

듀얼스테이지 이송계를 이용한 마이크로밀링머신의 가공정밀도 향상에 관한 연구

A Study on Improving Cutting Precision of The Micro Milling Machine

By Using The Dual-stage Feed Drive

*이천¹, #고예조², 김희술², 정병목², 정영대², 여인주¹

*C. Lee¹, #T. J. Ko(tjko@yu.ac.kr)², H. S. Kim², B. M. Chung², Y. D. Jung², I. J. Yeo¹

¹영남대학교 대학원 기계공학과, ²영남대학교 기계공학부

Key words : Dual-stage, cutting precision, DSFD, milling machine, piezo, micro-stage

1. 서론

정밀공학의 발달과 초정밀 미세 가공 기술의 발달로 인해 정밀기계부품의 가공은 고 부가가치 기술로서 매우 중요하게 인식되고 있으며, 지난 수년간 마이크로/나노 단위의 형상을 갖는 부품에 대한 수요가 바이오 테크놀러지, 반도체를 비롯한 전자, 광학, 우주, 의료 등 여러 분야에서 고정도, 고품질을 요구하는 부품을 중심으로 급격하게 늘어나고 있으며 이러한 제품을 생산하기 위해서 미소경박제품에 대한 초정밀 가공에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. [1,2,3,4] 이러한 초미세 형상 부품의 가공법에는 기계적 및 전기화학적 가공 방법들이 있는데, 후자의 방법들에는 LIGA, Si 머시닝, 그리고 고에너지 빔 가공기술을 이용하는 것들(엑시머 레이저 머시닝과 방전 가공) 모두 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 즉, 초소형 정밀기계기술을 중심으로 하는 마이크로-전자 제조(Micro-electronics fabrication) 기법으로 현재 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 이 기법들은 모두 대형, 고가의 장비가 필요하고 3차원 자유 형상 가공이 용이하지 않으며 가공 재료에 제한이 있다. [2,5,6] 또한, 이러한 가공 방법들은 가공 영역에 한계가 있다. 그래서 더 넓은 영역(수십미크론~수백밀리미터)에서 큰 형상의 초정밀 미세가공품을 만들 수 있는 방법은 커스-스테이지(Coarse-stage, 대면적 이송)와 마이크로-스테이지(Micro-stage, 초정밀위치결정)를 결합한 듀얼-스테이지(Dual-stage) 이송계이다.

본 연구에서는 듀얼-스테이지의 구성 및 듀얼-스테이지를 이용한 가공과 싱글-스테이지(커스-스테이지만 이용)를 이용한 가공에 대한 가공성 평가에 관해 다루었다.

2. 듀얼-스테이지의 알고리즘

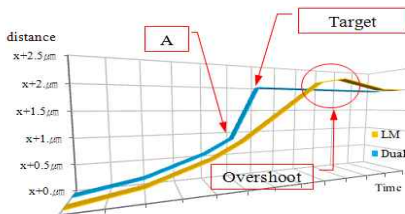


Fig. 1 Dual-stage control mechanism

듀얼스테이지 이송계의 제어 기법은 주어진 목표 지점의 근처(A지점)까지는 리니어모터(LM)에 의해 구동되는 커스-스테이지가 이동하고, 목표 지점 근처에서부터 목표 지점(Target지점)까지(마이크로-스테이지의 작동 범위(±2μm) 내에 도달했을 때는 압전 소자 구동기(Piezo electronic element actuator)에 의해 구동되는 마이크로-스테이지가 이동하여 오버슈트(Overshoot) 현상을 없애고, 빠른 시간 내에 목표 지점에 위치하게 되는 원리와 지령 순서를 각각 Fig. 1과 블록 다이어그램 Fig. 2에 설명하였다. [7]

이러한 듀얼-스테이지는 커스-스테이지와 마이크로-스테이지의 서보 메커니즘을 결합한 이중 서보메커니즘(Fig. 3)으로 작동된다. 그리고 커스-스테이지는 각각의 X, Y축에 내장된 엔코더에 의해서 위치가 피드백(Feedback)되고, 듀얼-스테이지는 독립된 위치에서 2D scale encoder에 의해서 전체 위치가 피드백되어

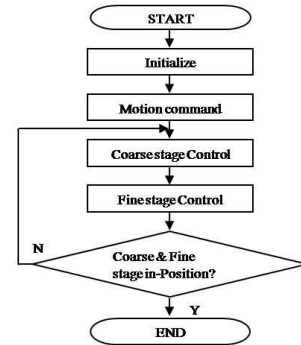


Fig. 2 Block diagram of dual-stage controller

제어 및 보정이 이루어진다. 이 메커니즘에 의해서 커스-스테이지의 이송시 발생하는 오차를 마이크로-스테이지가 보정하게 되고, 목표 지점까지 이송시 발생하는 추적오차(F.E., Following Error)를 줄일 수 있게 된다.

