

오축가공기의 동기제어 성능평가

Performance Evaluation of Synchronous Control of 5-Axis Machines

*#김태원, 하재용, 김태형

*#Taeweon Gim(taeweon.gim@doosan.com), Jae Yong Ha, Tae Hyung Kim
두산인프라코어(주)

Key words : Five-axis machine tools, Synchronous control, Rotary table

1. 서론

가공 품질의 향상과 가공시간 단축, 그리고 공정집약을 통한 생산성 향상을 목적으로 5 축 가공기가 산업계에 많이 활용되고 있다. 한번의 공작물 셋업으로 복잡한 형상의 다공정 가공이 가능하여 재공품의 대기시간 및 재고 감소로 가공 리드타임 단축이 가능하다. 또한, 공구장성 증대 효과에 의한 가공품질 향상이 기대되는데, 공구 길이의 단축에 따른 강성증대로 인한 진동저감효과 및 공구 끝 절삭 속도의 일정한 유지를 통한 가공면 품질 향상에 의한다. 회전 이송축을 이용하면 가공시간 단축도 피할 수 있으며, 각도조정에 의해 공구와 공작물의 접근각을 제어하는 등의 최적 공구 경로 선정이 용이하기 때문이다.

가공 품질 개선과 생산성 향상이 기대되는 5 축 가공기는 직선축과 회전축의 조합으로 인한 구조적인 복잡성과 상대적으로 취약한 회전축 때문에 직선축과 회전축이 동기 제어되어 가공이 이루어지는 경우 상호간 서보 지연에 의한 공작물의 형상편차가 나타나며 이를 측정 평가할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

2.5 축기 동기제어 성능 영향

5 축기의 대표적인 예로 그림 1 과 같은 테이블 틸팅형을 들 수 있다. 기존 3 축 머시닝 센터에 2 축 복합 회전테이블을 장착한 형태이다. 5 축기의 경우 기하학적 정확도 및 서보 튜닝에 대한 성능을 평가하고 품질을 관리할 수 있는 새로운 시험 방법이 필요하며 일반적으로 3 축 머시닝 센터보다 엄격한 허용치로 관리될 필요성이 있다.

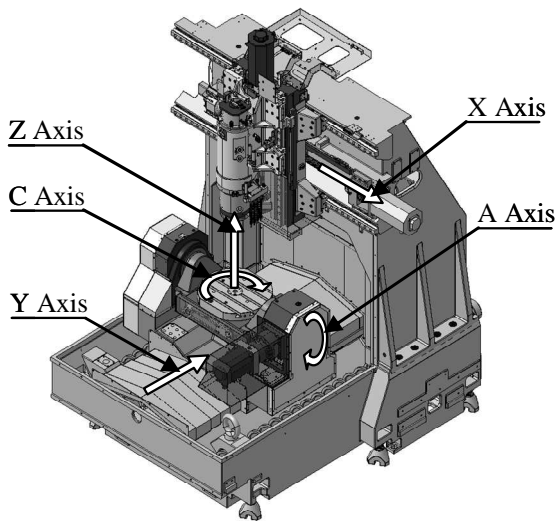


Fig. 1 Table tilting-type 5-axis machine tool

터빈 블레이드와 같은 복잡한 형태의 공작물을 가공할 경우 회전이송축과 직선이송축은 정확히 동기되어 제어되지 못하면 그림 2 의 날개부분의 형상에 편차가 발생하게 되며 특히 끝날 부분의 형상이 뭉그러지는 현상이 발생하게 된다. 끝날 부분 가공시에는 회전이송축에 급격한 가속속이 발생하게 되고 직선이송축과 동기제어 편차가 발생하

게 되어 가공품질이 악화되게 된다. 그러므로, 5 축기와 같은 다축 공작기계에서는 동기제어 정확도가 중요한 성능평가 인자가 되며 특히 문제시되는 부분은 직선축과 회전축간의 동기제어 정확도이다.

