

양방향 평면진동을 이용한 미세구멍가공

김기대[#]

Micro Drilling using 2-directional Vibration in a Plane

Gi Dae Kim[#]

(Received 22 June 2010; received in revised form 16 August 2010; accepted 19 August 2010)

ABSTRACT

By generating 2-directional vibration in a xy plane of workpiece table, a newly developed micro drilling using 2-directional vibration was carried out. The vibration was produced by applying sinusoidal voltages to the orthogonally arranged piezoelectric materials built in the workpiece excitation table. Through the micro-drilling experiments using poly-carbonate and brass material, it was found that micro drilling using 2-directional vibration in a workpiece table could be an efficient method to enhance the form accuracy of machined workpiece by suppressing burr formation at both entry and exit region. A higher form accuracy could be obtained by increasing stiffness of feeding mechanism, decrease of geometric tolerance of combining jig, and development of high performance excitation table which generates amplified vibration at higher frequency.

Key Words : Micro Drilling(미세구멍가공), 2-Directional Vibration(양방향 진동), Excitation table(가진테이블), Burr formation(버 생성), Form accuracy (형상정밀도)

1. 서 론

마이크로 드릴링을 이용한 미세구멍가공 기술은 미세 노즐(nozzle)과 정밀 의료기기, 초정밀 전자제품, 그리고 PCB, IC 용 마스크 제작 등에서 매우 광범위하게 이용되고 있으며, 고속 가공화 및 초정밀가공 요구에 대응하기 위해 정밀 미세 구멍 가공 기술의 중요성은 매우 증가하고 있다.

실제 산업체에서는 마이크로 드릴링 작업이 매우 흔하게 사용되고 있지만, 짧은 공구수명, 버(burr) 과다 생성, 그리고 진원도 오차로 인해 미세 구멍의 형상정밀도가 크게 저하된다. 특히 크기가

작은 버가 생성되면 이를 제거하기가 어려워 일반적으로 초음파가공, 전해가공 및 방전가공과 같은 특수가공 방식으로 미세 구멍을 가공하고 있다.

현재까지 초음파 진동을 이용한 미세구멍가공은 주로 가공액 속에 담겨져 있는 가공입자(slurry)로 공작물에 미세 크랙을 발생시켜 가공하는 방식으로 연구를 진행하여 왔다.^[1] 그러나 가공시간 단축과 생산성 향상, 그리고 가공 표면거칠기 향상을 위해 직접 절삭가공 방식으로 미세구멍을 가공할 수 있는 방안이 요구되어 진동 절삭가공에 관한 연구가 수행되었다.^[2] 2차원 진동 밀링에 관한 연구는 제한적으로 진행되어왔으나^[3,4], 2차원 평면 진동 드릴링에 관한 연구는 보고된 바 없다.

저자는 그동안 2차원 타원케적 미세진동을 이용한 V 홈 혹은 미세 피라미드 패턴 가공에 관한 연

[#] 교신저자 : 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부
E-mail : gidkim@cu.ac.kr

구를 수행하여 왔고, 기존 연구를 통하여 이러한 2차원 진동절삭을 이용하면 미세가공 정밀도가 크게 향상될 수 있음을 확인하였다.^[5] 본 연구는 이러한 타원계적 미세절삭 이론을 기초로 한 양방향 평면진동이 미세구멍가공 정밀도를 향상시킬 수 있는지 확인하는 것이며 궁극적으로는 양방향 평면진동을 이용한 미세 구멍가공 기술을 정립하고 이를 적용할 수 있는 장치를 구현할 수 있는 토대를 마련하고자 한다.

2. 실험장치 구성

2.1 양방향 평면진동 가진 테이블

x , y 방향으로 두 개의 압전소자가 장착된 가진 테이블에 위상차(phase difference)를 가지는 정현파 전압(sinusoidal voltage)을 가하면 압전효과에 의하여 수직한 양방향으로 정현파 변위가 발생한다. Fig. 1은 가진 테이블 설계도면을 보여주고 있다.

