

마이크로 패터닝 가공을 위한 공구 정렬에 관한 연구

박순섭^{*#}, 원종호^{**}

Sharp Edge Tool Alignment for Micro Pattern Machining

Soon-Sub Park^{*#}, Jong-Ho Won^{**}

(Received 1 April 2009; received in revised form 27 August 2009; accepted 31 August 2009)

ABSTRACT

This paper presents a geometrical error compensation of tool alignment for sharp edge bite on B axis controlled machine. In precision micro patterning, bite alignment is crucial parameter for machined surface. To decrease bite alignment error, plus tilted bite from B axis center is touched to reference work piece(pin gauge) and checked the deviation from original position. Same process is repeated for maximum touch deviation value. From this touched position value, wheel alignment error in X axis and Z axis can be calculated on B axis center. Experimental results show that this compensation method is efficient to correct sharp edge bite alignment.

Key Words : Sharp Edge Bite(샤프 엣지 바이트), Tool Alignment(공구 설정), Micro Patterning(마이크로 패터닝), Ultra-Precision(초정밀)

기호설명

θ : B축 중심에 대한 이상적인 공구 중심과 실제 공구 중심 사이의 각도 오차

l : B축 중심과 위치 바이트 선단 사이 거리 (설정오차)

X_b : B축 상의 X축

Z_b : B축 상의 Z축

X_e : B축 중심에 대한 X축 방향 공구 설정오차

Z_e : B축 중심에 대한 Z축 방향 공구 설정오차

$\alpha_{initial}$: B축을 초기 위치에 대해 90° 회전(기준점)

α_{max} : $\alpha_{initial}$ 에 대해 D_{max} 일 때의 B축 회전각

$D_{initial}$: $\alpha_{initial}$ 에서의 핀 게이지 위치(기준점)

D_{max} : B축 회전에 의해 측정된 X축 방향 최고점

1. 서 론

기계적 가공에 있어 공구 설정오차는 가공물에 전사되기 때문에 공구의 형상 정도 등 가공면의 품질을 결정하는 중요한 요소가 된다. 기존의 초정밀 가공을 적용한 마이크로 패터닝은 일반적으로

* 한국생산기술연구원 호남권기술지원본부
교신저자 : 한국생산기술연구원 호남권기술지원본부
E-mail : pss4633@kitech.re.kr

** 충남대학교 기계·기계설계·메카트로닉스공학과

서브 마이크론 정밀도의 다이아몬드공구의 초정밀 이송을 통해 가공이 수행된다. 가공중의 공구 마모를 최소화한 이상적인 가공 과정으로 가정할 때 공구와 공작물의 초기 설정 위치는 전체의 가공 공정에서 일정하게 유지되고 결국 초기 공구 설정 오차는 가공물의 가공 오차에 영향을 미치게 된다 [1-2].

보정 가공을 통한 마모나 공구 위치 오차의 보정이 일부 가능하나 기본적으로 공구가 이상적인 위치에 장착 되어 있는 것을 전제로 한 보정이므로 보다 근본적인 접근으로서 공구의 설정 위치 보정의 중요성은 여전히 존재하게 된다 [3].

본 연구에서는 B축 방향의 제어가 가능한 sharp edge bite를 사용하는 공작기계 및 초정밀 가공기에서 공구를 B축 중심에 위치시켜 공구의 X, Z축 방향 오차를 최소화하는 공구 설정오차 보정방법에 대한 기하학적인 접근법을 고안하고 이를 실제 장비에 적용시켜 확인하였다.

2. 공구 설정오차의 기하학적 해석

2.1 가공기의 공구 설정오차

공구 장착 시 축의 자유도만큼의 오차 요인이 발생할 수 있는데, 특히 B축 제어 가공기의 경우 B축 오차는 단순히 B축 오차 제어만으로 보정 되지 않고 Fig. 1에서와 같이 X, Z축 방향으로 공구 설정 위치 보정을 통해 제거해야 한다.

