

위터 젯트 가공 기술의 최근 개발 동향과 그 전망



강 재 훈 (KIMM 자동화연구부)

- 82. 2 경남대학교 공대 기계공학과(공학사)
- 85. 2 국민대학교 대학원 기계공학과(공학석사)
- 94. 8 경남대학교 대학원 기계공학과(공학박사)
- 94. 6 기계제작 분야 기술사
- 85. 3-현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 언

21세기를 지향하며 최근에는 전세계적으로 고부가가치형 첨단 산업 분야의 부품들에 대한 연구 개발 노력이 경쟁적으로 진행중이다. 이러한 부품들은 일반적으로 극한적인 가혹한 분위기 하에서 고기능성을 발휘할 수 있어야 하므로 기존의 소재들로 부터 탈피한 신소재들을 요구하고 있다.

예를 들어 차세대 항공기 및 자동차, 레저 산업 분야의 경우에 대한 복합 재료의 개발 및 이용 기술을 들 수 있다. 한편, 이러한 복합 재료를 요소 부품화하기 위한 적절한 가공 기술의 정립 역시 폭넓은 실용화를 위하여 반드시 이루어져야 한다.

특히, 기존의 가공 기법을 이용하여 복합 재료를 가공할 경우에는 다음과 같은 문제점들이 제기될 수 있다.

- ① 절단 가공의 경우에 그 절단면에 섬유 조직이 빠져나온다.
- ② 보강재를 파괴하고, 재료 자체의 강도를 저하시키게 된다.
- ③ 혼합 섬유 조직의 경도가 높기 때문에 공구 마멸이 극심해지며, 수명이 짧아진다.
- ④ 프레스 가공이 곤란하고, 생산성이 저하된다.

이상의 문제점들을 해결할 수 있는 위터 젯트에 의한 가공 방식은 근래에 들어서 복합 재료뿐만 아니라 케블러 및 프린터 기판, 가소결 세라믹스, 그리고 생활 근린 용품으로의 종이 기저귀 등

의 절단 가공으로도 폭넓게 채택되고 있는 실정이다.

미세한 직경의 노즐로 부터 분사되는 고압수의 충돌 에너지를 이용하여 공작물의 국부적인 부위를 파괴 혹은 제거하는 분류수 가공 방법을 일반적으로 워터 제트 가공(Water-Jet Machining)이라고 한다.

주로 절단 가공이 주 대상 목적이지만 관통 구멍, 혹은 홈 형상이나 절삭 및 연삭 가공으로도 적용이 가능하다. 한편, 최근에 들어서는 고압화 및 제어 기술 등이 혁신적으로 진보함에 따라서 세정으로 부터 스케일 제거, 매연 물질에 의한 그을림 제거, 그리고 구조물 철거 및 절단 가공 등에 이르기까지 광범위하게 이용되고 있다.

기계 공업 분야의 생산 기술 측면에 있어서는 특히, 고경도 및 취성, 불균질성 등의 난점을 지니는 난삭재들에 대하여 적용할 수 있는 유일한 절단 가공 기술로서 기대되고 있기도 한다.

여기에서는 최근의 워터 제트 절단 가공 기술 현황을 조사하여 제시하는 한편, 가공의 특성 및 가공시에 나타나는 제반 현상과 향후 해결해야 할 과제들에 대하여 분석하고자 한다.

2. 워터 제트 절단 가공

2.1 가공 방식의 종류

워터 제트에 의한 절단 가공은 제트의 구성에 따라 상이한 2가지 기법으로 크게 분류할 수 있다. 물만을 분출하는 기법(Aqua 방법)과 파괴 및 제거 작용을 증대하기 위하여 분출수에 고경도 재질의 지립을 혼입하는 기법(Abrasive 방법)이다.

그림 1에 워터 제트 절단 가공이 진행되고 있는 과정의 예를 나타내었다. 그림 1의 (a)에는 직경 8mm의 노즐로 부터 약 $3,200\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 고압수가 분출되고 있는 상태를, 그림 1의 (b)에는 동일한 압력으로 16mm 두께의 Ti-6Al-4V 합금 판재를 어브레시브 방법(노즐 거리 1mm)으로 절단

가공하는 상황을 각각 나타내었다.

그림 2에는 어브레시브 방법의 워터 제트 절단 가공에 사용되는 전형적인 노즐의 구성 상태를 나타내었다. 펌프로 부터 이송된 고압수는 워터 제트용 노즐(직경 약 0.1-0.3mm)을 거쳐 부압에 의하여 흡인되는 지립들과 일체가 되어 어브레시브 노즐(직경 약 0.6-1.2mm)을 통하여 분출하게 된다.

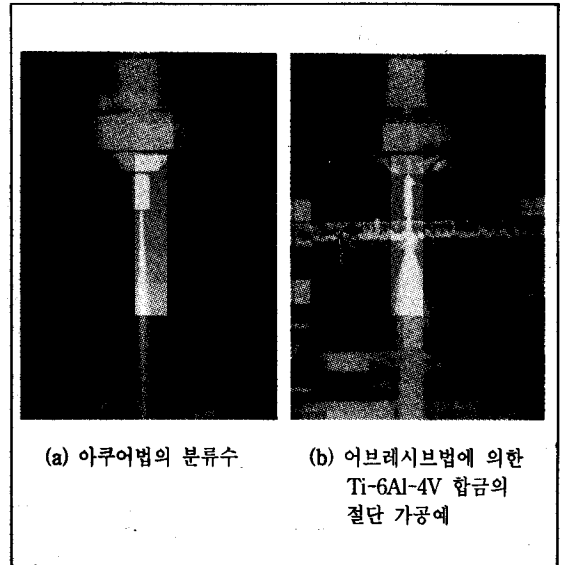


그림 1. 워터 제트 절단 가공의 상황

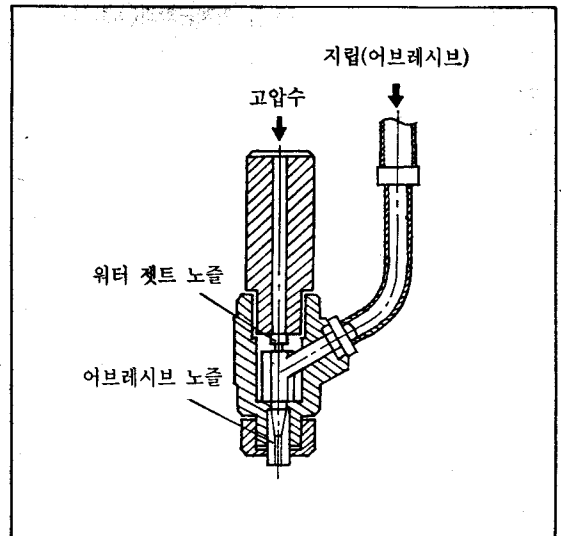


그림 2. 어브레시브법의 노즐 구성

2.2 절단 가공의 원리

공작물에 대한 워터 제트의 영향은 마치 빗물이 돌을 두드려 침식해들어가는 현상, 전투기의 빗물에 의한 침식 현상, 배관계의 캐비테이션 손상 현상 등에서 관찰할 수 있는 것과 같다.

최근에 이용되고 있는 워터 제트 가공 기법은 이들과 비교하여 그 현상을 효율적으로 증대시키고자 물의 에너지를 크게하는 한편, 더욱 집중하여 투사하도록 개선한 것이라고 할 수 있다. 즉, 워터 제트 절단 가공 기구의 본질적인 성격이란 일반적으로 원형의 노즐로 부터 정지된 대기 상태로 분사되어 흐르는 물에 의한 침식(절삭) 작용이다.

절단 에너지(공작물에 대한 제트 수류의 충돌 에너지)는 주로 물의 고압화에 의하여 유속이 증가하며, 이에 따라서 강체화가 되었다고 추정할 수 있는 유체가 공작물에 대하여 전사될 때, 부수적으로 발생하는 파류 속도나 기포의 파열 현상 등이 크게 기여한다고 생각할 수 있다. 어브레시브 방법의 경우에는 이에 비하여 지립 자체의 강성에 의한 역할도 가세하여 미시적으로는 지립의 절삭 날끝의 충돌 현상도 효과적으로 작용하게 된다.

