한국공작기계학회 2000년도 춘계학술대회 논문집 pp.624~628

원호보간정도 향상에 관한 연구

Research into Improvement of Circular-interpolation Accuracy

김태원*, 이재윤*, 하재용*, 이창호*, 권재우**
(대우중공업 공기 FA 사업본부 *연구개발실, **품질서비스팀)

Abstract

The performance of machine tools is qualified by many test procedures given by the national/international standards or respected organisations. Among them, test regarding circular-interpolation accuracy is getting to be one of the important acceptance tests at the production level. Machine tool systems are composed of many mechanical and electronical sub-systems so that it is not easy to improve dynamic performance by examining only one particular part.

Instead, overall systematic approach encompassing all the contributing elements is necessary to achieve good results. In this study, measures taken in circular accuracy improvements will be explained case by case.

1. 서론

공작기계의 성능평가는 과거 주로 정적인 시험방법에 많이 의존하여 왔다. 즉, 위치결정정도, 반복 정밀도, 진직도, 직각도 등 주로 기계 구조물의 기하학적인 위치오차에 초점이 맞추어 졌었다. 정적이라는 의미는 항상 측정싯점이 각 축들이 정지해 있는 순간이라는 것이다. NC 공작기계를 사용하는 업계의 가공정도 요구수준이 점차 높아지면서 현재는 동적정도의 중요성이 점차 높아지고 있는 추세이며 이것은 윤곽가공정도에 대한 기대욕구가 커지고 있다는 것이다.

이러한 윤곽가공정도를 표시하는 가장 간단한 방법으로 원호보간 정도 측정법이 있으며 현재 10μm 를 그 최대 허용값으로 생각하고 있으며 2 내지 3μm 이내를 달성하는 가공기도 출시되고 있는 실정이다. 이러한 사용자들의 요구수준을 양산수준에서 충족시키기 위하여 대우중공업에서는 주로 Ball bar 를 사용하여 원호보간정도에 악영향을 미치고 있는 인자들을 찾아내어 개선작업을 해 왔으며 특수한 가공기의 경우 Grid encoder 를 사용하여 성능 향상에 주력하여 왔다.

2. 윤곽 가공정도의 중요성

윤곽가공정도는 2 차원 가공과 3 차원 가공으로 나누어 생각 할 수 있는데, 큰 차이점은 3 차원 윤곽가공의 경우 NC 제어기의 성능이 큰 영향을 미친다는 사실이다. 단적으로 저성능의 NC 제어기로 만족할 만한 2 차원 윤곽가공정도를 달성할 수 있다면, 고성능 제어기를 사용하여 우수한 3 차원 윤곽가공이 가능하다는 것이다. 공작기계의 윤곽가공정도를 정량적으로 표시하는 데 있어 중요한 두가지 요소는 모서리 추종 정도와 원호 보간 정도이다.

모서리 추종정도는 Cornering 시 발생하는, 추종오차에서 기인하는, 모서리 망가짐 현상에 관한 것으로 특히 복잡한 금형을 가공하는 데 있어서 가장 중요한 성능 지표가 되고 있다. 정식으로 규격화 되어 있지는 않지만 주로 모서리부분의 반경으로 수치가 표현되는데 이송 1m/min 에서도 90 도 Cornering 시 수 mm 가 생길 경우도 있으며, 고성능 가공기는 Grid encoder 로 측정시 이송 수 m/min 에서 수십μm 이내가 된다. 이송 수백 mm/min 에서 가공할 경우는 문제시 되지 않으나 현재는 생산성을 고려하여 수 혹은 수십 m/min

에서 가공하는 경우가 대부분이므로 모서리 추종 정도는 그 중요성이 날로 더 해지고 있다. 모서리 추종오차는 현재 Grid encoder 를 사용하여 측정하고 있다.

원호보간정도는 모서리 추종정도와 같은 맥락으로 파악할 수 있는데 모서리 추종정도는 원호보간 반경이 매우 작은 경우가 되기 때문이다. 대우중공업에서는 보통 100mm 반경 기준으로 Ball bar 를 사용하여 모든 기계를 대상으로 측정을 행하고 있는데 실제 구멍가공의 경우에도 엔드밀로 원호보간을 사용하는 업체가 많으므로 작은 직경의 원호보간정도 검사는 특별히 Grid encoder 를 사용하고 있다.

