

Micro end-milling에서의 절삭력을 이용한 공구변형 해석 Tool deflection analysis using measured cutting forces in Micro end-milling

*조희주¹, #서태일¹, 임정수¹, 이정원², 이종배³, 김유진³

*H. J. Cho¹, #T.I.Seo(Tiseo@incheon.ac.kr)¹, J. S. Lim¹, J. W. Lee², J. B. Lee³, Y. J. Kim³

¹ 인천대학교 기계시스템공학부, ²한국생산기술연구원, ³(주)삼화피엔티,

Key words : Micro end-milling, FEM, Side cutting, cutting force, Micro Machining

1. 서론

최근 미래 산업으로 주목 받고 있는 분야인 로봇, 연료전지, 바이오센서 및 우주산업 분야에 사용되는 기계부품들은 초소형, 고정밀도가 필수적으로 요구되고 있다. 마이크로 또는 나노 가공 기술은 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술로부터 발전하였다. MEMS가공 기술로는 LIGA(Lithographie, Galvanoformung, Abformung), 마이크로·나노머시닝(Micro·Nano Machining), ECM(Electro Chemical Micromachining), EDM(Electro Discharge Micromachining) 및 레이저 미세가공(Laser Micromachining)등 있다. 이중 마이크로 머시닝은 가공의 자유도가 높고 여러 가지 재료의 가공이 가능하므로 미세형상가공에 유리하나, 에칭이나 방전 가공에 비하면 가공력이 크며, 고정밀도의 가공기 및 미세공구의 제작이 힘들고 가공된 미세부품의 조립수단이 필요한 결점이 있다. 또한 공구의 초소형화로 인한 공구강성 저하로 마모, 파손 우려가 매우 높으며 치수효과, 가공시 소성, 탄성유동 등에 의해 가공면 조도 문제와 버 발생률 높아지는 단점이 있으며 가공메커니즘, 공구 및 가공물 절삭력에 의한 공구변형에 의하여 가공 오차 발생이 나타나게 된다.[1,2]일반적으로 공구변형에 관한 가공오차를 줄이는 방법으로 이송속도를 줄이는 방법을 선택할 수 있으나 이는 제품의 생산속도의 저하를 가져오게 가져오기 때문에 공구의 재질, 가공시편의 재질, 가공조건에 따른 가공 특성 변화로 절삭력과 공구의 변형량에 관한 정량적 평가와 이에 따른 가공오차의 보상에 관한 방법의 연구가 필요하다.[3]본 연구에서는 마이크로 엔드밀링시 측정된 절삭력을 이용하여 마이크로 엔드밀링을 FEM을 통해 공구변형을 해석하고 실제 가공면의 가공오차와 비교하기 위해 분석하기 위해 Fig. 1와 같이 가공오차 파라미터를 특성화 하였다.[3]

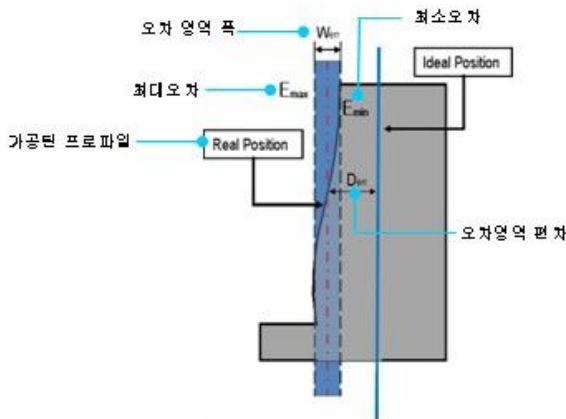


Fig. 1 Characteristic parameters of surface error

2. 실험방법

공구변형에 의한 가공오차를 측정, 검증하고 이에 따른 가공오차의 보상을 위한 연구 방법으로는 Fig. 2과 같은 순서에 의하여 진행하였다. 절삭력에 기인한 엔드밀 공구변형에 의한 절삭오차에 대한 검증과 절삭 오차에 관한 실험을 하기 위하여 마이크로 머시닝 장비를 이용하였다. 마이크로 머시닝 시스템은 서브 마이크로 단위의 분해능을 가지고 있기 때문에 수백 마이크로 미터에 이르는 절삭 실험 수행을 정확하게 실행할 수 있다.

