its relation to the machine errors," Annals CIRP, 32(1), pp. 459-464, 1983.
2. Y. Kakino, Y. Ihara and Y. Nakatsu, "The measurement of motion error of NC machine tools and diagnosis of their origin by using telescoping magnetic ball bar method," Annals CIRP, 36, pp. 377-380, 1987.
3. W. Knapp, "Accuracy of length measurement and positioning: statistical measurement and contouring mode," Annals CIRP, 37(1), pp. 511-514, 1988.
4. H. D. Kwon and M. Burdekin, "Measurement and diagnostics of machine tool errors during circular contouring motions," Proc Instn Mech Engrs, Vol 212 Part B, pp. 343-356, 1998.

5. 이용석, 지성철 "고속의 비선형 윤곽가공을 위한 적응 교차축 연동제어," 한국정밀공학회지, 11 Vol.17, No.11, pp. 108-114, 2000.
6. 이진복, "다축 시스템의 디지털 윤곽제어," 전기학회논문지, Vol. 47, No 5, pp. 623-630, 1998.
7. 나일주, 최종호, 장태정, 최병갑, 송오석, "머시닝센터를 위한 윤곽오차 분석 및 PID 제어기 설계," 제어.자동화.시스템공학논문지, 02, Vol. 3, No.1, pp. 32-39, 1997.
8. 주정홍, 이현철, 이연정, 전기준, "CNC 공작 기계의 상호 결합 제어를 위한 새로운 윤곽 오차 모델링 방법," 제어.자동화.시스템공학논문지, Vol. 3, No. 4, pp. 389-397, 1997
9. Y. Kakino, Y. Ihara and A. Shinohara, Accuracy inspection of NC machine tools by double ball bar method, Hanser Publishers, 1993.