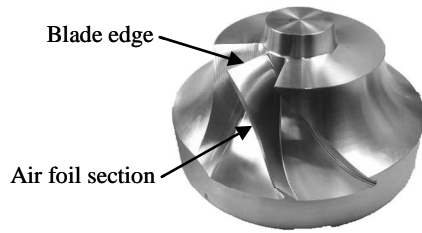


Fig. 2 Turbine blade

회전이송축의 응답특성은 일반적으로 직선축에 비하여 좋지 않다. 그림 3 과 같은 응답특성이 나타나는 것은 대부분의 회전이송축이 워밍업 등의 큰 감속이 발생하는 메커니즘을 채용하고 있기 때문이다. 날개 형상 가공의 경우는 회전이송축에 급격한 가속속이 발생하기 때문에 형상오차를 최소화하기 위하여 용이하게 측정, 평가할 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

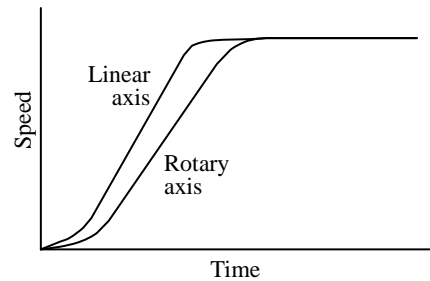


Fig. 3 Slow response of rotary axis

3. 볼바를 이용한 동기제어 정확도 측정

직선축과 회전축간의 동기제어 운동정확도 시험을 볼바를 사용하여 측정할 경우에 대한 셋업조건이 그림 4 에 표시되어 있다. 길이 100mm 의 볼바를 C 축 중심에서 90mm 떨어진 지점에 설치하고(그림에서 XT), C 축 과 X 축 만을 사용하여 볼바의 주축축 볼이 테이블축 볼을 중심으로 반경 100mm(그림에서 r)의 원호보간 운동을 시킨다. 그림의 경우는 XC 동기제어이지만 동일하게 YC 동기제어에도 적용 가능하다. 이와 같은 궤적의 운동은 5 축 가공기 뿐만 아니라 터닝 센터의 C 축(주축)과 X 축을 동기시켜 주축 중심에서 편심된 원통형 공작물을 가공할 경우에도 많이 사용되므로, 동일한 방법을 터닝 센터에도 적용 가능하다.

볼바를 이용하여 직선축과 회전축의 동기제어 정확도 시험을 할 경우 주의해야 할 점은 주축축의 볼의 중심과 C 축 회전중심을 일치시켜 중심 불일치에 의한 오차가 발생하지 않도록 해야한다는 것이다. 주축축의 볼 중심은 공구 홀더를 사용하여 주축에 장착시 회전각도에 따라서도 오차를 발생시키므로 스핀들 오리엔테이션 위치에서 중심잡기

를 하고 또한 모든 측정이 이에 대한 공작물 좌표계에서 이루어져야 그림 5 와 같은 이상 궤적이 발생하지 않게 된다.

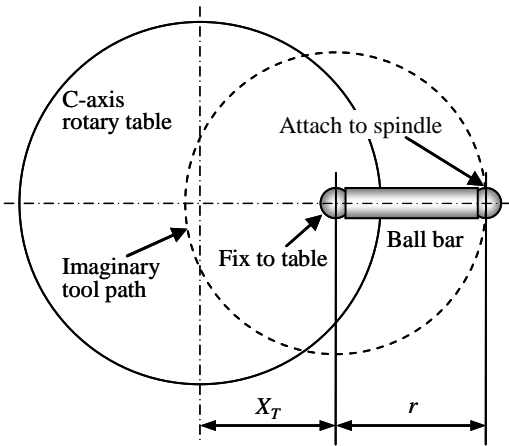


Fig. 4 Tool path around C-axis table

정확한 기하학적 정확도를 위해서는 그림 5 의 회전테이블 중심선, 주축 중심선, 볼 중심 선부가 일치해야 하나, XC 동시보간 측정의 정확도만 본다면, 회전테이블 중심과 볼의 중심을 일치시켜 불일치에 따른 궤적상의 오차를 제거하는 것 만으로도 충분하다. 한편, 실제 가공시에는 세가지 중심을 맞추어야 공작물에 원형도 편차가 발생하지 않게 되며, 특히 공구중심점 제어를 사용하는 5 축기에 있어서는 매우 중요한 준비작업이다.