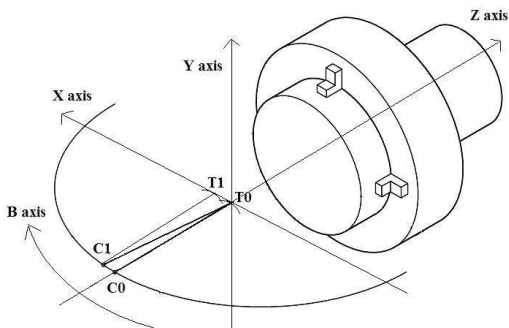


Fig. 1 Schematic diagram of 4 axis machine

즉 이상적인 공구선단의 위치는 B축의 중심인 T_0 이나 실제적인 공구 장착위치는 T_1 이 된다. 또 Fig. 1에서는 X축 방향 설정 오차만이 표현되어 있으나 실제로는 X, Y, Z, B축 방향 오차가 존재 할 수 있으며, 가공 조건에 따라 특정 방향의 오차는 다른 오차들로 등가화 될 수 있다.

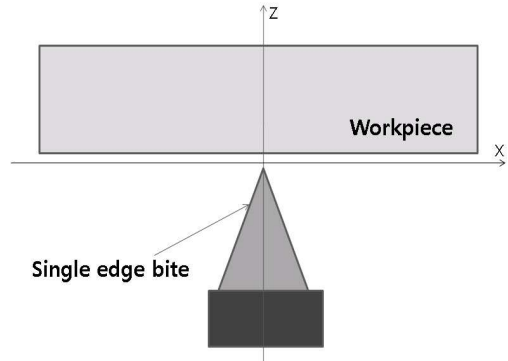


Fig. 2 Schematic drawing of micro patterning

최근 수요가 증가하고 있는 sharp edge bite에 의한 초정밀 가공은 Fig. 2와 같이 선단이 날카로운 모양을 지니고 있어 비교적 큰 공구반경 R을 갖고 있는 바이트에 비하여 마이크로스코프 등을 통한 B축 중심 설정이 용이한 편이다. 그러나 선단이 이론적으로는 single edge이지만 실제 가공 시 초기 설정오차의 영향이 그대로 공작물에 전사되는 특성을 지니고 있다. 이는 Fresnel 렌즈 등 sharp edge 공구를 통한 가공이 필수적인 경우 치명적인 형상오차가 될 수 있다 [4-5].

2.2 B축 회동을 통한 공구 설정 오차의 보정

B축 오차의 측정을 위해서는 우선 두께가 검증된 pin gauge나 일정 지름의 공작물을 Z축 상의 공작물 베이스에 장착한다. 이는 기존의 다이얼계이지만 Mu-checker 등을 통해 편심을 최소화가 가능하면 서브 마이크론 이하로 편심을 최소화해야만 한다. 그 후 육안이나 마이크로스코프 등을 이용해 B축 설정오차를 1차 보정한 sharp edge 공구를 통해 편 게이지와 공구 위치설정 오차의 측정을 수행하게 된다. 수행 시 공구와 편 게이지의 접촉은

사운드 미터를 사용하는 것이 비교적 정확하나 가공면에 발생되는 칩의 생성을 통해서도 확인이 가능하다. Fig. 3은 B축 제어 가공 시 이상적인 공구 (bite)와 공작물 (pin gauge) 설정을 나타낸다. 공작물의 회전 중심인 Z축과 B축의 중심인 Z_b 가 일치하고 공구의 선단은 B축의 회전 중심 X_b 에 위치해 있다.

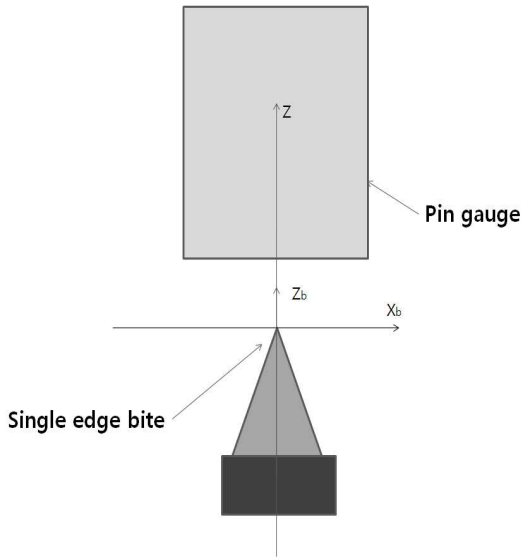


Fig. 3 Ideal bite position on B axis center

실제 sharp edge 공구를 설치하면 Fig. 4와 같이 공작물 중심(Z축)과 공구 중심(X_b, Z_b)이 오차를 포함하여 설정 되게 된다. 여기서 X_e 는 B축 중심에 대한 공구의 X축 방향 오차이고, Z_e 는 Z축 방향 오차이다. 이때의 오차는 B축 중심에 대한 공구선단의 거리 l 과 θ 로 표현 될 수 있다. 식(1)은 각각 l, θ, X_e, Z_e 의 관계를 나타낸다.

