

진동 인가에 따른 평판 유리 절단면의 파괴거동

최성대[#], 정선환*, 김기만*, 권현규*, 전재목**, 노영진**

Fracture Behavior of the Cut Surface of a Flat Panel Glass according to Vibration Input

Seong-Dae Choi[#], Seon-Hwan Cheong*, Gi-Man Kim*, Hyun-Kyu Kweon*, Jae-Mock Jeon**,
Young-Jin Rho**

ABSTRACT

This research presents a modeling and a manufacturing method of screw flow meter. This paper introduces the efficient design and manufacturing method of screw type flow meter using reverse engineering and test technology. The methods introduced this paper utilize the reverse engineering that is increasing accuracy of modeling and manufacturing of reverse model. And then it can be used in performance test with hydraulic test equipment. Hence this can be used in the basic document for development of the quite accurate flowmeter.

Key Words : Screw Type Flow Meter(스크류유량계), Reverse Engineering(역공학), Performance Test(성능평가)

1. 서 론

최근 전 세계 디스플레이 시장에서 PDP나 LCD 제품이 더 넓고, 더 얇고, 더 가벼운 것을 선호하는 소비자의 욕구를 충족시켜 주고 있기 때문에 매우 각광을 받고 있다. 그러므로 평판 디스플레이를 제조하는 회사에서는 유리절단공정이 필수적이다.

그런데 유리는 취성이 매우 크기 때문에 절단이 용이하지 않다. 유리 절단공정에서는 제품 모델에 맞는 사이즈로 절단하는 것과 경제적으로 절단하는 것이 중요하지만, 특히 절단된 면의 품질이 매우 중요하다.

절단된 면의 품질이 나쁘면 유리 부스러기 발생으로 인한 공정 오염, 2차 파괴, 작업자의 위험성 증가 등이 뒤 따르기 때문에 유리절단 품질의 기준이 된다.

유리의 가공 및 절단에 관한 연구는 Weber, H.^[1] 등의 초음파 진동 툴에 의한 선삭에 관한 것, 이준석^[2] 등의 초음파 진동을 이용한 유리의 미세 홈 가공 특성에 관한 것, 신용주^[3] 등의 초음파를 이용한 고 세 장비 유리가공 특성에 관한 것, 그리고 일본 베르텍스 사^[4]의 특허 등이 있다. 그러나 진동인가 휠 스크라이버에 의해 유리를 절단한 연구는 거의 없다^[5].

본 연구는 평판유리 절단 방법을 첫째, 휠 스크라이버에 의한 절단의 경우, 둘째, 진동 인가 휠 스크라이버에 의한 절단의 경우, 셋째, 유리에 진동을 인가 하면서 휠 스크라이버로 절단하는 경우 등, 3가지 경우로 나누어 연구하였으며, 3가지 경우에 대한 절단면의 파괴거동을 비교 연구하였음은 물론, 특히 본

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : sdchoi@kumoh.ac.kr

* 금오공과대학교 기계공학부

** 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과

연구실에서 고안한 진동 인가 휠 스크라이버 방식에 대하여 중점을 두었다.

2. 평판 유리 절단 메커니즘

2.1 평판 유리 절단 원리

일반적인 평판 유리의 절단 방법은 휠 스크라이버를 평판유리에 가압한 상태에서 이동시키면, 스크라이브 선이 형성되어 절단되는 것이다. 이 선은 Fig.1에 나타낸 바와 같이 인선(刃先) 진입부에 의한 균열 홈의 깊이와 리브마크(rib mark), 수직크랙을 포함하고 있다^[4]. 스크라이빙 후 브레이커(breaker)에 의해 인장 응력을 가하면, 새로운 절단면이 형성되어 유리가 절단된다. 평판유리의 절단을 용이하게 하기 위해서는 수직크랙을 되도록 깊이 형성할 필요가 있다. 이를 위해서는 휠 스크라이버를 평판유리에 누르는 압하력을 크게 하면 된다.

