

보 형상 구조물의 공진특성을 이용한 진동절삭공구의 설계

Design of a Ultrasonic Cutting-tool Utilizing Resonance Condition of Beam Type Structure

변진우[†]·차진훈*·한상보**
 Byun JinWoo[†]·Cha Jinhoon*·Han Sangbo**

Key words : Ultrasonic vibration cutting, Natural frequency, Amplification, Transverse vibration

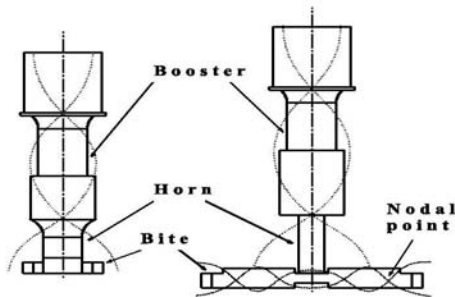
1. 서론

부품소재의 다양한 기능을 요구하는 항공조선산업에서는 특수소재들이 사용되어지고 있고 이러한 소재들의 고정밀가공을 위해서는 새로운 가공기법의 개발이 요구되어지며 새로운 가공법의 하나로 초음파진동절삭에 대한 관심이 늘어나고 있다. 초음파진동절삭이란 절삭공구에 초음파 영역에 해당하는 진동수로 가진시켜 공구끝단에 미세한 절삭변위를 일으켜, 상용절삭이 어려운 연성재료의 가공시 발생하는 구성인선(Built Up Edge)이나 버(Burr)의 생성을 억제하여 표면거칠기 개선과 공구 수명을 증대시킬 수 있다.

현재 사용되고 있는 초음파진동절삭은 절삭변위의 생성을 위하여 부스터에 부착되는 혼과 바이트가 일체형으로 제작되어 종진동의 특성으로 가진하고 있으나 본 논문에서는 혼과 바이트를 분리형태로 제작하여 횡진동 공구의 공진특성을 활용한 절삭공구의 설계 방법에 대해 알아보았다.

2. 종진동공구와 횡진동공구

Fig.1의 (a)는 종진동공구, (b)는 횡진동공구를 나타낸 것이다. Fig.1에서 알 수 있듯이 (a)는 바이트의 길이가 짧기



(a) Longitudinal vibration tool (b) Transverse vibration tool
 Fig. 1 The shape of vibration cutting tool

† 변진우; 경남대학교 대학원 첨단공학과
 E-mail : bz0309@naver.com
 Tel : (055) 241-1833, Fax : (0505) 999-2160

* 경남대학교 대학원 기계설계학과

** 경남대학교 기계자동화공학부

때문에 대형공작물의 내경이나 복잡한 형상의 내부를 절삭할 때 혼이나 부스터의 간섭으로 인해 공구의 구조적인 특성상 공구의 거치 위치와 절삭 방향이 제한된다는 단점이 있다. 따라서 (b)와 같이 길어진 바이트를 체결할 경우 혼 부스터와 공작물 사이에 공간이 있으므로 절삭 방향의 변화를 줄 수 있다. 그리고 CNC선반의 ATC(Automatic Tool Changer)에 장착해서도 사용이 가능해 진다는 장점이 있다. 또한 공구에 체결되는 바이트는 공진에 의한 횡진동을 일으킴으로써 바이트 끝단에서 변위의 증폭이 종진동공구보다 더 크게 나타나게 된다. 바이트의 횡방향 진동을 이용하여 초음파진동절삭을 하기 위해서는 절삭 공구의 끝단 변위가 최대가 되도록 공진 조건을 만족시켜야 하며 동시에 공구 끝단에서 충분한 절삭력이 발생하도록 하기 위해서는 바이트의 일정 부분을 지지하는 형상이 필요하며 이러한 조건을 모두 만족시키는 공구의 형상 설계 방법이 요구되고 있다.

3. 수치해석 및 실험

3.1 수치해석을 통한 혼과 바이트의 설계

(1) 스텝 혼의 설계

혼의 종류에는 스텝, 익스포넨셜, 코니컬, 코니컬&익스포넨셜 등이 있는데 스텝 혼이 이론이나 해석적인 측면에서 유용하기 때문에 본 논문에서는 Fig.2와 같은 스텝 혼을 사용하였다. Table1은 혼 길이, 단면적에 따른 고유진동수의 경향성을 알아보기 위한 것으로 혼의 종진동 고유진동수는 혼의 길이와 단면적에 반비례한다는 것을 확인 할 수 있다. 특히 기준치수에서 감소된 체적이 변화①이 변화②보다 매우 큰 반면, 고유진동수는 변화①이 변화②보다 매우 작은 것으로 보아 l_2 에서의 길이변화가 고유진동수에 많은 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

