

초음파 진동절삭을 이용한 평면 광도파로와 유리의 미세 홈 가공특성에 관한 연구

이준석*, 김병국*, 정용호**, 이득우**

*부산대학교 대학원 정밀기계공학과

**부산대학교 기계공학부

A study on micro grooving characteristics of planar lightwave circuit and glass using ultrasonic vibration cutting

Jun-Seok Lee*, Byung-Kuk Kim*, Yoong-Ho Jung**, Deug-Woo Lee**

*Dept. of Mechanical and Precision Engineering, Graduate School, Pusan National University

**School of Mechanical Engineering, Pusan National University

Abstract

Recent years, optical components' are widely used in optical communication industry for high speed and mass storage data processing. Micro grooving of planar lightwave circuit and glass, those are widely used in optical component, are realized by polycrystalline diamond tool with ultrasonic vibration. To know the characteristics of brittle materials cutting, ultrasonic vibration cutting tool and machining system are built for the experiment. Grooving on planar lightwave circuit and glass experiments are performed and their shape are measured by photograph with microscope. It reveals that better groove shape with low chipping of planar lightwave circuit and glass are obtained by micro grooving machining with ultrasonic vibration. These experiments are considered as a possibility to the micro grooving of optical communication components.

Key words: Ultrasonic vibration cutting(초음파 진동절삭), Micro grooving(미세 홈 가공), Planar lightwave circuit(평면 광도파로), Glass(유리)

1. 서론

초고속·대용량 정보처리 및 통신분야에는 광통신이 쓰이고 있다. 이러한 광통신에는 유리를 사용하는 광부품이 핵심이 되고 있는데 선진국에서는 이와 관련된 연구가 40년 전부터 연구되어 왔고 현재는 광부품의 특성향상, 고집적화, 고기능화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

광통신부품에서 사용하고 있는 유리는 고취성 재료로서 미세 절삭 가공시 표면에 균열을 남기는 취성 파괴 절삭이 이루어지므로 기존 절삭 가공방법으로는 많은 문제점이 있다. 따라서 유리 가공방법의 확립과 이용률을 증대시키기 위해서는 새로운 가공방법이 절실히 요구되고 있다. 일반적인 절삭 가공으로는 가공이 어려운 유리의 절삭방법의 일환으로 공구에 초음파 진동을 주어 절삭하는 방법이 제안되고 있고, 이에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

Weber는 유리 세라믹을 공구 홀더에 초음파 횡진동을 가진시켜 가공 면에서 취성파괴에 의한 칩생성으로 공구수명을 20배까지 증가시킬 수 있다고 보고하였다.^[1] Kumabe가 공구에는 초음파 종진동, 공작물에는 저주파 횡진동을 가하는 중첩

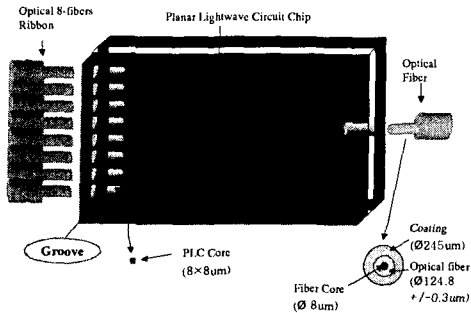


Fig. 1 Illustration of planar lightwave circuit

진동 절삭을 통해 취성재료인 세라믹을 가공하여 기존의 진동절삭보다 표면 거칠기가 향상이 되었고 높은 가공능률을 얻을 수 있다는 것을 보였다.^[2] Shamoto는 경취재료인 소다 석회 유리의 연성가공을 시도하여 유리 홈 가공시 최대 공구속도가 절삭속도에 비해 10배 증가함에 따라 임계절삭 깊이가 종래의 절삭에 비해 7배 깊어진다는 것을 발표한바 있다.^[3] 이 연구 결과들로 볼 때 초음파 진동절삭은 공작물의 표면조도를 개선시키므로 취성재료 가공에 효과적임을 알 수 있다.