이러한 윤곽가공정도는 일차원 가공이 대부분이며 급속이송이 잦은 Transfer line 용 Machining Centre 의 경우는 그 중요성이 덜하지만 직선보간(G01), 원호보간(G02/03) 등이 많이 사용되는 고속 정밀가공 분야에서는 가공기의 성능을 결정짓는다. 왜냐하면 고속 가공이송에서도 저속과 같은 윤곽가공정도를 가지고 있으면 바로 그 가공기는 높은 생산성을 달성할 수 있는 Hardware 가 되기 때문이다.

3. 원호보간 정도에 악영향을 미치는 인자

Ball bar 매뉴얼이나 기타 참고 논문 등에서는 일반적인 원호 정도 이상현상에 대한 설명은 찾아볼 수 있었으나 실제 기계를 검사하면서는 매우 복잡한 측정데이타가 나타나는 것이 현실이어서 당사 나름대로 그 이상현상에 대한 원인을 밝혀 대처해 왔는데 그 유형을 아래와 같이 정리해 본다. 먼저 기계적인 오차요인을 살펴보면 기하학적인 오차보다는 비정상적인 끼임과 간섭 그리고 습동면의 틈새 등도 이미 설정된 Servo parameter 를 변경시켜야될 필요성까지 발생시킬 수 있을 정도로 이송환경을 좌우하게 되는 것이 특이했다.

Backlash (Fig. 1): Backlash 는 원호보간 이송의 정밀도에 가장 큰 영향을 미치는 기계적 Factor 로 작용한다. 주로 Box type guide way 를 채용하고 있는 가공기에서 높은 수치를 나타내고 있지만, Linear motion guide 방식의 가공기에서도 Chip cover 의 조립품질과 연관되어 민감한 인자로 표현되고 있다. Backlash 발생량이 지나치게 많은 경우 (경험치로 대략 22 ㎛ 초과) 습동면의 틈새와 Turcite 접촉면 Scraping 상태를 재확인하여 필요시 수정작업을 하고 있다.

직각도 (Fig. 2): 두 축간 직각도, 특히 *XY* 직각도는 범용 가공에서 금형가공에 이르기까지 매우 중요한 정적정밀도이다. Ball bar 시험에서는 단위길이당 발생하는 직각도 오차의 10%가 진원도 오차로 포함되어진다. 직각도 오차는 Ball bar 시험 결과 45 도 또는 135 도 방향으로 진원 궤적이 기울어지는 양상으로 나타난다.

진직도(Fig. 3): 진직도는 첫째 Guide way 의 상태에 따라 좌우된다. 그림에서 나타난 전형적인 진직도 오차의 형태는 삼각형에 가까운 Profile 로 나타난다. 진직도 조정은 조립공정의 기초에서 출발하므로 조립시 문제가 되는 경우는 아직 발생하지 않았으나, 고객이 사용 도중, 특히 Linear motion guide 를 채택한 장비에서 이상충돌 또는 장기사용으로 인해 Alignment 에 심각한 영향이 가해졌을 때 그림과 같은 오차가 나타나게 된다.

Scale mismatch (Fig. 4): Semi-closed loop control 을 사용하는 가공기의 경우인데, 그림을 보면 *X* 방향 타원형태 Profile 을 형성하였는데, Ball screw 의 Tension 과 Bearing 의 예압조정 등의 근본적 사항 또는 단순히 Pitch error 보정시의 Time gap 을 원인으로 그림과 같은 Scale mismatch 오차가 진원도에 악영향을 끼치게 된다. 조립공정 중에는 보정상의 단순 실수로 판명된 사례가 대부분이었으며, 재보정 조치로 오차의 근원이 쉽게 제거되어 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

Pitch error (Fig. 5): 그림을 보면 특정구간에서의 Picth Error 보정치 계산/입력 오류로 인해 Profile 중간에서 돌출되는 구간이 발생하는 것을 보여 준다. 원호 상 약 300 도 부근에 나타난 사각 돌출부는 그 구간의 Pitch Error 보정치를 추적하여 감소시킨 결과 사라지는 현상을 보였다. 이 돌출부의 크기가 2 ㎛ 을 초과하는 경우에는 반드시 보정치를 조정하여야 할 것으로 판단된다.