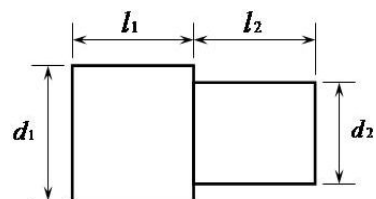


Fig. 2 Schematic diagram of step horn

Table 1 The Characteristics of horn size

	l_1 (mm)	l_2 (mm)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	고유 진동수 (Hz)	감소체적 (mm ³)
기준 치수	66	58	50	20	19671	
변화①	64	58	50	20	19757	3927
변화②	66	56	50	20	20199	628
변화③	66	58	48	20	19742	10156
변화④	66	58	50	18	19715	3462

(2) 바이트의 설계

Fig.3의 (a)는 바이트의 기준이 되는 치수들, (b)는 바이트 끝단을 절삭공구로 가공된 형상을 나타낸다. Table2의 변화 ①은 바이트끝단을 가공하고 길이 l 을 기준치수와 같은 것으로 바이트끝단이 가공된 부피만큼 질량이 감소하였으므로 고유진동수가 증가하였다. 그리고 변화②는 기준치수와 동일한 단면적에 의해 가공된 부피만큼 길이 l 을 7.325mm연장됨으로써 고유진동수가 감소하였다.

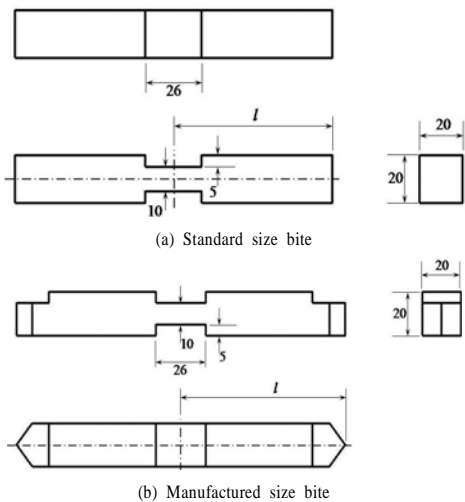


Fig. 3 Schematic diagram of bite

Table 2 The Characteristics on bite's size

	l (mm)	내용	고유진동수 (Hz)
기준치수	73.1	응력집중현상 고려	19138
변화①	73.1	바이트끝단 가공	21486
변화②	80.425	가공된 체적만큼 길이 l 연장	18383

3.2 혼과 바이트의 수치해석 결과

Fig.4는 부스터, 혼 그리고 바이트가 결합된 공구 구조물의 진동모드 중에서 공진 조건을 충족시키는 모드를 나타낸 것으로 고유진동수는 17823 Hz이다. 부스터는 초음파 진동을 발생시키는 압전소자로 구성되어 있으며, 압전소자의 진동을 증폭시켜주는 혼과 결합되며 혼의 끝단에 횡방향 모

드를 가지는 바이트가 결합되어 있다.

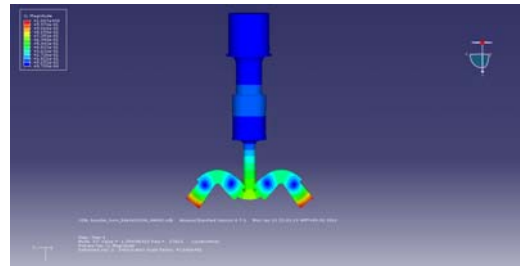


Fig. 4 Mode shape of assembly with booster, horn and bite

3.3 공진실험 및 변위측정결과

수치 해석 결과를 바탕으로 설계된 공구 구조물의 고유진동수를 실험적으로 검증하기 위하여 Sine-sweep test를 수행하였는데 이때 가진 진동 신호의 주파수 분해능에 제한이 있음을 발견하였고, 주파수 분해능의 제한을 해소하기 위하여 공진 주파수 부근에서의 진폭 측정을 통하여 정확한 공진 진동수를 찾아낼 수 있었다. Table3은 공진 주파수 부근에서의 가진 진동수에 따른 바이트 끝단의 최대 진동 변위를 찾는 과정을 보여 주고 있다.

Table 3 The result of natural frequency

가진주파수(Hz)		변위(μm)	
17700		0.29656093	
↕	17750	0.91329659	
	17760	1.16517234	
	↕	17763	1.24140637
		17764	1.24473862
		17765	1.21106353
	17770	1.11195833	
17800		0.53882049	

4. 결 론

초음파진동절삭의 원리 구현을 위해 발전기의 진동수와 일치하는 공구의 진동 모드를 찾기 위하여 바이트의 길이 변화에 따른 공구의 최적 형상을 수치 해석 결과를 바탕으로 설계하였으며 이를 바탕으로 제작된 바이트 끝단의 변위를 실험적으로 측정하였다. 혼과 바이트가 결합된 공구 형상에 대하여 공진 조건을 만족하는 특정 형상을 설계할 수 있으며 이러한 방법을 통해 앞으로 다양한 진동절삭 공구를 제작함으로써 정밀가공 분야에 많이 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

5. 후 기

본 논문은 2009년도 중소기업청 구매조건부 신기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음.