

# 연마재 워터젯을 이용한 다층소재의 미세가공에 관한 기초 연구

## A study on the micromachining of multi-layered material using abrasive waterjet

\*박강수<sup>1</sup>, #신보성<sup>2</sup>, 박연경<sup>1</sup>, 고정상<sup>3</sup>

\*K.S. Park<sup>1</sup>, #B.S. Shin(bosung@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>, Y.K. Bahk<sup>1</sup>, J.S. Go<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 대학원, <sup>2</sup> 부산대학교 ERC/NSDM, <sup>3</sup> 부산대학교 기계공학부

Key words : Abrasive waterjet, Multi-layered materials, Microcutting, Frosting

### 1. 서론

연마재 워터젯(Abrasive waterjet)가공기술은 고압으로 압축된 물에 가넷(Garnet)이나 실리카 샌드(Silica sand)와 같은 연마입자들을 혼합하여 가공물에 고속으로 분사하는 빔 가공의 일종으로, 1970년 중반에 최초로 상업화된 역사가 짧은 신기술이다. 연마재 워터젯가공 기술은 두꺼운 금속뿐만 아니라, 유리, 세라믹, 목재 등의 다양한 재료에 적용되고 있다.<sup>(1,2)</sup>

연마재 워터젯의 장점으로는 여러가지가 있다. 그 중, 다른 가공법과 가장 비교되는 점은 발열을 수반하지 않고 가공하므로써 재료의 열변형, 변성, 가스화가 일어나지 않아 열에 약한 금속 가공에 유리하다는 것이다. 이러한 워터젯 가공은 주로 단층으로 이루어진 특정 금속 위주로 연구되어 왔지만, 최근 0.1~1.0mm의 미세 노즐과 연마재의 개발로 마이크로 단위의 미세 가공까지 가능하게 되었다. 이러한 워터젯은 로봇, CNC(Computer Numerical Control), 테이블(Table), 지그(Jig) 등과 결합되어 가공의 생산성 및 정밀성을 높여 전자제품, 자동차 소재 가공, 건설, 기계, 조선 분야에 적용되어 산업전반에 걸쳐 활용범위가 급속도로 확장되고 있다.<sup>(3)</sup>

오늘 날 모든 전자제품의 필수 부품으로 사용되고 있는 인쇄회로기판(PCB)과 얇은 복합층으로 이루어진 복합소재는 고밀도화, 휴대화 등 시장의 변화로 인해 급속하게 발전하고 있다. 그리고 대부분 프레스 금형을 이용하여 가공되고 있다. 이러한 가공 방법은 과거 소품종 대량생산에는 유리하였지만, 오늘날과 같이 빠르게 발달하는 다품종 소량생산에는 금형 틀의 제작 비용상승과 정밀도에 의한 문제가 발생한다. 워터젯 가공은 CNC를 이용하여 설계에 맞게 쉽게 가공이 가능하므로써 비용절감에 큰 이득을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 이러한 워터젯의 장점을 이용하여 지금까지 주로 연구되었던 특정 금속 가공에서 벗어나 여러 소재로 이루어져 있는 얇은 복합재의 가공성 및 가능성에 대해 연구하였다.

### 2. 실험 장비 및 방법

#### 2.1 실험 장비

실험에 사용된 장비는 연마재 워터젯으로서 크게 작업 테이블(CNC Table), 펌프부(Pump unit), CNC 컨트롤러 부분으로 나뉘어 있다. 그리고 Fig. 2와 같이 먼저 필터를 통해 정수된 물이 배관을 통해 증압기 펌프(Intensifier)로 보내진 뒤, 4,000bar까지 가압된다. 가압된 물이 커팅헤드로 이동하기 위해서 축압기(Accumulator)를 거친다. 이 축압기는 압력맥동을 완화시켜 커팅헤드로 물을 안정적이고 일관되게 분출시켜 준다. 본 연구에 사용된 연마재 워터젯 사양은 최대압력 4,100bar, 토출유량 3.8ℓ/min, 최대가공속도 15,000mm/min이다.<sup>(4)</sup> 모든 실험에 적용된 기본 조건은 직경 0.5mm, 높이 50.4mm 노즐과 직경 0.2mm의 오리피스(Orifice)이며 연마재는 가넷(#220)을 사용하였고, 절단각도는 90°를 유지하였다.

