韓國精密工學會 2002年度 秋季學術大會論文集 pp.74~78 KSPE 02F016

능동형 초정밀 폴리싱가공기 개발

최진경(고등기술연구원)*, 한성종(고등기술연구원)
박경환(고등기술연구원), 김태형(대우종합기계)

Development of an Active Ultra-precision Polishing Machine

J. K. Choi (I.A.E.), S. J. Han (I.A.E.), K. H. Park (I.A.E.), T. Y. Kim (Daewoo Machinery)

ABSTRACT

Ultra-Precision CNC polishing system including on-machine measurement system, a corrective polishing algorithm is developed. The unit removal profiles for various polishing tools and analyzed and tested and dwell time distributions and residual errors for a target removal shape are calculated. The corrective polishing algorithm is tested with various workpieces. This result will be used for the software development of the CNC polishing system

Key Words : CNC Polishing System(폴리싱시스템), On-Machine Measurement System(기상측정시스템), Polishing Algorithm(폴리싱알고리즘), Unit Removal Profiles(단위제거형상)

1. 서론

컴퓨터제어를 이용한 형상 창성 폴리싱 기술개발은 1970년대 미국을 중심으로 컴퓨터의 발전과 더불어 이루어졌다. 이런 방식의 폴리싱 기술은 평면이나 구면가공에 있어 경쟁력을 가지는 전통적인 폴리싱 기법에 비하여 고비용인 비구면 가공을 위해 자주 사용되고 있다.

최근 광전자기술의 발달과 더불어 제품의 소형화와 고성능화가 전환되어감에 따라 비구면 형상화 및 고정도화가 진행되고 있다. 향후에도 이런 경향은 더욱 심화되는 동시에 양산화, 저가격화의 요구도 점점 심해질 것이 예상된다. 또 사용되는 광의 파장이 짧아짐에 따라서 형상정밀도에 있어서도 현재의 초정밀 가공기술에서 도달 가능한 거칠기 수준이 요구되어지고 있다.

본 연구에서는 이러한 초정밀 가공기술의 추세에 맞추어 초정밀 폴리싱 가공기술과 이를 구현할 폴리싱 가공기를 개발하고 공구와 공작물의 재질별 가공특성과 가공조건을 통한 가공실험을 수행함으로서 폴리싱 가공기와 CAM Software의 전반적인 성능을 평가하였다

2. 시스템구성

2.1 시스템구성

초정밀 CNC polishing에 사용되는 가공 방법으로서는 미리 폴리셔(polisher)를 가공하고자하는 형상으로 만들어 놓고 이를 가공물에 전사 가공하는 방법과 가공물에 비하여 상대적으로 작은 폴리셔를 사용하여 가공물의 표면을 따라 이송시키면서 모든 가공점에서의 폴리싱 압력을 일정하게 유지시키고 폴리셔가 머무르는 시간(체재시간)을 제어하여 목표로 하는 형상으로 가공하는 방법이 있다. 전자는 주로 대형가공물의 경우 사용하는 방법이며 중소형의 가공물의 경우 후자의 방법을 많이 사용한다. 초정밀 CNC polishing의 경우 기술의 핵심은 가공조건을 DB화하여 폴리싱 작업을 자동화하는 것에 있으며 이를 위해서는 가공기 개발에 있어서 H/W와 더불어 제어, 측정, 가공조건 DB화 등 가공기 제작 이후 개발해야하는 S/W 개발에 성패가 달려있다. 따라서, 기존의 기계 Maker가 어려움을 겪는

것도 이점이다. 본 연구에서 개발하고자하는 초정밀 CNC polishing 기술은 중소형 가공물을 대상으로 가공물에 비하여 상대적으로 작은 폴리셔를 사용하여 가공하는 방법으로서 전 가공에서 완성된 형상정밀도를 저해하지 않으면서 툴마크(Tool mark) 등을 제거하여 광학적인 표면을 얻는 균등폴리싱과 체재시간 제어에 의한 형상수정 폴리싱 기술이다. 개발된 초정밀 CNC polishing 시스템에 대한 개념도를 Fig. 1에 나타냈다.