본 논문에서는 광부품에서 많이 사용하고 있는 유리재료와 광부품의 하나인 평면 광도파로를 저가격에서 충분한 정밀도와 고능률 가공을 하기 위해 초음파 진동 절삭을 이용하였다. 이 가공을 위해 20kHz의 초음파 진동을 공구에 가하도록 하는 진동발생장치와 미세가공할 수 있는 이송계 시스템을 설계·제작하였다. 이 시스템으로 먼저 유리를 일반 절삭과 1차원, 2차원 초음파 진동절삭을 하고 가공된 홈의 형상을 측정하여 절삭 특성을 파악하고 난 뒤에 평면 광도파로의 절삭실험을 하여 그 특성을 검토하였다. 이를 통해 초음파 진동 절삭이 유리와 평면 광도파로의 미세 홈 가공에 응용될 수 있다는 것을 밝히고자 한다.

2. 진동절삭의 원리

2.1 1차원 진동절삭

Fig. 1은 1차원 진동절삭기구를 나타낸 것이다. 공구가 O점으로부터 진동을 시작하여 이송속도 V로 공작물로 진행하여 A점에서 접촉을 한다. 이때 충격력으로 인해 칩이 생성되고 난 다음에 공

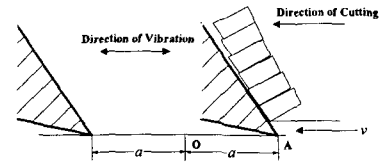


Fig. 2 1 dimensional vibration cutting

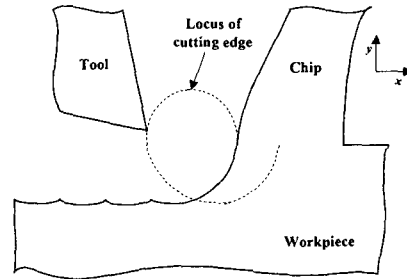


Fig. 3 2 dimensional vibration cutting

구 진동속도보다 이송속도가 느림으로 인해 경사면과 칩이 분리된다.^[4]

2.2 2차원 진동절삭

Fig. 2는 2차원 진동절삭기구를 나타낸 것이다. 공구의 끝부분이 공작물에 진입하고 공구가 칩 유출방향으로 운동하면서 절삭을 하게 된다. 이 결과 평균적인 마찰력이 반전함으로 인해 전단각이 커져서 전단면적이 감소하게 되어 결국에는 절삭 저항이 감소한다.^[5-6]

3. 진동공구의 설계와 구동원리

1차원, 2차원 초음파 진동절삭을 이용하여 미세 홈 가공 실험을 하기 위해 진동공구를 설계하였다. 혼은 진동을 증폭시키고 큰 에너지를 얻기 위해 사용된다. 그런데 이 혼의 고유진동수가 진동자가 발생하는 진동수와 일치하지 않으면 초음파 진동을 발생시킬 수 없으므로 혼의 고유진동수를 찾는 것은 매우 중요하다. 여기서는 CATIA를 사용하여 혼을 설계하고 이를 자체 모듈에서 해석하여 의도하고자 하는 고유진동수에 도달하도록 설계를 하였다. 해석 결과는 Fig. 4와 5에 제시하여 놓았다.

