

습식 워터 젯 정밀 가공용 다이아몬드 오리피스스의 특성 평가

The Characteristics of Diamond Orifices in Abrasive Suspension Jet for Micro machining

*#조재한¹, 박희동¹, 김연철¹, 이대형², 강석중³

*#J.H. Jho(jhjho@ehwadia.co.kr)¹, H. D. Park², Y. C. Kim³, D. H. Lee³, S. J. Kang³

¹ 이화다이아몬드공업(주) 기술연구소, ² ㈜쿠스코엘비이, ³ 한국과학기술원 신소재공학과

Key words : Diamond orifices, Abrasive Suspension jet

1. 서론

세척이나 코팅층 제거 목적으로 사용되는 워터 젯의 속도는 50~200 m/s 정도이고, 절단 가공이 가능한 고압 워터 젯은 700 m/s 이상으로 분류할 수 있다. 이러한 워터 젯 시스템의[1-2] 기술적 발전은 석재 및 금속가공의 응용범위를 넘어 기술집약적 산업인 반도체 장비분야에까지 적용될 수 있는 수준으로 발전된 상태이다. 최근 반도체용 제품에 직선 및 곡선절단이 가능한 습식 워터 젯(Suspension jet)방식이 개발되고 있으며, 물과 연마재의 혼합물이 고속으로 분사되는 작업환경에서 적용이 가능한 내마모 공구의 개발 요구가 커지고 있다.

본 연구에서는 Flunt 3D 유동 해석을 이용하여 노즐 설계에 필요한 내부 구조를 예측하였다. 노즐 설계에 필요한 입구부 형상과, 노즐 내부의 각도, 다이아몬드 두께에 따른 최대유속과 직진성을 시뮬레이션을 통해 해석하고, 해석된 노즐 구조를 바탕으로 다이아몬드 노즐을 제작하여 실제로 알루미늄 판재를 절단하여 단면을 관찰함으로써 습식 워터 젯에 다이아몬드 노즐의 적용성을 확인하였다.

2. 실험 방법

습식 워터 젯 시스템에 적용할 노즐 재료로는 일진다이아몬드사의 PCD 제품을 사용하였다. 다이아몬드는 E6 사의 직경 2 mm, 두께 1.5 mm 크기의 제품을 사용하였다.

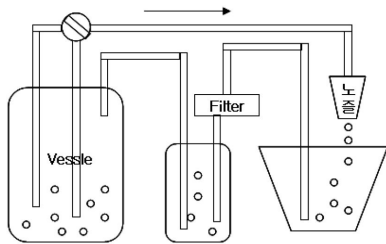


Fig. 1 A Schematic diagram of abrasive suspension jet

다이아몬드 노즐 제조에 내부 설계를 결정하기 위해서 Fluent3D 유체해석 프로그램을 이용하여 순수 water 상태에서 입구부 형상, 오리피스 각도, 오리피스 두께를 변수로 해석하였다. 분석 영역을 만 개의영역으로 분할하여 노즐 입구부에서 출구부의 50mm 범위에 대하여 최대 유속과 속도 분포를 구하였다. 유체해석 결과를 바탕으로 각 설계변수에 따른 직진성과 최대 유속을 분석하여 노즐 구조 설계의 최적 조건을 도출한 후, 절단 시험을 위한 다이아몬드 노즐을 최적조건에 맞추어 제작하였다. 그림 1 은 습식 워터 젯 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 연마재와 물이 혼합되어 있는 베셀(Vessle)에서 순환되어 고압 펌프를 통과하면 고속이 발생하게 되어 노즐의 직경 250 μm 을 통과할 때는 800 m/s 이상으로 분사하게 된다. 분사된 연마입자는 필터(Filter)를 통과하여 다시 베셀로 혼합 되어 다시 분사할 수 있는 순환 구조로 제작되었다. 다이아몬드 노즐은 고압에서 분사되는 연마재와 물이 통과하는 외부로 분사되

는 영역으로 내마모성 특성이 요구된다.

