

## 초정밀 공구 위치설정 오차의 보정

박순섭\*, 이기용\*, 김형모\*, 이재설\*

# Compensation of Ultra-Precision Tool Position for Alignment Error

Soon-Sub Park\*, Ki-Young Lee\*, Hyoung-Mo Kim\*, Jae-Seol Lee\*

### ABSTRACT

Geometrical error of ultra-precision machining due to spherical tool alignment error is analyzed. Deviation of spherical edge, ranged several ten micrometers, generates vertical and horizontal error of tool path and affects profile accuracy of machined surface. Simulation of machined error shows effect of tool alignment error and enables to estimate alignment error. This work provides technical insights into the minimizing of geometrical error of ultra-precision machining.

**Key Words** : Spherical Tool(구형공구), Ultra-Precision Machining(초정밀가공), Tool Alignment Error(공구설 정 오차)

## 1. 서 론

최근 급속한 IT 산업의 발달과 더불어 이를 뒷받침 할 수 있는 초소형 광학 부품과 초정밀 제조 기술의 중요성은 날로 증가하고 있다. 기계적 가공을 통한 제품의 형상오차와 표면 조도는 서브 마이크로미터 이상의 정도를 요구하고 있으며, 광학적 성능 역시 극한의 정도를 요구하고 있는 것이다.

이러한 극한 정도의 광학적 부품을 제조하는 기반 기술이 초정밀 가공으로서 나노미터 수준의 운동 정도가 가능한 장비와 숙련된 연구자의 장비운용과 반복적인 실제 가공과정을 통한 경험을 요구한다. 초정밀 가공에 있어서 공구 위치 설정은 가공면상의 공구 이송위치에 오차를 유발하여 결과적으로 가공

면의 오차에 영향을 미치게 된다. 특히 가공면의 형상조도가 150nm 이하의 고품질면 경면이 요구되는 초정밀 가공에서는 설정오차에 대한 분석이 필요하고, 체계적인 설정방법의 고안과 오차의 분석을 통한 설정오차 조정의 피드백 과정이 가능하게 된다.

## 2. 공구설정오차

일반적인 초정밀 가공기는 Fig. 1과 같이 3축제어 가 가능하고 공구의 선택에 따라 연삭과 절삭가공을 병행할 수 있다. 연삭의 경우 휠과 공작물의 상대위치에 따라 수평축 연삭(Parallel grinding), 수직축 연삭(Cross grinding), 경사축 연삭(slanted axis grinding) 등으로 분류되나 기하학적으로 볼 때 구형의 공구 궤적 이 공작물을 가공한다는 점에서 공통점을 갖는다.<sup>[1-2]</sup>

\* 한국생산기술연구원

초정밀 절삭 가공의 경우에도 Straight nosed 다이아몬드공구<sup>[3]</sup> 등의 특수한 경우를 제외하면 일반적으로 일정한 공구 반경을 갖는 일종의 구형(원형)공구를 사용하게 된다.

이러한 가공조건에서 공구의 선단(Nose edge)을 공작물의 중심과 일치에 일치 시키는 과정을 공구의 설정(Tool alignment)이라 하는데 초정밀 가공의 가장 기본적인 준비과정이 된다. 특히 NC 코드의 생성을 통한 공구 경로(Tool path)는 기본적으로 공구 선단이 공작물 중심과 일치 한다는 가정아래 계산되기 때문에 소프트웨어적인 보정가공을 통한 형상오차의 최소화는 근본적인 설정오차의 제거보다는 공구 형상오차 및 마모 오차의 보정을 목적으로 한다.

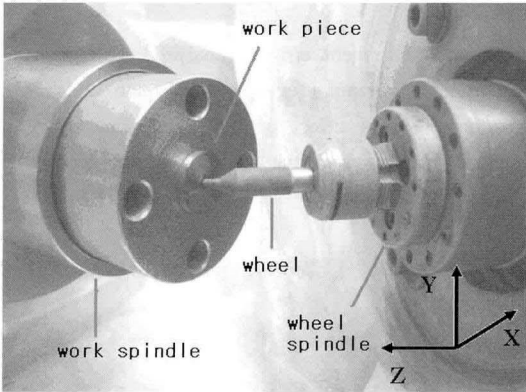


Fig. 1 Ultra precision grinding machine

공구의 설정오차는 Fig. 2와 같이 이상적인 공구 선단 위치 O와 실제 설정 위치 O'의 차이로 정의 할 수 있는데 이로 인해 이상적인 공구 경로는 OA 인데 반해 실제적인 공구 이송경로는 O' A'이 된다. 이는 수평방향 설정오차(Y축 방향)와 수직방향 설정오차(X축 방향)오차로 접근할 수 있다.<sup>[4]</sup>

이는 공작물상에 축 대칭형 곡면을 생성하는 Fig. 3과 같은 가공에 있어서  $\Delta x$ 와  $\Delta y$ 로 표현 된다.