Table 1 Condition for analysis

Node	9410
Element	5529
Element Type	10 node Tetrahedral
Material	Stainless Steel type 446
Young's modulus	2×10^{11} N/m ²
Poisson Ratio	0.3

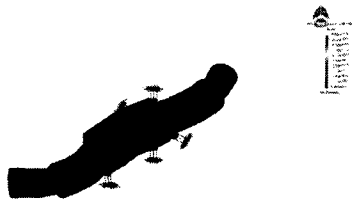


Fig. 4 Deflection at 20667.1Hz

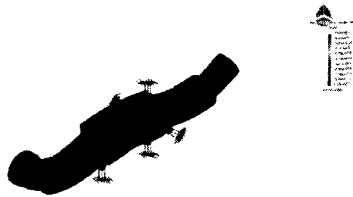


Fig. 5 Deflection at 21130.1Hz

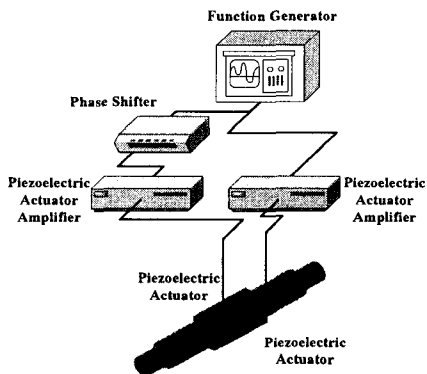


Fig. 6 Schematic diagram of cutting tool

공구에 초음파 진동을 발생시키는 과정은 다음과 같다. 1차원 진동의 경우, 함수발생기를 이용하여 정현파를 발생시켜 이를 높은 전압 신호로 바꾸는 연산증폭기로 보낸다. 여기서 연산증폭기 2개를 사용하여 원래의 신호를 20배 증폭시켜 압전소자로 보내어진다. 이 압전소자는 신호에 따라 팽창과 수축을 반복함으로써 공구가 일정한 주기로 진동할 수 있게 한다. 공구에 2차원 초음파 진동을 발생시키는 것은 함수발생기를 이용하여 정현파를 발생시켜 원래의 신호와 이 신호를 90° 위상차 회로를 거친 신호 2개가 각각의 증폭기로 보내어져 2개의 압전소자를 구동 시키게 된다.

4. 가공기의 구성과 실험조건

4.1 가공기의 구성

초음파 진동절삭을 이용한 미세절삭가공실험을 위해 본 연구에서 사용된 가공기는 직선 운동을 (Linear Motion, LM)안내 시스템과 공기 정압 안내

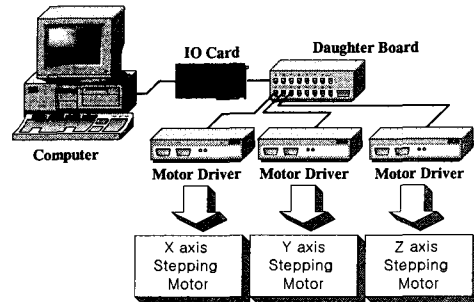


Fig. 7 Schematic diagram of personal computer based numerical control

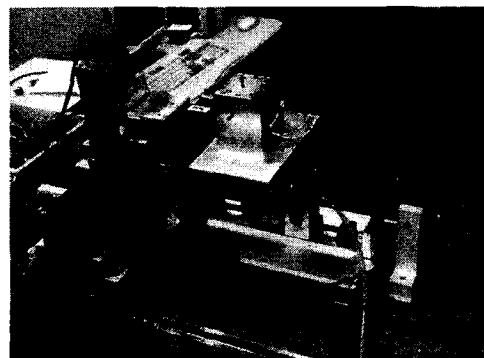


Fig. 8 Cutting System

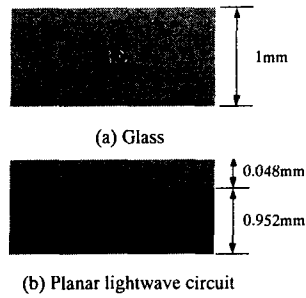


Fig. 9 Comparison between glass and Planar lightwave circuit

Table 2 Cutting condition

Workpiece	Glass, Planar lightwave circuit (PLC)	
Tool	Material	Diamond
	Nose radius	0.1mm
	Rake angle	0°
	Clearance angle	2°
Cutting speed	0.1m/min	
Frequency	1D vibration cutting	19.52kHz
	2D vibration cutting	19.52kHz
Depth of cut	5 μ m	
Cutting fluid	Water	