워터 제트에 의한 절단 가공은 흡사 작게 자르게 되는 현상이 연속적으로 진행되어짐으로써 이뤄진다. 즉, 고압수(제트 수류)가 고강성화 된 후에 공작물에 충돌함으로써 국부적인 미세한 파괴 현상이 발생되고 후속적인 물이 파괴된 물질(절분)을 흘러 제거하는 작용이 연속적으로 이뤄짐으로써 진전된다.

침식 및 절단 가공된 깊이는 공작물 표면으로부터 노즐까지의 거리, 제트 수류의 압력, 분류액의 조성 등에 크게 영향을 받게된다. 일반적으로 알루미늄이나 스테인레스틸(Stainless steel) 등과 같은 금속의 경우에 그림 3에서와 같이 절단 깊이가 노즐 거리가 증대할수록 점차 단조롭게 감소하게 된다는 것을 찾아볼 수 있다.

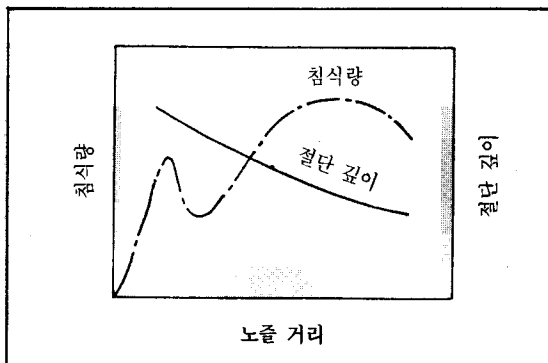


그림 3. 침식량 및 절단 깊이와 노즐 거리의 관계

그러나 침식량은 노즐 거리에 따라 극대적인 두 가지 양상을 나타내는데 제 1피크치는 제트 수류가 파되어 가며 제거하는 작용, 제 2피크는 제트 액의 퍼짐에 의한 충격 작용에 각각 기인한다고 생각된다. 이러한 종류의 현상들은 역시 모두 노즐 형상이나 압력에 의해서도 영향받게 된다.

2.3 가공 장치

기본적인 가공 장치는 비교적 간단하여 그림 4와 5에 나타낸 바와 같이 고압 발생 펌프-부스터 펌프-배관계, 노즐-지립 공급계, 가공 테이블-캐처계, 그리고 제어계 등으로 구성된다. 이 외에 로보트나 폐기액 처리 장치가 부가될 수도 있으며, 정화 처리를 위한 트랙을 장착하기도 한다.

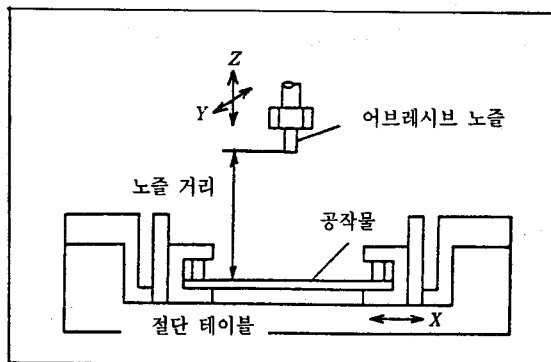


그림 4. 워터 제트 절단 가공부의 배치도

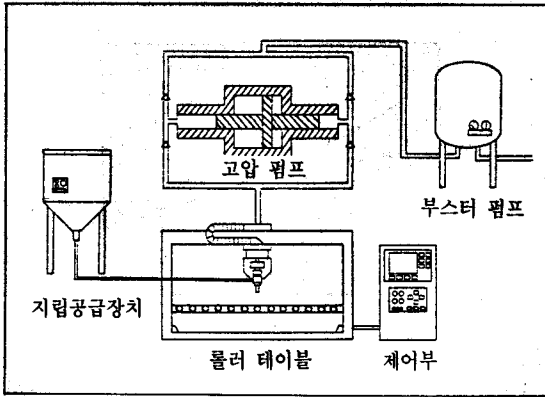


그림 5. 워터 젯트 가공 시스템의 개략도

고압 펌프는 인텐시 화이어 형이 일반적으로서 압력 변동을 적게 하기 위한 어큐뮬레이터를 사용하는 바, 일본 스기노 머신, 가와사키 중공업, 인저슬랜드, 웨러, 후로우사 등의 제품을 많이 사용하고 있다. 선택 기준으로서는 우선 고압력의 안정성을 고려해야 하며, O링이나 실링재의 내마멸성, 내구성 등도 충분히 파악해야 한다.

노즐은 상하(Z축)와 전후(Y)축의 이동 및 경사각을 채택할 수 있도록 한다. 노즐의 정도는 가공 정도에 직접적인 영향을 주게 되며, 노즐은 가공의 누적에 의하여 윗 부분으로 부터 마멸되어진다.

테이블은 1.2m×2.4m 크기의 롤러(X축) 이동 방식이 널리 이용되며, NC 제어 방식으로 동작이 이뤄지도록 하는 것이 바람직하다. 초경 합금이나 세라믹스 볼 베어링을 캐터에 채택하면 소음이 확실히 경감될 수 있으며, 일반적으로 지립이나 절분들의 처리를 위한 오물질 처리 장치 등에 대한 주기적이고 세심한 청소 작업 역시 반드시 필요하다.

NC 제어 방식을 채택하면 압력, 노즐 위치, 공작물 위치 등을 경우에 따라서 효율적으로 변경할 수 있다. 현재 이를 위한 4축형의 이동 로봇도 개발되어 적용되고 있기도 하다. 또한, 가공 작업의 교육 기능 및 간소화 기능도 필요하다고 할 수 있다.

2.4 가공 매체

바닷물을 워터 젯트액으로서 사용하게 되면 펌프나 배관계의 수명 측면에 있어서 문제가 되므로 일반적으로 수도물을 이용하고 있다. 젯트 수류의 확산 방지나 집속 방지를 위하여 폴리에틸렌 옥사이드 등의 친수성 폴리머를 첨가제로써 가하면 효과적이기는 하지만 일반적으로는 사용하지 않고 있다.

플라스틱, 고무, 목재, 종이, 직물 등의 얇은 연질재를 대상으로 하는 경우에는 일반적으로 순수한 워터 젯트 가공 방법을 이용하여 절단 가공을 수행하며, 금속 재료, 콘크리트, 유리, 몰탈 등의 경질재나 후판의 경우에는 어브레시브 젯트 가공 방법을 적용한다.

지립으로는 일반적으로 가넷(금강석), 규사, 산화 알루미늄, 주철 그리드 등을 이용하며, 특히 가넷 파우더가 구입의 용이성 및 저렴한 구입비, 가공성 등으로 인하여 널리 채택되고 있다. 유리의 경우에는 #120, 금속의 경우에는 #80 정도의 입도를 지니는 가넷 지립을 사용하는 것이 적당하다. 가격은 현재 약 1,000원/kg 정도로써 인도나 아프리카산 등이 주로 전세계 시장에 공급되고 있다.

슬러리 상태로 공급되는 경우도 있으나, 일반적으로는 건조 상태로 공급된다. 사용후에는 지립의 마멸 과정 진전에 따라서 결국 절삭 날끝이 무너지게 되므로 재사용은 곤란하다. 경도 2,000의 가넷보다 훨씬 경질재인 경도 7,000의 다이아몬드 지립의 경우가 절삭 성능이 당연히 우수하겠지만 노즐의 수명이 상대적으로 현저하게 단축되어질 수 있다는 단점을 지니게 된다.