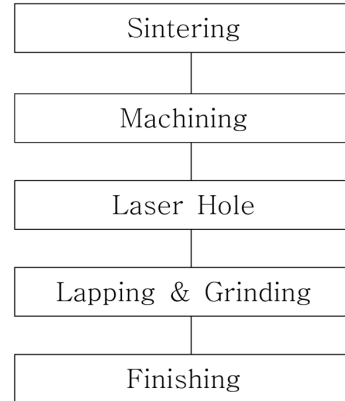


Fig. 2 Process of Diamond nozzle

Table 1 Comparison of measured roughness data

Test Machine	Abrasive Suspension Jet
Pressure (bar)	700
Abrasive	SiC (60μ m)
Abrasive Ratio (wt%)	10%
Flux (L/min)	1.5
Flux Velocity (m/s)	800
Cutting Speed (mm/s)	70-80
Nozzle Diameter	250
Workpiece	Al plate (5mm)

노즐의 홀 가공을 위한 공정 흐름을 그림 2 에 나타내었다. 소결 공정은 다이아몬드와 스테인리스 304 재질의 몰드를 사용하여 고주파 소결 방식으로 1050oC 에서 3 분간 소결을 실시하였다. 소결 후, 저출력 Nd-YAG 레이저로 직경 150 μm 으로 가공한 후, 랩핑과 정밀 연마를 이용하여 250 μm 으로 확대하였다. 본 노즐 제작 공정 통하여 노즐을 제작하면, 직경 250 μm, 홀 공차 ±5 μm, 진원도 3 μm 이하로 다이아몬드 노즐 제조가 가능하였다. 제작된 노즐은 쿠스코엘비이사의 습식 워터 젯 장비를 이용하여 절단 시험을 실시하였다. 피삭재로는 5mm Al 판을 이용하였다. 표 1 에 습식 워터 젯 장비의 세부 절단 시험 조건을 설명하였다. 절단 후 피삭재 절단된 형상을 분석하여 직진도 및 절단 향상을 관찰하기 위해 광학 현미경을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

고압에서 분사되는 물과 연마재의 혼합액은 노즐의 내부 구조에 따라 유체의 흐름이 달라진다. 따라서 노즐 내부의 구조에 따라 노즐의 직진성과 최대 유속은 영향을 받게 된다[3-4]. 노즐 내부의 유동 해석 변수로는 오리피스의

입구 형상, 오리피스 각도, 오리피스의 두께로 선정하였다. 각 변수에 따라 최대 유속과 직진성의 변화를 예측하였다.

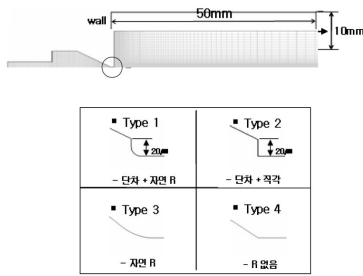


Fig. 3 Variable of orifice shape

그림 3은 각각의 해석 변수 중 오리피스 형상에 따른 유동 해석 결과이다. 노즐 내부에서 다이아몬드 오리피스가 있는 입구 형상에 의한 영향으로서 유체가 고속이 발생하는 지역이다. 입구부 형상은 4 종류로 분류하였다. 다이아몬드 오리피스가 있는 부위에서 단차가 존재하는 구조와 단차 없이 노즐 내부에서 오리피스까지 연결되는 구조로 구분된다. 또한, 단차가 있는 경우는 직각형태이거나 미세한 R 형태로 구분하였다. 단차가 존재하지 않는 경우에는 곡선형태와 직선 형태의 두 종류로 구분하여 각각의 조건별로 최대유속을 도출하였다.