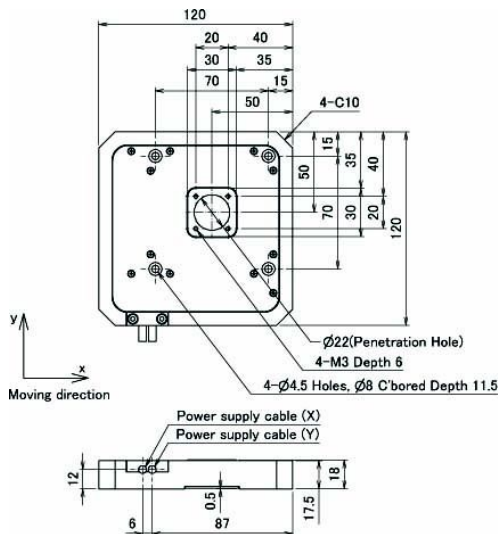


Fig. 1 Design of 2-directional excitation table

x , y 각 방향에서 위상차이를 가지고 생성되는 양방향 정현파 변위를 합성하면 공작물이 장착된 테이블은 2차원 xy 평면상에서 타원을 그리는 진동 궤적을 생성하게 된다. 주파수 f 로 x , y 방향으

로 최대 진폭(peak-to-peak) A_x , A_y 만큼 진동하고 있다면 공작물 가진 테이블은 Fig. 2과 같이 주축회전에 의한 드릴공구의 회전 및 가진테이블의 타원계적이 합성된 공구 경로로 가공이 이루어지게 된다. 이 때 양방향 진동으로 인해 미세구멍의 크기가 커지는 효과가 나타나지만, 드릴의 직경과 드릴가공 오차에 비하여 진동의 진폭 크기가 작기 때문에 진동 진폭으로 인한 구멍 크기의 증가량은 무시할 수 있다.

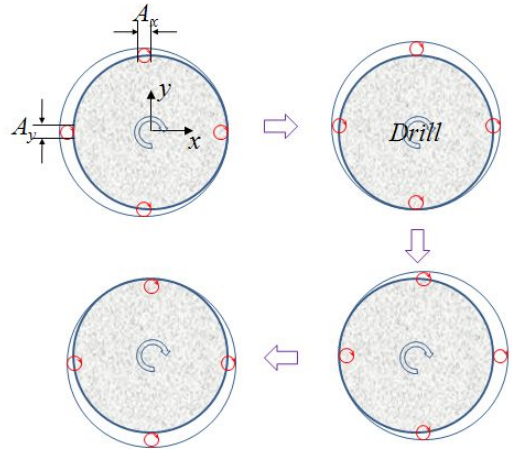


Fig. 2 Micro drilling using 2-directional vibration in a plane

2.2 미세구멍 가공기

공구를 장착시킬 수 있는 주축을 구입하고 평면진동을 발생시킬 수 있는 가진테이블을 제작하고

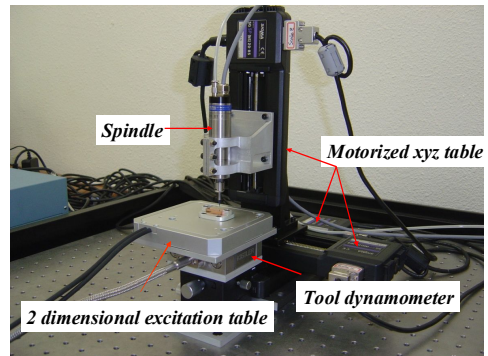
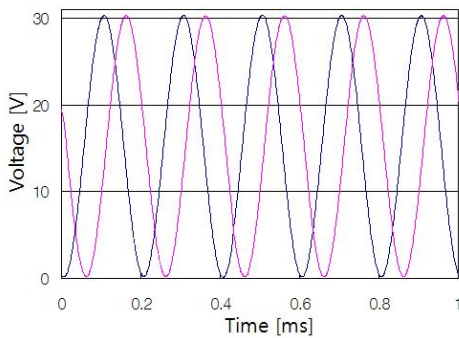