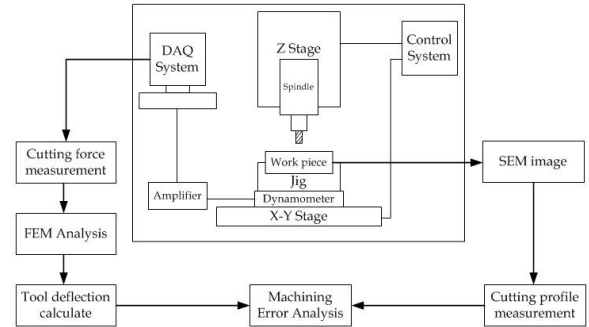
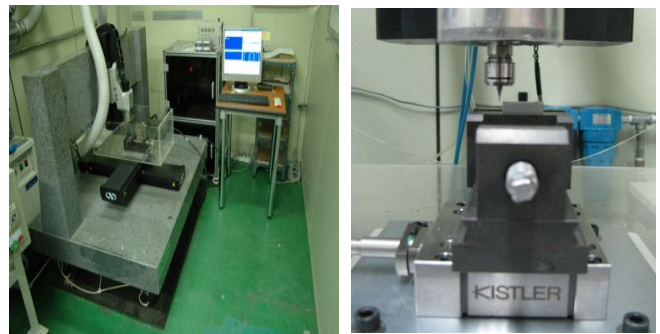


Fig. 2 Summary of experimentation

엔드밀의 경우 0.3mm의 직경을 갖는 엔드밀을 사용하였다. 시편의 경우에는 황동(Brass)을 사용하였다. 엔드밀 가공에서 일어나는 공구 변형에 대하여서는 SEM 이미지를 이용하였고 SEM 이미지에서의 픽셀값을 계산하여 가공오차를 분석하였다. 자세한 장비의 사양에 대해서는 Table 1에 나타내었다. 마이크로 머시닝과 공구 동력계는 Fig. 3에 나타내었다.

Table 1 Specification of Micro machining system

Traveling range	X, Y, Z-axis : 600×600×200mm
Resolution	X, Y, Z-axis : 0.1μm
Accuracy	X, Y-axis : 10μm/μm, Z-axis : 5μm
Repeatability	X, Y, Z-axis : 0.2μm
Max. velocity	X, Y-axis : 200mm/s, Z-axis : 100mm/s
Rotational speed	Max, 100,00rpm
spindle run-out	Max, 0.6μm
Static radial load	Min, 6kgf
Workpiece weight	Max, 45kgf
Lubrication	Dry cutting



(a) Micro Machining

(b) Dynamometer for Micro Cutting force

Fig. 3 Micro Machining System

Table 2 은 실험한 가공조건이다. 엔드밀의 반경방향의 절입 깊이 Rd(Radial Depth)값은 기준면으로부터 증가하여 변수로 주었으며 실험과정은 Fig.4 에서 보는 바와 같이 공구변형에 의한 가공오차를 이미지를 획득하여 측정하였으며, Rd(Radial Depth)값을 실험의 변수로 지정하기 위하여 황동시편 여러 개의 폴을

가공한 후 마이크로 머시닝 시스템에 서의 가공 기준을 정하기 위하여 기준면을 가공하였다.

Table 2 Cutting experiment conditions

Micro cutting shape	Side cutting
Feed rate(mm/min)	300
Depth of cut(mm)	0.35
Radial depth(mm)	100, 150, 200(130, 170) μ m
Tool	Φ 0.3 2flute Flat End-mill
Workpiece	Brass
Cutting speed	40,000(RPM)
Cutting mode	Down milling

3. 마이크로 엔드밀 절삭력 측정 및 FEM 해석

본 논문에서 제안된 공구변형에 의한 가공오차를 측정하기 위하여 가공된 황동시편을 Fig. 3에 보는 바와 같이 250배 확대 SEM 촬영을 실행 하였다. Fig. 4에 획득된 Image에서 공구변형에 의한 가공오차를 특성화하기 위하여 그래프화 하여 이상적인 가공위치(Ideal position)과 오차 영역 폭(Werr)을 계산하였다. 그와 동시에 공구동력계를 이용하여 Fig. 5과 같은 절삭력을 측정하였다.

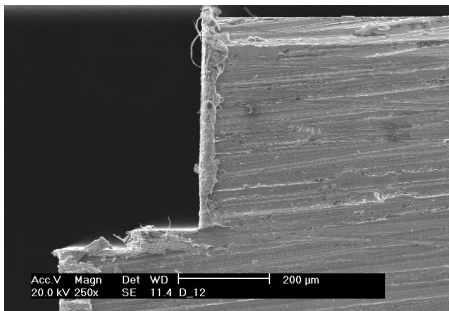


Fig. 4 Side cutting profile

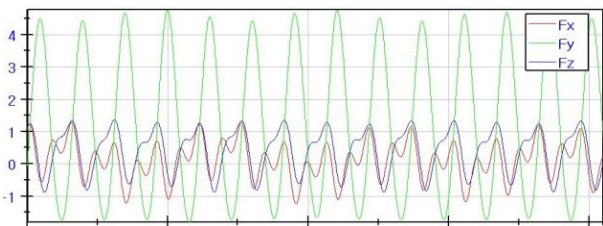


Fig. 5 Cutting force

마이크로 엔드밀링 시 절삭력에 의한 공구 변형을 알아보기 위해 마이크로엔드밀을 현미경을 통해 특징 형상을 분석한 후 ANSYS WORKBENCH를 통해 Fig. 6과 같이 해석하였다.

