

# 초음파 커터에 의한 유리의 절단면 특성에 대한 실험적 검토

김정호\*, 김무준, 김정순, 이채봉\*, 하강렬  
부경대학교, \*동서대학교

## Experimental study on cutting state of glass by ultrasonic cutter

Jung-Ho Kim\*, Moo-Joon Kim, Jung-Soon Kim, Chai-Bong Lee\*, Kang-Lyeol Ha  
Pukyong National University, \*Dongseo University, kimmj@pknu.ac.kr

### 요약

유리 절단용 스크라이빙(Scribing) 장치에 있어서 초음파 진동에 의한 절단특성의 제어 원리를 해석하고 주어진 시료에 대한 최적진동수의 판별에 대한 실험적 고찰을 수행하였다. 그 결과 가진 주파수에 따른 크랙의 깊이는 매우 큰 차이를 보이고 있었으며 최대 크랙을 생성시키는 최적 주파수 역시 시료의 길이에 따라 크게 변화함을 확인 하였다.

### 1. 서 론

최근, 정보산업의 발전과 더불어, TV 나 컴퓨터 등에 있어서 대형 디스플레이의 수요가 증가하고 있다. 대형 디스플레이의 제작공정에는 대형 유리의 절단이 필요하고, 절단의 속도와 절단면의 균일성이 요구되고 있다. 유리절단을 위한 스크라이빙 휠에 초음파진동을 가하여 유리에 작용되는 힘을 제어, 유리에 생성되는 크랙을 제어하는 기술이 개발되어 있지만<sup>(1)</sup>, 그 원리에 대한 검토는 아직 미흡한 실정이다. 또한 초음파를 이용한 유리의 절삭가공 등의 기술은 다수 보고 되어져 있고, 다양한 산업분야에서 폭넓게 응용되고 있지만, 그 원리상, 빠른 속도로 유리를 절단하는 데에는 적용하기 어렵다<sup>(2)</sup>. 따라서 본 연구에서는, 초음파를 이용한 대형유리의 스크라이빙 장치의 자동화를 위해, 우선, 실험적 검토를 수행하였고, 유리의 절단에 있어서 최적 초음파의 진동수 및 그 역할을 조사하였다.

### 2. 이 론

초음파를 이용한 유리의 스크라이빙에 대한 역학적 원리를 Fig. 1 에 나타내었다.

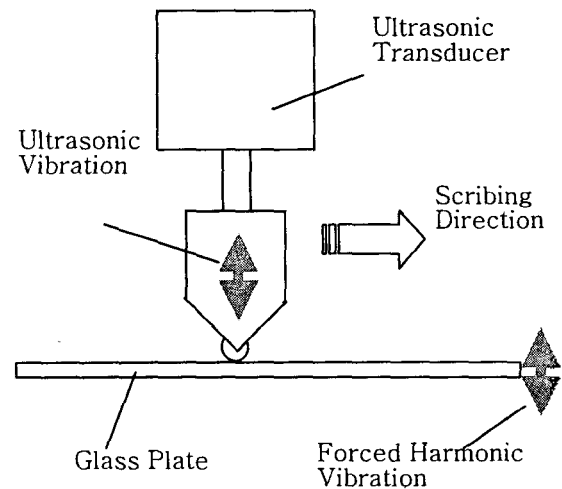


Fig. 1 Forced harmonic vibration model of ultrasonic glass scribe system

Fig. 1 을 보면 알 수 있듯이  $Y$  축 방향에 대한 운동은 초음파 트랜스듀서에 의한 가진을 외력으로 하는 탄성체(유리)의 강제 조화진동으로 모델화할 수 있다. 즉, 유리의 질량을  $m$ , 초음파 가진력의 진폭을  $F_0$ , 가진 초음파의 각진동수를  $\omega$ , 유리의 탄성상수를  $c$ , 유리의

조화진동에 대한 감쇠계수를  $\alpha$ 라고 하면 변위  $y$ 에 대한 운동 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{\alpha}{m} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{c}{m} y = \frac{F_0}{m} \cos \omega t \quad (1)$$

본 연구에서는 가진 주파수에 따른 절단 특성을 고찰하려 하므로  $y$  축 방향의 운동에 대한 해석을 행하기로 한다. (1)식으로부터 과도항을 제외하고 구한 가속도에 대한 해는 다음과 같이 구해질 수 있다<sup>(3)</sup>.

$$a_y = A(\omega) \cos(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

$$\text{단, } A(\omega) = \frac{\omega^2 F_0 / m}{\sqrt{\left(\frac{c}{m} - \omega^2\right)^2 + \left(\frac{\alpha}{m}\right)^2 \omega^2}}$$

따라서 가속도 진폭이 최대가 되는 공진주파수는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m} - \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{m}\right)^2} \quad (3)$$

### 3. 실험

실험을 위하여 제작한 초음파 유리 스크라이빙 장치를 Fig. 2에 나타내었다.