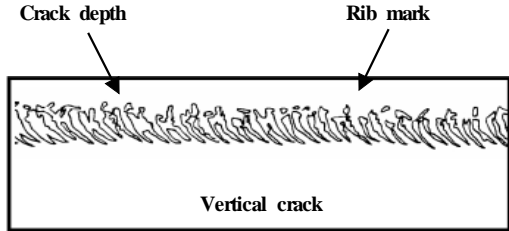


Fig. 1 Section view of cut surface

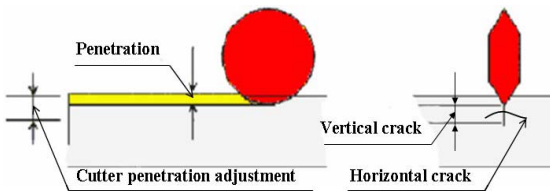


Fig. 2 Mechanism of horizontal and vertical crack

Fig. 2에 나타낸 바와 같이 휠 스크라이버에 큰 압하력을 인가하면, 평판유리에는 수직크랙을 포함하는 스크라이브 선뿐만 아니라, 이 스크라이브 선에서 좌우방향으로 전파되는 수평크랙이 발생하고, 이 수평크랙에 의해서 스크라이브 선 근방에 파괴 현상이 발

생한다는 문제점이 있다.

반대로 휠 스크라이버에 압하력을 작게 하면, 수평크랙은 발생하지 않지만, 수직크랙의 깊이가 얕아지게 되어 평판 유리의 절단품질이 저하된다.

2.2 고주파수 진동에 의한 영향

휠 스크라이버로 평판 유리의 압하력을 인가한 상태에서 스크라이브링 한다. 이동기구의 구동에 의해 휠 스크라이버를 이동시키고 동시에, 압전 세라믹에 고주파 전압을 인가시켜서, 압전 세라믹을 주기적으로 신축시킨다. 그러면 이 주기적 신축에 따른 진동이 휠 스크라이버를 통해서 평판 유리에 전달된다.

Fig. 3에 나타낸 바와 같이 휠 스크라이버를 통해 평판 유리에 작용하는 전체 압하력(F)은 휠 스크라이버가 유리에 일정한 스크라이빙 깊이를 유지시키는 힘(F1)에, 압전 세라믹의 진동력(F2)을 더한 것이 된다. 따라서 전체 압하력(F)은 주기적으로 매우 큰 힘이 되어, 휠 스크라이버를 통해서 평판 유리에 충격을 부여하게 되므로, Fig. 1과 같이 깊은 수직크랙을 갖는 스크라이브 선을 형성하게 된다.

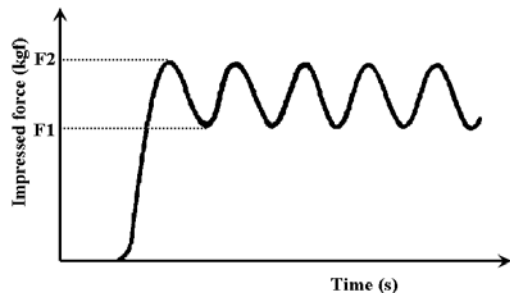


Fig. 3 Force diagram operated on the glass surface by penetration force(F1) and vibration input force(F2)

3. 실험장치 및 조건

3.1 장치 구성도

본 실험에서 사용한 실험장치의 레이아웃은 Fig.4와 같다. Fig. 4에서 압전 세라믹 ①과 ②가 없으면 ③의 휠 스크라이버만을 사용하는 실험장치가 되며,

②가 없으면 진동인가 휠 스크라이버를 사용하는 실험 장치, ①이 없으면 평판 유리에 진동 인가를 하여 유리를 절단하는 실험장치가 된다.

