

초정밀가공기용 432 μm 급 Long stroke fast tool servo 의 개발 Development of long stroke fast tool servo for diamond turning machine with its range of 432 μm

*#김호상¹, 김상인¹, 이광일¹, 이경민², 방영봉²

*H. S. Kim (hoskim@iae.re.kr)¹, S. I. Kim¹, K. I. Lee¹, K. M. Lee², Y. B. Bang²
¹ 고등기술연구원 로봇/생산기술센터, ² 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Long stroke fast tool servo, piezoelectric actuator, diamond turning machine

1. 서론

최근 들어 마이크로 전자소자 및 미세 광학부품 가공에 대한 수요가 급증하면서 수십 mm 급의 크기를 가지며 서브 마이크로 미터대의 형상정밀도를 가지는 초정밀가공품의 수요가 크게 늘어나고 있다. 대표적인 예로 미세 레이저 가공용 f-θ 렌즈, Micro mirror array, 다 초점 안경 등과 같은 분야에서 비회전 대칭 형상의 수요가 급증하고 있다 (1). 이러한 형상의 광학부품 가공에는 대체로 그라인더나 폴리싱 등을 통한 자유곡면 가공방법이 주로 사용되어져 왔으나 다이아몬드 선삭가공기의 보급과 관련기술의 발전에 따라 공구의 형상을 그대로 시편에 전사할 수 있고 가공시간을 획기적으로 줄일 수 있는 다이아몬드 선삭에 의한 가공법이 주목을 받고 있다. 특히, 선반형태의 초정밀가공기에서 부가축 개념의 FTS(Fast Tool Servo)를 사용하여 비회전대칭 형태의 형상가공을 수행하는 방법이 미국의 우수 연구기관과 가공기 업체에서 최근 급격히 연구되고 있다(2).

FTS 는 초정밀가공기에 부가축으로서 장착되어 공구의 절입을 빠른 속도로 수행하는 장치로서 많은 연구자들에 의해 압전액츄에이터와 힌지구조를 이용한 최대 수십 μm 급의 FTS 가 소개된 바 있으며 몇몇 연구자들은 기존의 FTS 의 스트로크의 제약을 개선하고 실제 렌즈나 미러를 가공하기 위한 준비로서 long stroke fast tool servo(LFTS)를 제안한 바 있다. 그러나 LFTS 를 이용한 실제 초정밀가공기에의 적용실험은 아직 보고된 바 없으며 가공 후 시편의 정밀도 측정을 통한 LFTS 의 성능확인에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 팽창 길이 100 μm 의 압전액츄에이터와 대칭형태의 변위확대 구조를 채용하여 432 μm 의 변위를 갖는 LFTS 를 제작하였으며 초정밀가공기에서 가공특성을 확인하였다.

2. Long stroke fast tool servo

제작된 LFTS 의 개략도를 Fig. 1 에 나타냈다. 크게 8 개의 부분으로 나뉘어지는데, Piezoelectric actuator, Lever, Parallel spring, Tool Holder, Cap, Preload spring, 정전용량센서, Sensor support 로 구성되며 이중 Piezoelectric actuator 의 팽창/압축에 의해 공구 끝단의 위치를 제어할 수 있다. 이를 자세히 살펴보면 이중 Piezoelectric actuator 에는 최고 1000V 까지의 고전압을 인가하여 그 전압의 크기에 따라 팽창/압축을 하며 레버(Lever) 를 통해 변위확대가 일어나 Parallel spring 에 의해 LFTS 공구 끝단의 위치의 변화를 일으킨다. 그리고 이러한 공구 끝단의 위치변화는 고 분해능의 정전용량센서에 의해 감지되어 Piezoelectric actuator 구동전압의 크기를 폐환 제어 루프를 통해 변화시키게 된다. 사용된 Piezoelectric actuator 는 Physik Instrumente 社의 적층형 Piezoceramic type 구동기로써 인가전압에 따라 최고 100 μm 까지 팽창할 수 있는 특성을 갖고 있다. 공구 끝단의 위치를 감지하기 위해 고 분해능의 캡 센서인 ADE 社의 정전용량형 센서를 사용하였다. 한편, LFTS 의 가공시 필요한 변위를 얻기 위해 레버와 노치(Notch)형의 힌지를

설치하여 Piezoelectric actuator 의 팽창/압축을 공구 끝단에 전달하였다. LFTS 의 최대 이송길이를 측정하기 위한 실험사진을 Fig. 2 에 나타내었다. 레이저 인터페로미터를 이용하여 공구 끝단에 미러를 설치하고 변위를 측정한 결과 432 μm 를 얻었다. 또한 각 주파수별로 가진 한 결과 Fig. 3 과 같은 주파수특성 곡선을 얻었으며 이로부터 LFTS 의 1 차 고유진동수가 360 Hz 에 있음을 알 수 있었다.