지립 크기 및 형상 등의 사양과 경도 및 강도 등의 기계적인 특성치들이 절단 가공성에 미치는 영향과 공작물에 대응한 적절한 선택 기준 등에 대해서는 아직 명확히 정립된 보고가 없는 실정이다. 아울러 지립 표면의 강성, 강도 및 경도, 연성, 가공 경화 및 연화, 마찰, 용점과 도달 온도,

열팽창 계수, 비열, 밀도 등의 영향 등에 대해서도 향후 면밀한 세부적인 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 생각된다.

3. 워터 제트 절단 가공시 발생하는 제반 현상

3.1 절단 가공 실험

워터 제트 절단 가공에 대한 연구의 대부분은 현재까지도 가공 기구와 가공성 등에만 국한되어 이뤄지고 있는 실정이다. 그러나 제품의 생산성 측면에 있어서는 절단 가공 효율과 함께 절단 가공 정도(제품 정도)도 매우 중요한 관점이 된다. 이에 불구하고 가공 정도에 대한 검토는 거의 이뤄지지 않아 통계적 연구와 가공 데이터 등의 결과만이 겨우 약간씩 보고되고 있다.

공업 제품의 생산 공학 분야에 대한 워터 제트 절단 가공의 응용 가능성과 우수한 기대 효과를 좀더 자세하고 명확하게 언급하기 위하여 실험적 연구의 결과를 예로 들어 나타내고자 한다.

우선 각종 재료를 절단 가공할 때에 발생하는 현상들을 정리하여 파악하는 한편, 그 원인과 대책에 대하여 검토한다.

일본 동양 글라스 기계(주) 회사의 고압 하이드로 커팅 시스템상에서 내경 0.8mm와 직선 부분 40mm를 지나는 노즐을 이용한 어브레시브 방법을 이용하여 절단 가공 실험하였다.

실험 대상 재료로는 각종 금속 재료, 세라믹스 및 복합 재료 등을 선정하였다. 재료의 성질은 연성으로 부터 경질 취성재에 이르기까지 다양하게 정하였으며, 그 형상도 박판 필름으로 부터 과 현상의 대형물까지 폭넓게 변화하였다. 공작물은 상하 혹은 측면 부위를 가공하였으며, 제트 압력, 노즐 거리, 이송 속도 및 혼입되는 지립(#120)의 량을 변화하며 실험을 수행하였다. 절단 가공 후에 가공면 및 그 부위에 발생하는 거시적인 현상들을 관찰, 조사하여 정리 분류하였다.

3.2 현 상

절단 가공시에 어브레시브 제트 수류와 가공면 간에 이뤄지는 상황을 그림 6에 모식도로써 나타내었다. 그리고 표 1에 절단 가공시에 발생하는 다양한 현상들을 비교하여 나타내었다. 각각의 발생 상황 및 공작물, 절단 가공 조건(d :외경, t :두께, p :압력, h :노즐 거리, v :절단 속도, u :지립량)들도 같이 표 1에 기입하였다.

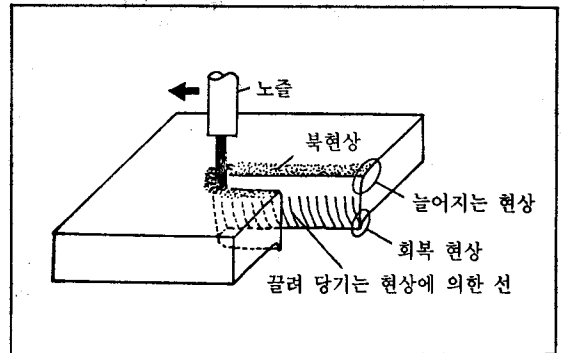


그림 6. 워터 제트 절단 가공시 발생하는 특징

가스 절단이나 프레스 절단 가공의 경우에서도 나타나는 유사한 현상들 뿐만 아니라 워터 제트 절단 가공에 있어서의 독특한 현상들이 나타남을 관찰할 수 있다. 이하에 각각의 현상들에 대하여 요약하여 정리한다.


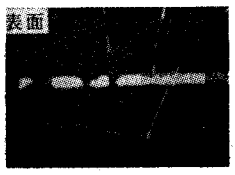

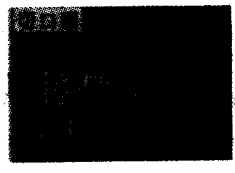

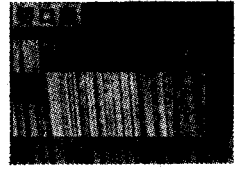
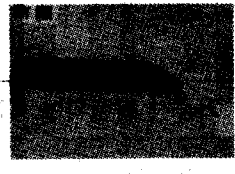
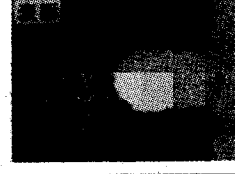
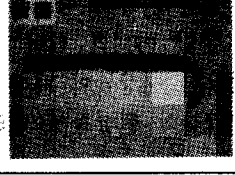
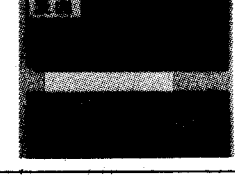
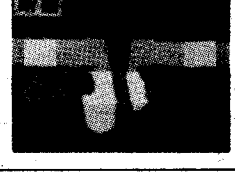
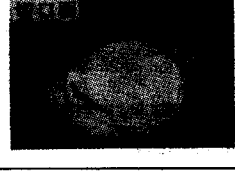
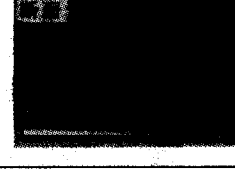
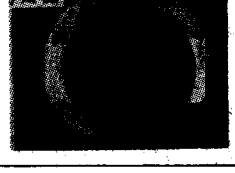
(1) 균열이 발생하는 현상

절단 가공시에 제트 수류의 충격력에 의해 균열 혹은 파괴가 발생되어지는 현상으로써 주로 취성 재료의 절단 가공시에 찾아볼 수 있다. 절단 가공 초기에 제트 수류를 급격하게 충돌시키지 않는 조건과 지립의 함유량을 많게하여 침식 및 절삭성을 개선 시킴으로써 균열 발생 현상을 억제할 수 있다.

(2) 복 현상이 발생하는 현상

비산되는 제트 수류나 지립의 충돌 외에 관통 이전에 물이 튀겨져 나가 접촉함에 의하여 절단

표 1. 워터 제트 절단 가공시에 발생하는 대표적인 현상

현상	절단 조건	현상	절단 조건
	(a) 균열현상 글라스 핀 $d : 30 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 1 \text{ mm}$ $v : 0.5 \text{ mm/s}$ $u : 4.17 \text{ g/s}$		(h) 섬유노출현상 GFRP(AG20) $t : 1.8 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 0.5 \text{ mm}$ $v : 0.83 \text{ mm/s}$ $u : 0 \text{ g/s}$
	(b) 복현상 알루미늄합금(A7075) $t : 0.8 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 10 \text{ mm}$ $v : 0.83 \text{ mm/s}$ $u : 3.33 \text{ g/s}$		(i) 광택평활면현상 강판(SS41) $t : 26 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 2.2 \text{ mm}$ $v : 0.25 \text{ mm/s}$ $u : 3.07 \text{ g/s}$
	(c) 분리불량현상 스테인레스강(SUS304) $t : 0.8 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 60 \text{ mm}$ $v : 0.83 \text{ mm/s}$ $u : 0 \text{ g/s}$		(j) 플러당긴선현상 강판(SS41) $t : 26 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 2.2 \text{ mm}$ $v : 0.25 \text{ mm/s}$ $u : 3.07 \text{ g/s}$
	(d) 플립현상 강(SPCC) $t : 0.8 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 60 \text{ mm}$ $v : 0.83 \text{ mm/s}$ $u : 1.67 \text{ g/s}$		(k) 작은구멍현상 GFRP(AG20) $t : 1.8 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 60 \text{ mm}$ $v : 0.83 \text{ mm/s}$ $u : 3.33 \text{ g/s}$
	(e) 말려굽힘현상 연강(SPCC) $t : 0.8 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 100 \text{ mm}$ $v : 0.75 \text{ mm/s}$ $u : 4.17 \text{ g/s}$		(l) 홈/왜곡현상 목재 $t : 9 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 1 \text{ mm}$ $v : 0.83 \text{ mm/s}$ $u : 3.33 \text{ g/s}$
	(f) 회복현상 폴리프로필렌 $t : 3 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 3 \text{ mm}$ $v : 0.83 \text{ mm/s}$ $u : 0 \text{ g/s}$		(m) 내용물의 변형현상 강/접토 $d : 27 \text{ mm}$ $t : 3.5 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 2 \text{ mm}$ $v : 0.53 \text{ mm/s}$ $u : 3 \text{ g/s}$
	(g) 절단부경사현상 연강(SPCC) $t : 59 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 1 \text{ mm}$ $v : 0.83 \text{ mm/s}$ $u : 3.33 \text{ g/s}$		(n) 녹현상 스프링강(SUP3) $d : 20 \text{ mm}$ $p : 314 \text{ MPa}$ $h : 1 \text{ mm}$ $v : 0.53 \text{ mm/s}$ $u : 3.33 \text{ g/s}$