Fig. 3 Micro drilling machine using 2-directional vibration

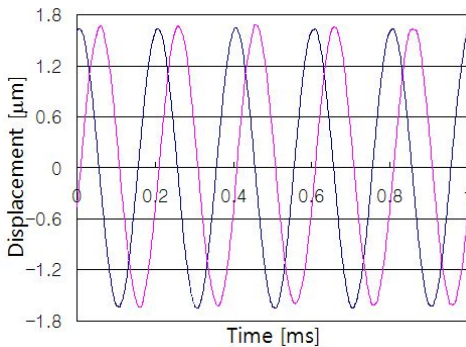
나면 각종 지그(jig)를 제작하여 이들을 위치제어용 용 xyz 정밀이송 테이블에 장착한다. 전체 시스템을 방진 테이블(vibration isolator)에 고정하여 양방향 평면진동 미세구멍 가공기를 구성하였으며 전체 그림을 Fig. 3에 나타내었다.

3. 실험결과

3.1 진동계적 생성 및 측정



(a) Input voltages (V_x , V_y)



(b) Displacements (d_x , d_y)

Fig. 4 Input voltages to excitation table and resulted displacements

2채널 함수발생기로부터 위상 차이를 가지는 두 개의 $5kHz$ 정현파 전압을 발생시키고 이를 고주파 동력증폭기를 거쳐 Fig. 4(a)과 같은 V_{pp} 30V 인 전압을 발생시켰고 이를 각각 가진테이블 내 x 및 y 방향으로 배열되어 있는 압전소자에 입력하였다. 압전효과에 의하여 테이블에는 양방향으로 약

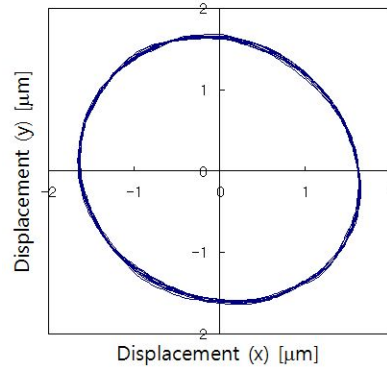


Fig. 5 Elliptical locus of table by 2-directional vibration (excitation frequency : $5kHz$)

$3.4\mu m$ 의 변위가 발생하였다.(Fig. 4(b)) 공작물이 장착된 테이블에 수직인 방향으로 위상차이를 가지는 두 개의 정현파 변위가 발생하면 공구와 공작물은 Fig. 5와 같은 타원궤적을 그리게 되며 주축의 회전에 의한 운동과 이 궤적에 의한 운동이 합성되어 드릴 가공을 하게 된다.

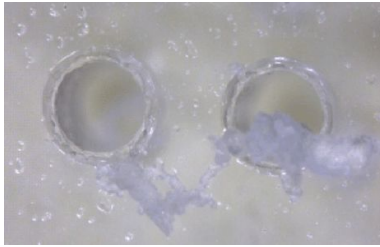
3.2 가공시험 결과

$1mm$ 두께의 PC(poly-carbonate) 및 황동 재료에 각각 직경 $0.4mm$ 와 $1mm$ 의 구멍을 가공하기 위하여 Table 1과 같은 조건을 적용하여 일반 드릴링 방식 및 양방향 평면 진동 드릴링 방식으로 가공하였으며 그 결과를 비교하였다.

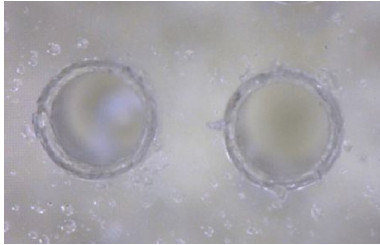
Fig. 6(a)는 이송속도를 $0.5mm/s$, 주축회전수를

Table 1 Experimental conditions

Items	Type	
	Drill	Material
	Diameter	$\phi 0.4mm$, $\phi 1mm$
Workpiece	Material	PC, Brass(C2801)
	Thickness	$1mm$
Machining conditions	Feedrate	$0.2\sim 0.5mm/s$
	Spindle speed	$30,000rpm$, $45,000rpm$
Vibration conditions	Frequency	$3kHz$, $5kHz$
	Amplitude(p-p)	≈ 3 , $3.4\mu m$

