

# 초정밀 가공에서 스핀들밸런스가 형상정밀도에 미치는 영향 Effects of Spindle Balance for Form-accuracy in Ultra-precision Machining

강필식<sup>1</sup>, \*김형재<sup>1</sup>, 정해도<sup>2</sup>

P.S.Kang(pskang2@kitech.re.kr)<sup>1</sup>, H. J. Kim<sup>1</sup>, H.D. Jeong.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국생산기술연구원, <sup>2</sup> 부산대학교

Key words : diamond turning, ultra-precision, spindle balance, form-accuracy

## 1. 서론

최근 정밀기계, 전기, 전자, 반도체, 광학 관련 기기, 영상, 정보 및 항공 우주 산업 등의 급속한 발달로 인하여 그 구성부품의 고정도 가공에 대한 필요성이 늘고 있다.

다이아몬드 터닝머신은 단결정 다이아몬드 공구를 사용하여 초정밀 부품을 가공하는 공작기계이다. 다이아몬드 터닝의 중요한 연구 과제는 짧은 시간에 높은 사양의 표면 거칠기와 형상정밀도를 가지는 부품을 가공하는데 있다. 최근 다이아몬드 터닝머신은 절삭공정의 미세 동역학적 연구와 가공정밀도를 높이기 위한 새로운 기법이 개발되고 있다. 또한 다이아몬드 터닝머신의 절삭속도 및 절입속도 그리고 절삭 공정변수에 대한 영향을 고찰하기 위해 다양한 절삭력 측정실험을 하였다.

초정밀가공은 가공 시간뿐만 아니라 틀, 시편 셋팅 시간도 오래 걸린다. 다이아몬드 터닝 머신의 가공 셋팅은 자동으로 이루어지지 않고, 오퍼레이터의 수작업으로 이루어지고 있으며, 셋팅 시간이 오래 걸리기 때문에 가급적 다이아몬드 터닝 머신의 셋팅을 바꾸지 않고 유지한다.

PMMA의 최적 절삭조건을 찾기 위해 틀세팅이 표면정밀도에 미치는 영향에 관한 연구가 수행되고 있다[1]. 얼마나 정밀한 셋팅을 할 것인가는 오퍼레이터의 경험과 판단으로 결정하고 있다. 특히 스핀들 밸런싱은 가공물의 형상정밀도에 미치는 영향이 크기 때문에 가공할 때 마다 체크를 해야 하는 필수적인 요소이다.

이 논문에서는 요구된 형상정밀도를 만족시키기 위해 허용가능한 셋팅 오차의 정도를 평가하기 위하여 스핀들 밸런스가 형상정밀도에 미치는 영향에 대하여 실험을 수행하였다

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험 장치 및 재료

본 연구에 Precitech사의 NanoForm 250을 사용하였고, 사용공구는 Contour사의 Fine Diamond Tool R2.0를 사용하였다. 그리고 Zygo사의 Verifire PE를 사용하여 형상정밀도를 측정하였다 본문 중 테이블 1,2,3에 대한 언급이 필요함.

Table 1 Specification of Nanoform250 system

Item	Condition
Axial error motion	25nm
Radial error motion	25nm
Spindle load capacity	68kg
Speed range of spindle	100 up to 7,000 rpm

Table 2 Specification of Verifire PE system

Item	condition
Measuring Method	Phase Shifting Interferometry (PSI)
Camera Resolution	640 x 480 pixels
Camera Frame Rate	210 Hz

사용재료는 광 정보 저장용 시작품 제작용인 PMMA(Poly methyl methacrylate)를 사용하였으며, 재질은 굴절률 1.6으로 유리계열에 근접하는 광 마우스에 사용되는 소재를 사용하여 실험을 수행하였다

### 2.2 실험 방법

스핀들 밸런스에 따른 표면 상태의 영향을 조사하기 위하여, Ø60mm의 PMMA를 R300의 구면 형상으로 가공을 수행하고, 각 조건 별 형상정밀도의 변화를 관찰하였다. 가공조건은 PMMA의 최적절삭 조건[1]에 따라 스핀들 스피드 1800rpm, 절입속도(federate) 4mm/min, 절입깊이(Depth of Cut) 4um이다. 이전 실험의 영향을 배제하기 위하여 20um를 먼저 절삭 가공한 후 가공조건에 따라 실험을 수행하였다.