$$X_e = l \sin \theta$$

$$Z_e = l \cos \theta$$

(1)

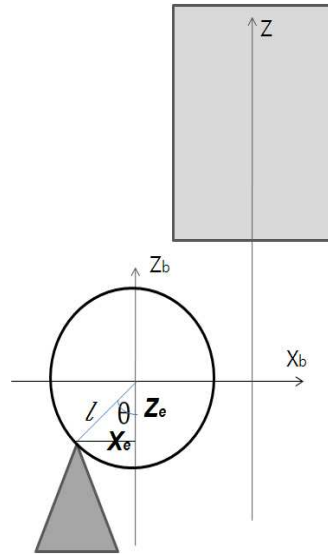


Fig. 4 Geometrical error of bite alignment

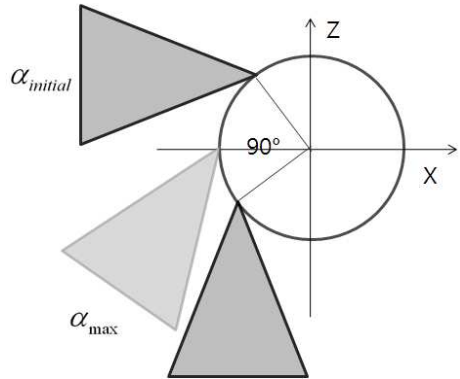


Fig. 5 Deviation Measurement

실제 가공기는 B축 제어가 가능하므로 Fig. 5에 서와 같이 공구를 B축의 음의 방향(혹은 양의 방향)으로 회전시켜 초기에 설정해 놓은 핀 게이지의 옆면에 접촉시켜 이때의 좌표를 구할 수 있다. 이 경우 초기 접촉 시 B축의 회전 각도를 $\alpha_{initial} = 90^\circ$ 로 하여 이때의 핀 게이지 반경에 대한 편차의 기준 점 $D_{initial}$ 이라 한다. $\alpha_{initial}$ 을 중심으로 B축을 미소 변화 시켜 편차 D 의 값을 반복적으로 측정하면 이로부터 D_{max} 을 구할 수 있는데 이는 Fig. 6에서와 같이 표시된다.

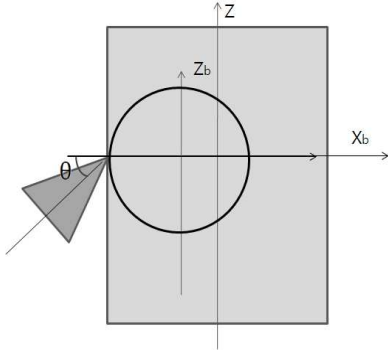


Fig. 6 Deviation maximizing

Fig. 6에서와 같이 측정된 D_{max} 에서의 각도는 식(2)의 관계를 갖게 된다.

$$\alpha_{max} = 90 - \theta [\text{degree}] \quad (2)$$

이로부터 아래의 식(3)의 l 을 구할 수 있다.

$$l = \frac{D_{max}}{1 - \cos \theta} \quad (3)$$

식(2), (3)으로부터 이상의 관계는 Fig. 7과 같이 표현될 수 있으며, 이를 통해 D_{max} 에서의 α_{max} 와 θ 의 관계에 의해 공구 설정에 관한 기하학적 오차를 계산할 수 있다.

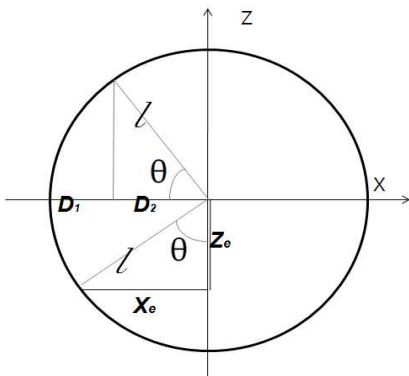


Fig. 7 Geometry of Z axis alignment error

3. 실험적 설정 오차 보정

3.1 B축 제어를 통한 구면 가공

본 연구에선 B축 제어가 가능한 자유 곡면 가공기를 이용하여 단결정 sharp edge bite 선삭에서의 공구 설정에 관한 실제 보정 과정을 수행하였다. Y축 공구 위치 보정은 마이크로스코프를 이용한 방법과 접촉식 다이얼 게이지를 이용한 방법, 가공면의 중심부의 "배꼽" 형상을 통해 보정하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 Fig. 8과 같이 마이크로스코프를 이용하여 Y축 방향 공구 위치를 장비와 연동된 미세조정 조그를 통해 미리 설정 되어 있는 Y축 방향의 이상적인 공구 위치에 일치시켜 보정을 수행하였다.