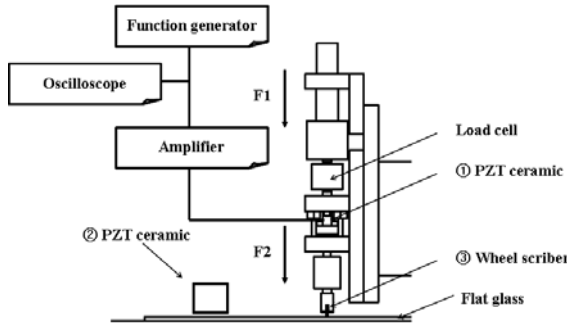


Fig. 4 Layout of various experimental apparatus for flat glass cutting

3.2 시험편의 제원

실험 재료는 플로트(float)공법으로 생산된 두께 3mm의 PDP제작용 평판 유리이다. Table 1은 PDP용 소다라임 (soda lime silica) 유리의 조성 및 특성을 나타낸다.

Table 1 Specifications of flat glass for experiment

Material	Soda-lime glass for PDP	
Composition	SiO ₂	71.0
	R ₂ O	14.0
	RO	13.0
	Al ₂ O ₃	1.5
Process type of manufacturing	Float process	
R ₂ O: Na ₂ +K ₂ O, RO: MgO+CaO+SrO+BaO		

3.3 실험조건

실험 조건은 Table 2와 같이 하였다. 실험조건 선정은 이전에 실시한 연구결과^[5]에서 구한, 최적절단면 품질을 보증하는 가공조건으로 하였다.

실험에서 사용된 휠 스크라이버의 재질은 소결 다이아몬드이며, 휠 스크라이버의 경사각은 150°이고 외경은 3.0 mm이다.

Table 2 Experimental conditions

Cutting speed	200 mm/sec
Frequency	3.5 (kHz)
Input voltage	25 (V)
Cutting force	1.5 (kg)

Fig. 5는 실험에 사용된 휠 스크라이버(SP 505)의 제원이다.

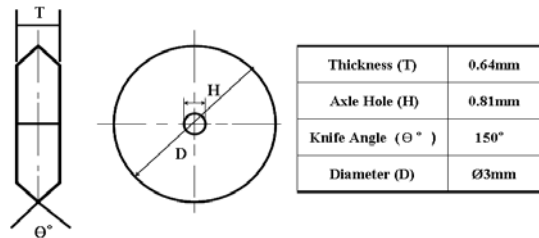


Fig. 5 Specifications of wheel scriber

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 진동을 인가하지 않은 절단면 관찰

Fig. 6은 휠 스크라이버로 스크라이빙한 후, 브레이킹을 실시한 절단면을 나타낸다. 균열 홈의 깊이가 일정하지 못하고 깨짐 현상을 확인할 수 있다.

또한 균열 홈의 깊이가 최대 45µm로 깊게 발생한다. 균열 홈에서 시작된 수평크랙과 불균일한 균열 홈의 깊이는 절단면 품질을 저하시키는 요인으로 작용하며, 깊은 균열 홈에서 발생한 유리 분진은 공정 오염의 원인으로 작용한다.

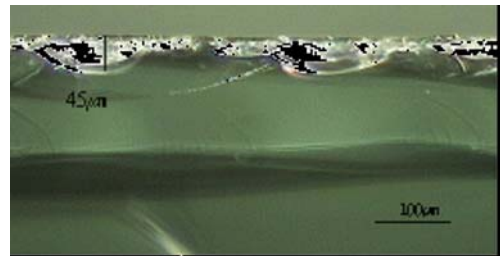


Fig. 6 Section view of cut surface by wheel scriber without vibration input

4.2 휠에 진동을 인가한 절단면 관찰

Fig. 7은 휠 스크라이버에 압전 세라믹으로 3.5kHz의 주기적 진동을 인가한 경우의 절단면을 나타낸다. 진동을 인가하지 않은 절단면과 달리, 균열 홈의 깊이가 평균 15 μm 의 일정한 깊이를 나타내고, 깨어짐 현상과 수평 크랙이 거의 없다. 진동을 인가하면 일정 압하력(F1)이 비교적 작아지기 때문에, 충격력의 감소로 인하여 수평크랙의 발생이 억제되었다고 생각한다.