시스템으로 구성된 선삭 가공기이다. x, y축은 공기 정압 안내면 및 스텝 모터를 이용하였으며 z축은 직선 운동 안내 시스템 및 스텝 모터를 이용하였다. x, y축은 각각 200mm의 행정에 의해 각각 z축과 초음파 진동 시스템을 이송한다. x, y, z축 모두 피치 2mm의 볼스크류와 스텝 모터로 구동된다. 사용된 스텝 모터는 모두 Japan Servo사의 10W 모터를 사용하였고 이 모터들은 각각 마이크로 스텝 구동 드라이브에 연결하였다. 여기서 사용한 스텝 모터는 1펄스에 1.8°회전하지만 마이크로 스텝 드라이버에서 이를 500분주하여 1펄스에 0.0036°회전하는 마이크로 스텝 구동을 하도록 하였기 때문에 x, y, z축의 이론상 지령 가능한 최소거리는 20nm이다.

4.2 실험조건

평면 광도파로 가공에 앞서 우선 유리를 다이

아몬드 공구로 미세 가공을 하여 그 특성을 파악하였다. Fig. 9와 같이 평면 광도파로는 규소(Silicon, Si)층에 이산화규소(Silicon dioxide, SiO₂)가 적층되어 있다. 그런데 평면 광도파로는 매우 고가의 광부품이므로 우선 이산화규소의 대표적인 재료인 유리를 먼저 가공하여 그 특성을 우선 파악하고 난 뒤에 평면 광도파로의 가공을 하였다.


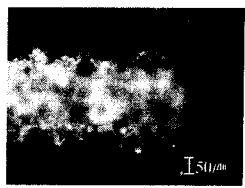
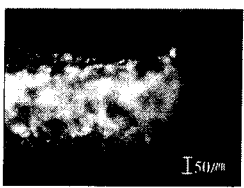
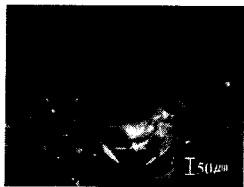

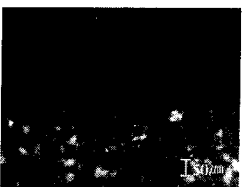

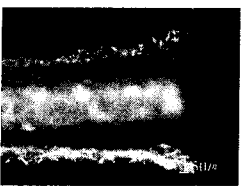



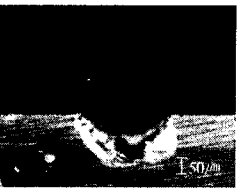
실험에서 사용한 공구는 소결 다이아몬드를 사용한 것으로 끝 반경이 0.1mm, 각도는 45°이고 공구의 경사각은 0°, 여유각은 2°이다. 실험을 할 때 공구의 이송속도는 0.1m/min으로 하고 일반절삭, 1차원 초음파 진동절삭, 2차원 초음파 진동절삭을 절입깊이를 5 μ m로 85 μ m까지 가공하는 실험을 하였다. 최종 가공 깊이를 85 μ m로 한 이유는 직경이 124.8 μ m인 광 섬유를 이 홈에 넣을 수 있도록 하기 위함이다. 이 가공실험의 결과를 홈 주위의 취성 파괴 정도, 이러한 취성 파괴로 인해 생기는 홈 크기의 변화, 공구가 진입하는 부분의 단면을 사진으로 비교하여 어떤 절삭 방법이 좋은지 알아보고자 한다.

그런데 평면 광도파로의 가공의 경우 유리 가공과는 달리 홈의 깊이가 깊어짐에 따라 절삭 시작 지점에서 취성 파괴가 일어나 의도하고자 하는 폭의 홈까지 수렴하는데 약간의 거리가 있다. 여기서는 이를 깨어짐의 길이(Chipping length)라고 하고 이를 기준으로 각 절삭방법에 대하여 측정하고 그 결과를 비교하였다. 그리고 유리만을 미세 홈 가공하였을 때와도 비교하여 어떤 차이가 있는지 알아보았다.