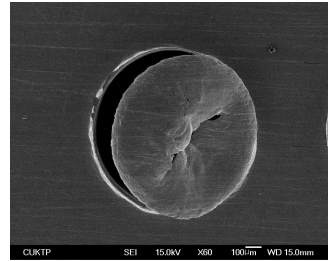


(a) Conventional drilling (No vibration)

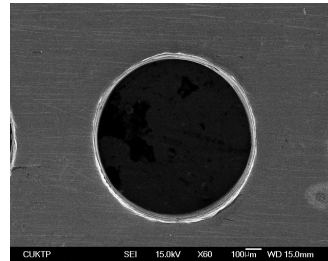


(b) With 3kHz 2-directional vibration

Fig.6 Comparison of shape of entry region machined by conventional and 2-directional vibration drilling (Material: PC, Entry region, 30,000rpm, 0.5mm/s)

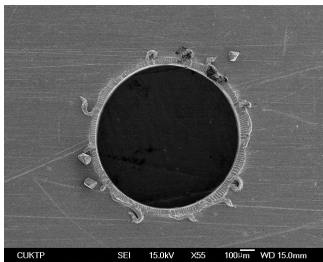


(a) Conventional drilling (No vibration)

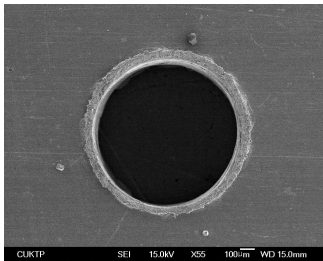


(b) With 5kHz 2-directional vibration

Fig.8 Comparison of shape of exit region machined by conventional and 2-directional vibration drilling (Material: Brass, Exit region, 45,000rpm, 0.3mm/s)



(a) Conventional drilling (No vibration)



(b) With 5kHz 2-directional vibration

Fig.7 Comparison of shape of entry region machined by conventional and 2-directional vibration drilling (Material: Brass, Entry region, 30,000rpm, 0.2mm/s)

30,000rpm 으로 하고 진동없이 일반적인 방식으로 구멍 가공한 경우이며 Fig. 6(b) 는 같은 절삭조건에서 주파수 3kHz, 최대진폭 3 μ m 의 양방향 진동을 테이블에 발생시켜가면서 PC 재료를 가공한 경우이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 일반 방식으로 가공하였을 때는 구멍 입구 부분에 생성된 버가 남아 있지만, 양방향 진동절삭 시에는 사라졌다.

Fig. 7는 이송속도를 0.2mm/s, 주축회전수를 30,000rpm, 가진 주파수 5kHz, 최대진폭 3.4 μ m 의 양방향 진동을 테이블에 발생시켜가면서 황동재료를 가공한 경우이다. 마찬가지로 양방향 진동절삭 시 절삭성의 향상을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 이송속도를 0.3mm/s, 주축회전수를 45,000rpm 으로 가공한 경우로서 일반 방식으로 가공하였을 때는 구멍의 출구 부분에 캡형 버 (cap type burr)가 생성되었지만, 5kHz 양방향 진동 절삭을 적용하면 생성된 캡형 버가 절단되어 매끈한 면이 생성되었음을 확인할 수 있다.

4. 한계점 분석

앞선 시험 결과에서 테이블에 고주파의 양방향 평면 진동을 가하여 미세구멍을 가공하면 가공 재료에 관계없이 가공정밀도가 향상될 수 있음을 확인하였다. 그러나 몇 번의 실험에서는 양방향 평면진동을 가하더라도 버가 생성되는 등 가공정밀도 향상을 확인할 수 없는 시험 결과가 확인되었다. 이러한 결과의 원인에 대해 다음과 같은 몇 가지 이유를 추정할 수 있다.