또한 진동을 휠 스크라이버에 인가하면 취성 파괴의 영향을 줄일 수 있고, 평판 유리 표면에서 시작하는 수직 균열의 깊이를 진동에 의하여 진전시키는 효과가 있다. 그리고 스크라이브 선의 형성 과정에서 휠 스크라이버는 스크라이브 깊이를 유지시키는 힘(F1)에 의하여 항상 평판 유리면에 접한 상태이고, 유리면에서 순간적으로 떨어지지 않아, 휠 스크라이버의 이동에 의해 깨끗한 스크라이브 선을 형성하는 것이 가능하다.

또한 휠 홀더가 강체이고 휠 스크라이버는 압전 세라믹 홀더에 설치되어 있기 때문에, 홀더와 일체가 되어 진동하고, 압전 세라믹 진동 에너지를 휠 스크라이버에 전달한다. 그리고 발생된 진동에너지는 이미 형성된 스크라이브 선에 수직크랙을 유발하고, 이 수직크랙을 성장시키는 작용을 하기 때문에, 더 한층 확실하게 깊은 수직크랙을 형성하게 된다. 즉 휠 스크라이버의 진동에 의해 미소 간격을 두고, 유리면을 두드려 수직크랙을 성장시키므로, 수평크랙의 발생은 억제되면서 정밀도가 높은 스크라이브 선을 형성하는 것이 가능해 지는 것이다.

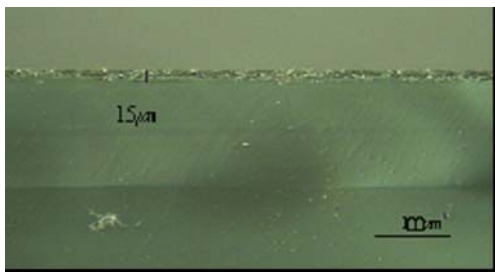


Fig. 7 Section view of cut surface by wheel scribe with vibration input

4.3 평판 유리에 진동을 인가한 절단면

Fig. 8은 압전 세라믹에 3.5kHz의 주기적 진동을 평판 유리에 인가하면서, 동일한 절단 조건으로 스크라이빙 한 경우의 절단면을 나타낸 사진이다. 균열 홈의 깊이는 평균 13 μm 로 휠 스크라이버에 진동을 인가한 절단면의 경우와 비슷한 양상을 나타내지만, 스크라이브 선 부근에 수평크랙이 발생함을 보이고 있다.

진동을 인가하지 않은 절단면의 거동과 비교하면, 균열 홈의 깊이가 일정하고, 균열 홈에서 시작하는 깨어짐 현상이 적음을 알 수 있다. 또한 균열 발생이 적고 절단면 품질은 양호한 것처럼 보이지만, 평판 유리에 직접 인가한 진동은 스크라이브 선과 수직 방향으로는 전달되지 못하기 때문에, 스크라이브 선에 내부크랙을 유발시켜 절단면 품질을 저하하는 수평크랙이 발생하였음을 알 수 있다.

따라서 이 방법은 평판 유리 절단 방법으로 바람직하지 않음을 알 수 있다.