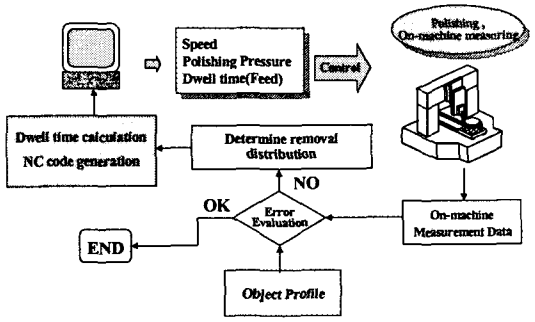


Fig. 1 Schematic diagram of CNC polishing system

2.2 CAM Program

본 연구에서 적용하고자 하는 초정밀 CNC Polishing 가공방식은 단위시간당 일정량의 형상이 제거되는 연마헤드를 공작물 표면상에서 계산에 의해 얻어진 속도로 주사시켜 필요한 형상을 만드는 것이다. 본 연구는 기존의 폴리싱 기술과 다르게 가공 중에 가공물의 형상을 교정하는 기능을 갖는 것으로서 실험을 통하여 폴리싱 입자, 폴리싱 속도, 압력, 재질 등 가공조건에 따른 단위 시간당 폴리싱 량을 구해놓고 이를 이용하여 가공물 형상 측정을 통하여 구해진 잔류가공량(오차량)을 제거, 가공물의 형상오차를 교정하는 동시에 표면을 목표로 하는 거칠기로 다듬질하는 가공 방법이다. 따라서 형상수정 폴리싱의 핵심인 체재시간 제어가공법으로서 Preston의 가설로부터 유도된 식을 사용한 Convolution model이 제안하였다. Fig. 2에 그 원리를 나타낸다. 여기서 단위가공형상은 공구와 가공조건에 따라서 결정되어지며 단위가공형상을 기준으로 체제시간을 제어함으로서 폴리싱 가공이 수행되어진다

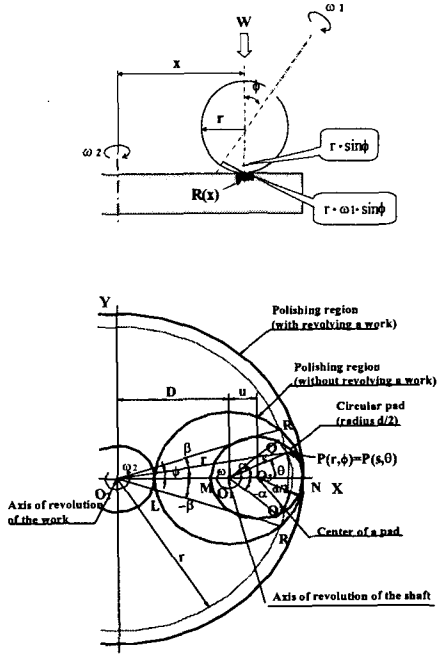


Fig. 2 Coordinate system for simulation of unit removal shape

2.3 Software

전 절의 시뮬레이션 계산결과를 이용하여 체제시간을 제어하기 위한 CAM Software를 개발하였다. Software는 공구의 형상 파라미터, 공작물의 형상 파라미터, 가공조건에 따라 공구의 체제시간을 결정하고 G코드를 생성하게된다. Fig. 3(a)~(c)는 소프트웨어의 각각의 입력 파라미터를 도시하고 있으며 Fig. 3(d)는 설정된 입력조건에 따른 체제시간과 이를 바탕으로 G코드 생성과정을 도시하고 있다.