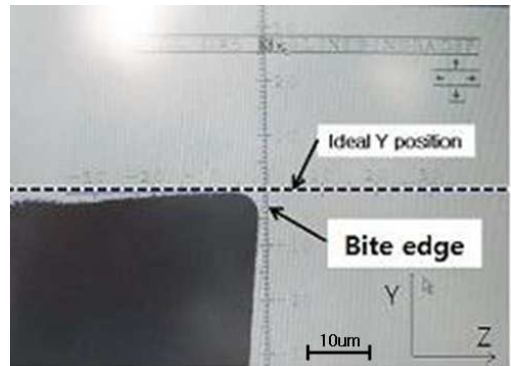


Fig. 8 Y axis alignment error compensation

초정밀 자유 곡면 가공기(Ultra-precision free surface machine)를 이용하여 Fig. 9에서와 같이 시편을 워크 스펀들에 장착 후 본 가공기는 1nm의 초정밀 제어가 가능하고 X, Y, Z, B축 위치 제어 및 C축 스펀들 제어가 가능하다.

Fig. 10의 (a)는 마이크로 스코프로 다이아몬드 바이트를 B축 Setting 한 후 곡률 반경 40mm의 구면을 무산소동 Φ 6mm 시편에 가공했을 때 형상 오차 데이터이며, (b)는 본 논문에서 제시한 방법으로 B축 Setting을 한 경우로 똑같은 시편을 가공하였을 때의 형상 오차이다. 초기 설정을 통한 가공 시 가공 형상오차는 P. V = 0.4433um에서 보정 후 P. V = 0.1000um로 가공 형상오차가 향상되었

음을 확인 할 수 있다.

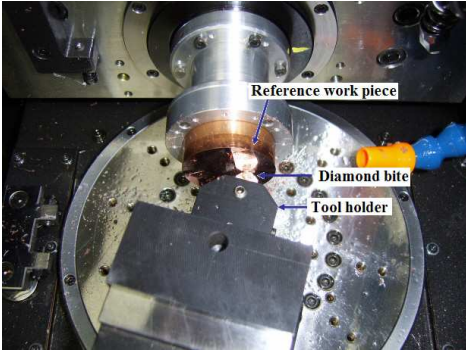
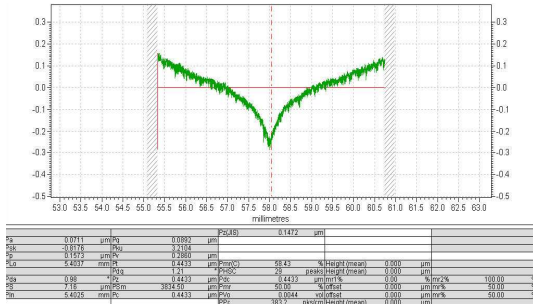
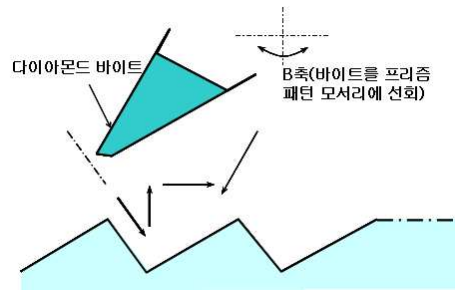
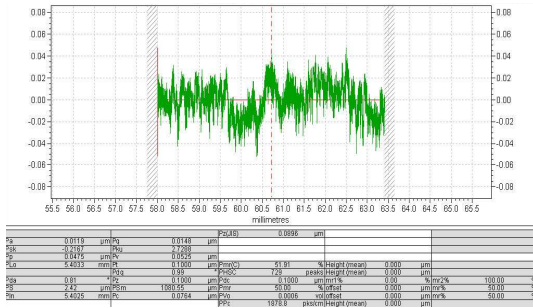


Fig. 9 Experimental setup

수행되었다. Fig. 11(a)는 sharp edge bite의 B축 중심 정렬과 이후의 일정각도 회전 후 패턴의 가공하는 방법과 시편의 2D 사진이며 (b)는 3차원의 패턴 측정 데이터이다. 측정데이터를 분석한 결과 Vertical angle 135°에서 ±0.5°이내로 측정되었기에 B축의 설정오차는 약 1° 이내로 정렬된 것으로 사료된다. 추후 실험에서는 마이크로 프리즘 패턴 금형에 적용하여 수축률을 고려한 일정 경사각을 가지는 금형에 적용해보려 한다.