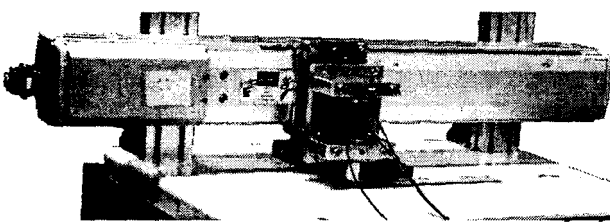


Fig. 2 Photograph of ultrasonic glass scribing system

제작된 스크라이빙 장치는 초음파 진동자를 장착한 헤드부분이  $x$  축에 슬라이더에 의해 고정되어 있어  $y$  축으로는 자유로이 움직일 수 있게 되어있다. 즉, 헤드부분은 자신의 무게만으로 유리를 가압하게 된다.  $X$  축은 서보모터를 이용하여 속도제어가 가능하도록 제작되어있다. 실험장치도를 Fig. 3에 나타내었다.

과워앰프에 의해 증폭된 신호는 스크라이빙 헤드에 장착된 초음파 트랜스듀서에 인가되어 헤드의 스크라이빙 휠을 가진하게 된다. 이때 헤드부분에 가속도 센서를 접착하여 진동 가속도 진폭을 측정하게 된다.

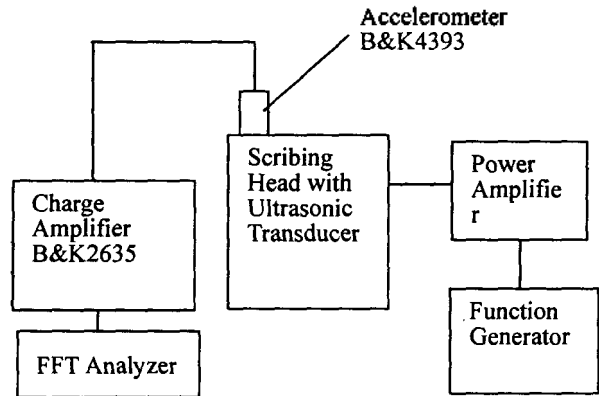


Fig. 3 Experimental setup

### 4. 결과

제작한 초음파 스크라이빙 장치의 헤드부분에 대한 공진특성을 조사하기 위하여 전기단자로부터 본 입력 어드미턴스의 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이 결과를 보면 20.46 kHz의 공진 주파수를 갖는 란쥬반형 압전 진동자는 헤드에 고정됨에 따라 많은 공진 모드가 발생되어있음을 알 수 있다. 각 진동모드에 있어서 최대의 가속도를 나타내는 가진 주파수를 가속도 센서를 이용하여 조사한 결과 다음과 같은 주파수를 구할 수 있었다.

$$f_1 = 6.12 \text{ kHz}, \quad f_2 = 14.30 \text{ kHz},$$

$$f_3 = 18.35 \text{ kHz}, \quad f_4 = 26.28 \text{ kHz},$$

$$f_5 = 42.64 \text{ kHz}$$

각 진동 모드에 대한 진동자의 전기음향 변환 효율이 다르므로 가속도 센서에서 나타나는 가속도의 크기가 모든 공진 사용주파수에 대해 43.4m/s로 일정하게 되도록 증폭기의 이득을 조절하여 스크라이빙을 행하였다. 스크라이빙에 의해 생성되는 유리의 크랙은 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 휠에 의해 직접 형성되는 플라스틱 코어 부분과 휠에 가해지는 충격에 의해

수직으로 생성되는 메디안 크랙, 그리고 2 차적으로 생성되는 평활 크랙으로 구성된다<sup>(4)</sup>. 이에 대한 측정 예를 Fig. 6 에 나타내었다.

