

Fast tool servo 의 초정밀 위치결정을 위한 다이아몬드 터닝 머신의 구현 Development of diamond turning machine for ultra-precision positioning of fast tool servo

*이광일¹, 김상인¹, 김호상¹, 김민기², 김태형²

#*K. I. Lee(kilee@iae.re.kr)¹, S. I. Kim¹, H. S. Kim¹, M. G. Kim², T. H. Kim²

¹ 고등기술연구원 로봇/생산기술센터, ² 두산인프라코어 공기자동화 BG

Key words : Ultra precision, Diamond turning machine, Fast tool servo

1. 서론

광학계의 고집적화와 영상매체의 발전에 의하여 마이크 로미터 이하의 형상오차와 수 나노미터의 조도를 나타내는 초정밀 광학부품의 필요성이 관련산업 전반에 대두되고 있 으며, 이러한 광학부품을 가공하기 위한 하나의 방안으로 단결정 다이아몬드 공구 (single-diamond tool)를 사용하는 다이아몬드 터닝 머신 (diamond turning machine; DTM)이 지속적으로 개발되고 있다.^{1,2} 일반적으로 DTM 은 2 축 직선 이송 스테이지와 스피ndl의 구성으로 공구와 가공소재의 상대 적 위치결정을 진행한다. 그러나 직선 이송 스테이지의 느 린 응답특성에 의하여 비 회전대칭 형태의 자유곡면을 가 공함에 있어 가공시간의 증가와 이에 따른 오차 요인의 발 생, 생산성의 저하 등 여러 문제를 야기하며 최종적으로 가공품의 품질저하에 직접적인 원인을 제공한다. 이에 대 한 해결방안으로서 공구의 고속 위치결정을 구현하는 공구 대 (fast tool servo)가 사용되고 있다.³

본 논문에서는 초정밀 가공 실험 장치로서 Fig. 1 에 나 타낸 바와 같이 2 축 직선 이송 스테이지와 스피ndl 그리고 방진장치로 구성된 DTM 을 구현한다. 그리고 상용제어기인 Deltatau 社의 PMAC2 를 사용하여 CNC 시스템을 구현한다. 최종적으로 초정밀 자유곡면 가공을 위한 기반으로 평면가 공을 수행하고 평가하고자 한다.

2. 다이아몬드 터닝 머신의 구현

2.1 X, Z 축의 직선 이송 스테이지

DTM 에서 X, Z 축의 직선 이송 스테이지는 가공 시 각 각 스피ndl과 공구의 이송을 구현하며, Fig. 2 에 나타난 바와 같이 Precitech 社의 제품을 선택하였다. 이 제품은 유정압 가이드 베어링 (oil and hydrostatic bearing)에 의해 지지되고 리니어 싱크로너스 모터 (linear synchronous motor)에 의해 구동되는 방식이다. 사용한 리니어 앰프는 Trust 社의 Trust 320 이다. 직선 이송 스테이지의 정확한 위치검출을 위하여 소니社의 laserscale BS78 과 Interpolator BD95-T23 을

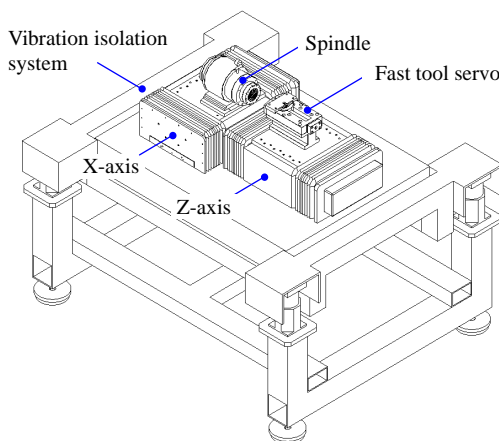


Fig. 1 DTM to machine ultra-precision free-form surface

Table 1 Specification of diamond turning machine

		Unit	Specification
X-axis	Resolution	nm	0.24
	Stroke	mm	180
	Stiffness	N/ μ m	175
	Straightness	μ m/mm	0.5/180
Z-axis	Resolution	nm	0.24
	Stroke	mm	180
	Stiffness	N/ μ m	175
	Straightness	μ m/mm	0.5/180
Spindle	Max. Speed	rpm	10,000
	Resolution	Bit/rev	4096
Controller			Turbo PMAC2

사용하여 약 0.24 nm 의 분해능을 구현하였다. BD95-T23 은 CNC 시스템과 32-Bit Binary 병렬 인터페이스를 지원하며 최대 이송속도는 400 mm/s 이다.

2.2 주축 스피ndl

초정밀급의 고속 회전을 위해 Professional Instrument 社의 공기정압 스피ndl인 4R Block Head 를 사용하고 Brushless DC 모터를 채용하였다. 또한 구동을 위해 레졸버 입력을 위치피드백으로 하는 미국 Motion control system 社의 MCS SA-1000 을 적용하여 가변속 운전을 수행한다.

