

# 힌지 구조를 이용한 진동 절단 특성에 관한 연구

## A Study of Vibration Cutting Characteristics by Hinge Mechanism

\*김지성<sup>1</sup>, 노진희<sup>1</sup>, 김철민<sup>1</sup>, 이상실<sup>1</sup>, 강동배<sup>1</sup>, 손성민<sup>1</sup>, #안중환<sup>1</sup>

\*J. S. Kim<sup>1</sup>, J. H. Noh<sup>1</sup>, C. M. Kim<sup>1</sup>, S. S. Lee<sup>1</sup>, D. B. Kang<sup>1</sup>, S. M. Son<sup>1</sup>, # J. H. Ahn<sup>1</sup>(jhahn@pusan.ac.kr)

<sup>1</sup> 부산대학교 기계공학부

Key words : vibration cutting, flexure hinge

### 1. 서론

더 작고, 얇고, 가벼우면서 그 기능은 극대화된 제품의 구현은 21세기 첨단 전자산업의 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 최근 첨단 산업의 급속한 발전으로 세라믹스가 가지는 전기적인 특성이 각광 받으면서 전자세라믹스는 미래 산업을 담당할 중요한 기초 재료로 인식되고 있다. 이와 더불어 이동통신용 휴대단말기기의 폭발적인 증가와 디지털화, 멀티미디어화가 이루어지면서 이들에 사용되는 소자의 재료인 전자세라믹스의 소형화 및 경량화가 요구되고 있다. 하지만, 대부분의 소재가 그렇듯이 전자세라믹스도 크기가 작아질수록 능력, 즉 용량은 줄어들 수 밖에 없으며, 따라서 소형화에는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 박막기술과 적층기술을 이용하여 실장밀도를 높이는 '적층형 소자'라는 새로운 기술이 제시되어 각광을 받고 있으며, 이를 통해 집적화, 소형화를 실현하기 위한 활발한 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 적층형 소자를 절단함에 있어 유연 힌지구조를 이용한 진동 절단 구조를 설계하고 그에 따른 진동 특성을 알아보고자 한다. 우선 유연 힌지 이론을 토대로 적절한 진동구조를 설계하고 해석하여 적합한 구조를 검증하고, 진동 절단에 적합한 설계를 제안한다. 그리고 설계, 제작된 구조를 실제 소형 절단기에 장착 운용하여 절단 특성을 조사하고 기존 절단 결과와 비교를 통해 힌지 구조를 이용한 진동 절단의 타당성을 검증해보고자 한다.

### 2. 절단 특성 비교

적층형 소자는 수십 층의 다른 시트(seat)가 교대로 중첩되어 압축 소결된 형태를 가지고 있다. 주로 대량생산을 위해 bar 형태로 생산되어 절단되는데, 다이싱과 블레이드 절단이 대표적인 방법이다. 다이싱의 경우에는 전단 정도가 높아 품질이 우수하지만, 저생산성과 고비용의 단점을 가지고 있으며 블레이드 절단의 경우에는 생산성이 높지만 가공 후 소성변형, 디래미네이션 등의 불량 발생이 상대적으로 많다.

절삭 품질을 높이기 위해 일찍이 진동절삭 이론이 사용되어 왔다. 진동절삭은 가공용 공구에 진동을 주어 가공물을 충격 파쇄하는 가공법이다. 적은 가공량이 수십번 반복되므로 정밀한 가공과 함께 실용적인 가공속도를 낼 수 있는 가공법이다. Lucas 등은 다층복합 물질 절단에서 진동절단이 소재와 공구사이에 마찰계수를 감소시킨다고 보고하였다.<sup>(2)</sup> Cardoni 등은 뼈의 절단에 진동절단을 사용하여 chip 제거, 반력의 감소로 정밀한 절단이 가능하다고 보고하였다.<sup>(3)</sup> 각 절단 방법의 장단점은 Table 1과 같다.

Table 1 Comparison of Cutting Methods

Cutting Method	Dicing Cutting	Blade Cutting	Vibration Cutting
Merits	Small plastic deformation  High quality	Low price High productivity	Cutting force reduction High quality (roughness, perpendicularity)
Demerits	High price Low Productivity	Low quality (Plastic deformation etc.)	Cutting noise

### 3. 힌지 구조의 설계

일반적으로 Flexure Hinge(유연 힌지) Structure는 일체 구조로 부품의 결합오차와 부품 간의 마멸이 없고, 변형이 매끄럽고 연속적인 움직임을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 온도 변화에 따른 영향을 덜 받도록 하는 대칭 구조로 만들어진다. 변위는 유연 힌지구조의 탄성 변형에 의한 것이기 때문에 반복정밀도가 높고, 가공 오차에 대해 예상이 가능하기 때문에 보상하기 쉽다. 취성 재료를 사용할 때 피로나 큰 하중에 의한 파괴 메커니즘은 쉽게 발견할 수 있어서 안정 시스템 등에 사용되고 있다. Fig 1은 Hinge 구조의 설계 절차를 나타낸다.