첫째 구축된 미세 가공기의 부족한 강성을 들 수 있다. 본 연구에서는 공구 이송기구로 Fig. 3에 나타난 바와 같이 정밀 위치제어용으로 제작된 정밀 xyz 스테이지를 사용하였는데, 이는 결국 미세 가공기의 강성의 부족으로 이어져 주축의 진동이 그대로 공작물 테이블에 전달되는 결과를 가져온 것으로 추정된다.

둘째, 주축을 z축 스테이지에 고정하는 지그의 기하학적 오차로 인해 공구의 런아웃(run-out)이 크게 발생한 것을 들 수 있다. Fig. 9는 주축을 30,000rpm으로 회전시켰을 때 드릴공구의 궤적을 측정한 결과이며, 주축의 회전 진동과 런아웃으로 인해 x, y 양방향으로 약 12 μ m의 변위가 발생하고 있음을 보여준다.

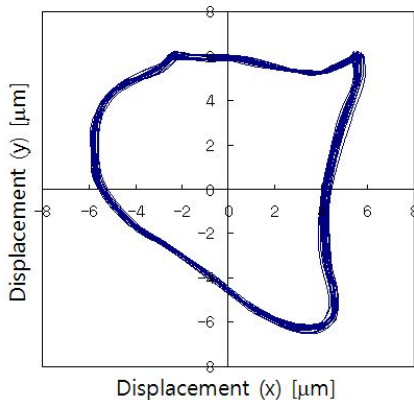


Fig.9 Vibration of drill tool due to spindle rotation

셋째, 부족한 가진테이블 성능을 들 수 있다. 저자의 기존 연구결과^[5]에 의하면 2차원 진동절삭의 효

과가 극대화되기 위해서는 2차원 진동으로 인해 가공 중 공구와 공작물이 접촉과 비접촉을 반복해야 하며 이를 구현하기 위해서는 가진주파수(f)와 진동의 진폭(A)이 커야 한다. 그러나 본 연구에서 제작한 가진테이블의 최대 가진주파수와 최대 가진 진폭은 한계를 가지고 있다.

따라서 향후 브릿지형 제진대를 이용하여 가공기 자체의 강성을 높이고, 주축의 회전 동심도 확보를 위한 정밀한 지그설계 및 제작, 그리고 가진테이블의 가진주파수와 진동의 진폭을 증가시키기 위한 선행 연구가 필요함을 확인하였다.

5. 결론

공작물이 장착된 테이블에 x,y 양방향으로 가진하고 두께가 1mm 인 PC재료와 황동재료에 미세구멍을 가공을 한 결과, 테이블 가진 없는 일반적인 구멍가공 방식에 비하여 구멍 입구 및 출구 부분에 버생성이 억제되어 미세구멍 가공정밀도가 향상되었음을 확인하였다. 그러나 가공기 강성의 부족과 지그의 기하학적 오차, 그리고 가진테이블 성능 등 몇가지 추정 원인들로 인해 미세구멍 가공 시 양방향 평면진동의 효과를 확인할 수 없는 실험 결과도 확인할 수 있었다. 향후 가공기 이송시스템의 강성을 높이고 정밀한 지그 제작을 통해 공구의 런아웃을 감소시키며 가진주파수 및 진폭을 더욱 증가시킬 수 있는 가진테이블을 제작하는 세부 연구를 수행함으로써 미세구멍 가공정밀도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2010년 동일문화장학재단 학술연구비 지원에 의한 결과임.

참고문헌

1. Thoe, B., Aspinwall, K. and Wise, H., "Review on Ultrasonic Machining", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol.38, No.4,

pp.239-255, 1998.

2. Brehl, D. E. and Dow, T. A., "Review of vibration-assisted machining," *Precision Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 153-172, 2008.
3. Moriwaki, T., Shamoto, E., Song, Y. C. and Kohda, S., "Development of a Elliptical Vibration Milling Machine," *Annals of the CIRP*, Vol. 53, No. 1, pp. 341-344, 2004.
4. Chern, G. L. and Chang, Y. C., "Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Vol. 6, Issue 6, pp. 659-666, 2006.
5. 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.