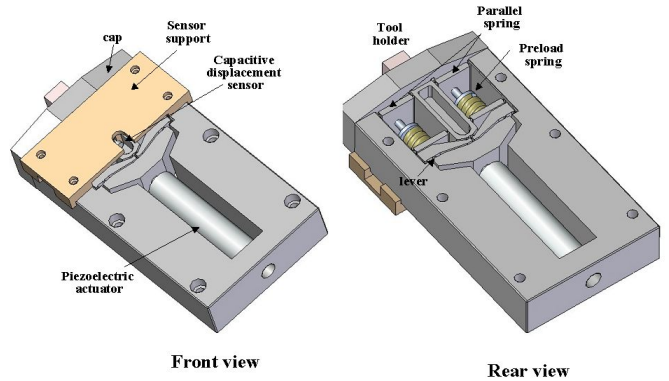


Fig. 1 Solid model of LFTS

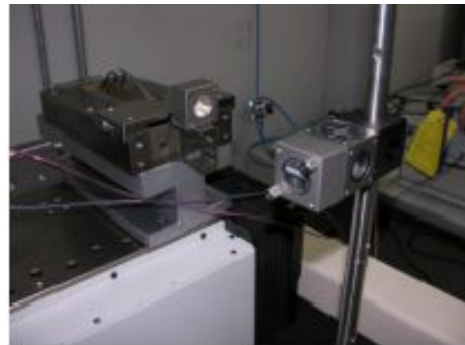


Fig.2 Photograph of measurement setup for maximum stroke by LFTS

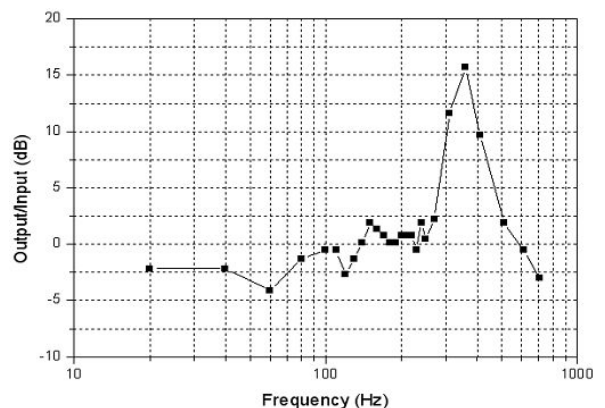


Fig. 3 Frequency response of LFTS

정전용량센서로부터 위치정보를 입력 받아 그로부터 PZT 구동전압을 결정하는 폐환 제어 알고리즘은 PC 를 통해 구현하였으며 이를 위해 National Instrument 社의 고속 A/D Converter 를 장착한 PCI 6030 Data Acquisition Board 를 PCI Slot 에 장착하여 사용했다. PC 에서의 제어 알고리즘은 PI 제어 및 각종 필터를 사용했고 사용언어로는 QNX 4.25 상에서 Watcom C 를 사용하였다.

3. 가공실험

LFTS 의 가공기 제어축으로서 절입이 인가되는 것을 확인하기 위해 Fig. 4 와 같이 최대 깊이 50 μm 이고 한 주기당 2 번의 산과 마루를 갖는 토릭 형상을 가공하였다. 가공 조건은 회전속도를 600 rpm 으로 고정하였으며 플라스틱 재질의 직경 50 mm 의 가공시편을 사용하였다. 가공면은 비회전 대칭면 중에서 주주사 반경과 부주사 반경의 부호가 반대인 토릭 형상이다. 이러한 형상은 선반 가공 시 스피ndl 의 회전에 따라 회전각도에 동기된 LFTS 의 가변 절입을 필요로 한다. 이를 위해 다이아몬드 터닝 머신의 CNC 부분과 LFTS 제어기 사이에 PCI 버스를 통한 데이터 전송을 수행하였다. LFTS 는 주제어기인 PC 에서 피드백 제어 알고리즘을 수행하고 필요한 스피ndl 회전각도의 값은 PCI 슬롯에 꽂힌 PMAC 보드의 Dual port RAM 을 통해 고속 전송을 받게 된다. 실제 구현된 LFTS 와 다이아몬드 터닝 머신의 가공사진은 Fig. 5 와 같다.