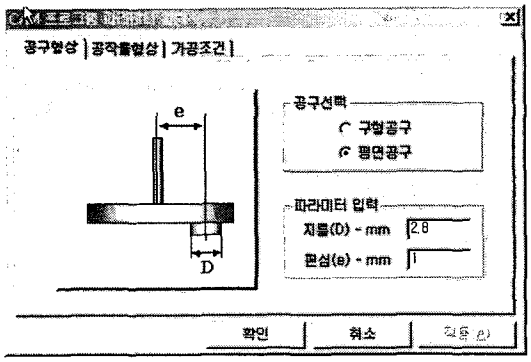


Fig. 3(a) Shape parameter of a tool

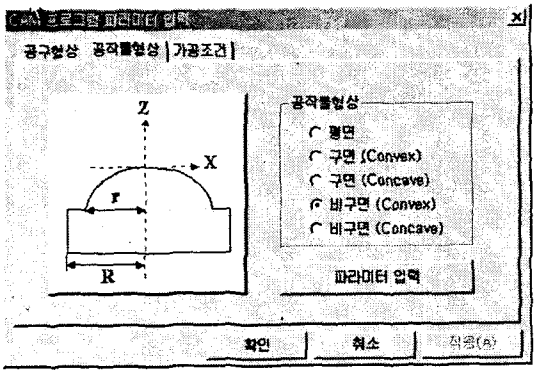


Fig. 3(b) Shape parameter of a workpiece

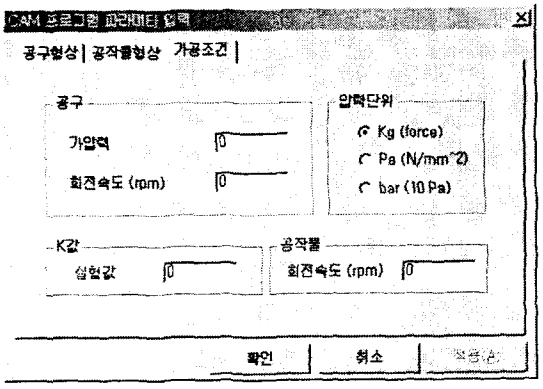


Fig. 3(c) Polishing conditions

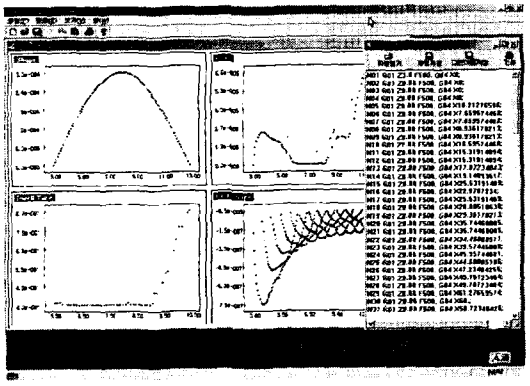


Fig. 3(d) Generation of dwell time and G-code

2.4 Hardware

2.4.1 시스템사양

본 과제에서 개발하고자하는 CNC Polishing Machine의 시스템은 구조물, 공구와 공작물 사이에 압력을 일정하게 유지하기 위한 압력제어장치, 가공된 시편을 온라인으로 측정하기 위한 기상측정장치로 크게 3가지로 구성되어있다. 각축의 구성요소를 시스템 사양에 맞도록 선정하고, 계산에 의해 검증하였으며 기계의 이송범위를 결정하여 설계를 수행하였다. 구현된 시스템 사양은 Table 1와 같으며 Fig. 4에는 본 과제에서 개발된 폴리싱 가공기를 도시하고 있다.

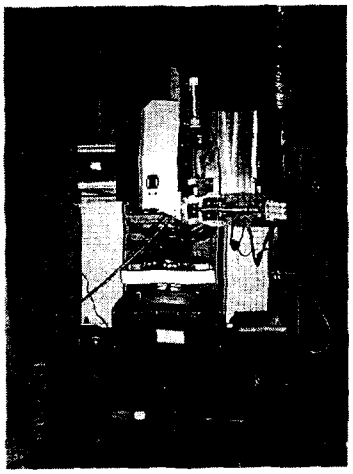


Fig. 4 Polishing machine

Table 1 Specification of polishing machine

Axis	X	Stroke		350 mm
		Feed rate		0.01 ~ 5 m/min
		Resolution		0.1 μm
	Y	Stroke		250 mm
		Feed rate		0.001 ~ 5 m/min
		Resolution		0.1 μm
	Z	Stroke		150 mm
		Feed rate		0.01 ~ 5 m/min
		Resolution		0.1 μm
	Tilt	Stroke		±90°
		Feed rate		2-10,000°/min
		Resolution		0.01°
Polishing head	Small Head	Speed		0~3,000 rpm
		Force range		10~1,000g
		Force control		10g (0.1 N)
Spindle	Speed			60 ~ 600 rpm
Control	PC-NC			