각종 간섭 (Fig. 6, 7): 이번 그림들은 Chip cover 간섭에 의해 발생하는 오차를 보여 준다. 각각 *X* 및 Y 축 이송방향의 전환이 이루어지는 지점이 궤적 내부로 파먹는 현상이 나타났다. 자세히 살펴보면 Cover 의 끼임으로 인해 지령된 위치까지 이송하지 못하는 것으로 보인다.

Stick slip (Fig. 8): Stick slip 은 거의 마찰이라는 원인에 그 뿌리를 두고 있으며 이송방향 전환시 특히 낮은 이송속도 조건에서 주요인으로 작용하게 된다. 이러한 현상은 가공면의 표면조도에 직결되어 Stick 과 Slip 이 반복되는 횟수만큼 Cutter mark 를 남기게 되므로 반드시 제거되어야 할 것으로 판단된다.

Ball screw misalignment (Fig. 9): 원호보간시 일정한 Pitch 를 가지는 Wave 형상이 나타나는 Cyclic error 가 부각된 예이다. 이처럼 정회전/역회전 이송에서 동일한 Wave 가 전원에 걸쳐 나타나는 경우는 Ball screw 정렬에 문제가 있는 것이다. 만일, 정회전 이송시에는 왼쪽 반원, 역회전 이송시에는 오른쪽 반원에서만 위와 같은 파형이 발생한다면 Ball screw 가 아닌 수직축 Counter balance 기구에 의한 오차로 판명되어질 수 있다.

Lateral play (Fig. 10): *X* 축 Coupling 쥠새의 이완이 문제시된 예이다. 이처럼 이송계의 구성요소 중 어느 하나가 풀려 있거나 주어진 쥠새역할을 다하지 못하는 경우 위와 같은 Lateral play 가 발생하는 것으로 판단된다. 이는 또한 Ball bar 측정기 자체의 고장과 Setting 실수로 인해 발생할 수도 있으므로 측정자의 세밀한 주의가 요구된다.

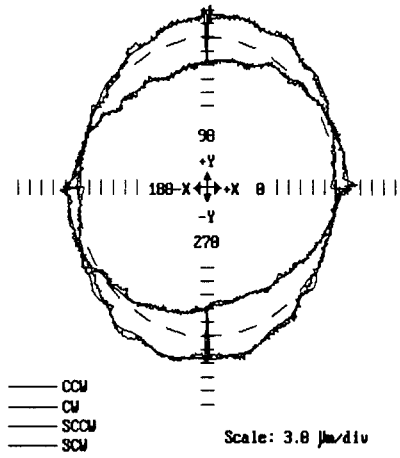
Servo Errors (Fig. 11,12): 지금까지 언급된 많은 오차요인들은 복잡한 상호작용으로 또 한가지의 인자를 만들어 내게 된다. 즉, 기설정된 표준 Servo parameter 환경과의 부조화, Servo mismatch error 가 그것이다. 아무리 Servo tuning 으로 대부분의 Servo system 에 기인한 Error factor 들을 제거하였다 하더라도 장비의 조립상태가 설정된 Gain 값들을 이겨내지 못하고 발진현상을 나타내기도 하며, Servo rigidity 를 더 향상시켜 주어야 하는 경우도 발생하는 것을 경험으로 체득하게 되었다. 이와 같이 Servo mismatch error 의 양상은 첫째 Servo 계 강성을 더 높여 Reversal spike 를 더 제거해야하는 경우와, 둘째 Servo loop gain 불일치로 인한 정회전/역회전 이송간의 궤적불일치를 줄여나가야 하는 두가지로 크게 나눌 수 있다.