공구위치결정 오차가 발생한 경우에는 이상적인 공구경로를 지나지 않고 오차발생량 만큼의 궤적을 그리게 된다. 이러한 이유로 실제 가공면의 형상은 오차가 그대로 전사되게 된다. 따라서 위치결정에 의한 오차에 의한 형상은 공구의 de-center에 따른 방향

에 따른 형상오차가 생기며 이로 인한 형상은 측정 프로파일 형태에 의해 구분을 할 수 있다. Fig. 4와

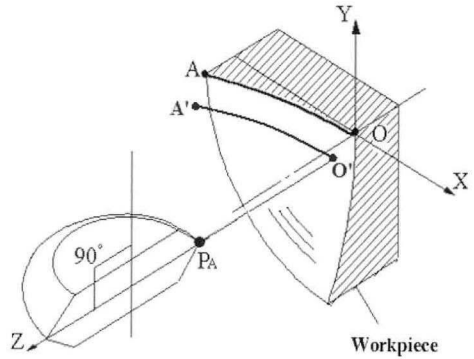


Fig. 2 Tool edge alignment error

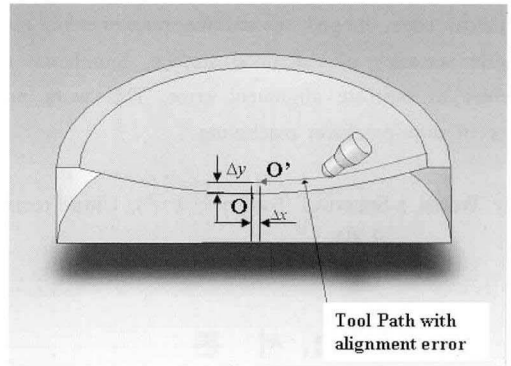


Fig. 3 Tool path with alignment error

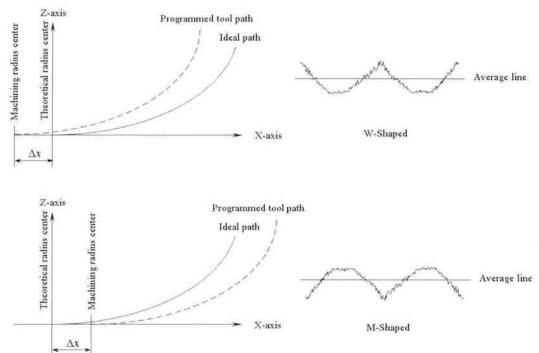


Fig. 4 Measured profile due to different types of position error(Concave)

Fig. 5는 위치오차에 따른 형상오차의 측정 프로파일 형태이다. 따라서 측정 프로파일의 각각의 형상의 의한 공구의 de-center 방향을 알 수 있으며 그 방향량을 보정하여 설계 비구면과 가까운 면을 가공할 수 있다.

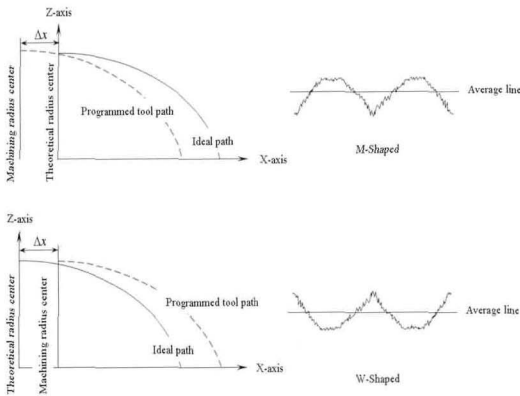


Fig. 5 Measured profile due to different types of position error(Convex)

각각의 경우 공작물의 형상(오목/볼록) 조건에 따라 가공물의 형상 오차는 M자 형태와 W형태를 띠게 된다.

### 2.1 수평방향의 공구 설정오차

Fig. 6의 공구의 경로 단면에서는 수평방향 공구 설정오차의 영향은 공작물 외경방향에서 중심방향으로 이동되는 공구의 초기 위치 (설정위치)가 X축 방향으로 공작물중심과 불일치 할 때 발생한다.