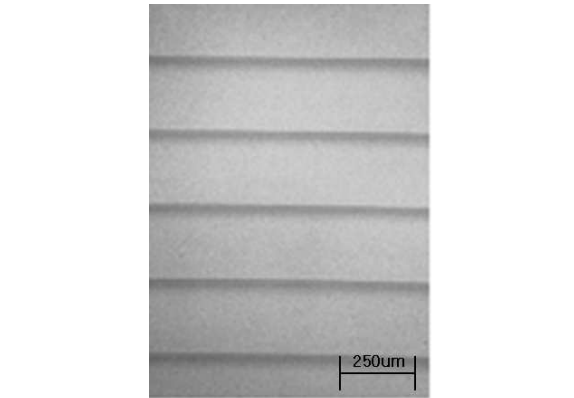


(a) Before compensation (PV=0.4433um)

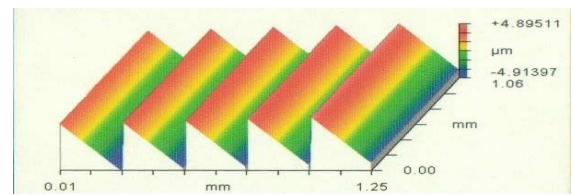


(b) After compensation (PV=0.1000um)

Fig. 10 Surface profile before and after compensation



(a)



(b)

Fig.11 Micro Prism Patterning

실제의 가공 실험은 디스플레이용 BLU에 적용되는 Vertical angle 135°, pitch 250um, 깊이 10um의 PMMA 마이크로 프리즘 패턴의 가공을 통해

4. 결 론

본 논문에서는 sharp edge 공구의 초기위치와 B축의 중심 간의 오차를 최소화하기 위한 공구 설정 오차 보정 방법을 제안 하였다. B축 회동 가공 장비의 접촉점 편차를 기하학적으로 분석하고, 그 오차 보정 방법을 제시하였다. 제안된 방법을 활용하여 공구를 B축 중심과의 위치오차를 최소화하고 이를 이용해 보정가공 없이 공작물의 형상 정밀도 0.1 μm 를 달성하였다. 또한 디스플레이용 BLU에 적용되는 PMMA 마이크로 프리즘 패턴을 $\pm 0.5^\circ$ 의 정밀도로 가공하였다. 이러한 정밀한 위치설정이 가능함에 따라 sharp edge 공구를 프레벨 렌즈 및 마이크로 레벨의 패턴 롤 프린팅용 공작물의 가공에 적용할 수 있다.

참고문헌

1. R. Barry Johnsona and Michael Mandinab, "Aspheric glass lens modeling and machining", Proceedings of SPIE Vol. 5874, 2005.
2. Suzuki, N., et al., Ultraprecision Micromachining of Hardened Steel by Applying Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting, Proc. of the International Symposium on MHS, pp. 221-226, 2003.
3. Soon-Sub Park, Ki-Young Lee, Hyung-Mo Kim, Jong-Ho Won, "Tool Alignment in B Axis Controlled Ultra-Precision Machine", KSPE Vol. 24, No.10, pp.25-30, 2007.
4. Yan, J., Syoji, K., Tamaki, J., Some observations on the wear of diamond tools in ultra-precision cutting of single-crystal silicon, Wear, 255: pp. 1380-1387, 2003.
5. Thomas G. Bifano and Steven C. Fawcett, "Ductile -regime grinding. A new technology for machining brittle materials", Precision Engineering, Vol. 13, Issue 4, pp. 256-262, 1991.
6. Moriwaki, T. and Okuda, K., "Machinability of Copper in Ultra-Precision Micro Diamond Cutting," Ann.

CIRP, Vol 38, pp. 115-118, 1989.

7. E. Brinksmeier and O. Riemer, "Tools and Setting for Improved Surface Finish in Diamond Turning." proc. of Int. Precision Engineering, pp125~133, 1993