

# 초음파 직접성형을 위한 공구혼의 설계 및 유한요소해석

## Design and Analysis of an Ultrasonic Tool Horn for Direct Pattern Forming

\*서영수<sup>1</sup>, #박근<sup>2</sup>

\*Y. S. Seo<sup>1</sup>, #K. Park (kpark@snut.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 NID 융합대학원, <sup>2</sup>서울과학기술대학교 기계설계자동화공학부

Key words : Ultrasonic Vibration, Pattern Forming, Tool Horn, Finite Element Analysis, Modal Analysis

### 1. 서론

초음파(Ultrasonic wave)는 인간의 가청주파수(16~20 kHz)를 넘은 음파를 지칭하며, 산업적으로 소음을 발생시키지 않으면서도 인위적인 가진이 필요한 경우에 사용된다. 대표적인 초음파의 산업적 응용분야는 초음파 세척, 비파괴검사, 영상진단 의료기기 등이 있다. 재료가공 및 성형 측면에서의 초음파 가진 응용사례를 살펴보면 세라믹 등의 난삭재 정밀가공, 다이캐스팅, 정밀단조 등 금속제품의 성형성 향상을 위한 가진 부여 등이 있다. 한편 플라스틱 제품의 경우 초음파 가진을 통해 부품을 결합하는 초음파 용착(Ultrasonic welding)이 산업적으로 응용되고 있다. 본 연구에서는 기존의 초음파 용착을 발전시켜 플라스틱 모체에 초음파 진동을 부여하여 표면을 국부적으로 가소화 시킴과 동시에 가압하여 성형하는 직접성형 공법을 개발하고자 한다.

초음파를 사용한 플라스틱 성형 관련 연구 동향을 살펴보면, 주로 초음파를 사용하여 플라스틱을 가소화함으로써 사출성형에 간접적으로 응용하는 연구결과가 발표되었다.<sup>(1,2)</sup> 또한 사출성형 공정에서 금형의 국부인 위치에 초음파 진동을 가함으로써 표면특성을 향상시키기 위한 연구가 진행되었으며,<sup>(3)</sup> 초음파 진동을 부과하여 플라스틱 기관 표면의 마이크로 패턴을 전사하여 성형하기 위한 연구가 수행되었다.<sup>(4)</sup>

본 연구에서는 열가소성 고분자재료의 표면을 가소화시켜 미세패턴을 성형할 수 있는 성형기술을 개발하고자 한다. 즉 초음파 공구혼(Tool horn)상에 미세패턴을 가공하여 고분자 필름을 가압하는 형태로 성형시스템을 구축하

고자 한다. 이때 초음파 진동을 이용한 마이크로 단위의 형상의 고정밀도 성형을 위해서는 공구혼의 횡진동(transverse vibration)을 최소화시킨 상태에서 종진동(longitudinal vibration)만을 이용하여 가진해주어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 유한요소해석을 통해 원하는 고유진동수 및 진동모드를 갖는 초음파 공구혼의 설계변수를 고찰하고, 해석결과를 반영하여 공구혼을 제작하고 미세패턴의 성형성을 평가하고자 한다.

### 2. 초음파 공구혼의 설계 및 해석

공구혼은 진동자로부터 나온 작은 진폭을 큰 진폭으로 증폭시키는 역할을 수행한다. 이러한 특성은 공구혼 형상에 의해 바뀌게 되며, 공구혼의 형상은 일반적으로 단차형(Step type), 원추형(Conical type), 지수 함수형태(Exponential type) 등으로 나눌 수 있다.

본 연구에서 사용한 초음파 발전기의 기준 주파수( $f$ )는 28 kHz이며, 공구혼 재료는 초음파 공진특성이 우수한 A17075-T651 을 사용하였다. 공구혼은 2 단 단차형을 사용하였으며, 입력단 직경은 28 mm, 출력단 직경은 13 mm 로 설계하였다. 상기 치수를 1 차원 파동방정식에 대입하여 계산한 결과 공구혼의 총 길이는 93.4 mm, 입력단 길이는 45.1 mm 로 설정하였다.