이 때 스핀들 밸런스에 영향을 미치는 지그와 시편의 동심도는 동일하게 제어한 상태에서 지그의 무게 중심만을 변화시켜 스핀들 밸런스를 제어하였다. 스핀들 밸런스 측정은 최적절삭조건인 스핀들 스피드와 동일한 1800rpm에 측정하였다. 사용된 절삭유는 급유방식은 압축공기와 절삭유를 혼합하여 분사하는 극미량(MQL) 분사방식을 사용하였다.

Fig. 1은 이번 연구에 사용된 Precitech사의 Nanoform250 다이아몬드 터닝 머신이다. 한국생산기술연구원 부산센터에서 보유 중이다. Fig. 2는 형상정밀도를 측정하는 Zygo사의 VeriFire PE 장비이다.

Fig. 3은 스핀들 밸런스 화면이다. Fig. 3(a)는 스핀들 밸런스가 2um일 때의 화면으로 가장 안정적인 형태를 보인다. 하지만 스핀들 밸런스를 2um로 셋팅하는 시간은 다른 조건보다 3~5배 정도 시간이 필요하다. Fig. 3(b)는 스핀들 밸런스가 6um일 때의 화면으로 한쪽으로 치우친 형태를 보인다. Fig. 3(c)는 스핀들 밸런스가 52um일 때, 스핀들 스피드가 20um 이상의 조건에서는 스핀들 밸런스가 이러한 형태로 나타난다.



Fig.1 Nanoform 250 (Precitech) Fig.2 VeriFire PE (Zygo Corp.)

Table 3 Cutting Condition

Item	condition
Spindle speed	1800rpm
Feedrate	4mm/min
Depth of Cut	4um

Material	PMMA
Tool Radius	2mm
Diameter of workpiece	Ø60mm

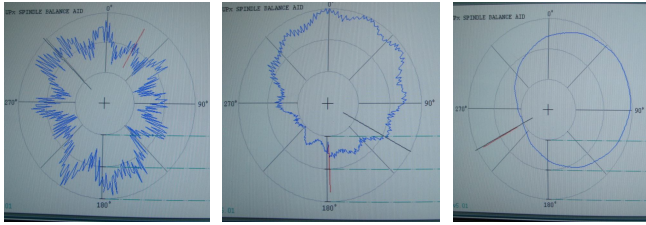


Fig. 3 Spindle balance shape( a: at 2um, b: at 6um, c: at 52um)

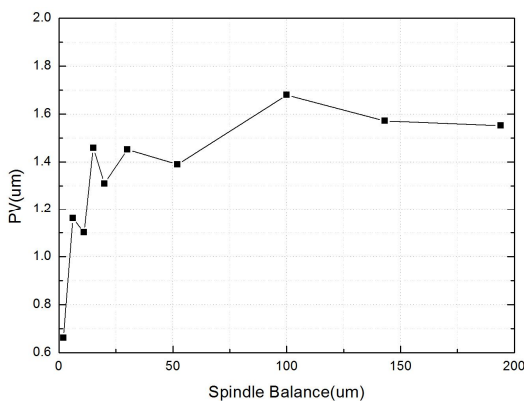


Fig. 4 PV value at various spindle balance

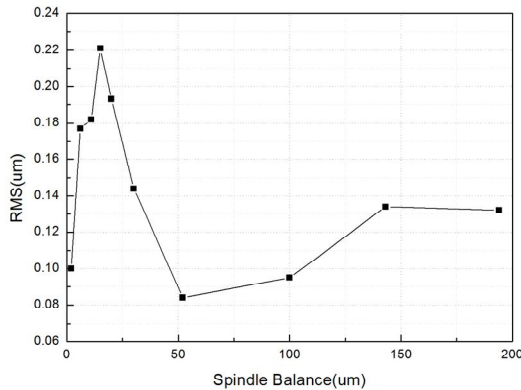


Fig. 5 RMS of various spindle balance

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 스펀들 밸런스별 PV 변화량

Fig. 4 는 스펀들 밸런스 별 형상 정밀도 변화량 중 PV 값의 변화량을 나타낸다. 스펀들 밸런스 값이 2um~15um 까지 스펀들 밸런스 값이 상승함에 따라 PV 값이 급격하게 올라간다. 하지만 스펀들 밸런스 값이 30um 이상일 경 PV 값의 변화가 완만한 상승 곡선을 이루고 있다. 스펀들 밸런스가 2um 일 때 PV 값은 0.662um 이고, 6um 일 때 PV 값은 1.163um 으로 측정되었다. 스펀들 밸런스가 11um 일 때 PV 값은 1.102um 로 측정되었고, 스펀들 15um 일 때 1.459um 로 측정되었다. 20um 일 경우 1.310um 로 측정되었다.