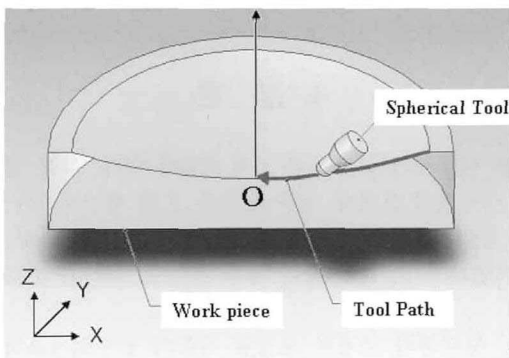


Fig. 6 Ideal tool path

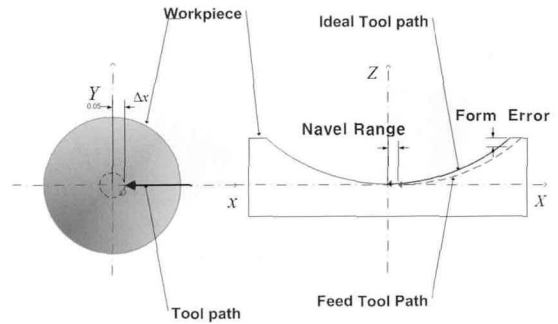


Fig. 7 Horizontal alignment error

이는 Fig. 7과 같이 가공면의 형상오차를 유발하는데 오차는 크게 두 가지 면으로 분석할 수 있다.

첫째로 공작물 전 구간에 발생하는 형상오차(Form error)로 이상적인 가공면과 실제적인 가공면의 형상 차이이다. 소형 및 광학용 렌즈 금형용 코어 등의 가공의 경우 이러한 형상오차는 많은 경우 실제 금형용 품질 저하의 주된 원인이 된다.

두 번째로 공작물 중심부의 배꼽(Navel)형상이다. 이는 공작물 중심부의 경우 공구의 설정 오차에 의한 미가공 영역이 존재하여 일반적으로 원추 형태의 오차 형상으로 나타나게 된다.

### 2.2 수직방향의 공구 설정오차

수직 방향 오차는 공구의 위치가 이상적인 가공 경로 보다 수직방향으로 높거나 낮은 경우에 발생하게 되는데 일반적으로 공작물이 회전을 통해 대칭형 가공이 이루어지는 초정밀 가공의 경우에는 수직방향의 오차는 수평 방향의 오차와 동일한 효과를 유발한다. Fig. 7에서와 같이 수직 방향 설정오차  $\Delta y$ 는 결과적으로 수직방향 설정오차에 의한 수평방향 설정오차  $\Delta x_y$ 로 표현 될 수 있다. 수직 방향 오차 역시 가공면에 수평방향 오차와 유사한 오차를 유발하게 된다. 즉 Fig. 8과 동일하게 가공면상에  $\Delta x_y$ 에 의한 형상오차를 발생시키고, 가공물 중심부에서 배꼽형상을 유발 시키는데 경우에 따라서는 배꼽의 형상이 원통형태가 되기도 하는데 이는 절삭의 경우 공구의 위치가 공구 선단 중심보다 낮은 경우이고 높을 경우는 원추형태의 배꼽을 이루나 수평방향 설정오차의 경우보다 크게 발생하게 된다.

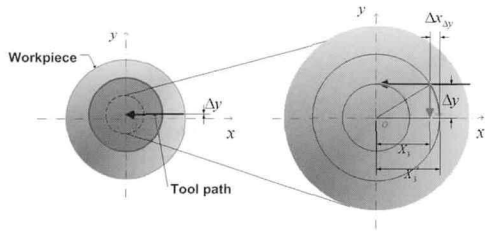


Fig. 8 Vertical alignment error

### 3. 오차 시뮬레이션 및 공구위치 보정

공구설정 오차의 영향은 공작물의 반경과 곡면의 곡률의 영향을 받게 되므로 공작물의 설계 데이터에 따라 다르게 나타나게 된다. 즉 곡률반경이 작고 공작물의 반경이 클수록 공구설정오차의 영향이 크게 나타나게 된다. 본 연구에서는 메가 픽셀급 폰카메라 렌즈용의 금형가공의 경우를 통해 설정오차에 따른 형상오차를 계산하였다.

#### 3.1 공구설정오차의 계산

공구의 설정오차 시뮬레이션은 Fig. 9에서 수직방향(Y축 방향) 설정오차에 대하여, Fig. 10에서 수평방향(X축 방향) 설정오차에 대해서 수행되었다.