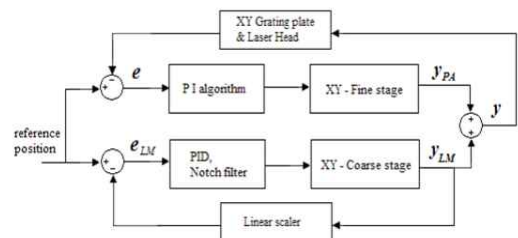


Fig. 3 Flow chart of dual-stage control algorithm

3. 듀얼-스테이지의 구성

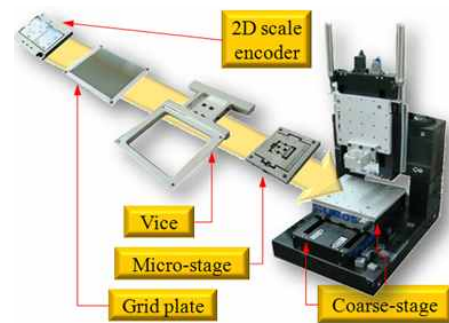


Fig. 4 Assembling sequence

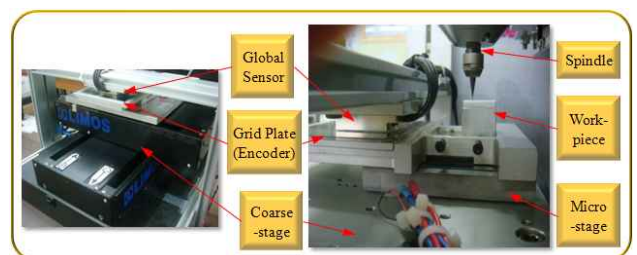


Fig. 5 Components

듀얼-스테이지의 구성 순서는 Fig. 4와 같이 커스-스테이지 위에 마이크로-스테이지를 올렸다. 그리고 그 위에 피삭제를 고정시킬 수 있는 바이스와 독립된 위치에서 전체 스테이지의 위치 정보를 읽어 들일 수 있는 2D scale encoder(Global sensor)와 Grid plate scale을 장착하였고, Fig. 5에서 더 자세한 조립 형태를 확인할 수 있다.

4. 싱글-스테이지와 듀얼-스테이지의 가공 시뮬레이션 비교^[7]

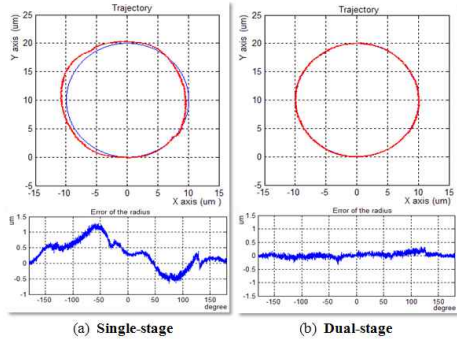


Fig. 06 Circular profile and error

Fig. 6는 싱글-스테이지와 듀얼-스테이지를 이용하여 지름 20 μ m의 원에 대한 궤적 시뮬레이션 결과와 이때 발생하는 오차이다.

5. 듀얼-스테이지와 싱글-스테이지에 의해 가공된 피삭제의 비교

Table 1 Cutting condition

Cutting condition	
RPM	80,000 rev/min
Feedrate	0.05mm/sec
DOC(Depth Of Cut)	20 μ m
Workpiece(dimension)	Al 7075(15x20x6T)
Tool	0.2mm UWC(2 Flutes)
Coolant	Vascomill oil(100% vegetable oil)
Spindle	130,000~150,000 RPM(max)
Z-axis velocity	1 μ m/sec

시뮬레이션 결과에 대한 피삭제의 가공은 Table 1에 명시된 가공 조건으로 공구 직경을 고려하여 20 μ m의 원기둥을 가공하기로 하였다. 주축이 고정된 Z축을 1 μ m/sec의 속도로 하강시켜 공구와 피삭제 간의 충격을 완화하고, 나선형으로 깊이 20 μ m을 싱글-스테이지와 듀얼-스테이지를 이용하여 가공하였으며, 결과물은 마이크로스코프와 나노-스테이지(Nano-stage)로 측정하였다.(Fig. 7~10) 본 측정 시 나타난 수 ~ 수십 나노 단위의 측정 장치의 측정값 오차(측정 시 발생하는 셈 오차)도 감안하였다. 그리고 마이크로스코프에 의한 측정시 내부원과 외부원의 직경 차이 때문에 배율을 각각 달리 하였다.(Fig. 7, 8)

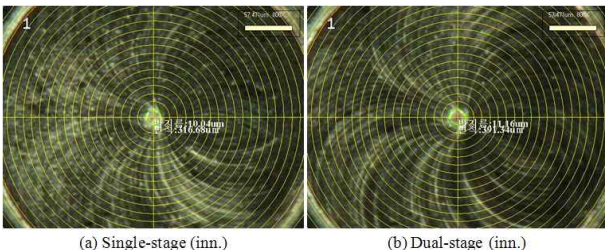


Fig. 7 Inn. dia. measured circularly by microscope(x800)