2.4.2 압력제어장치

폴리싱 압력제어장치는 가공물과 공구사이의 발생압력에 초점을 맞추어 외란을 제거하고 능동적으로 압력을 제어함으로써 최종적으로 가해진 압력과 가공량 사이의 관계에 대한 데이터를 얻을 수 있도록 하는 데에 목적이 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 스핀들 헤드는 공구와 가공물 사이에 압력을 일정하게 유지시키기 위한 엑튜에이터와 발생된 압력을 측정하기 위한 센서가 필요하며 공구와 가공물 사이의 상대속도를 얻기 위해 모터 및 스핀들이 필요하다. 또한 구공구로 폴리싱 가공을 수행할 경우 공작물과 공구의 상대각도를 항상 수직을 이루어질 수 있게 하기 위하여 압력제어장치가 공작물의 형상에 따라 틸팅될 수 있도록 설계되었다. Fig. 5(a)~(b)에 압력제어장치의 하드웨어에 대하여 도시하였다.

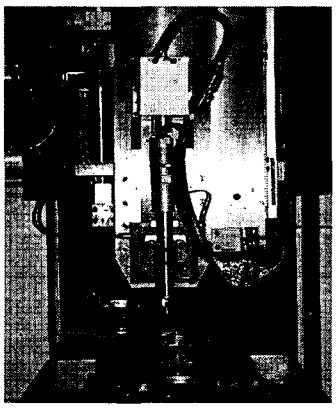


Fig. 5(a) Load control device
Flat Tool

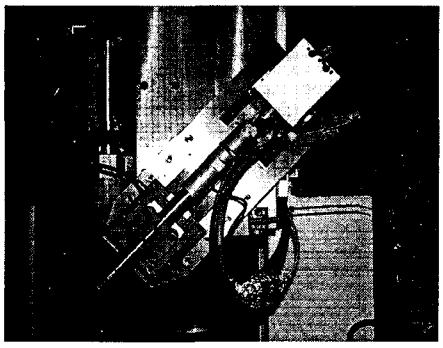


Fig. 5(b) Load control device
Sphere tool

2.4.3 기상측정시스템

측정 Probe를 사용하여 기상형상 측정시 이송축의 진직도를 분해능 10 nm의 레이저센서를 사용하여 이송축과 평행하게 설치된 스트레이트 에지(Straight edge)를 기준으로 실시간으로 측정한다. 측정된 이송축 오차를 형상측정 값에 반영하여 형상측정 결과를 얻을 수 있도록 측정 프로그램을 작성함으로써 기계의 이송축 오차를 없앤 형상측정 값을 얻을 수 있도록 하였다. 스트레이트 에지는 측정범위를 커버하는 길이로 제작하고 자체 평면도를 λ/10 이하로 제작하여 기계이송축의 진직도 오차보정목표인 0.1 ㎛/150 ㎜를 달성하도록 하였다. 기상형상 측정시 Y, Z축은 측정위치에서 고정되고 X, Z'축을 사용하여 형상측정을 수행한다. Fig. 6은 기상측정장치시스템의 구성도를 도시하고 있다. 기상측정 프로그램은 측정점을 이동하면서 각 센서로부터 입력받은 값들을 조합하여 측정값들을 산출하며 측정 과정은 Fig. 7과 같다.