수직방향 설정오차는 10~50 $\mu\text{m}$ 에 대해서 수행되었고 그림에서와 같이 50 $\mu\text{m}$ 에 대하여 전 구간에서 1.5 $\mu\text{m}$ 이하의 비교적 작은 값을 보임을 확인할 수 있다. 그러나 절삭의 경우 바이트의 형상 특성으로 인해 가공중심부에서 배꼽이 뚜렷하게 발생하게 된다.

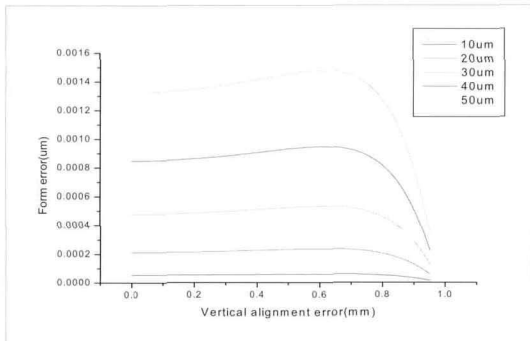


Fig. 9 Simulation of Vertical alignment error (Tool radius R=0.8mm)

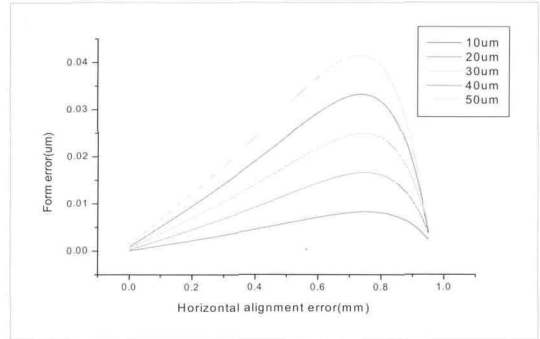


Fig. 10 Simulation of Horizontal alignment error (Tool radius R=0.8mm)

수평방향 설정오차의 경우 Fig. 10에서와 같이 50 $\mu\text{m}$ 의 경우 40 $\mu\text{m}$  이상의 형상오차를 보이는데 수직방향 설정오차에 비해 크게 나타남을 확인할 수 있다. 실제 가공과정에서는 공구 반경과 반경방향오차의 영향이 복합적으로 나타나게 되어 두 요인을 정확히 구분하기 어렵다. 연삭의 경우 핀 게이지를 이용한 휠 접촉법으로 1 $\mu\text{m}$  정도의 설정이 가능하나 바이트의 경우에 마이크로스코프를 이용한 방법이나 테스트 절삭에 의해 보정하는 방법이 이용되고 있다.

이상의 시뮬레이션을 통해 공구 설정에 의한 수직, 수평 방향 오차를 계산하였다. 연삭의 경우 수평방향의 오차는 보정이 비교적 간단하나 수직방향의 오차는 보정이 어려운 경우가 많고, 비교적 적은 양이지만 가공면의 품질에 영향을 주는 경우가 많다. 바이트의 경우는 새로운 설정 보정방법 등이 제안되고 있으나 일반적인 경우 가공면의 형상을 확인하여 보정을 수행한다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 초정밀 가공에서의 연삭, 절삭 공구의 설정위치 오차에 대한 고찰을 통해 형상오차에 대한 시뮬레이션을 수직 수평방향에 대해 수행하고 분석하였다. 이상의 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

1. 공구축이 고정된 초정밀 가공의 공구설정오차는 수직(X축 방향), 수평(Y축 방향) 방향으로 존재한다.

2. 수직방향 오차는 수평방향에 비해 형상오차에 영향이 작지만 보정이 어려워 형상오차에 주요한 오차 요인으로 작용하기도 한다.

3. 수평방향 오차는 형상오차에 영향이 크고, 배꼽의 발생의 주요한 요인으로 작용한다.

## 참고문헌

1. X. Sun, D. J. Stephenson, O. Ohnishi and A. Baldwin, "An investigation into parallel and cross grinding of BK7 glass", Precision Engineering, Volume 30, Issue 2, Pages 145-153, 2006
2. 박순섭, 이기용, 김형모, 황연, "초정밀 연삭 방법에 관한 연구", 대한공작기계학회 춘계학술대회 논문집, 2006
3. Jiwang Yan, Katsuo Syoji, Tsunemoto Kuriyagawa and Hirofumi Suzuki, "Ductile regime turning at large tool feed", Journal of Materials Processing Technology, Volume 121, Issues 2-3, Pages 363-372, 2002
4. Yeon Hwang, T. Kuriyagawa and Sun-Kyu Lee, "Wheel curve generation error of aspheric microgrinding in parallel grinding method", International Journal of Machine Tools and Manufacture, In Press, Corrected Proof, Available online 11 April 2006