2.3 방진장치

열적 팽창에 의한 스테이지의 변형을 최소화하기 위하여 열팽창계수가 낮은 천연 화강암 계열의 석정반을 사용 하였다. 또한 가공시 주위 환경에 의하여 야기되는 진동의 영향을 최소화하기 위하여 3 점 지지형태의 방진장치를 구성하였다. 가공기의 무게중심과 방진용 Isolator 의 작용점이 동일한 높이에 위치하도록 방진 cradle 을 설계하였다.⁴



Fig. 2 Linear displacement stage of DTM

Table 2 Characteristics of X and Z-axis

	Unit	X-axis	Z-axis
Accuracy	μm	0.3506	0.4457
Repeatability	μm	0.2795	0.4427
Straightness	μm	0.2270	0.1430
Flatness	μm	0.4050	0.4850



Fig. 3 Machined surface using DTM

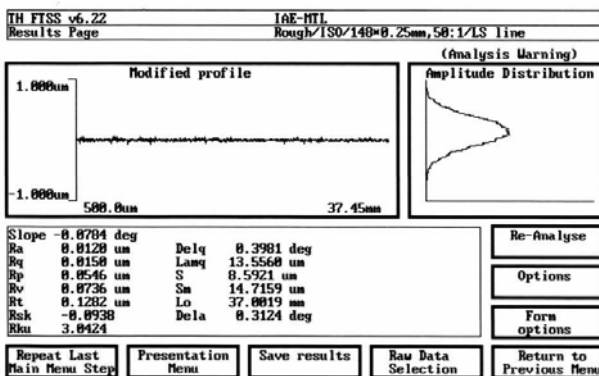


Fig. 4 Roughness of machined surface using DTM

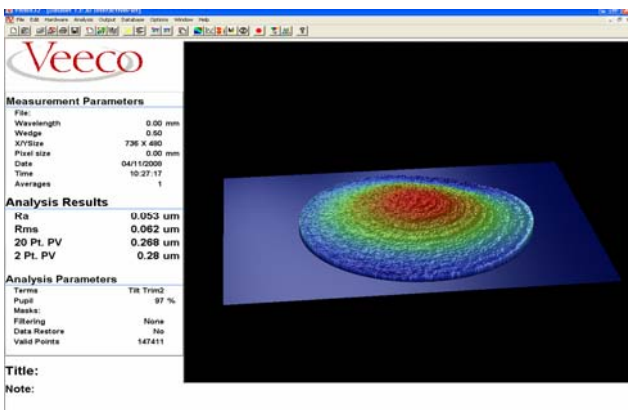


Fig. 5 Three-dimensional profile of machined surface using DTM

3. DTM 이송 특성 및 기초가공 실험

3.1 X, Z 축의 이송 특성

레이저 인터페로미터 HP5529A 를 사용하여 X, Z 축의 정확도, 정밀도, 진직도, 평탄도를 측정하였다. 측정영역은 X, Z 축 각각 175 mm, 190 mm 이며 35 mm, 38 mm 의 간격에 대하여 진행하였다. 측정 결과는 Table 2 에 나타난 바와 같다.

3.2 DTM 을 사용한 기초가공 실험

구현한 DTM 의 가공성능 확인 및 초정밀 자유곡면 가공의 기반이 되는 평면가공 실험을 진행하였으며, 가공된 시편은 Fig. 3 에 나타내었다. 가공시편으로는 직경 50 mm 의 구리를 사용하였으며, 가공조건은 이송속도 8.3 μm/rev, 절입 깊이가 2 μm, 스피들 회전수 600 rpm 이며 R0.5 공구를 사용하였다. 가공 후 접촉식 조도 측정기인 Form Talysurf Series2 와 비접촉식 형상측정기인 Fizesu Optical Interferometer(WYKO RTI 4100)를 사용하여 시편의 조도와 표면형상을 측정하였으며, 측정 결과는 각각 Fig. 4 과 Fig. 5 에 나타내었다. 최종적으로 가공된 평면은 37.5 mm 의 측정 영역에 대하여 12 nmRa 의 조도, 직경 50 mm 에 대하여 PV 0.268 μm 의 형상오차를 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 회전 비대칭 형상의 초정밀 자유곡면 가공을 위한 기반으로서 2 축 직선 이송스테이지, 스피들, 방진장치 그리고 CNC 시스템으로 구성된 다이아몬드 터닝 머신을 구현하였다. 구현된 다이아몬드 터닝 머신의 이송 특성을 파악하였으며, 최종적으로 초정밀 자유곡면 가공을 위한 기초가공 실험으로서 직경 50 mm 의 구리시편을 사용하여 평면을 가공하였다. 가공된 평면은 12 nmRa 의 조도와 PV 0.268 μm 의 형상오차를 나타내고 있으며, 이러한 결과는 전술한 초정밀 광학부품의 기준을 충족시킨다.

후기

본 연구는 지식경제부의 지역중점기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Y. Tohme, R. Murray, "Principles and Applications of the Slow Slide Servo," Moore Nanotechnology systems LLC.
2. 양순철, 김건희, 김효식, 이상용, 김명상, 원종호, "항공 우주용 적외선 광학계 초정밀가공기술," 한국정밀공학회지, 24 권, 2 호, 19-24, 2007.
3. H. S. Kim, E. J. Kim, B. S. Song, "Diamond Turning of Large Off-axis Aspheric Mirrors using a Fast Tool Servo with on-Machine Measurement," J. Materials Processing Tech., 146, 349-355, 2004.
4. 장한기, 홍석인, 김호상, 이대희, 이경돈, "정밀 가공 장비를 위한 방진 시스템 설계 사례," 한국소음진동공학회, 16 권, 3 호, 307-312, 2006.