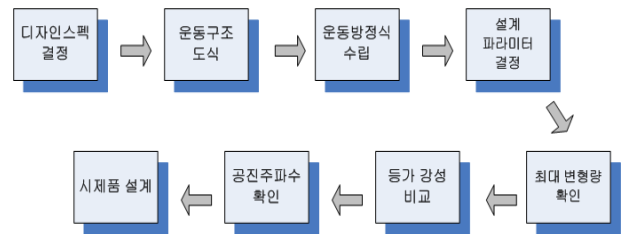


Fig. 1 Design Process of Flexure Hinge Mechanism

Fig 2의 형태를 토대로 유연 힌지 구조의 위치에너지를 유도하여 등가질량과 등가 탄성을 얻을 수 있고, 이를 이용하여 고유진동수를 식 (1)처럼<sup>(4)</sup> 유도할 수 있다. 또한, Fig 3에 나타나 있는 힌지 Parameter를 이용하여 등가 탄성 계수와 등가 질량을 계산할 수 있다. 재질은 Al 7075, b : 20 mm, l : 30 mm으로 고정하고, R : 3~8 mm, t : 0.8~1.68 mm 으로 변화를 주면서 계산하였다. R의 범위가 t<R<5t 에 있어야 하기 때문에 범위 내의 R만을 계산하였다. 계산한 결과 중 b : 20 mm, l : 30 mm, t : 1.3 mm, R : 6 mm로 선정하였다.(Table 2) 이를 통해 설계된 Hinge 구조는 Fig 4와 같다.

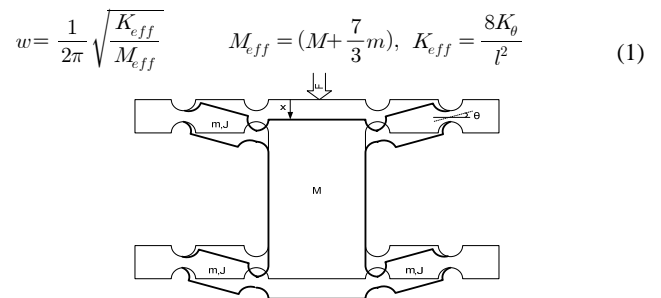


Fig. 2 Schematic Diagram of Flexure Hinge

Table 2 Calculation result of design parameter

b(mm)	l(mm)	t(mm)	R(mm)	$x_{max}$	$K_{eff}$	$\omega$
20	30				:	
		1.3	3	0.0386	1.0073E5	350
			4	0.0449	8.7232E5	326
			5	0.0534	7.8023E5	308
			6	0.0598	7.1225E5	294
					:	

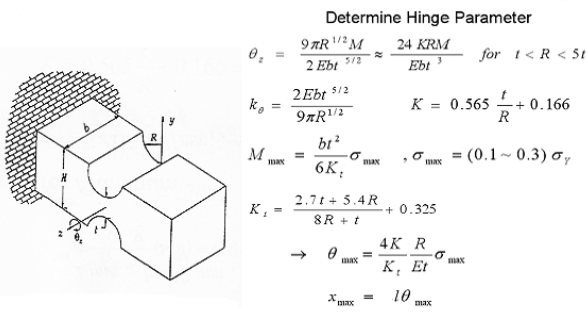
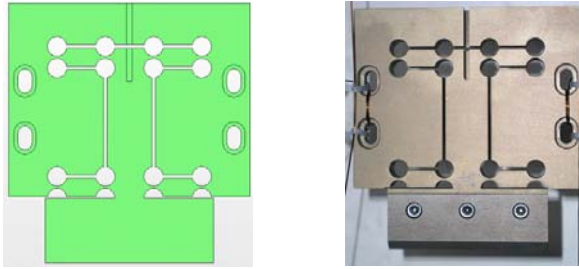


Fig. 3 Design Parameter of Flexure Hinge



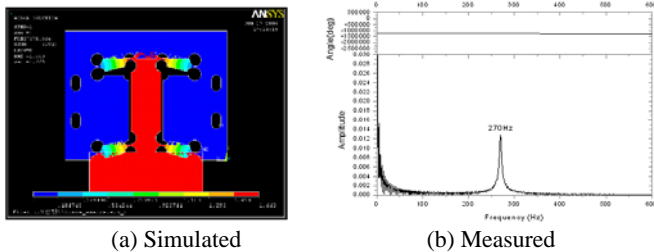
(a) Designed (b) Fabricated  
Fig. 4 Flexure Hinge Structure

4. 힌지 구조의 해석

실제 유연 힌지구조 제작에 앞서 유한요소해석을 통해 힌지 구조의 고유진동수를 확인하였다. 상용 유한 요소 프로그램으로는 Ansys 10.0과 Ansys Workbench를 이용하였다. 5차까지의 고유진동수를 Table 2에 나타내었고, 주파수별 변형형태를 Fig 5에 나타내었다. 유한요소해석을 통해 계산된 고유진동수를 제작한 실제 고유진동수와 비교해 보았으며, 1차 고유진동수가 실험을 통한 고유진동수 270Hz와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2 Natural Frequency of Flexure Hinge using FEM