#### 2.2 실험 방법

연마재 워터젯의 공정 파라미터(Parameter)는 Fig. 2와 같이 이격거리(Standoff distance), 가공압력, 가공속도, 연마재 크기, 오리피스(Orifice)와 노즐(Nozzle)의 크기 등이 있다.<sup>(5),(6)</sup> 이 중 이격거리, 가공압력, 가공속도에 따른 복합재의 가공성에 대해 실험하였다. 실험 시편은 Fig. 3과 같이 Cu와 PPG(Glass F/Epoxy)로 이루어진 두께 448μm이며, 실험은 이격거리 0.8mm, 가공압력 1,500bar, 가공속도 1000mm/min을 기본 조건으로 이격거리 0.4mm~5.6mm, 가공압력 800bar~3,200bar, 가공속도 200mm/min~3,000mm/min을 각각 변화시키며 절삭하였다.

이러한 실험 조건을 토대로 가공된 시편의 양 끝쪽을 제외하고, 가공이 되는 윗면(Entrance kerf width)과 아랫면(Exit kerf width)의 비율을 나타낸 테이퍼비(Taper ratio)를 각각의 조건에 따라 비교하였다. 그리고 LS-DYNA를 이용하여 가공압력에 따른 가공성을 확인하였다.

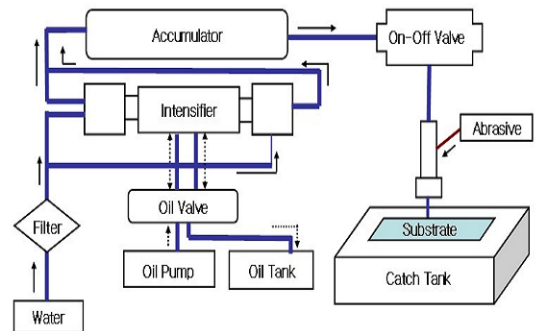


Fig. 1 Schematic diagram of abrasive waterjet system

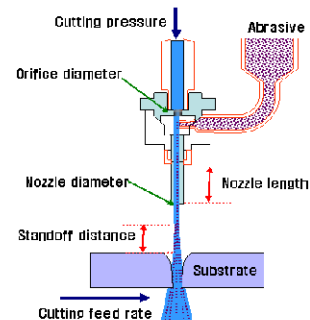


Fig. 2 Parameter of Abrasive waterjet

No	Module	Thickness [μm]
1	PPG(Glass F/Epoxy)	50
2	Cu	12
3	PPG(Glass F/Epoxy)	100
4	Cu	12
5	(Middle) PPG(Glass F/Epoxy)	100
6	Cu	12
7	PPG(Glass F/Epoxy)	100
8	Cu	12
9	PPG(Glass F/Epoxy)	50
Total Thickness		448

Fig.3 Structure and formation of multi-layered material

### 3. 실험 결과

#### 3.1 이격거리에 대한 가공성

실험은 이격거리 0.4 ~ 5.6mm 범위에서 이루어졌다. 이것은 이격거리가 0.4mm 보다 적을 경우 노즐과 가까워 막히는 경우가 발생하여 워터젯의 역류를 유발하고 가공이 불안정해지므로 실험에서 제외되었다. 실험결과 이격거리가 멀어질수록 연마재의 분산량이 늘어 Fig. 4와 같이 가공폭과 테이퍼비가 증가하며 가공성이 나빠진다.

#### 3.2 가공 압력에 대한 가공성

실험은 가공압력 800 ~ 3200bar 범위에서 이루어졌다. 800bar 이하의 압력은 워터젯 역류의 원인이 되어 가공이 불안정하며, 3200bar 이상일 경우 본 시편과 같이 얇은 시편에 무리한 영향을 주기 때문에 제외하였다. 실험결과 가공압력이 커질수록 연마재의 힘이 아랫면까지 잘 전달되어 Fig. 5와 같이 테이퍼비가 줄어들며 가공성이 향상된다. 하지만 연마재의 양이 많아져 가공폭은 넓어진다.

#### 3.3 가공속도에 대한 가공성

실험은 가공속도 200 ~ 3600mm/sec 범위에서 이루어졌다. 가공속도가 증가할수록 소재에 가해지는 연마재의 양과 힘이 전달되는 시간이 줄어 가공폭이 줄고, 힘이 아랫면까지 전달되는 힘이 적어 테이퍼비가 증가한다.

#### 3.4 LS-DYNA 를 이용한 전산해석

연마재 워터젯 가공은 물보다 연마재에 의해 가공이 이루어진다. 따라서, 연마재의 가공 압력에 따른 가공성을 LS-DYNA 를 이용하여 시뮬레이션 하였다. Fig. 7에서와 같이 가공 압력이 커질수록 연마재의 속도가 증가하여 소재가 받는 영향력이 커지는 것을 확인하였다.