공구혼 모델의 고유진동수를 판단하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 해석은 상용 유한요소해석 S/W 인 ANSYS<sup>TM</sup> 을 사용하여 모드해석(Modal analysis)을 수행하였다. Fig. 1 에 출력단에 췌기형 미세패턴이 식각된 공구혼에 대한 유한요소모델을 도시하였다. 해석 유효범

위는 진동자의 가진주파수를 고려하여 20~35 kHz 로 설정하였다. 모드 추출법은 강체모드 및 솔리드, 쉘, 빔 등의 혼합모델에 적합한 Block Lanczos 법을 사용하였으며, 모드 차수는 10 개로 충분히 설정하여 범위내에 발생하는 진동모드중 본 실험에 필요한 종진동 모드만을 추출할 수 있도록 하였다.

상기 기술한 모델의 진동해석결과 Fig. 3 과 같이 4 가지의 진동모드를 추출하였다. 설정한 해석범위 내에 발생하는 모드차수 중 종진동에 해당하는 차수는 3 차 모드임을 알 수 있으며, 이때의 고유진동수 값은 29.621 kHz 로서 기존 설계 목표인 28 kHz 와는 1.621 kHz 차이를 보인다. 여기서 발생한 고유진동수 값의 오차는 단차부에 형성된 곡률, 진동자와 공구혼 체결을 위한 측면절단부, 가공부에 형성된 미세패턴과 같이 기본 단차형 형상에서 추가된 형상 변화 요소로 인하여 발생된 것으로 판단된다.

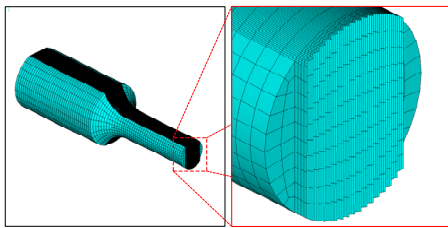


Fig. 1 FE model of a step horn with micro-patterns

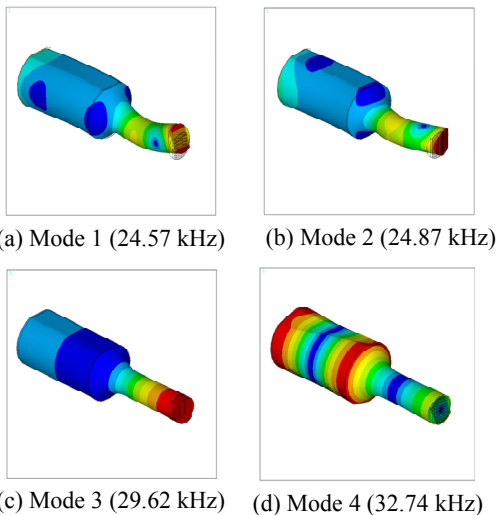


Fig. 2 Vibration mode shapes for the tool horn

원하는 고유진동수(28 kHz)를 얻기 위해 공구혼의 길이를 변화시켜가며 유한요소해석을 수행하였다. 해석 결과에 대한 회귀분석을 통해 공구혼의 길이 1 mm 증가시 고유진동수가 507.6 Hz 만큼 감소하는 것을 확인하였고, 이를 통해 공구혼의 최종 길이를 92.5 mm 로 결정하였다. 상기 설계를 바탕으로 제작된 공구혼의 고유진동수를 측정된 결과 27.995 kHz 로 측정되어 원하는 진동특성을 얻을 수 있었다.

### 3. 결론

본 연구에서는 초음파 진동을 이용한 열가소성고분자재료 표면의 패턴성형기법에 대한 기초연구를 수행하였으며, 특히 원하는 진동특성 구현을 위한 초음파 공구혼의 설계에 관해 연구하였다. 상기 연구결과를 토대로 향후 다양한 형태의 제품에 대해 초음파 직접성형 적용을 위한 공구혼 형상설계에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0008435).

### 참고문헌

1. Michaeli, W., Spennemann, A. and Gartner, R., "New plastification concepts for micro injection molding," *J. Polym. Eng.*, **24**, 81-94, 2004.
2. Saito, T., Kawaguchi, T. and Satoh, I., "Micro molding system for thermoplastic materials using strong ultrasonic wave," *Proc. Asian Workshop Polym. Process.*, 165-166, 2008.
3. Lu, C., Yu, X. and Guo, S., "The mechanism of ultrasonic improvement of weld line strength of injection molded polystyrene and polystyrene/polyethylene blend parts," *J. Polym. Sci.: Part B, Polym. Phys.*, **44**, 1520-1530, 2006.
4. Yu, H. W., Lee, C. H., Ko, J. S., Shin, B. and Rho, C. H., "Polymer replication using ultrasonic vibration," *Trans. J. Kor. Soc. Mech. Engng. (A)*, **32**, 419-423, 2008.