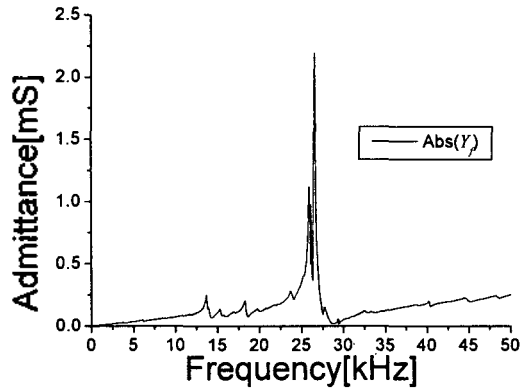


Fig. 4 Experimental results of input admittance

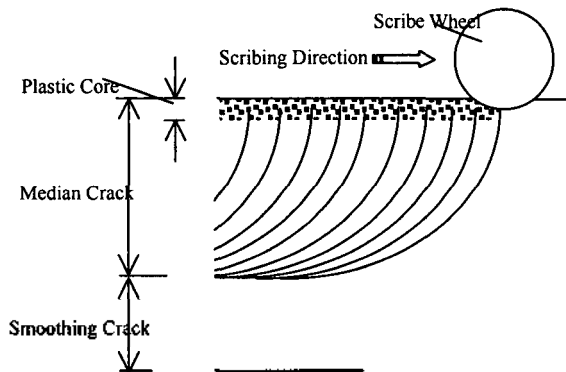
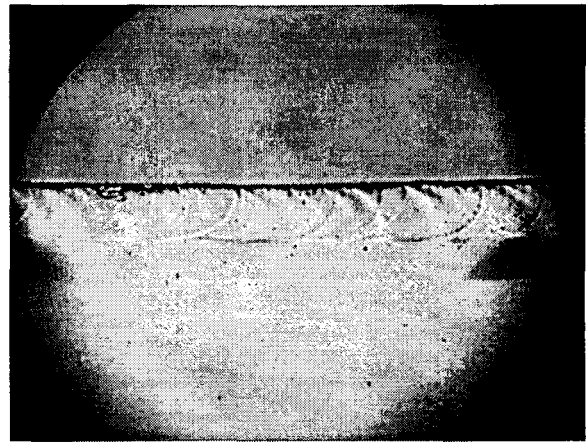


Fig. 5 Schematic illustration of scribing process

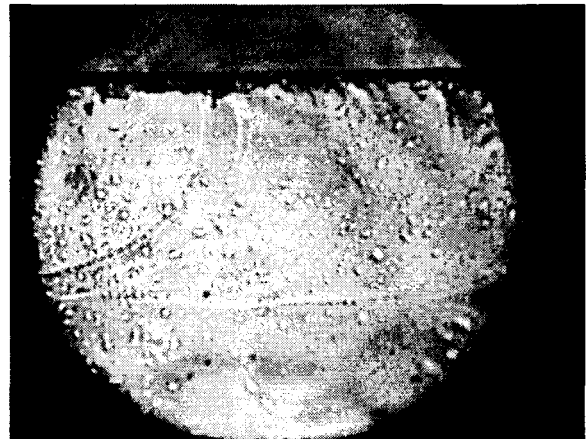
이 때 가진 주파수는 26.28kHz 이었고 x 축 방향의 진행 속도는 400mm/s 이었다. Fig. 6(a)는 광학 현미경을 사용하여 50 배의 배율로 관찰한 크랙의 모습을 이며 상술한 3 가지의 크랙을 확인 할 수 있다. 200 배의 배율로 관찰한 결과를 Fig. 6(b)에 나타내었다. 메디안 크랙의 부분에 나타나는 원호의 주기는 x 축 방향의 진행속도를 고려하여 관찰 해 보면 가진 주파수의 주기와 일치함을 확인 할 수 있었다.

각 진동수에 대한 절단 특성을 조사하기 위하여 상술한 바와 같이 동일한 가속도 진폭을 갖는 초음파

진동을 각 진동 모드와 주파수로 가진하며



(a)



(b)

Fig. 6 Photograph of scribing cross section

(a) x50, (b) x200

스크라이빙을 행한 결과를 Fig. 7 에 나타내었다. 이때 사용한 유리 시료로는 길이 200mm, 폭 30mm, 두께 3.0mm 인 건축용 석영유리를 사용하였다. 이 결과에서 주파수가 0 인 경우의 결과는 초음파 진동을 가하지 않고 스크라이빙한 경우이다. 이 결과를 보면 가진 주파수가 18.35kHz 일 경우 가장 깊은 크랙이 형성됨을 보이고 있다. Swain 등의 연구에 의하면 크랙의 깊이는 가속도의 4/3 승에 비례한다고 보고된 바 있어<sup>(5)</sup> (2)식을 이용하여 주파수에 따른 가속도의 진폭 변화를 수행 한 결과, Fig. 8 에 나타낸 바와 같이 Fig. 7 의 결과와 매우 유사한 결과를 얻었다. 이를 근거로 시료의 길이에 대한