5. 실험결과

Table 3은 각각의 절삭방법을 유리와 평면 광도파로 가공에 적용시킨 결과를 나타낸 것이다. 일반 절삭으로 유리를 가공한 경우 홈 주위와 입구에서 깨어짐이 나타난다. 평면 광도파로를 가공한 경우에도 홈 주위에서 취성 파괴가 나타나는 것을 볼 수 있고 입구에서의 깨어짐으로 인해 폭이 커졌음을 알 수 있다.

Table 3 Photograph taken with microscope of groove by experiment

		Conventional cutting	1D vibration cutting	2D vibration cutting
Glass	Entry			
	Cross section			
PLC	Entry			
	Cross section			

1차원 초음파 진동절삭의 경우 일반 절삭보다는 홈 주위에서의 깨어짐이 덜하다. 유리 가공의 경우 절삭 시작지점 단면에서 홈의 밑부분에서 깨지는 현상이 나타나고 있다. 평면 광도파로의 경우 절삭 시작 부분에서의 폭이 0.520mm으로 일반 절삭 보다는 약간 좁게 나타난다.

2차원 초음파 진동절삭의 경우 유리는 절삭시작지점 단면을 보면 앞의 절삭 실험에서와 같이 입구부분에서 공구의 형상이 공작물에 그대로 나타날 정도로 가공이 비교적 깨끗하게 된다. 평면 광도파로의 경우 입구에서 깨어짐이 있으나 입구의 폭은 0.440mm으로 다른 절삭 방법에 비해 좁음을 알 수 있다. 평면 광도파로를 가공한 경우, 세 가공 방법 모두 공구가 진입하는 부분에서 깨어짐이 있었다. 이로 인해 절삭 시작 부분에서의 폭이 의도하고자 하는 폭보다 넓어져 있다. 이는 유리판은 주로 이산화규소(SiO₂)로 구성된 재료인

데 비해 평면 광도파로의 경우 이산화규소(SiO₂)와 규소(Si)로 구성된 재료이기 때문에 각각의 절삭 특성이 서로 다르게 나타나기 때문으로 생각되어진다.

Fig. 10과 11은 평면 광도파로의 가공 시작점에서의 폭과, 그 폭으로부터 의도하고자 하는 홈의 폭까지 도달하는 거리를 각각의 절삭에 대해 비교한 그래프이다. 세 절삭 실험 모두 가공이 시작하는 부분의 폭이 의도하고자 하는 폭보다 넓어져 있으나 의도하고자 하는 폭까지 수렴하는 길이는 차이가 있음을 알 수 있다. 이를 측정한 결과 일반절삭의 경우 폭의 너비가 2.2mm까지 생기나 1차원 초음파 진동절삭은 1.7mm, 2차원 초음파 진동절삭은 1.4mm정도이다. 이 결과에서 2차원 초음파 진동절삭이 깨어짐의 길이를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