스핀들 밸런스의 PV 값이 작을수록 표면형상 특성이 좋게 나온다. 하지만, 측정기기오차 및 필요한 셋팅시간 때문

에 무한정 작게 셋팅할 수 없다. 광 저장용 비구면 렌즈는 규격이 두께 2 mm, 직경 Ø 2.5mm 곡률 반경은 약 R9mm 의 비구면 렌즈일 때, 가공 요구정밀도는 표면조도가 Ra 10 nm, 형상정밀도 PV 0.5 μm이하의 정밀도를 요구한다. 광 저장용 비구면 렌즈의 사양을 맞추려면 스펀들 밸런스가 2um 이하로 맞춰야 정밀한 가공이 이루어질 수 있을 것으로 보인다.

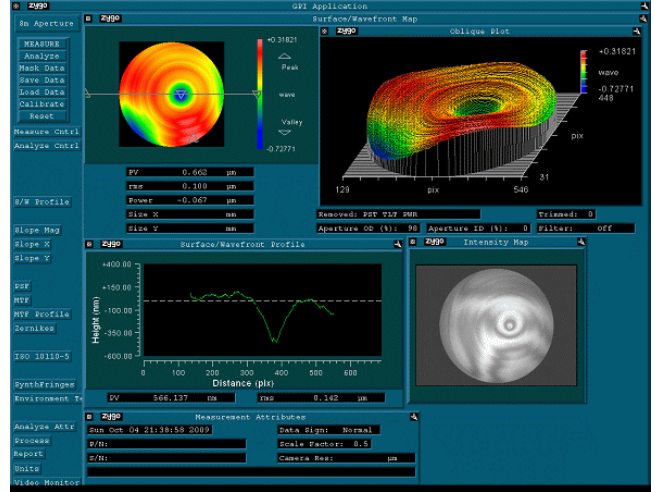


Fig. 6 Result at spindle balance of 2um

#### 3.2 스펀들 밸런스 별 RMS 변화량

Fig. 5 는 스펀들 밸런스 별 표면거칠기 변화량 중 RMS 값의 변화량을 나타낸다. 형상정밀도가 높을수록 RMS 값도 낮아지는 것이 일반적이지만, 실험에서는 좀 다른 경향을 보이고 있다. 스펀들 밸런스가 6um, 11um, 15um, 20um, 30um 일 경우 RMS 값이 다소 높게 측정이 되었고, 50um, 100um 일 경우 RMS 값이 다소 낮게 측정이 되었다. 전반적으로 스펀들 밸런스가 높아질수록 RMS 값도 증가하는 경향이 보이나 20um 이상에서 표면거칠기가 낮아지는 현상은 추가적인 실험이 필요한 것으로 판단된다.

Fig. 6 은 스펀들 밸런스가 2um 일 때 결과값이다. 가운데 형상이 움푹 파인 형태를 띄고 있는데, 깊이는 0.52um 이다. 그래프 부분을 보면, 가운데 형상을 제외하면 형상의 정도는 높아 보인다. 움푹 파인 형태는 툴 높이에서 오는 에러로 보인다. PV 값이 움푹 파인 형태로 인하여 다소 높게 측정되었다.

### 4. 결론

조정밀 가공에서 가공 시편의 스펀들 밸런스 변화에 따른 형상정밀도를 측정하였다. Nanoform 250 를 사용하여 시제품제작에 사용되는 PMMA 재질을 가공하고 Verifire PE 를 사용하여 표면상태를 조사하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

스핀들 밸런스가 2um 에 PV 값은 0.662um, RMS 값은 0.10um 로 측정되었다. 스펀들 밸런스가 2um~20um 의 구간에서는 PV 값이 스펀들 밸런스에 따라 급격히 변하고, 30um 이상일 때는 그 변화량이 완만해지는 경향을 보였다.

스핀들 밸런스가 높아지면 RMS 값도 증가하는 경향을 보인다.

### 참고문헌

1. 한국기초과학지원연구원, “첨단 정밀 주변설비 확충사업에 관한 연구(제 6 차년도), 2001