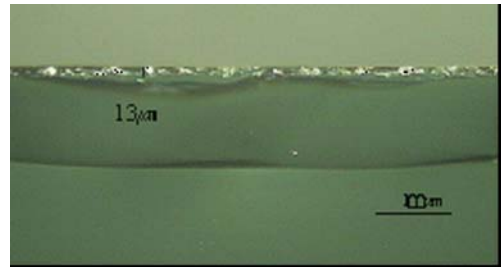


Fig. 8 Section view of cut surface by wheel scribe with vibration input to flat glass

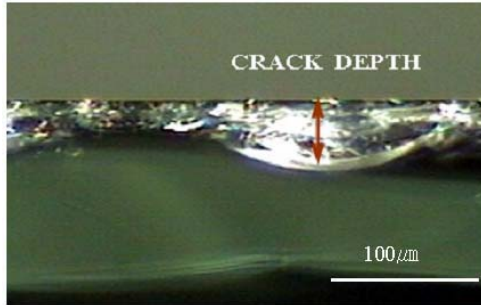
Fig. 9는 위의 세가지 경우에 대하여 절단면의 파괴거동을 한 눈에 비교 관찰 해 보기 위해 나타낸 절단면 사진이다.

Fig. 9(a)에서는 진동을 인가하지 않고 일정한 압하력 하에서 스크라이빙 한 경우로써, 균열 홈의 깊이가 45 μm 로 매우 깊으며, 깨짐 현상이 발생함을 보인다. 따라서 절단면의 파괴거동이 불규칙하며, 유리의 파쇄 분진도 매우 심할 것으로 생각된다.

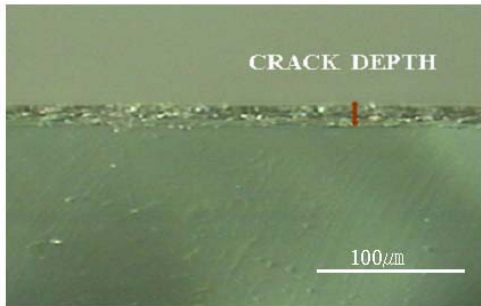
Fig. 9(b)는 진동을 휠 스크라이버에 인가한 경우로써, 균열 홈의 깊이가 15 μm 로 거의 일정하며, 수평크랙이 발생하지 않고, 연속적인 균열 홈이 발생하여

절단면 품질이 양호해 보인다.

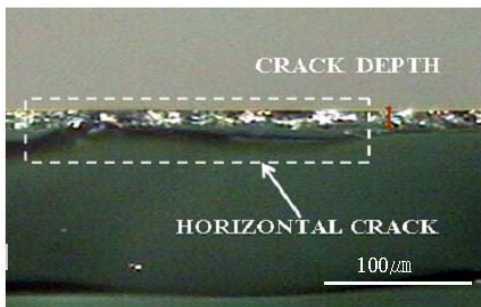
Fig. 9(c)에서는 평판 유리에 진동을 준 경우이며, 균열 홈의 깊이는 $13\mu\text{m}$ 로 일정하지만, 평판 유리에 인가된 진동이 스크라이브 선에 수직으로 전달되지 못하고, 절단면 파괴거동에 나쁜 영향을 주는 수평크랙이 발생하였음을 선명하게 보여주고 있다.



(a) Non-vibration



(b) With vibration to wheel scriber



(c) With vibration to flat glass

Fig. 9 Comparisons on the cut sections by three types experiments

5. 결 론

PDP 및 LCD용 유리를 절단 할 때 진동 인가에 따른 절단면의 파괴 거동을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 휠 스크라이버에 의한 절단 방법에서는 균열 홈의 깊이가 일정하지 못하고 깨짐 현상이 있음을 확인하였다.
2. 동일한 조건하에서 진동 휠 스크라이버에 의한 절단 방법에서는 균열 홈의 깊이가 평균 $15\mu\text{m}$ 로 비교적 일정하였으며, 깨짐 현상과 수평 크랙이 발생하지 않음을 확인하였다.
3. 평판 유리에 진동을 인가하면서 스크라이빙을 한 절단방법에서는 진동을 인가하지 않은 휠스크라이빙 절단방법에 비하여 깨짐 발생이 적고 절단면 품질은 양호하지만, 평판 유리에 직접 인가한 진동은 스크라이브 선과 수직한 방향으로 전달되지 못하기 때문에 스크라이브 선 부근에서 수평크랙이 발생함을 확인하였다.
4. 결론적으로 진동인가 휠 스크라이버를 사용하는 유리 절단 방법이 절단면의 파괴거동 측면에서 가장 양호함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교의 교내학술연구비 지원에 의하여 수행되었습니다. 대학 당국에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Weber, H., Herberger, J. and Pilz, R., "Turning of machinable glass ceramics with an ultrasonically vibrated tool," Annals of CIRP, Vol. 33/1, pp. 85-87, 1984.
2. 이준석, 김병국, 정용호, 이득우, "초음파 진동절삭을 이용한 평면 광도 파로와 유리의 미세 홈 가공 특성에 관한 연구," 한국공작기계학회지,