평면 광도파로는 서로 다른 재료가 적용이 된

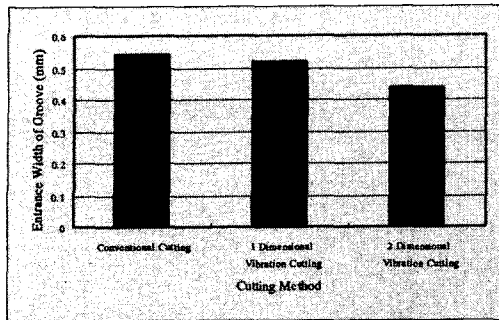


Fig. 10 Comparison of groove width in each cutting method

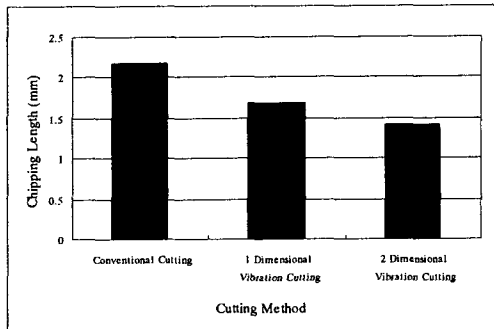


Fig. 11 Comparison of chipping length in each cutting method

광부품이기 때문에 레이저로 가공할 경우 규소(Si)와 이산화규소(SiO₂)의 용융으로 인해 문제가 발생하는데다가, 레이저의 초점을 어느 재료로 맞추어야 할 것인지도 문제가 된다. 그런데 기계절삭의 경우 이러한 재료의 가공의 경우에도 용융으로 인한 변질층 발생을 훨씬 줄일 수 있기 때문에 미세가공에서 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 생각된다.

6. 결론

광부품으로 사용되는 유리소재와 평면 광도파로를 가공하기 위해 고정밀 가공기와 초음파 진동절삭 공구를 제작하여 절입과 이송속도에 따라 일반절삭, 1차원 초음파 진동절삭, 2차원 초음파 진동절삭 미세 홈 가공실험을 유리와 평면 광도파로 소재에 대해서 수행하고 각 실험결과를 비교 평가하여 다음과 같은 사실을 확인하였다.

첫째, 유리 미세 홈 가공실험을 한 결과 초음파 진동절삭이 홈의 주변과 입구에서의 취성파괴

를 줄일수 있다는 것을 알 수 있었다. 특히 2차원 초음파 진동절삭의 경우 1차원 초음파 진동절삭이나 일반 절삭에 비해 취성파괴의 영향을 줄일 수 있었다.

둘째, 평면 광도파로를 가공한 결과 초음파 진동절삭이 취성파괴를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그리고 절삭 개시 지점에서의 깨어짐도 함께 줄일 수 있음은 확인하였다. 특히 2차원 초음파 진동절삭의 경우 1차원 초음파 진동절삭이나 일반 절삭에 비해 깨어진 길이를 줄일 수 있음을 확인하였다.

따라서 2차원 초음파 진동절삭 방법으로 유리와 평면 광도파로의 미세가공을 하면 정도를 향상시키는데 효과가 있다.

7. 참고문헌

- [1] A. Gerlach, P. Ziegler, J. Mohr, Assembly of hybrid integrated micro-optical modules using passive alignment with LIGA mounting elements and adhesive bonding techniques, *Microsystem Technology*, pp. 27-31, 2001.
- [2] H. Weber, J. Herberger, R. Pilz, Turning of machinable glass ceramics with an ultrasonically vibrated tool, *Annals of CIRP*, Vol. 33/1, pp.85-87, 1984.
- [3] 長部淳一郎, 乙女辰男, 西本雄二, セラミックス重疊振動切削, *精密工學會誌*, Vol. 52, No. 11, pp. 23-29, 1986.
- [4] Eiji Shamoto, Toshimichi Moriwaki, Kenji Inoue, Ultraprecision Ductile Cutting of Glass by Applying Ultrasonic Vibration, *Annals of CIRP* Vol. 41/1, pp. 141-144, 1992.
- [5] 長部淳一郎, “精密加工振動切削(基礎と應用)”, 實教出版株式會社, 1979.
- [6] Eiji Shamoto, Toshimichi Moriwaki, Study on Elliptical Vibration Cutting, *Annals of CIRP* Vol 43/1, pp. 35-38, 1994.
- [7] 社本英二, 森本祥之, 森脇俊道, 橢圓振動切削加工法(第2報) - 振動條件の影響に關する檢討, *精密工學會誌*, Vol. 65, No. 3, pp. 411-417, 1999.