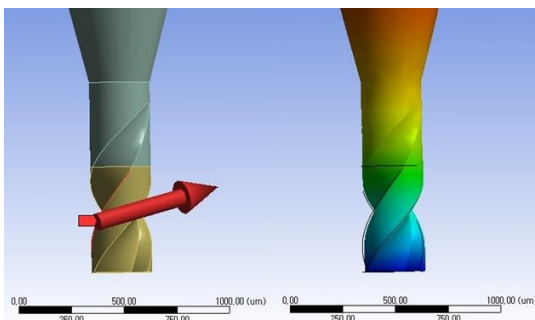


Fig. 6 FEM process of micro End-mill

FEM에 사용된 절삭력은 가공 실험 시 측정된 절삭력이 최대일 때 가공깊이의 날 끝에 적용하는 것으로 가정하여 Fx, Fy, Fz의 절삭분력을 넣어 해석하였으며 마이크로 엔드밀링시 절삭력에 의한 공구 변형을 알아보기 위해 FEM 해석결과와 실제 가공 오차의 비교를 Fig. 7로 나타내었다.

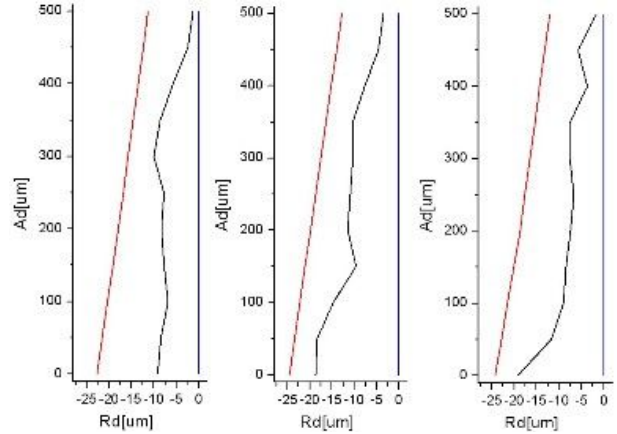


Fig. 7 Comparison between real and FEM profile (Feed 20mm/min, Ad 500 μ m)

4. 결과 및 결론

앞서 실행하였던 FEM 해석 결과와 이를 검증하기 위한 마이크로 머시닝을 통한 가공오차 측정 결과를 비교 분석한 결과 오차 범위 중심인 Derr이 FEM해석결과가 약9 μ m가 더 큰 것으로 나타났으며 Werr도 실제 가공오차와 FEM해석 결과가 \pm 4 μ m가 차이났다. 이는 현미경 측정을 통하여 특징형상을 데이터화하여 마이크로 엔드밀의 모델링을 하였으나 실제 형상과는 약간의 차이에 따른 것으로 보이며 또한 사용된 절삭력이 최대절삭력을 사용하여 FEM해석결과가 더욱 큰 것으로 나타난 것으로 생각된다. 따라서 엔드밀의 더욱 정확한 모델링과 최소칩 두께를 고려한 회전각도에 따른 절삭력을 적용 시킬 경우 더욱 근접한 공구변형에 의한 가공오차를 계산할 수 있으며보다 많은 조건을 통하여 데이터를 통하여 가공오차에 예측에 관한 이론적 적립도 가능할 것으로 생각된다.

후기

이 논문은 중소기업청에서 지원하는 2009년도 생산환경혁신 기술개발사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Xinmin Lai and other., "Modelling and analysis of micro scale milling considering size effect, micro cutter edge radius and minimum chip thickness." International Journal of Machine Tools & Manufacture, 1-14, 2008
2. J. Chae, S. S. Park, T. Freiheit, "Investigation of micro-cutting operations." Machine Tools & Manufacture, 46, 313~332 2006
3. 전두성, 서태일, 윤길상, "측면가공에서 마이크로 엔드밀의 공구 변형에 의한 절삭가공오차 보상에 관한 연구" 한국공작기계학회 논문집, 17, 2, 128-134,2008.