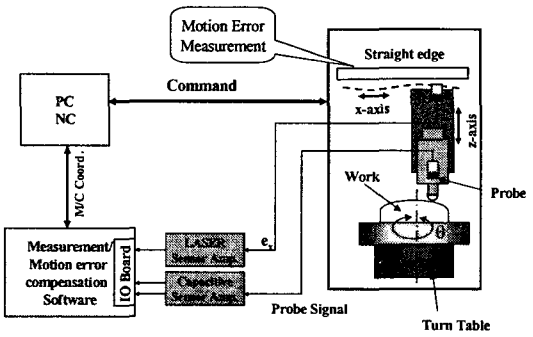


Fig. 6 On-Machine Measurement System

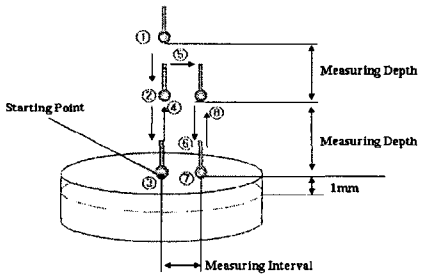


Fig. 7 Measuring process

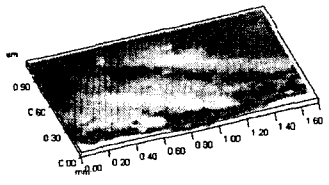
3. 가공실험

3.1 제목

본 과제의 과제목표인 Ni, Cu, Al, SiC, Stavax, BK7의 평면, 비구면 공작물에 대하여 Ra 1nm, 형상정밀도 50nm(P-V), 반사율 95%를 만족시키는 표면품위(*Surface integrity*)를 확보하기 위하여 공구와 공작물의 재질별 가공특성을 파악하고 이를 바탕으로 가공오차 수정가공을 하기 위한 DB를 구축하였다. 즉, 공구와 가공물의 재질, 폴리싱 입자의 종류 및 크기, 폴리싱 용액, 폴리싱 압력, 속도, 전가공면 형상(파장, P-V)등이 가공면의 거칠기와 가공시간에 미치는 영향을 조사하여 최적 폴리싱 조건을 구하여, 설계된 폴리싱 헤드를 사용하여 형상오차를 수정하는 가공을 하기 위한 단위제거함수를 구함으로서 가공을 위한 기초데이타를 완성하였다. Fig. 8에는 폴리싱 가공 후의 Ni의 표면정도를 도시하고 있으며, 백색광간섭계를 이용하여 표면조도를 측정한 결과는 Fig. 9와 같다.

Ni Workpiece
(Flat workpiece, Flat tool)

Fig. 8 Surface integrity of the workpiece



Ni surface
Ra : 2.1 nm

Fig. 9 The result of measurement
(White Light Interferometer)

4. 결론

본 연구에서는 On-Machine 측정시스템을 구비한 초정밀 CNC 폴리싱 시스템의 가공기술을 개발하였으며, 공구와 공작물의 재질별 가공특성 및 조건에 대한 DB 구축을 완성하여 형상수정 폴리싱에 대한 가공성능을 확인하였다. Table 2에는 가공이 이루어진 후의 표면조도 측정결과를 도시하였다.

Table 2. The results of measurement

	Interferometer	AFM (10×10 μm^2)
Cupper, Sphere	6.5 nm	3.2 nm
Cupper, Flat	6.9 nm	2.1 nm
Aluminum, Sphere	Measurement has yet not conducted	
Aluminum, Flat	Measurement has yet not conducted	
Stavax, Sphere	2.5 nm	1.9 nm
Stavax, Flat	Values in the same range of Sphere	
SiC, Sphere	6.3 nm	1.1 nm
SiC, Flat	4.4 nm	1.9 nm
Niclel, Sphere	2.1 nm	-
Nickel, Flat	2.4 nm	1.5 nm

후기

본 연구에서는 On-Machine 측정시스템을 구비한 초정밀 CNC 폴리싱 시스템의 가공기술을 개발하였으며, 공구와 공작물의 재질별 가공특성 및 조건에 대한 DB 구축을 완성하여 형상수정 폴리싱에 대한 가공성능을 확인하였다

참고문헌

1. R. Komanduri, D.A. Lucca and Y. Tani, "Technological advances in fine abrasive processes," Annals of the CIRP, Vol. 46, No. 2., pp. 545~596, 1997.
2. I. Kataoka, "Super smooth polishing technology for aspheric mirrors," JSPE, Vol. 64, No. 7 pp. 983~986, 1998.
3. R. Apsden, R. McDonough and F. R. Nitchie, Jr. , "Computer assisted optical surfacing," Appl. Opt., Vol. 11, pp. 2739, 1972.
4. H. Susuki, S. Hara and H. Matsunaga, "Study on aspherical surface polishing using small rotating tool," JSPE, Vol. 59, No. 10, pp. 131~136, 1993.