

# 양방향 평면진동을 이용한 미세밀링가공

## Micro Milling using 2-dimensional Vibration

#김기대

#G. D. Kim(gidkim@cu.ac.kr)  
 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

Key words : 2D-vibrational milling, excitation table, side milling

### 1. 서론

제품의 소형화 및 초정밀화 추세로 인해 마이크로 가공기술의 중요성은 매우 증가하고 있다. 절삭 가공 방식은 방전가공, 전해가공, 레이저가공 등 다른 특수 가공방식에 비해 우수한 가공정밀도를 기대할 수 있지만, 미세 공구를 제작하기 어렵고 미세 공구를 사용 시 공구의 수명이 단축되며 가공량에 비해 생성되는 버(burr)의 크기가 과다하고 이를 쉽게 제거할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이를 극복하고자 진동절삭<sup>(1)</sup> 방안이 도입되었다.

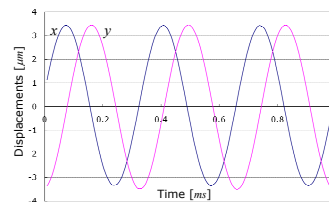
저자<sup>(2-3)</sup>는 그동안 2개의 압전소자를 이용하여 2차원 방향으로 고주파 진동을 생성시키고 이를 이용하여 미세 V 홈 혹은 피라미드 패턴을 가공하는 연구를 수행하여 왔고, 이를 통해 2차원 진동절삭을 이용하면 미변형 칩두께 및 절삭 저항이 감소하며 버 생성이 억제되는 등의 효과로 인해 미세가공 정밀도가 크게 향상될 수 있음을 확인하였다.

그러나 가공 형상의 한계를 극복하기 위해서는 기존의 1차원 혹은 1.5차원 가공방식에서 벗어나 2, 3차원 형상을 가공할 수 있는 미세 밀링 방식으로 확장시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 2차원 고주파 진동 미세절삭 이론을 미세밀링가공에 적용시켜 가공 정밀도를 향상시킬 수 있는지 확인하고자 한다.

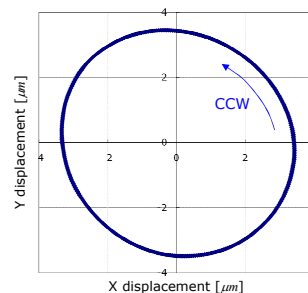
### 2. 2차원 진동 미세밀링가공

V 홈을 가공하기 위한 셰이핑(shaping) 공구는 회전하지 않기 때문에 기존의 연구<sup>(2-3)</sup>에서는 고정되어 있는 공구에 2개의 압전소자(piezoelectric materials)를 부착하여 수직인 두 방향의 진동, 즉, 2차원 진동을 생성시킬 수 있었다. 그러나 공구가 회전하는 밀링에서는 공구 대신 고정되어 있는 테이블에 수직인 방향의 압전소자를 배열하여 가진테이블(excitation table)을 제작하였다. Fig. 1(a)

는  $x, y$  각 방향으로 서로  $74^\circ$ 의 위상 차이를 가지는  $30V, 23V$ 의  $3kHz$  정현파 신호를 입력하였을 때 가진테이블에서 생성되는 각 방향의 변위를 보여 주며 이들 두 변위를 2차원으로 합성하면 Fig. 1(b)와 같은 반시계방향으로 회전하는 2차원 타원궤적을 생성시킬 수 있다. 이러한 방법을 이용하면 다양한 형상의 2차원 평면진동을 매우 안정적으로 생성시킬 수 있었지만, 테이블과 공작물, 그리고 이를 결합하고 있는 지그 등 가진시켜야 할 질량이 크기 때문에 생성시킬 수 있는 가진 주파수와 가진 진폭에 한계를 가지는 단점을 가지고 있었다.



(a) Displacements in  $x$  and  $y$  directions



(b) 2-dimensional vibration combined by displacements in  $x$  and  $y$  directions

Fig. 1 Generation of 2-dimensional vibration (3kHz)

밀링 공정에서 Fig. 1(b) 과 같은 2차원 타원궤적이 주축의 회전운동 및 공구 이송운동이 결합된 기존의 트로코이드(trochoid) 운동과 합성되면 공

구는 Fig2 와 같은 자전운동과 공전운동이 결합된 형태의 새로운 가공 궤적을 그리게 된다. 이러한 운동으로 인해 기존의 타원궤적 진동절삭 V 홈 가공에서와 같은 효과, 즉 미변형 칩두께의 감소 및 절삭저항의 감소, 이를 통한 가공정밀도 향상 등을 기대할 수 있게 된다.