4. 결론

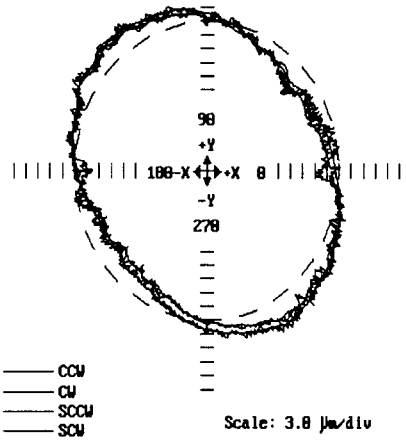
원호보간 정도의 향상을 위해서는 먼저 원호보간정도를 해치는 요인들을 상기와 같이 밝혀내고 각 요인들의 기여도에 따라 중요성을 배분하여 전반적인 System 의 정도를 높여나가는 방향으로 작업을 하여 과거 보다 평균 30%이상의 원호보간정도 향상을 양산환경에서 이룩하였다.

기타 서보제어부가 큰 영향을 끼침을 인지하여 자체 NC 개발에 노력하면 더 좋은 원호보간정도를 얻을수 있는데 이것은 서보제어부에서 본다면 부하조건에 강인한 제어계를 자체적으로 제작 할 경우 더욱 손쉽게 얻을 수 있기 때문이다. 이 경우 특별한 작업 없이도 쉽게 목표로 하는 정도를 고속에서 얻을 수 있음을 실험실 수준에서 증명하였다.