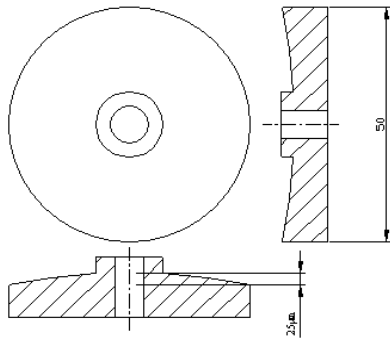


Fig. 4 Dimensions of workpiece

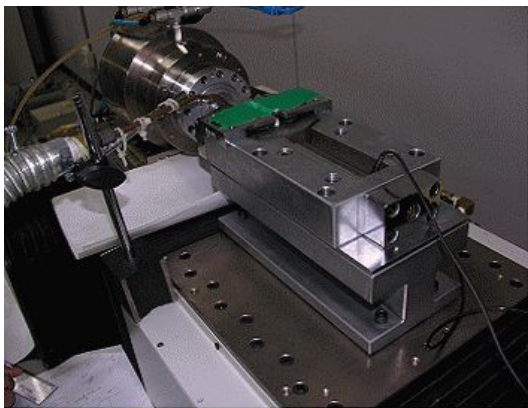


Fig. 5 Photograph of diamond turning of toric surface with LFTS

Fig. 6 은 가공시편의 반경방향 프로파일을 회전각도별로 미국 RTH 社의 Talysurf 에 의해 측정된 값들을 보여준다. Fig. 7 은 가공시편의 회전방향 프로파일을 반경 별로 미국 RTH 社의 Talysurf 에 의해 측정된 값들을 보여준다. 토릭 면의 경우 주주사 반경과 부주사 반경의 부호가 다르므로 Fig. 6 과 같이 각도별로 프로파일의 기울기의 부호가 다르

게 나타난다. 또한 Fig. 7 에서 볼 수 있듯이 회전방향으로 정현파 형태의 2 주기의 무늬가 가공면에 정확히 전사된 것을 확인할 수 있다.

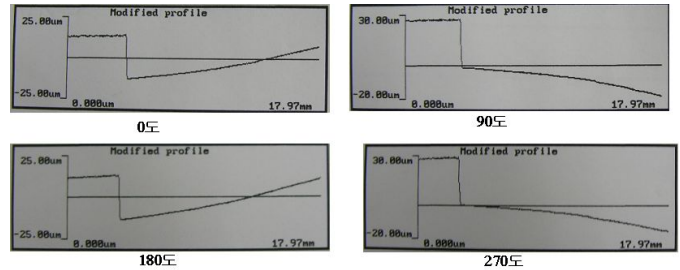


Fig. 6 Measurement result of machined surface profile at several rotation angles ($\theta = 0, 90, 180, 270$ deg.)

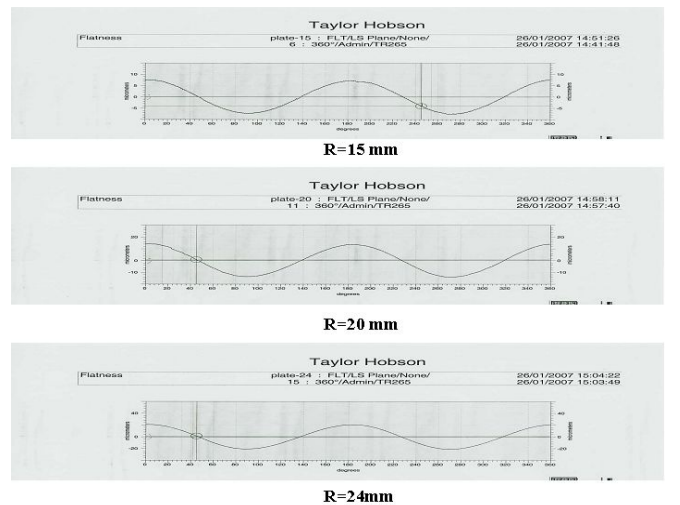


Fig. 7 Measurement result of machined surface profile at several radii ($r=15, 20, 24$ mm)

4. 결론

본 연구에서는 수백 μm 의 깊이를 갖는 광학형상의 가공을 위하여 초정밀가공기용 Long stroke fast tool servo 를 개발하였다. 팽창 길이 100 μm 의 압전액츄에이터와 대칭형태의 변위확대 구조를 채용하여 4.32 배의 변위증폭을 실현하였고 주파수 특성을 측정된 결과 고유진동수 360 Hz 를 확인하였다. 또한, LFTS 의 가공특성을 확인하기 위하여 한 회전 당 2 주기의 정현파 파형을 갖는 비회전 대칭 형상에 대해 가공실험을 수행하였으며 반경방향, 회전방향에 대해 토릭형상의 프로파일이 가공되었음을 확인하였다.

후기

본 연구는 지식경제부 지역중점기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. 次世代の超精密加工技術編集委員会, “次世代の超精密加工技術(上,下卷),” 産業技術サ-ビスセンタ-, 1994
2. Kenneth Garrard, Thomas Dow, etc., "Design tools for freeform optics," SPIE 5874-10, 2005