d : 직경, t : 두께, p : 펌프압력, h : 노즐 거리, v : 절단속도, u : 지립공급량

표면 주변에 작은 구멍들이 형성되어 표면 거칠기가 악화되어지게 되는 워터 젯트 절단 가공 특유의 현상이다. 노즐 거리 및 지립의 함유량을 증대하거나 필름 등으로 표면 피복 처리하여 가공함으로써 이러한 현상을 완화할 수 있다.

(3) 분리가 제대로 이뤄지지 않는 현상

젯트 수류의 충격력이 부족하여 재료를 충분히 관통하지 못하게 될 때 발생하는 현상으로써 젯트 수류를 고압화 하거나 지립 함유량을 증대함으로써 억제할 수 있다. 절단 속도를 낮게 하고 노즐 거리를 최적으로 하는 방법도 유효한 대책 방안이 될 수 있다.

(4) 절단부가 늘어지는 현상

젯트 수류의 직경이 커서 불필요한 가공 표면층 부위까지 침식하게 됨으로써 절단면 근처의 부위가 잘려져 나가면서 발생하는 워터 젯트 절단 가공 특유의 현상이다. (13)에 나타난 바와 같이 관 형상의 중공체 하부 등에서는 특히 이 현상이 크게 발생될 수 있다. 금속의 프레스 절단 경우에서와 마찬가지로의 표현을 사용하지만 소성 변형에 의한 것이 아니라는 명백한 차이가 있다. 젯트 수류를 안정화하고 노즐 거리를 작게함으로써 이러한 현상을 효율적으로 감소할 수 있다.

(5) 굽혀지는 현상

젯트 수류의 충격력에 의한 굽힘 모멘트의 작용으로써 절단면 근방이 소성 변형하게 되는 현상이다. 금속재 극박판이나 연질 금속의 절단 가공시에 발생되기 쉬운 현상으로써 노즐 거리를 작게하거나 힌지용 스펀을 작게함으로써 효율적으로 대처할 수 있다.

(6) 본래대로 회복되려는 현상

젯트 수류의 절단 성능이 불충분하여 침식 및 제거에 의한 절단 가공이 이뤄지는 하단에 있어서 횡 방향으로 미끄러져 늘어지는 부위가 잔류하게 되는 워터 젯트 절단 가공 특유의 현상이다. 프레스 절단과 동일한 표현을 사용하지만, 재료의

인장에 따른 파단 현상은 존재하지 않는다. 플라스틱 등 연질의 연성 재료 경우에 발생되기 쉬우나 젯트 수류의 고압화나 지립을 혼입함으로써 절단 성능을 향상시키는 대책으로 대응할 수 있다.

(7) 절단면의 경사 현상

젯트 수류의 입구 및 출구 측에 있어서 판 두께 방향으로 절단 폭이 달라지게 되는 현상이다. 젯트 수류는 선단의 직경이 커지게 되므로 동일한 가공 조건이라 할지라도 연질재의 경우에는 절단면 하부로 갈수록 넓어지게 되며, 상대적으로 경질재의 경우에는 좁아지게 되는 경향이 나타난다. 젯트 수류의 직경을 조절하고 노즐 거리, 압력, 절단 속도, 지립량을 최적으로 혼입하면 이러한 현상을 경감할 수 있다. 또한, 후가공 처리를 하여 절단면을 재가공(워터 젯트 웨이빙)하는 것도 효과적인 대응 방안이 될 수 있다.

(8) 섬유유 노출 현상

복합 재료에 대한 절단 가공의 경우에는 미세한 함유물 혹은 모재로부터의 경질성 함유물 등이 절단 가공면 주변에 잔류되어지게 되는 워터 젯트 절단 가공 특유의 현상이다. 젯트 수류의 충격력을 증대하거나 지립을 혼입함으로써 효과적으로 억제할 수 있다.

(9) 광택 및 평활면 창출 현상

젯트 수류의 에너지가 충분히 강한 시점에서 절단된 면의 상부(재료 표면)가 매우 평활하게 되어 금속 광택을 나타내는 현상이다. 이는 마치 프레스 절단에 있어서의 전단면(버니쉬면)에 해당한다고 볼 수 있다. 절단면으로서는 매우 양호하다고 볼 수 있으며, 박판의 고정도 절단에 유효한 현상으로써 기대할 수 있다.

(10) 끌려진듯한 줄 무늬 발생 현상

젯트 수류에 인근하여 직접 맞는 절단면 부위에서 요철 형상의 곡선 줄무늬가 잔재하게 되는 현상이다. 가스 절단의 경우에서와 동일한 현

상으로 같은 표현을 사용한다. 절단 속도를 낮춤으로써 이러한 현상을 경감할 수 있다.

(11) 작은 구멍이 발생하는 현상

섬유 강화 플라스틱 재료 등의 절단 가공시에 섬유가 인발되어진 흔적이나 연질재의 절단 가공시에 지립에 의한 흔적 등이 나타나는 현상으로써 워터 제트 절단 가공 특유의 현상이다.

(12) 흠 형상이 잔재되는 현상

재료 내부에 확산되어진 제트 수류가 중앙부를 도려내어 제거하는 워터 제트 절단가공 특유의 현상이다. 절단 가공의 종료되는 시점에서 제트 수류가 절단 잔재 분위에 정체되면서 발생되어지는 경우도 있다. 전자의 경우에는 제트 수류의 침식 능력을 개선하거나 재료의 두께를 작게하고, 후자의 경우에는 절단 가공의 종류 시점에 있어서 제트 수류의 충격력을 약하게 하거나 노즐 거리를 작게하는 대책을 강구할 수 있다.

(13) 내용물이 변형하는 현상

복합 재료의 절단 가공에 있어서 연질 함유물이 제트 수류에 의하여 도려내어 제거되는 듯한 워터 제트 절단 가공 특유의 현상이다.

(14) 녹이 발생하는 현상

금속 특히, 철강 재료에 있어서는 어브레시브 절단 가공면이 활성화 되어지므로 곧 바로 매우 얇은 층의 붉은 녹이 발생되어지게 되는 현상이다. 레이저 절단 가공에 있어서 열을 받게 되는 흔적 등과는 다르게 피해의 정도는 작다고 볼 수 있으나, 성능면이나 2차 가공의 열화 문제 등에 대한 세심한 주의를 할 필요가 있다.

(15) 지립의 침식 현상

어브레시브 방법에 의한 절단 가공의 경우에 있어서 특히, 지립들이 절단면에 박혀 들어가게 될 수 있는 워터 제트 절단 가공 특유의 현상이다. 이 현상은 현저하게 나타나지는 않으나 지립들이 재료에 부착되어지게 되면 용접 등의 2차

가공에 있어서 문제가 될 수도 있게 된다.