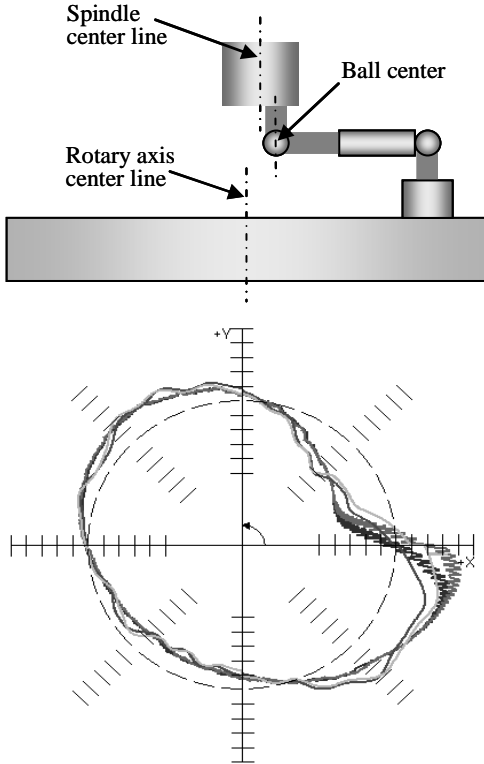


Fig. 5 Center alignment and trajectory deviation due to misalignment

XC 보간에 의한 원호궤적의 생성시 테이블측 볼에 대한 주축측 볼의 상대적 원주속도를 일정하게 유지하려면 그림 6 과 같이 X 축과 C 축의 이송속도에 급격한 변화를 초래하게 된다. 따라서 C 축과 X 축의 이송속도가 급격하게 변화되는 위치에서 직선축과 회전축의 특성의 차이로 인한

동기오차가 측정결과에 나타나게 된다. 한편 상기 시험은 NC 의 극좌표 보간기능을 사용하여 용이하게 실시할 수 있으며, C 축 중심에서 볼바까지의 설치 거리 XT 에 따라 각 축의 속도 변동량이 영향을 받게 된다.

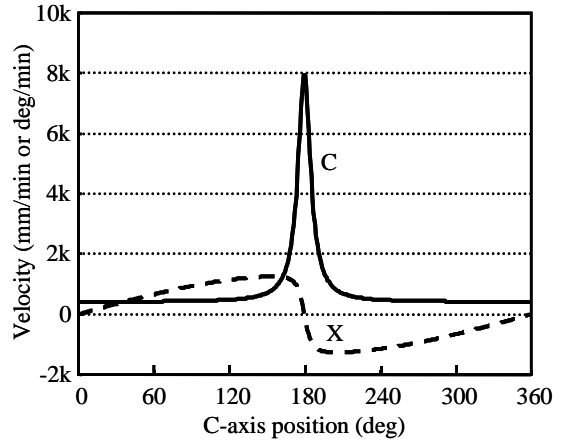


Fig. 6 C- and X-axis velocity profile (feed 1500mm/min)

XC 운동정확도를 측정한 예가 그림 7 이다. 시계방향, 반시계방향 두 궤적을 표시한 것으로 180° 부근에 직선축과 회전축 사이의 동기오차에 의하여 생기는 돌기형태의 궤적이 선명하게 나타나 있는 것을 알 수 있다. 직선축과 C 축과의 서보 게인이 일치하지 않기 때문에 직선축과 회전축의 서보게인을 일치하게 조절할 필요성이 있음을 알 수 있다

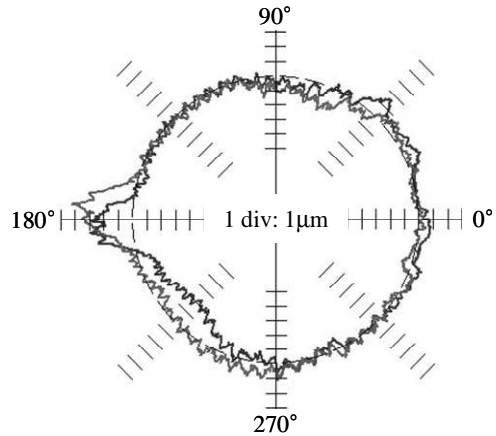


Fig. 7 Measured data at feed 1500mm/min

또한 C 축 구동기어의 피치 오차가 선명하게 나타나 있는 것을 볼 수 있지만 수치상으로 그렇게 큰 정도는 아니다. 전체적인 원호궤적으로 볼 때 완벽한 원형에서 벗어나 있는 것을 볼 수 있는데, 이것은 직선축의 진직도가 영향을 미치는 것으로 보인다. 일반적으로 직선축, 회전축 2 축 동기제어 운동정확도에 대한 허용값은 50µm 이다

4. 결론

5 축 가공기에서 중요한 직선축과 회전축의 동기제어 성능을 평가할 수 있는 시험방법을 살펴보았다. 직선축과 회전축의 동기제어를 이용하여 원호궤적을 발생시킴으로써 볼바를 사용할 수 있게 되었으며, 실제 가공 현장에서 정확도 향상을 위해 사용되고 있는 방법이다. 서보제어 관련 파라미터를 변경하거나 가공속도를 제한하는 것으로 궤적 오차를 줄이는 것이 용이하게 되었다.