- pp. 167-172, 2002.
3. 신용주, 김현영, 장인배, 김병희, 전병희, “초음파에 의한 고 세장비 유리 가공 특성,” 한국소성가공학회지, 제11권, 제7호, pp. 608-613, 2002.
 4. 특허 공개번호 특 2001-0016817, “스크라이브 방법 및 장치,” 베르텍스.
 5. 최성대, 정선환, 김기만, 전재목, 노영진, “진동에 의한 평판 유리의 절단 거동,” 한국기계가공학회지, 제4권, 제1호, pp. 37-42, 2005.
 6. 이정훈, 유리 생산 기술상의 결점, pp. 672-698, 청문각, 2001.
 7. 최인휴, 김정두, “초음파 진동가공에 의한 칩 생성 특성에 관한 연구,” 대한기계학회논문집, 제21권, 제4호, pp. 655-662, 1997.
 8. 강재훈, “진동을 부가한 세라믹스의 연삭 가공에 관한 연구,” 한국자동차공학회논문집, 제4권, 제5호, pp. 37-48, 1996.
 9. 박명호, “초음파 진동 부가에 의한 인코넬의 선삭 가공,” 대한기계학회논문집 A권, 제27권, 제3호, pp. 357-362, 2003.
 10. 김정두, 곽윤근, “초음파 진동을 이용한 정밀 절삭에 관한 연구,” 대한기계학회논문집, 제4권, 제4호, pp. 818-829, 1990.
 11. 강종표, 김병화, 송지복, “초음파 진동 절삭에 의한 가공 정도 향상에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, 제8권, 제2호, pp. 69-76, 1991.
 12. 주종남, 김규만, 김성윤, “미세 형상가공을 위한 방전·초음파 가공 기술,” 한국정밀공학회지, 제17권, 제7호, pp. 20-27, 2000.
 13. Shamoto, E. Moriwaki, T. Inoue, K. “Ultraprecision Ductile Cutting of Glass by Applying Ultrasonic Vibration,” Annals of CIRP Vol.41/1, pp. 35-38, 1994
 14. Shamoto, E., Moriwaki, T., “Study on Elliptical Vibration Cutting,” Annals of CIRP vol. 43/1, pp. 35-38, 1994.
 15. Ming, H., Wang, S., Plebani, L., Sathyanarayanan, G., “Ultrasonic-machining, Manufacturing Science and Technology,” Trans.ofASME, Vol. 2, pp. 169-176, 1997.
 16. Thoe, T. B., Aspinwall, D. K., Wise, M. L. H., “Review on ultrasonic machining,” International Journal of Machine Tool and Manufacture, Vol. 38, pp. 239-255, 1998.
 17. Choi, I. H., Kim, J. D., “Characteristics of Chip Generation with Ultrasonic Vibration Cutting in the Extremely Low Cutting Velocity,” KSME, Vol. 21, No. 4, pp. 655-662, 1997.
 18. Lee, T. C., Chan, C. W., “Mechanism of the ultrasonic machining of ceramic composites,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 721, pp. 195-201, 1997.