Set	Freq(Hz)	Load step	Sub step	Cumulative
1	267.00	1	1	1
2	818.02	1	2	2
3	1241.1	1	3	3
4	1508.8	1	4	4
5	2382.8	1	5	5



(a) Simulated (b) Measured  
Fig. 5 Modal simulation result

5. 절단 실험 및 결과

Fig 6과 같이 소형 절단기를 구성하여 힌지 구조의 절단 성능을 검증해 보았다. 힌지 가운데의 PZT를 장착하여 진동을 부가한다. PZT는 PI사의 P-830.40을 사용하였으며 증폭기는 E-505.00을 사용하였다. 힌지의 변위는 Eddy current sensor(ACE-5706PS)를 사용해 진동 현상을 측정하였고, 절단력은 Force Sensor(Type 9117A1)를 이용하여 절단력 감소를 측정하였다. 실험은 측면 변위가 가장 적은 500Hz에서 수행하였으며(Fig 7), 무진동과의 절단력 비교, 마찰력 비교 그래프를 Fig 8에 나타내었다.

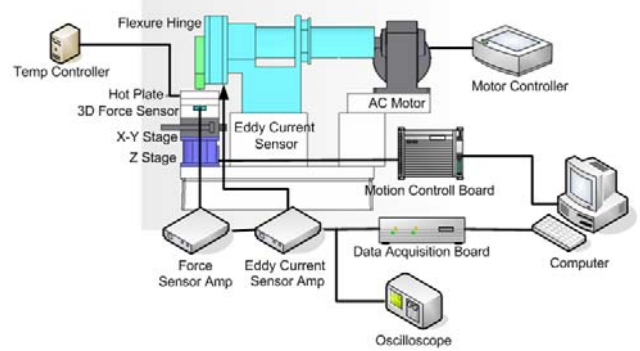


Fig. 6 Schematic Diagram of Vibration Cutting Device

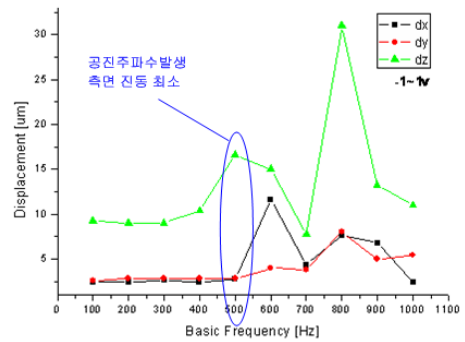
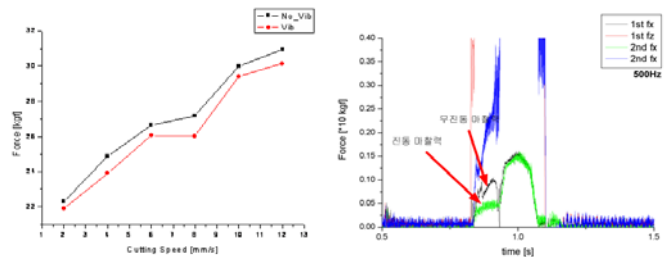


Fig 7 Displacement of Flexure Hinge



(a)Cutting Force (b)Fiction force  
Fig. 8 Cutting and friction Force Comparison

6. 결론

본 연구에서는 Hinge 구조를 이용한 진동 절단 구조를 설계, 해석하여 제작해 보고, 절단 실험을 통해 절단 특성 및 성능을 검증해 보았다. 절단 실험 결과 전체적으로 기존 무진동 블레이드 절단에 비해 진동 절단시 절단력이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 공진주파수(500Hz)에서 절단력이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있었다. (최대 12%) 또한 진동 절단시 마찰력이 일정하며 증가하지 않으므로써 무진동 절단에 비해 마찰력이 감소함을 확인할 수 있었다. 이를 통해 Hinge를 통한 진동 절단 구조를 적용 시 기존의 절단에 비해 절단력을 줄일 수 있어 절단시 큰 힘에 의한 불량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 공구의 수명까지도 증가시켜 생산성 향상에 기여할 것이라 예상된다.

참고문헌

1. 이재곤, “고주파 진동절단에 관한 연구”, 부산대학교 석사학위논문, 2007.
2. M. Lucas, A. MacBeath, "A finite element model for ultrasonic cutting," Ultrasonics, online 6, 2006.
3. A. Cardoni, A. MacBeath, "Methods for redicing cutting temperature in ultrasonic cutting of bone," Ultrasonics, online 30, 2006
4. 권대갑, “Flexure Motion Guide 설계,” 제5차 산학협동단기강좌 (Design of Nano Actuation and Measurement System)