(16) 절단면의 폭이 일정하지 않은 현상

절단 폭이 일정하지 않고 양측의 형상이 비대칭적인 형상을 갖게되는 현상이다. 노즐의 정도 불량이나 손상 등에 의하여 제트 수류가 회전 대칭성을 지니지 못하게 되어 형상이 불안정하게 되므로 제트 수류의 폭이 일정하지 못하여 발생하는 현상이다.

4. 워터 제트 가공법의 특징

4.1 적용 분야와 시장성

워터 제트 가공 방법은 편의상 그 압력에 따라서 저압력(300-700kg/cm²), 중압력(500-2,000kg/m²), 고압력(2,000-4,000kg/cm²) 등으로 분류할 수 있다. 고압력의 경우는 어브레시브 방법도 포함된다. 각 경우의 특성에 어울리게 저마다 세정, 버어 제거, 녹이나 스케일 제거, 절단 가공 작업 등에 적용되어진다.

넓은 의미의 적용 분야를 살펴보면 어브레시브 방법을 이용한 원자력 발전소의 폐로, 병원이나 주택 구조물 등의 철근 콘크리트 해체, 하수나 배관의 스케일 제거 등의 워터 제트 클리닝과 부품의 미세 버어 제거 가공을 들 수 있으며, 그 외에 자동차, 선박, 항공기 구조용 부품들과 첨단 신소재, 금속 상자, 건축, 종이, 골판지, 고무, 플라스틱, 유리, 식품, 의류 등 다양한 소재분야에 적용되어지고 있다.

어브레시브 방법을 포함하게 되면 극연질 재료로부터 초경질 재료에 이르기까지의 다양한 소재나 부품들이 모두 가공 대상이 될 수 있다. 특히, 생산 기술 측면에 있어서 다음과 같은 경우들에 대하여 폭 넓은 효과를 기대할 수 있다.

- ① 종래의 기법으로는 가공이 불가능한 재료나 부품류
- ② 프레스 금형을 제작하기 곤란한 다품종 소량 생산

- ③ 인력 부족에 대한 대응과 작업자의 다양한 애로 사항이 따르게되는 작업으로 부티의 해방
- ④ 분진 대책
- ⑤ 재이용 및 재생을 위한 처리
- ⑥ 산업 폐기물 처리

워터 제트를 이용한 절단 가공 방법은 소량, 높은 가공비, 납기 단축, 재고량 감소 등의 이유로 인하여 새로운 기계의 도입이나 금형을 제작하지 않고자 하는 경우나 두꺼운 판재 형상 혹은 광택이 나거나 투명한 재료로 인하여 레이저 가공 등의 기존 방법 적용이 곤란한 경우, 그리고 저용점, 폭발성, 유독 가스 발생 또는 변형, 기능 손상 등의 이유로 인하여 열이 발생하는 기타 종래의 절단 가공 등을 적용하기 곤란한 경우에 이르기까지 광범위하게 적용할 수 있다고 말해도 과언이 아니다.

일본의 경우에는 현재 워터 제트 가공 전용 시스템의 주문 제작이 가능한 업체들이 대략 30-40개 정도에 이르며, 대표적으로 스키노 머신, 동양글라스 기계(주), 대창 상사(후루우사), 다이킨 공업, 가와사키 중공업, 도요타 공기, 이세키 개발

공기, 야마모토 수압공업소, 미쯔요 기공 등의 회사를 들 수 있다.

생산 댓수는 아쿠어 형의 경우에 연간 약 200대 정도이며, 최근에는 매년 약 60% 정도 이상 생산량이 증가하고 있는 추세이다. 어브레시브 형의 경우에는 생산 댓수가 아쿠어 형과 비슷하나 그 신장률은 최근에 상대적으로 더욱 급증하고 있다.

가격은 대당 아쿠어 형일 경우 약 3,000-5,000만엔, 어브레시브 형일 경우 약 5,000-8,000만엔 정도로 다양하게 분류되어 있으며, 대략 레이저 가공기 보다는 값이 저렴하고 와이어 컷 방전 가공기와는 거의 비슷하다고 볼 수 있다. 레이저 가공기보다 그 적용성이나 응용성이 넓다고 볼 수 있어 결국 조만간 그 정도 혹은 그 이상의 시장 규모를 형성할 것으로 예상된다.

4.2 가공 조건

다양한 제조 생산 회사의 카다로그들을 수집하여 분류함으로써 표 2와 같이 각종 대상 재료들에 대한 주요한 가공 조건들을 비교하여 나타내

표 2. 각종 재료에 대한 워터 제트 절단 가공의 조건 비교표

	금속	섬유강화재	플라스틱/고무	세라믹스/유리	직류/종이/피혁	목재/합판/석면/석고
압력(kg/cm ²)	2,000-3,500	2,000-3,500	2,000-3,500	2,500-3,500	2,000-4,000	2,000-4,000
노즐 거리(mm)	1-2	1-2	2-15	2	2	2-15
노즐 직경(mm)	0.76-1.50	0.75-2.50	0.15-0.25	1.20-3.00	0.10-0.25	0.20-0.25
지립 공급(kg/min)	0.4-1.5	1.0-1.5	-	0.3-0.5	-	-
절단 단속(m/min)	가넷트(금강석) 0.01-0.15	0.50-2.00	0.20-1.98	0.05-0.40	1.00-200.00	1.00-40.00
적 용 재	초강력 알루미늄 합금 티타늄 및 티타늄 합금 인코넬 스테인레스스틸 구리 연강 주철	GFRP/CERP SMC Kevlar 글라스섬유포 카본	PVC PE/PP/PC PMMA 페놀발포재 폴리우레탄고무 합성고무	대리석 유리 석영글라스 콘크리트	단물 카펫트 피혁 비닐/합성피 콜판지 냉동식품/케익	석고보드 석면 합판 슬레이트 각종목재

었다. 표 2로 부터 동일한 가공 시스템으로도 다양한 대상 재료들을 취급할 수 있어, 신소재나 난삭재 등의 절단 가공까지도 무난하게 수행할 수 있음을 알 수 있다.

연질의 재료를 절단 가공하는 경우에는 주로 순수한 물을 이용하기 때문에 노즐 직경을 매우 작게 할 수 있으며, 압력을 작게 해도 이송 속도를 높일 수 있고 중절단 가공을 수행할 수 있다. 한편, 경질의 재료나 복합 재료의 절단 가공으로는 일반적으로 가넷이나 규사 등의 지립(어브레시브)을 혼입하여 사용하므로, 노즐의 직경을 약 1mm 이상으로 크게 하지 않으면 안되며 압력을 높게 하고 이송 속도를 낮게 하지 않으면 안된다. 또한, 가공 대상 재질이 경질이 될수록 그리고 판 두께가 두꺼워질수록 고압, 어브레시브량 증가, 이송 속도의 저속 조건 등을 선택하는 것이 일반적이다.

자동차 분야에 대한 워터 제트 절단 가공 기법의 실용 예로서는 트랙, 도어, 인스톨먼트 판넬, 가넷트, 콘솔, 시트 등과 내장재나 펌프 등의 외장재의 트리밍을 들 수 있다. 건축 및 구조물 관계 분야에서는 각종 고무, 플라스틱 구조물, 스테이트류, 목재나 정화조 등의 FRP 부품 가공에 적용하고 있다.

가정 용품 및 생활 근린 용품 분야에서는 종이, 골판지, 직류 등을 절단면 주변에 걸쳐 거의 물에 적심 현상없이 절단 가공할 수 있다는 장점도 지니고 있다. 식품 분야에서는 미국의 경우에 육류나 채소 등의 냉동품 가공에 실용화하고 있으며, 케익, 빵, 얼음조각, 면류 등의 가공에도 적용하고 있다.

그리고 정밀 부품의 버어 제거 가공이나 배관의 클리닝, 터널 내부의 매연 그을림 제거에도 적용하고 있으며, 선박 구조물의 형 재단에도 적용하고 있다.