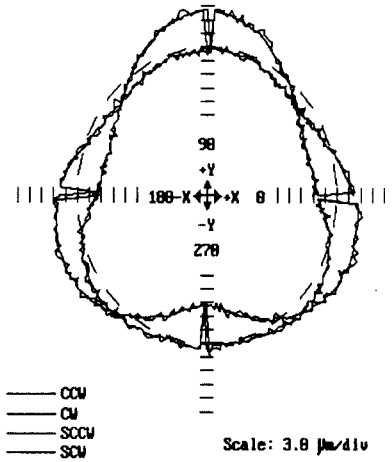
Appendix



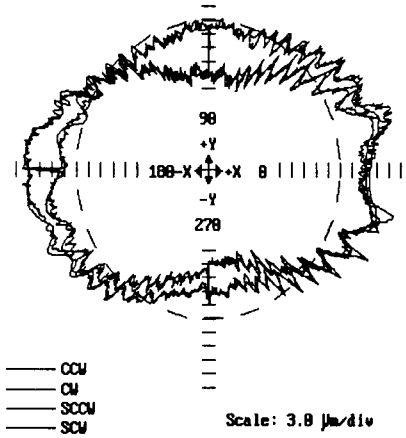
<Fig. 1> Backlash



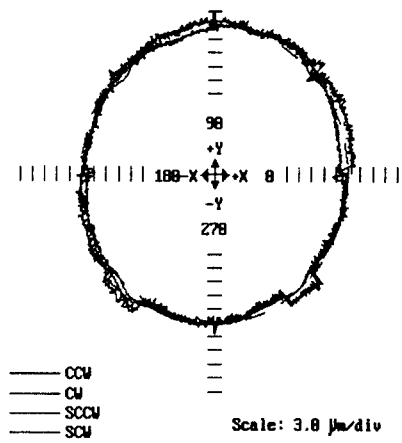
<Fig. 2> Squareness



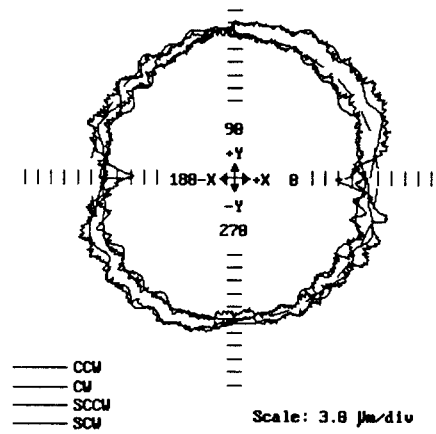
<Fig. 3> Straightness



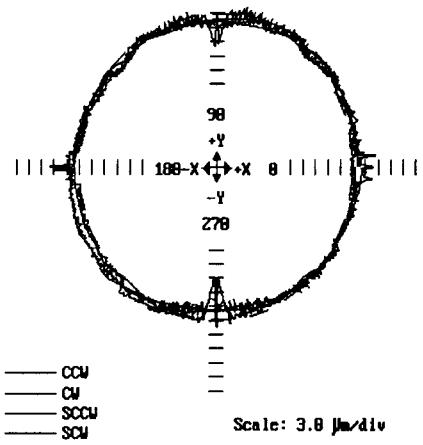
<Fig. 4> Scale mismatch



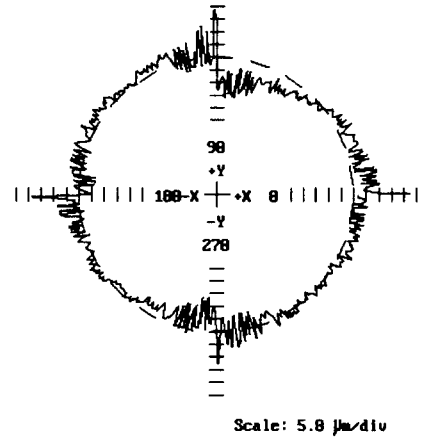
<Fig. 5> Pitch Error



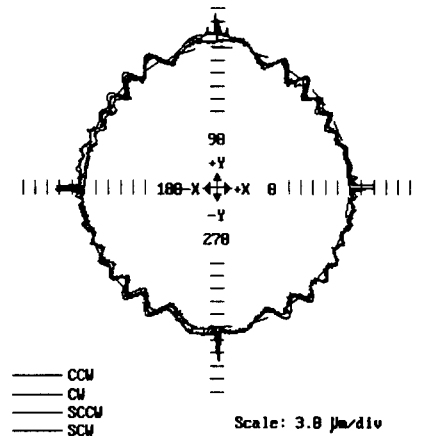
<Fig. 6> Chip cover interference



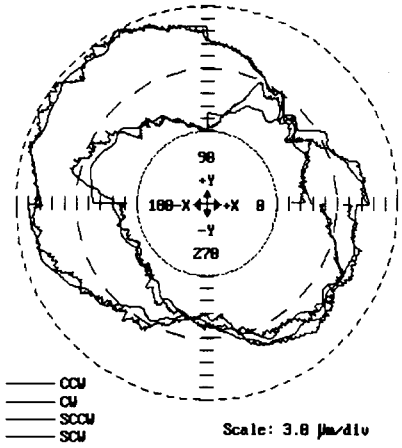
<Fig. 7> Chip cover interference



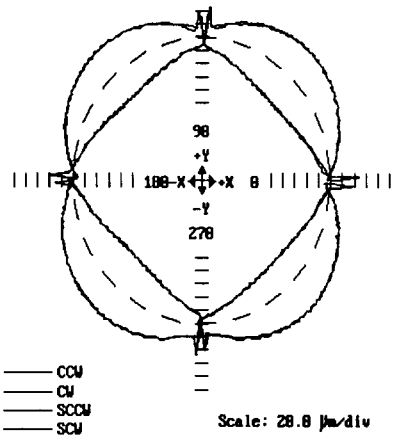
<Fig. 8> Stick slip



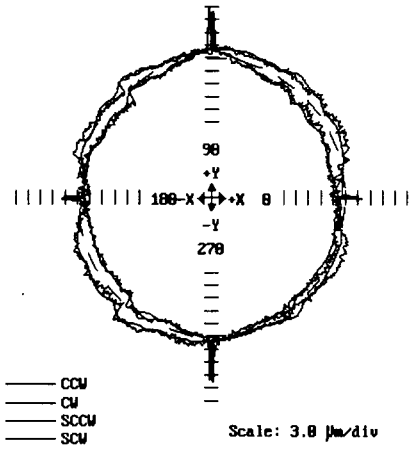
<Fig. 9> Ball screw misalignment



<Fig. 10> Lateral play



<Fig. 11> Intensive servo error



<Fig. 12> Small servo errors