

연마재 워터젯을 이용한 유리 가공에 대한 기초실험 및 전산 해석에 대한 연구

Experimental and numerical investigation of glass cutting by abrasive waterjet

*,# 박연경¹, 박강수¹, 신보성², 고정상³

*,# Yeon Kyoung Bahk¹(ykbahk@pusan.ac.kr), Kang Su Park¹, Bo Sung Shin² and Jeung Sang Go³
¹ 부산대학교 대학원, ² 부산대학교 ERC/NSDM, ³ 부산대학교 기계공학부

Key words : abrasive waterjet, glass cutting, frosting, CFD, numerical analysis

1. 서론

연마재 워터젯 가공기술(Abrasive waterjet)은 레이저 가공기술과 함께 근래에 가장 급속한 발전을 보이며 각광받고 있는 신기술 중에 하나이다. 고압으로 압축된 물에 가넷(Garnet)등의 연마재를 섞어 고속으로 분사하여 가공하는 기술을 말한다. 연마재 워터젯 가공기술은 두꺼운 재료의 절단과 재귀반사물(Highly reflective materials) 등의 재료의 절단도 가능하여 레이저 가공기술을 보완해 준다. 또한 유리나 세라믹 등의 취성 재료의 가공도 가능하며, 열 변형이 없고 절단면이 우수하다.⁽¹⁾

연마재 워터젯 가공기술은 금속 절단을 비롯하여 폴리머, 세라믹, 유리 등의 다양한 재료에 적용되고 있다. 그 중에서도 공학적으로 다양한 응용이 가능한 유리 소재에 대한 가공에 관심이 집중되고 있다. 유리는 상온에서 화학적으로 안정화된 상태이며 물, 공기, 이산화탄소 등의 기체나 박테리아나 유기체에 대한 내성이 좋다. 또한 무공성(Nonporosity)이며 자연적으로 빛을 투과시키는 특성이 있다. 이러한 유리는 광 전자기계적으로나 건축, 예술 등 다양하게 활용되고 있다. 이러한 응용을 뒷받침하기 위해서는 기본적으로 절단 가공이 첫 번째로 수반되어야 함을 알 수 있다. 일반적으로 유리 소재의 절단에는 다이아몬드를 이용한 절단기술을 이용하고 있다. 이 경우 절단면이 거칠고 굴곡이 생기는 단점이 있어 최근에 대안으로 워터젯 가공기술과 레이저 가공기술이 대두되고 있다.⁽²⁾

연마재 워터젯 가공기술은 고압의 물이 포커싱 노즐을 통과하는 과정에서 생기는 압력차를 이용해 연마재를 유입시킨다. 유입된 연마재는 노즐의 포커싱 부분에서 워터젯의 중심부로 포커싱 된다. 하지만 이러한 고압 고속의 워터젯에 연마재가 섞이는 과정에서 포커싱 길이가 짧거나 연마재의 유입량이 과도한 경우 등에는 연마재의 일부가 워터젯의 중심으로 집중되지 않고 가장자리에 위치하게 된다. 이렇게 가장자리에 위치한 연마재는 유리 가공에 있어서 절단면을 나쁘게 하거나 백화현상을 나타나게 하는 원인이 된다.

본 연구에서 연마재 워터젯 가공기술을 이용한 유리 가공에서 나타나는 가공특성에 대하여 CFD를 이용한 전산해석과 기초 실험을 실행하였다. 이를 바탕으로 유리 가공에 있어서의 백화현상을 줄이고자 한다.

2. 전산해석 프로그램 및 방법

전산해석을 통하여 백화현상에 직접적인 영향을 미치는 요소를 확인하고자 하였다. 전산해석 프로그램으로는 상용 유체유동해석 프로그램인 CFD-ACE를 이용하였다. 연마재 워터젯 가공장비의 커팅헤드 부분에서 고압의 물이 분사될 때의 연마재의 거동을 중점적으로 확인하였다. 보편적으로 사용되는 유리가공의 방법 중에 고압의 물과 연마재를 넣는 순서를 조절하는 방법이 있는데 그 중에 연마재를 먼저 주입한 후 고압의 물을 주입하는 방법으로 전산해석을 실행

행하였다. 이 때 입력부의 압력은 산업체에서 일반적으로 유리가공에 사용하는 1,000bar 정도로 실행하였다. 가공재료에 해당하는 부분은 5mm에 위치하도록 모델링 하였다.