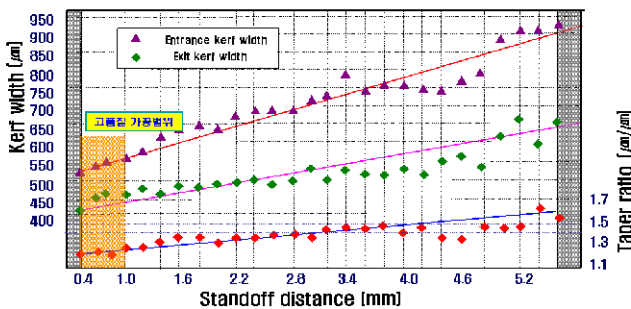


Fig. 4 Kerf width and taper ratio with respect to standoff distance

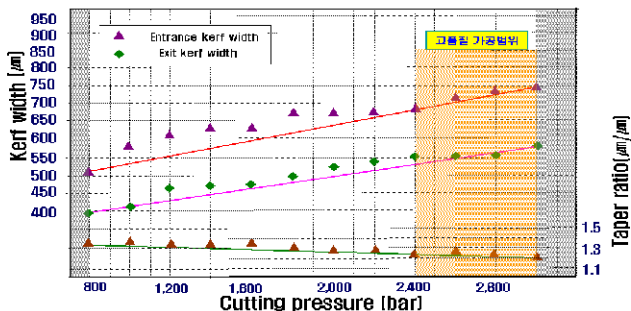


Fig. 5 Kerf width and taper ratio with respect to pressure

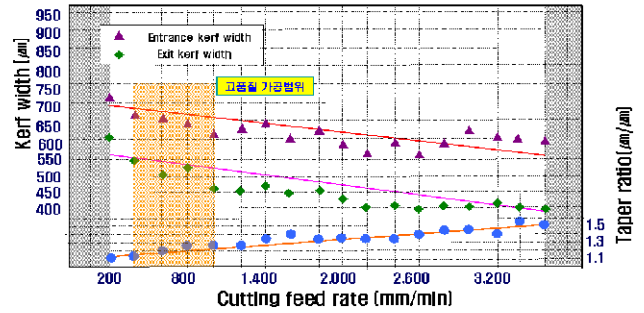


Fig. 6 Kerf width and cutting pressure with respect to Cutting feed rate

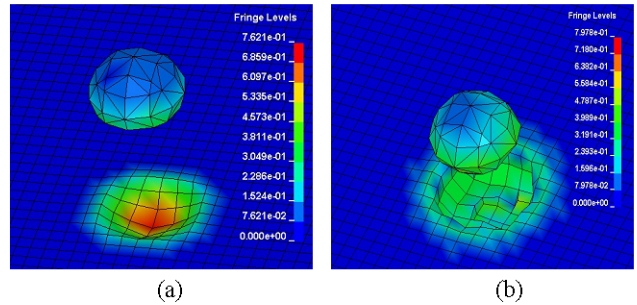


Fig. 7 Simulation results of single-layered material process by abrasives, (a) Pressure 1000bar (b) Pressure 2000bar

### 4. 결론

본 논문에서는 연마재 워터젯을 이용하여 Epoxy, Cu, Glass 등 다양한 재질로 이루어진 얇은 복합재를 절삭하여 절삭시 노즐의 이격거리, 가공압력, 가공속도에 따른 가공성에 대해 분석하였으며, 미세가공에 대한 가능성을 확인하였다. 그 결과 이격거리가 짧고, 가공압력이 크며, 가공속도가 느릴수록 가공성이 향상되는 것을 확인하였다. 얇은 소재의 경우에 연마재 분산에 가장 큰 영향을 받으며 이것은 이격거리와 가장 관련이 깊다. 그리고 시뮬레이션을 통해 가공압력과 가공성의 관계를 예측할 수 있었다.

본 연구와 관련하여 향후 보다 미세한 가공성을 얻기 위한 마이크로 노즐에 대한 연구를 계속해 나갈 예정이다.

### 참고문헌

1. Kuleckci, M. K., "Processes and Apparatus Developments in Industrial Waterjet Applications" International journal of machine tools and manufacture, Vol. 42, pp 1297-1306., 2002.
2. Young-woo Park, "Nozzle Wear in Abrasive Waterjet Cutting System: Mathematical Model and Empirical Validation", Vol. 11, pp 190-195, 1996
3. D. Arola, M, Ramulu. "Mechanism of material removal in abrasive waterjet machining", Seventh american waterjet conference seattle, Vol. . 29, pp 46-64, 1993
4. 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
5. 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
6. 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, pp. 295~313, 1994