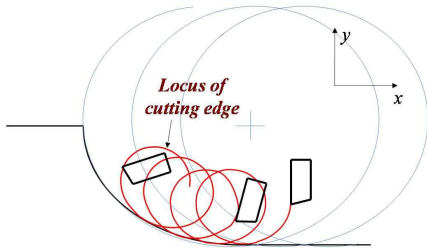


Fig. 2 Locus of cutting edge in 2D-vibrational milling

### 3. 실험 결과

실험에 사용된 공구와 공작물의 속성을 Table 1에 정리하였다. 직경이 0.3mm 인 초경공구를 이용하여 니켈합금의 일종인 하스텔로이(C-276) 재료를 Fig. 3과 같이 측면(side) 절삭 및 슬롯(slot) 절삭을 연속적으로 수행하였다. Fig. 4는 이송속도 0.15mm/s, 절삭깊이 0.2mm, 주축회전속도 18,000 rpm 으로 측면 절삭을 수행한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보여지는 바와 같이 가진주파수 5kHz, 타원궤적의 진폭 2.3 $\mu$ m 인 2차원 진동 미세 밀링을 수행하면 측면밀링 가공 시 일반적인 밀링 가공방식과 비교하여 표면정밀도가 향상하고 버 생성이 억제되어 가공정밀도가 향상된 것을 확인할 수 있다. 이에 반해 슬롯 밀링의 경우에는 크게 향상된 결과를 얻지 못했는데, 향후 이의 원인규명

Table 1 Workpiece and tool used in experiment

Tool		Workpiece
Diameter	Materials	
0.3mm	WC	Hastelloy (C-276)

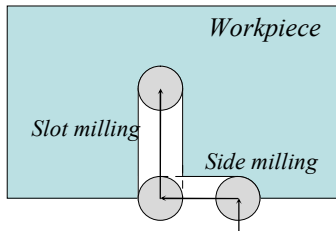
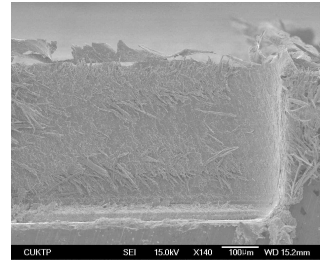
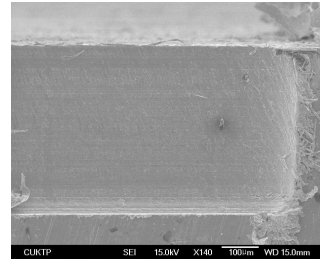


Fig. 3 Side milling and slot milling



(a) By conventional milling



(b) By 2D vibrational milling(5kHz, amplitude: 2.3 $\mu$ m)  
Fig. 4 Comparison of side milling between conventional and 2D vibrational milling (Tool :  $\phi$ 0.3mm WC, Workpiece: Hastelloy(C-276), feed rate: 0.15mm/s, spindle speed: 18,000rpm)

을 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

### 4. 결론

압전소자를 이용하여 양방향 평면 진동을 생성시킬 수 있는 가진테이블을 제작하고 0.3mm 초경공구로 니켈합금을 미세 밀링 가공한 결과, 측면 밀링 가공 시 일반적인 밀링 가공방식에 비해 표면 거칠기가 개선되고 버 생성이 억제되는 등 가공정밀도가 향상되었음을 확인하였다.

### 참고문헌

1. Brehl, D. E. and Dow, T. A., "Review of vibration-assisted machining," Precision Engineering, **32**, 153-172, 2008.
2. Kim, G. D. and Loh, B. G., "Characteristics of Elliptical Vibration Cutting in Micro V-grooving with Variations of Elliptical Cutting Locus and Excitation Frequency." Journal of Micromechanics and Microengineering, doi:10.1088/0960-1317/18/2 /025002, 2008.
3. 김기대, 노병국, "타원궤적 진동절삭 가공기를 이용한 미세형상가공," 한국정밀공학회지, 25(11), 45-51, 2008