경질이나 두꺼운 판재 혹은, 층상 복합체와 같은 재료들의 절단 가공에 있어서는 어브레시브형을 이용하여 절단 가공 능률을 향상시키고 있

다. 그 적용대상 재료 예로써 각종 금속, 아몰퍼스 합금, 형상 기억 합금, 대리석 등의 석재나 콘크리트, 유리나 크리스탈, FRP나 ACM, 스프링강 등을 들 수 있다.

공업 생산 현장에서 이용되어지고 있는 재료 또는, 처리가 곤란한 폐품 등 그 대상이 다양화되고 있으며, 앞으로는 특히 가공 테이터를 축적, D/B화 함으로써 기타 가공 기법들로는 적절하지 않은 고유의 절단 적용 가능성이 더욱 폭넓게 전개될 것으로 전망된다. 또한, 생산기술의 한 부분으로서 그 위상이 향상되기 위해서는 절단 가공 가능성에 대한 가부를 떠나서 절단 가공 정도 등에 관한 다양한 연구 및 그 실험 테이터의 보유가 중요하다. 이러한 관점에서 볼 때 현재의 단계에서는 아직 불충분한 점이 많다고 할 수 있으며, 따라서 통계적이고도 상세하고 다양한 가공 실험들이 지속적으로 이뤄져야 한다고 생각된다.

4.3 기타 가공 방법들과의 비교

일반적으로 현재 실용화되고 있는 절단 가공 기술들을 크게 기계적인 절단 가공과 열 용해에 의한 절단 가공으로 나누어 분류할 수 있다.

절단형 절삭, 톱날에 의한 절단(밴드 소잉, 체인 소잉), 지립에 의한 절단(컷팅형 연삭 휠, 멀티 컷팅 휠, 슬라이싱 휠), 프레스를 이용한 소성 절단(샤링, 블랭킹, 터렛 펀칭), 슬리터에 의한 절단, 분사 기법에 의한 절단(블러스팅), 그리고 액체 제트 수류에 의한 절단(워터 제트) 가공 기법들이 전자에 속한다.

열(아크 절단, 가스 절단), 초음파, 방전(와이어 컷 방전), 플라즈마, 전자 빔, 레이저 빔, 전해법 등에 의한 절단 가공 기법들이 후자에 속한다.

표 3에 생산 현장에서 많이 적용되고 있는 와이어 방전 가공과 레이저 가공들과 워터 제트 가공에 대하여 가공 원리, 가공 특성, 제반 문제점 그리고 주요 가공 대상물들을 비교하여 나타내었다.

표 3. 각종 절단 방법들의 특징 비교표

절단 방법	위더 젯트 가공	어브레시브 젯트 가공	와이어 컷트 방전 가공	레이저 가공
가공 원리	고속의 젯트수류에 의한 충격파괴 및 제거 작용	고속의 젯트수류에 의한 가공 외에 고속 지립에 의한 절삭, 충격 파괴	미세한 와이어를 전극으로 한 액중의 펄스방전에 의한 용해 및 제거 작용	고밀도화한 레이저광에 의한 용해 및 제거 작용
특징	<ul style="list-style-type: none"> 정밀절단 가능 곱힘변형 적음 가공변형 적음 물판리가 용이 3차원가공 가능 분진발생 없음 발열에 의한 변질 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 거의 모든 재료에 절단적용 가능 열변형 발생 없음 취성재료의 절단가공가능 무진동 가공 수중절단 가공이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 정밀절단 가공이 가능 곱힘변형 적음 가공변형 적음 우수한 가공면 품질 가공소음 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 정밀절단 가공이 가능 곱힘변형 적음 가공소음 없음 복합가공이 가능 (예: 레이저 프레스)
문제점	<ul style="list-style-type: none"> 경질재에는 부적당 후판의 경우에는 정도가 저하 	<ul style="list-style-type: none"> 고가의 가공비 큰 소음 발생 지립의 후처리 필요 경질세라믹스 및 초경합금 등의 고경도 노즐 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 가공속도가 낮음 대형공작물에 적용하기 곤란함 비금속 재료에 적용할 수 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 후판 공작물은 불리함 출력의 높은 안정성 대출력의 경우는 고가 열변형이 발생 일루미늄, 구리의 가공 곤란
주가공대상물	<ul style="list-style-type: none"> FRP(프린트기판) 종이(단물, 지폐, 골판지) 고무시트 기타비금속재료 석면, 섬유 신소재, 생동식품 	<ul style="list-style-type: none"> 철근콘크리트 각종 FRP 유리 초고경질 재료를 제외한 거의 모든 재료 	<ul style="list-style-type: none"> 열처리강 초경합금(주로 금형가공) 망간강 각종 합금강 	<ul style="list-style-type: none"> 강판, 스테인레스 스틸판 세라믹스 유리 플라스티 후판이 아닌 고경질 금속재

레이저 가공기는 특히, 전세계적으로 자동차 생산 관련 분야에서 다품종 소량 생산 방식으로 많이 적용되고 있으며, 최근에 생산 댓수가 비약적으로 급증하여 일본의 경우에 전국적으로 약 4,000-5,000대 정도가 가동되고 있는 실정이다. 레이저 가공은 절단 가공뿐 아니라 구멍 성형, 용접 및 표면 처리 등도 가능하며, 반복 재현성 및 가공 운영 정도가 높아서, 예를 들어 약 0.2-10mm 두께로 1,000개 정도의 부품 생산 가공 등에도 적당하다. 그리고 박판 공작물에 대하여 0.02mm 정도의 미세 구멍 성형 가공도 가능하다.

그러나 이러한 가공 방법은 다음의 사항에 해당하는 재료들에 대한 적용이 곤란하다는 단점을 지닌다.

- ① FRP나 철/고무 등의 복합재료
- ② 증발이나 변색 등의 열적 영향을 받으면 곤란한 초전도 재료
- ③ 아몰퍼스, 형상 기억 합금, 결정 제어 합금 등의 특수 합금재
- ④ 용융이 곤란한 석재, 유리 등의 세라믹스
- ⑤ 열전도율이 높고 광반사율이 높은 동계 합금재
- ⑥ 내부 구조율이 현저히 불균일한 하니컴재
- ⑦ 적층재 및 층상 구조재
- ⑧ 기타 산화성이 강한 재료

또한, 두꺼운 형상의 공작물(예를 들어, 5mm 이상의 알루미늄, 3mm 이상의 아크릴, 2mm 이상의 유리)들은 레이저 빔의 초점 구속이 곤란하여 절단 가공이 어렵다. 따라서 이러한 경우들에 대하여 워터 제트 절단 가공 기법을 적용하게 되면 우수한 결과들을 얻을 수 있게 된다.

그리고 재료 내외의 재질 차이가 큰 공작물에 대하여 와이어 컷트 방전 가공 기법을 적용하여 절단 가공하게 되는 경우에는 와이어가 절단되어지기 쉽고, 인선을 지니는 절단 공구를 사용하여 절단 가공하게 되면 절단 가공면의 형상에 손상이 초래되어질 수 있으므로 이러한 경우들에 대해서도 워터 제트 절단 가공 기법을 적용하는 것이 바람직하다.

한편, 에너지 전달 효율을 고려하는 측면에 있어서는 인선을 이용한 절단 가공 방식은 구동 모터와 공구간의 직접적인 연결 방식이 되는 반면에, 워터 제트 절단 가공 방식은 “모터→유압→수압→젯트 수류” 라는 전달 형식으로 이뤄지므로 전반적인 구동 소요전력 비용이 상대적으로 높다는 단점이 있기는 하다.

4.4 기술의 특징과 향후에 해결할 과제

(1) 노즐 수명

에브레시브 노즐의 수명은 현재 약 50-120 시간 정도로 추정되어지는 바, 개당 약 100만원 이상의 고가인 점을 고려할 때 노즐 수명의 향상에 관한 대책이 무엇보다 우선적으로 요구되고 있다. 미국의 후로우 본사(FLOW Co.)의 제품이 가장 널리 사용되고 있지만, 일본의 경우도 많은 제품들이 계속 개발되어 시판되고 있다.