3. 실험장비 및 방법

3.1 실험 장비

실험에 사용한 연마재 워터젯 가공장비는 크게 세 부분으로 나뉘는데, 이는 작업테이블(CNC table), 유압 펌프, CNC 컨트롤 부로 나눌 수 있다. Fig.2에서와 같이 유입되는 물은 필터를 거쳐 정수되어 증압기(Intensifier)로 들어간다. 증압기에서 유압을 이용해 가공압력까지 높여주게 되고 가압된 물은 압력맥동을 완화시켜주기 위해 축압기(Accumulator)를 거쳐 안정화된 후 커팅헤드(Cutting head)부에서 연마재와 섞여 가공재료에 분사된다.^{(3), (4)} 본 실험에 사용한 연마재 워터젯 가공장비의 사양은 최대압력 4,100bar, 토출 유량 3.8ℓ/min, 최대 이송속도 15,000mm/min이다.

3.2 실험 방법

전산해석 결과를 바탕으로 유리가공에 대한 기초실험을 진행하였다. 커팅헤드 끝 단에서 가공재료까지의 거리를 나타내는 이격거리(Standoff distance)를 기준으로 크게 피어싱과 형상 가공시의 백화현상이 나타나는 기준에 대해 실험하였다.

피어싱 가공압력은 400~1,000 bar, 형상 가공압력은 1,000~



Fig. 1 Abrasive waterjet system

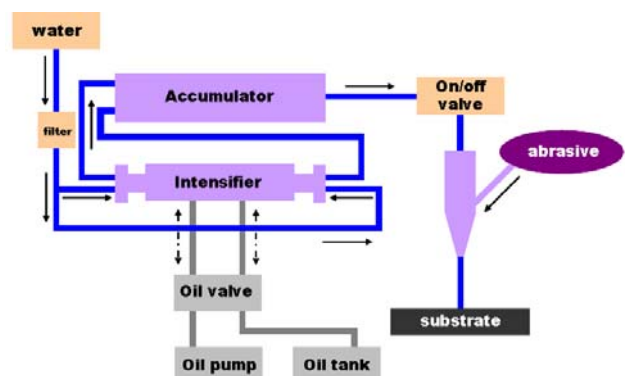


Fig. 2 Schematic diagram of abrasive waterjet system

2,000bar 를 기준으로 하였으며, 이격거리는 0.6~8.0mm 를 기준으로 하여 실험하였다.

4. 전산해석 및 실험 결과

4.1 전산해석 결과

1,000bar 의 압력으로 워터젯을 분사하는 전산해석을 한 결과는 Fig. 3 과 같았다. A 는 연마재에 해당하는 입자가 주입되는 위치이며 이는 연마재와 물의 주입순서를 고려하여 설정하였다. Fig. 3 는 워터젯 유동에 따른 연마재의 거동을 보여준다. 왼쪽의 빈 공간은 가공소재에 해당하는 부분이다. 그림에서와 같이 처음 분사되는 워터젯의 끝 단은 포커싱 노즐을 통과하는 순간부터 퍼지기 시작하여 커팅헤드 끝 단에서 거리가 3mm 이상 되면 크게 발달하여 가공재료 까지 진행된다. B 에서 보는 것과 같이 발달된 워터젯의 끝 단의 가장자리에 위치하는 연마재는 포커싱 노즐 폭이나 안정화된 워터젯의 폭보다 넓게 가공재료에 부딪히게 되어 표면의 백화현상을 발생시킨다. 워터젯의 끝 단이 처음 가공재료에 도달하는 순간을 나타내는 5 번을 살펴보면 처음 가공이 시작되는 때에 연마재가 넓게 가공재료에 부딪히는 것을 확인할 수 있다.

4.2 실험 결과

0.5mm 직경, 50.4mm 길이의 포커싱 노즐을 이용하여 가공을 한 결과 Fig. 4 와 같은 결과를 보였다. 이격거리가 0.4mm 이하일 경우에는 역류현상을 보여 실험결과에서 제외하였다. 이격거리를 0.5~8.0mm 까지 변화를 시켜 실험한 결과 2.5mm 이상이 되는 경우에는 백화현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 5 는 백화현상이 나타난 부분(D)을 광학현미경을 이용해 측정한 결과를 보여준다. 백화현상이 나타난 경계 부분을 확대해 봤을 때 어둡게 나타난 부분이 백화현상이 일어난 부분으로 100 배 확대하여 관찰한 결과 표면에 흠 등의 손상이 생긴 것을 확인할 수 있다. 이는 전산해석의 결과에서 보여주는 것과 같이 연마재에 의한 손상으로 볼 수 있다.