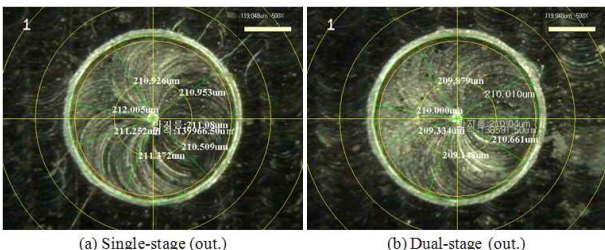


Fig. 8 Out. dia. measured circularly and randomly by microscope(x500)

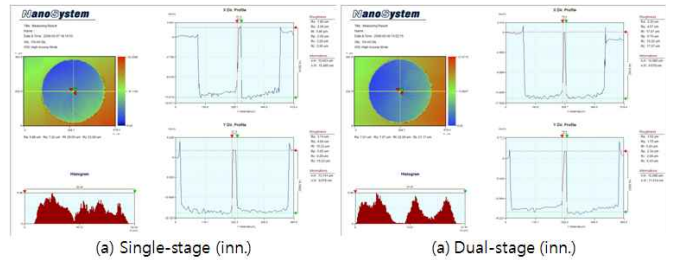


Fig. 9 Inn. dia. measured by nano-stage

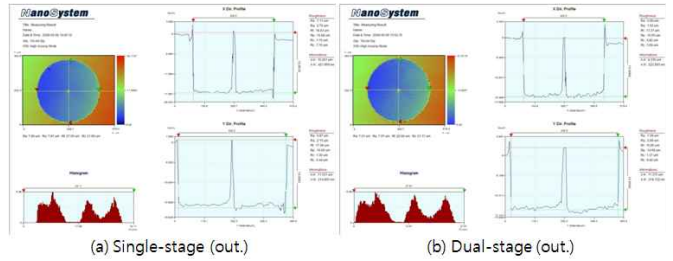


Fig. 10 Out. dia. measured by nano-stage

결과물에 대한 치수 측정은 내/외부 기준 직경이 각각 20 μ m, 420 μ m(틀 직경에 대한 틀의 경로 폭+내부원 직경)이 되고, 측정결과는 Table 2에 표시되어 있다. 마이크로스코프를 이용한 측정결과

Table 2 Measured values

unit(μ m)		Microscope		Nano-stage	
Stage	Diameter	Inner	Outer	Inner	Outer
	Single		21.84	421.91	21.3
Dual		19.94	420.02	19.4	419.9

에서 듀얼-스테이지에 의한 가공이 싱글-스테이지에 의한 가공보다 발생된 오차가 훨씬 적었고, 좀 더 정밀한 측정을 위해 나노-스테이지를 사용하여 측정한 결과에서도 듀얼-스테이지가 기준 직경에 더 가까운 형상을 보여 훨씬 정밀하게 가공되어졌다는 것을 나타낸다.

6. 결론

가공 측정 결과로 미루어 볼 때 듀얼스테이지에 의한 가공이 싱글스테이지에 의한 가공보다 더 정밀하게 가공되어 시뮬레이션의 결과와 같은 양상을 보여준다는 것을 알 수 있다. 듀얼스테이지에 의한 동작기계를 사용하여 수 ~ 수백밀리미터에 이르는 대면적에 대한 초정밀 미세 가공이 가능할 것이고, 사용되는 공구의 종류에 따라 더 많은 재료에 대해, 더 미세하고 정밀한 가공이 가능할 것이다.

참고문헌

- 이동성, 박종호, 박희재, “이중서보제어루프와 디지털 필터를 통한 서보모터-압전구동기의 초정밀위치결정 시스템 개발”, 한국정밀공학회지, 제16권, 제3호, pp.154-163, 1999년 3월.
- 이상원, “메소 스케일 동작기계의 개발에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 2007년도 춘계학술대회논문집, pp.145-146.
- 지용주, 이상진, 박후명, 오상록, 하만경, “연삭력 변화량이 공작물의 형상오차에 미치는 영향”, 한국기계가공학회지, 제3권, 제2호, pp.10-17, 2004년 6월
- 김우강, 김건희, 원중호, “초정밀 선반을 사용한 알루미늄 7075와 실리콘의 초정밀가공 특성연구”, 한국기계가공학회지, 제5권, 제4호, pp.27-32, 2006년 12월.
- 김태훈, “압전소자를 이용한 마찰구동기의 구동특성 고찰”, 영남대학교 대학원 석사학위논문, 2005년 6월.
- 박준식, “MEMS 기술의 개요 및 응용”, 전자부품연구원(KETI) 마이크로머신그룹, 2001년.
- 여인주, 정병목, 고태조, 박종권, “듀얼스테이지를 이용한 고정밀도의 하이브리드 밀링머신”, 한국공작기계학회, 2007년 춘계학술대회 논문집, pp.245-250.