노즐용 재료로서는 다이아몬드(수명 약 1,000시간, 개당 약 200만원 이상), 사파이어 외에도 WC-Co, W 강, 초경질 금속, 소결 합금, 티타늄 합금 등이 주류를 이루고 있다.

노즐의 형상은 일반적으로 원통 형을 이루고 있으며, 노즐의 내부 구멍 형상을 위한 성형 가공 기법으로는 주로 와이어 컷트 방전 가공이나 수피 드릴링 가공 방법들이 적용되고 있다. 또한, 미세한 내경을 경질재 등으로 피복 처리하여 사용하고자 하는 연구들도 진행중에 있다.

(2) 절단 소음

일반적으로 기타 절단 가공의 경우에 비하여 워터 제트 절단 가공시에는 연속적으로 약 80-85 dB 정도의 소음이 발생하게 되므로 상대적으로 매우 큰 소음이 발생한다고 할 수 있다. 또한, 작동 펌프의 소음도 큰 편이다. 이러한 문제점에 대응하기 위한 대책 방법을 개발하기 위한 일환으로 현재 무인화 가공 작업과 더불어 캐처의 사용, 가공 시스템 자체의 완벽한 실링 방법, 표면 연결 테이프 접착 방법, 수중 절단 방법이나 차단용 커

른 설치 방법 등에 관한 연구들이 진행중이다.

수중 절단 방법을 채택하게 되면 제트 수류의 확산이 억제되어지는 효과를 얻음으로써 절단면에 있어서의 경사각 형성을 감소할 수 있게 된다. 또한, 분진 등이 발생하지 않음으로 절단 가공 후에 가공 시스템을 손상시키지 않게 될 수 있지만, 이러한 경우에 있어서는 가공 압력을 매우 높게 설정하지 않으면 안된다는 제반 요구 조건도 해결하여야 한다.

(3) 절단 정도

내경이 비교적 큰 어브레시브 형 노즐의 경우에는 그 치수 공차가 약 0.2-0.4mm 정도로 그다지 작지는 않다. 가공 시간이 축적되어짐에 따라 점차 노즐의 마멸 현상도 초래되므로 안정된 절단 폭을 얻기는 힘들다. 그러나 약 0.01mm의 절단 정도를 얻는다는 것은 무리라고 해도 치수 공차 및 압력, 노즐 직경, 절단 속도, 지립량 등의 가공 조건들을 적절하게 설정하지 않으면 상대적으로 더욱 더 절단 정도를 개선하기 곤란하게 된다. 또한, 절단면 거칠기 등의 표면 품질, 절단면의 경사 정도, 절단면의 형상 정도 등에 대한 검토 역시 필요하다.

가공 조건과 절단 정도와의 관계를 파악할 수 있는 정량적인 가공 데이터와 더불어 기술 발전의 고도화를 위하여 D/B화의 확립이 필수불가결하게 요구된다.

(4) 대상 공작물과 적용 범위

워터 제트 가공을 이용하여 일반적인 재료들에 대하여 곡선 윤곽의 절단 가공을 수행할 수 있다. 예를 들어, 아몰퍼스강 및 티타늄 합금이나 각종 FRP에 대해서도 이러한 절단 가공을 수행할 수 있으며, 케블러-섬유 강화재에서 대하여 관통 구멍 형상을 성형 가공할 수 있다. 이러한 재료들은 더블 헤릭스·루터 비트(드릴 인선 공구) 등에 의해서도 섬유가 휘감기는 등 절단 가공하기 곤란한 것들이다.

한편, 워터 제트 가공을 적용하기 곤란한 경우도 있다. 예를 들어, 유리 섬유 강화 복합재

(CFRP), 폴리 우레탄 고무, 발포재, 플라스틱, 합판 등의 절단 가공에 있어서는 물에 적셔지게 됨으로써 받게되는 영향들에 대해서도 유념해 둘 필요가 있다. 부분적으로 이탈하기 쉬운 적층재, 균열이 발생하기 쉬운 잔류 응력 강화재료, 깊이 방향으로의 정도를 요하는 구멍 관통 형상 부품, 제트 수류의 절단 공정이 일정하지 않게 되는 파이프 형상의 중공 부품 등으로 적용하는 경우에도 세심한 주의를 요하는 것이 바람직하다.

(5) 생산성

일반적인 프레스 절단 기법에는 미치지 못하지만 기타 특수 절단 가공 방법들에 비해서는 생산성이 높은 가공 방법이라고 할 수 있다. 또한, 박판의 연질 재료에 대해서는 가공 속도가 높지만, 두께 약 10mm 이상의 두꺼운 금속재에 대해서는 어브레시브 형의 기법을 적용해도 그 이상의 생산성을 기대하기는 곤란하므로 절삭 가공이나 레이저 가공을 적용하는 것이 바람직할 수도 있다.

생산성은 제트 수류의 고압화에 대한 개선 기술에 달려 있다. 고압화는 펌프의 능력과 실링 기술 진전에 의하여 현재 약 8,000kg/cm² 정도까지 가능해졌다. 또한, 제거 대상량이 많다고 해도 노즐 직경을 크게 함으로써 절단 가공 효율을 증대할 수 있다.

기타의 방법들과 비교하면, 예를 들어 30mm 두께의 알루미늄재를 대상으로 할 경우에 있어서 워터 제트 가공 방법으로는 40mm/min(정도 약 1/100)의 가공 속도를 얻을 수 있다. 와이어 컷트 방전 가공이나 레이저 가공 방법으로는 가공할 수 없는 30mm 두께의 고무를 약 80mm/min의 가공 속도로 절단 가공할 수도 있다.

(6) 작업성 및 안정성

작업자의 입장에서는 절단 공구를 이용한 가공보다 훨씬 작업하기가 편하다고 할 수 있다. 그러나 노즐 교환 빈도수가 비교적 높다는 점 등을 고려하여 전용 시스템의 부대 장치에 대한 개선과 폐수 처리 등에 대한 세심한 보완 대책들이

요구된다. 작업장은 물을 주로 이용하기 때문에 녹 등이 발생되기 쉬워 이에 대한 대책도 물론 충분히 강구하여야 한다.

특히, 어브레시브 형의 워터 젯트 절단 가공에 있어서는 젯트 수류에 지립이 혼입되기 때문에 젯트 수류 에너지가 감쇄할 수 있음에 따른 위험성도 때로 나타날 수 있다. 따라서 2차원 동작에 국한된 잘단 가공용 가공 시스템이 많은 편이다.

(7) 가공비

기타의 특수 가공기를 이용하는 경우와 거의 동등한 가격이 소요되어, 어브레시브형의 경우에 총 가공 소요 비용이 전기 요금, 수도 요금, 노즐 등의 소모품비, 지립비 등을 포함하여 시간당 약 5, 6만원 정도 산정된다. 그러나 대량 생산에는 그다지 적합하지 못하므로 부가가치가 높은 가공의 경우들에 대하여 적용하는 것이 바람직하다.

5. 결 언

미래지향적인 고부가가치의 생산 기술 측면에서 우수한 성질과 기능성을 지니는 신소재, 신합금, 복합 재료 등이 각종 산업용 부품의 소재로 대체되어지는 경향이 앞으로도 점차 더욱 높아질 전망이다. 그러나 이러한 재료의 종류들도 많은 한편, 거의 대부분이 난삭성을 지님으로써 부품으로서 활용하기 위해서는 우선 첫 단계로써 소정의 요구 형상대로 고능률, 고품위로 절단 가공할 수 있는 가공 기법의 정립이 불가피하다고 할 수 있다.

또한, 제품 사용후의 재이용화 및 재자원화를 하기 위해서는 대부분이 복합체인 이들 재료의 해체 및 회수 작업이 기술적으로 충분히 가능할 수 있도록 하기 위한 난제를 해결해야만 한다. 그리고 적용 범위가 넓고 간편하며 가공 효율이 높은 절단 가공 기법에 대한 요구는 21세기를 앞두고 더욱 더 강하게 요구되고 있는 실정이다.