영향을 고찰하기 위하여 가진 주파수를 18.35kHz 로 고정하여 놓고 시료의 길이를 변화시켜가며 생성되는 크랙의 깊이를 관찰한 결과를 Fig. 9 에 나타내었다. 이 결과를 보면 최대깊이를 갖는 크랙은 당초 사용하였던 200mm 가 아닌 250mm 부근임을 알 수 있고 이것으로

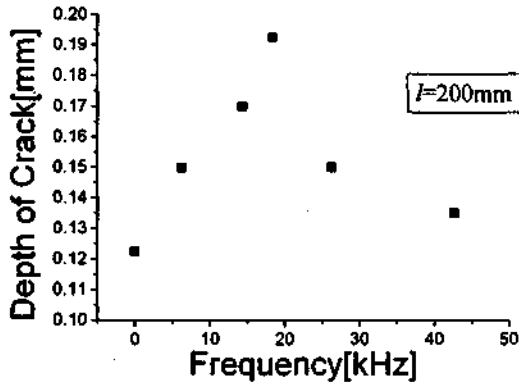


Fig. 7 Depth of crack for various driving frequencies

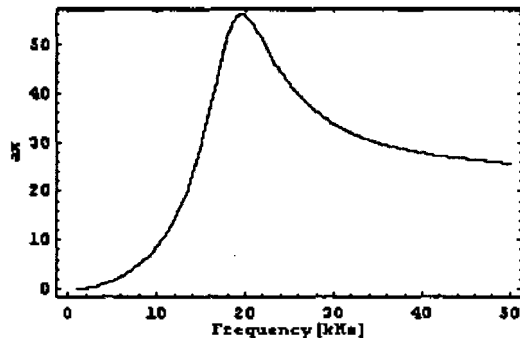


Fig. 8 Theoretical results of acceleration

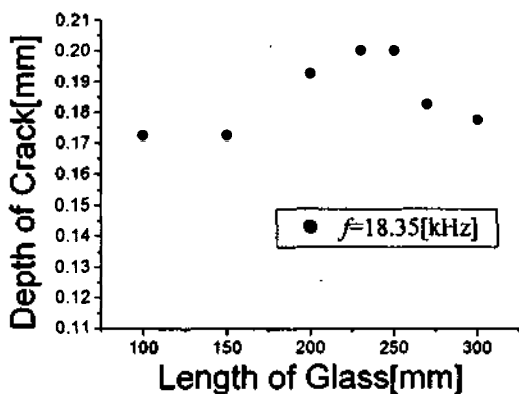


Fig. 9 Depth of crack for various glass length

200mm 의 시료에 대한 최적주파수는 18.35kHz 보다 다소 낮은 곳에 존재함을 예측할 수 있다.

## 5. 결론

초음파를 이용한 유리의 스크라이빙에 있어서 초음파 진동의 역할과 시료에 따른 최적 주파수를 실험적으로 해석 한 결과, 200mm 의 길이를 갖는 시료의 경우 가진 초음파 주파수는 17kHz~18kHz 의 범위에 존재함을 알 수 있었다. 또한 초음파 가진을 동반 한 스크라이빙의 경우 초음파진동을 사용하지 않는 기존의 방법에 비해 현저히 깊은 크랙의 형성을 얻을 수 있었으며 그 깊이는 가진 주파수에 매우 큰 영향을 받고 있었다. 따라서 초음파를 이용한 유리 스크라이빙 장치의 설계에 있어서는 절단 대상 유리의 종류 및 크기에 따라 가진 초음파의 최적 주파수를 찾는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 동텍(주)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 林 俊夫, "ガラスの振動精密割断法・クラック Cutting 法", 機械と工具, 2001 年 5 月, pp. 94-96.
2. 日本電子機械工業会, 超音波工学, コロナ, 1993.
3. L. Kinsler et al., "Fundamentals of Acoustics", Wiley, 1982.
4. 鈴木 清 他, "ガラス材料の既存割断法と四角錐工具押込み法, 度粒加工学会誌, Vol. 45, No. 7 (2001), pp.338-341.
5. M. Swain, "Median crack initiation and propagation beneath a disc glass cutter", Glass Technology, Vol. 22, No. 5, pp.222-230,(1981).