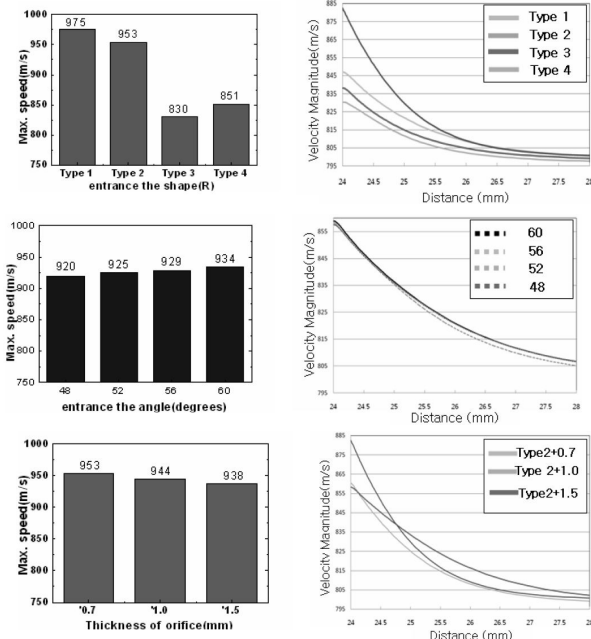


Fig. 4 Maximum flux & velocity magnitude with orifice angle

그림 4는 입구 형상별로 최대 유속과 출구부에서의 유속의 변화를 보여준다. 입구부에 단차를 갖고 있는 Type 1과 Type 2의 구조가 단차가 없는 Type 3나 Type 4에 비해 최대 유속이 빠른 것을 알 수 있다. 단차가 없는 경우에는 Type 3의 경우가 최대 유속이 낮았는데 이는 유선형상에 기인한 것으로 판단된다. Type 1의 경우 최대 유속은 가장 빠른 결과를 보이고 있으나, 최대 유속이 발생하는 위치가 노즐 중심부가 아닌 노즐 외부에서 발생하는 것으로 나타났다. 오리피스의 중심부가 아닌 외부에서 최대 유속이 발생하면 다이아몬드의 마모를 증가시키고, 유체의 직진성이 떨어지게 될 것이다. 따라서 입구부 설계는 최대 유속과 위치를 고려하여 Type 2가 가장 바람직한 것을 보여준다. 각도가 증가할수록 최대 유속은 증가함을 알 수 있으나 최대 유속의 증가율은 크지 않음을 알 수 있다. 두께가 증가

할수록 최대유속은 약간 감소하는 경향을 보였다. 그러나 유체의 직진성을 고려하면 오리피스 두께를 1.5 mm로 했을 경우 입구부로부터 가장 좋은 직진성을 유지하는 것을 알 수 있었다. 노즐유동 해석을 바탕으로 노즐 구조에 따른 최대 유속과 직진성을 갖는 TYPE 2와, 각도 60도, 두께 1.5 mm로 노즐을 설계하고 절단 시험을 위한 시료를 제작하였다.

Nozzle tip 두께	절단 높이(피삭재와 다이아몬드 사이 높이)		
	0.2mm	1.0mm	2.0mm
1mm	549.45 870.12	846.15 1032.97	1208.79 1164.84
2mm	439.56 296.70	571.43 406.59	802.20 505.49
3mm	395.60 428.57	527.47 428.57	681.32 494.51

Fig. 5 Cross section of cutting Al plate

그림 5는 5mm 알루미늄 판을 실제로 절단하여 그 단면을 통해 절단 형상을 관찰한 결과이다. 노즐의 두께가 두꺼워짐에 따라 절단으로 인해 제거된 폭이 좁아지며 직진도가 향상함을 알 수 있다. 또한 절단되는 피삭재와 노즐 사이의 거리(절단높이)가 가까울 때 입구부가 좁고 출구부가 큰 특징을 보이고 절단 높이가 멀어짐에 따라 그 반대의 양상을 보임을 알 수 있다. 노즐의 팁 두께는 두꺼울수록 직진도가 향상되긴 하나 다이아몬드의 크기가 제한되고 경제성을 고려하여 3mm로 제한하였다.

4. 결론

고압의 물과 연마재가 혼합된 습식 워터 젯(Abrasive suspension jet) 시스템에서 내마모성이 우수한 다이아몬드 오리피스의 적용가능성을 확인하였다. 천연다이아몬드를 이용하여 250±5 μm 이내의 다이아몬드 오리피스가 가능하였다. 천연다이아몬드는 고압에서 10시간 사용 후 직경이 초기보다 37 μm 정도 증가함을 알 수 있었다.

습식 워터 젯 시스템을 이용하여 알루미늄 판 절단 시험을 실시한 결과, 사용하는 노즐의 두께가 두꺼울수록 직진도는 향상되며 노즐두께에 따른 절단 높이에 의해 입구부와 출구부의 크기가 결정됨을 알 수 있다.

습식 워터 젯 장비에서 장비의 유지보수와 사용 수명 향상을 위해 내마모 용도로의 다이아몬드 노즐 사용이 유리하며 사용 범위가 점진적으로 커질 것으로 예상된다.

참고문헌

1. KMT Waterjet Systems, www.kmtwaterjet.com.
2. A. M. Hoogstrate: The use of Diamond Orifice in Industrial Abrasive Entrainment Waterjet cutting Systems. Diamondatwork Conference 2008..
3. Kyung Am Park: The Korea Society of Mechanical Engineers, 18 (1994) 701..
4. Yoon Suk Choi: Korean Society of Computational Fluids Engineering, 12 (2007) 8.