이러한 관점에서 현재 그림 7, 8, 9, 10과 같이 분류수의 에너지에 의하여 재료를 절단, 절삭하는

워터 젯트 가공 방법에 대한 관심이 매우 높아지고 있다. 아쿠어 형 및 어브레시브 형의 두 종류 중 택일하여 각 종류의 시스템 특성에 적당한 재료에 대하여 단일 가공 장치로써 대응하여 적용할 수 있으므로 절단 가능성과 관련한 측면에서는 거의 문제가 없다고 할 수 있다.

그러나 절단 기구나 가공 조건의 영향은 반드시 더욱 명확하게 세분화하여 밝혀 둘 필요가 있으며, 생산 기술 측면에서 중요한 절단면의 형상이나 가공 정도에 대한 통계적인 데이터도 충분히 수집, 분류하여 정립할 필요도 있다. 또한, 데이터 베이스를 확립하여 새로운 기술이 급속하게 성장하는 한편, 더 한층 실용화의 폭이 넓어질 수 있도록 해야 한다.

마지막으로 국내의 경우에는 지금 당장은 그다지 적용하고 있는 분야가 적어 고가의 선진국형 신가공 시스템을 소량 수입에 의존하고 있지만, 향후의 고부가가치 첨단 산업 요소부품에 대한 순수 국산화 개발 및 국제 경쟁력을 강화하기 위해서는 현 시점에서 고도의 생산 시스템 설계, 제작 산업분야의 이와 같은 전용기에 대한 개발이 시급히 추진되어야 할 필요성이 충분히 있다고 생각된다.

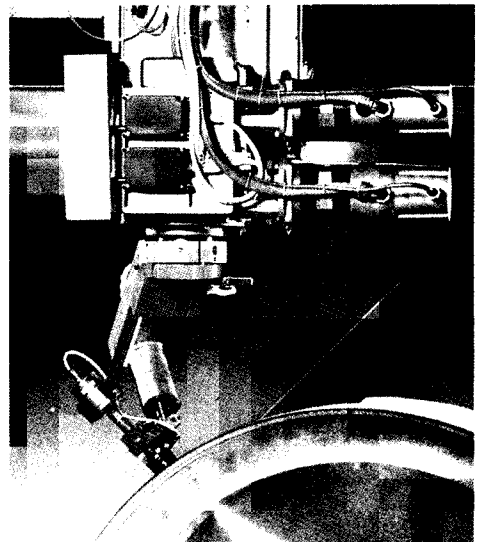


그림 7. 복합재료 실린더의 버어 비생성형 5축 제어 CNC 워터 젯트 머시닝 시스템

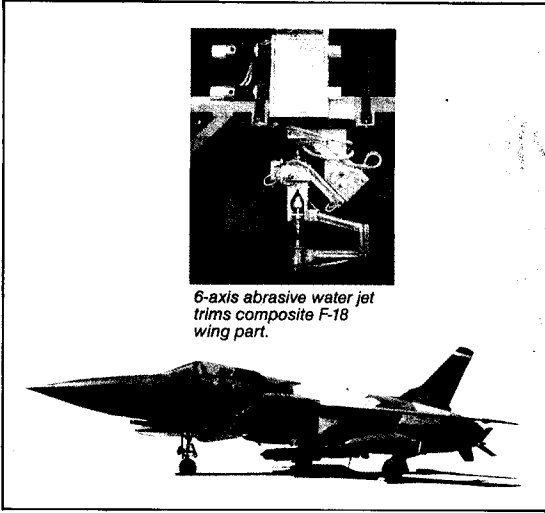


그림 8. F-18 전투기 날개 부품용 복합 재료의 성형 가공에 적용되는 6축 제어 방식 워터 젯트 머시닝 시스템

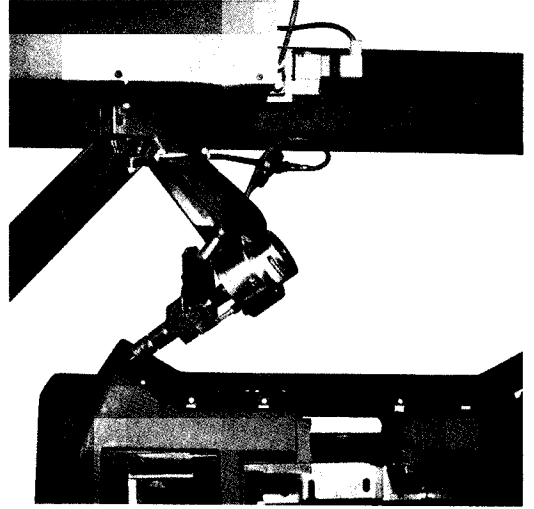


그림 9. 자동차 판넬의 트리밍 가공용으로 적용되는 워터 젯트 머시닝 시스템

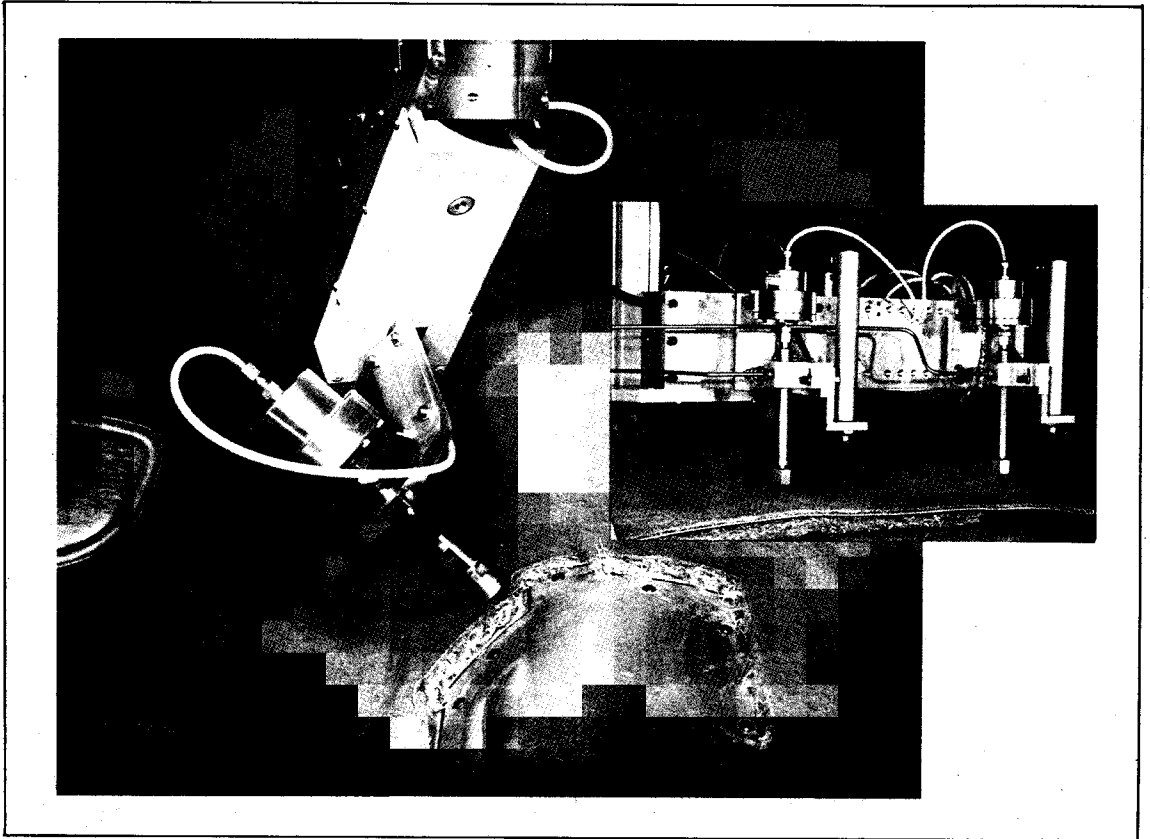


그림 10. 자동차용 카펫트 내장재의 성형 가공용 워터 젯트 머시닝 시스템의 예