5. 결론

연마재 워터젯 가공기술을 이용한 유리 가공 시 나타나는 문제점인 백화현상에 대한 실험을 한 결과, 전산해석 결과에서와 같이 이격거리가 일정 이상 멀어지면 백화현상이 심화되는 것을 확인할 수 있었다. 실험 결과와 전산해석의 결과에 따르면 Standoff distance 는 2.5mm 이하로 가공을 할 때에는 백화현상이 감소함을 예측, 확인 할 수 있었다.

참고문헌

1. D. S. Miller, "Micromachining with abrasive waterjets," Journal of Material Processing Technology, Vol. 149, 37-42, 2004.
2. E.S. Prakash, K. Sadashivappa, Vince Joseph, M Singaperumal, "Nonconventional cutting of plate glass using hot air jet," Mechatronics, Vol. 11, 595-615, 2001.
3. D. Arola and M. Ramulu, "A Study of Kerf Characteristics in Abrasive Water-jet Machining of Graphite/Epoxy Composite", ASEM - Publications - PED, Vol. 66, pp. 125~151, 1993.
4. M. Ramulu and D. Arola, "The Influence of Abrasive Waterjet Cutting Conditions on the Surface Quality of Graphite/Epoxy Laminates" Int.. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 34, No. 3. pp. 295~313, 1994.

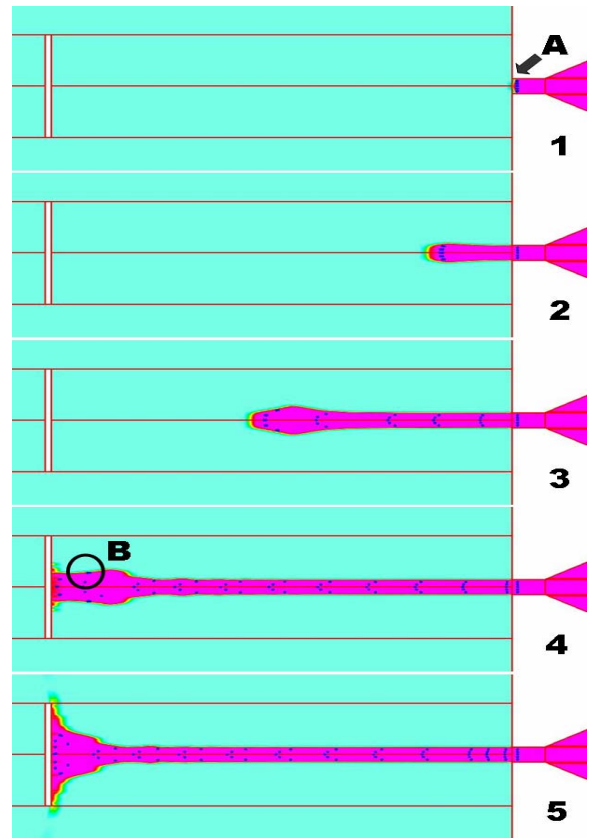


Fig. 3 Results of CFD simulation

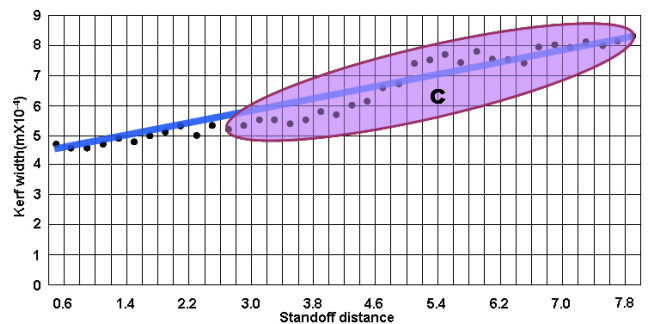


Fig. 4 Frosting region on glass surface

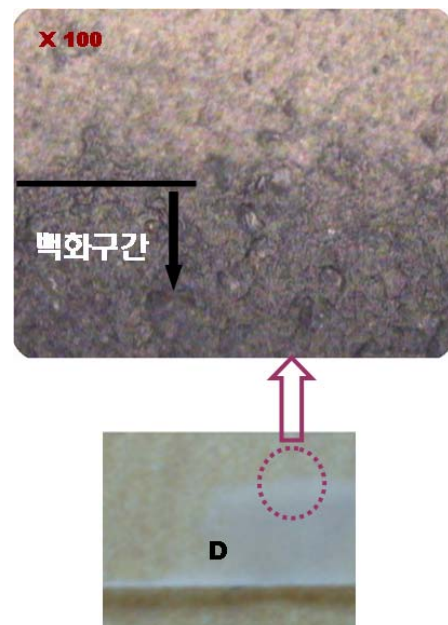


Fig. 5 Frosting on glass surface