

## 분리형 가스절단팁 개발

### The Development of Multi Pieces Gas Cutting Tip

이권희, 김지온\*, 하지수, 박부민(현대중공업),

울산광역시 동구 전하동 1번지 현대중공업(주) 산업기술연구소

#### Abstract

To develop the high speed gas cutting tip, consists of 3 pieces, supersonic axisymmetric jets issuing from various kinds of nozzles with a throat diameter of a few millimeters were experimentally investigated. The nozzle inlet pressure was varied from 4 to 8 kgf/cm<sup>2</sup>. The parameters in nozzle design were throat diameter, throat length, taper angle, outlet diameter. The total pressure variation was measured by the pitot tube, 0.5mm outer diameter, along the center of the free stream jet. Also color Shilieren system was used to visualize the flowfield.

#### 1. 서론

일반적으로 산소가스 절단은 다른 절단방법에 비하여 장치의 구조가 간단하고, 절단경비가 저렴하며, 비교적 얇은 철판에서부터 두꺼운 철판까지 효과적으로 적용이 가능한 절단방법이다.

그러나 절단 화구(Tip)는 작업 중에 입는 손상으로 주기적인 교체가 필요하며, 이것은 절단경비를 상승시키는 주요한 원인이다.

그런데 일반적으로 절단화구가 손상되는 가장 중요한 원인은 우선, 절단 시에 발생하는 열로 인한 화구 끝단부의 열변형과 절단 시에 불완전 연소로 인해 생성되는 탄소 알갱이 등 불순물이 화구 끝단부에 부착되는 현상, 그리고 이 불순물을 제거하는 과정에서 발생하는 화구 구멍 형태의 변형 등이다. 또한, 이외에도 절단 중에 토치의 취급을 소홀히 함으로써 절단부재 등 다른 물건에 화구가 부딪혀 형태가 변형되는 경우도 있다. 이와 같이 여러가지 절단화구가 손상되는 과정 및 현상을 분석해보면, 공통적으로 거의 대부분이 절단화구의 끝단부에 손상이 발생하여 더 이상 사용하지 못하는 경우임을 알 수 있다. 따라서 기존의 산소가스 절단용 화구의 구조를 개선하여 손상이 심한 노즐만을 교체해 준다면 훨씬 경제적이 될 수 있다.

본 연구에서는 현재 사용중인 노즐 및 캡의 2부분(이하 일체형)으로 되어있는 가스 절단팁(에틸렌 가스용)을 노즐, 어댑터, 캡의 3부분(이하 분

리형)으로 설계, 제작하여 절단성능을 비교 시험하였으며, 특히 절단성능에 가장 중요한 노즐의 설계를 위한 실험적 연구를 수행하였다. 실제 노즐은 적용되는 절단부재의 두께에 따라 몇가지 종류로 구분되지만, 본 연구에서는 고속절단팁 3번(D7-3)을 대상으로 하였으며 여러 형상의 노즐을 제작하여 실험하였다. 실험에는 압축공기를 작동유체로 사용하였으며 노즐입구의 전압력을 변화시켰다. 노즐로부터 방출되는 초음속 분류는 슈리렌법을 이용하여 광학적으로 관찰하였으며, 분류의 중심축에서 전압력을 측정하여 노즐의 성능을 분석하였다.

#### 2. 실험장치 및 측정방법

##### 2.1 실험장치

본 연구에서 절단팁의 산소분출용 노즐의 성능시험을 위한 실험장치의 개요를 Fig.1에 나타냈다. 압축기에서 압축된 공기는 고압용 저장탱크에 저장된 후 고압용 조절기에서 감압되어 절단팁 밸브단으로 안내되며 밸브단 상류에 설치된 2차 감압조절기에서 원하는 압력으로 조정된 후 밸브하류에 설치된 노즐을 통하여 대기로 방출된다. 유량의 측정을 위하여 고압가스용기와 절단팁 밸브사이에 유량계를 설치하였다. 또한 압력센서를 이송하기 위하여 유동에 영향을 미치지 않는 곳에 2축 이송기를 설치하였으며 전압측정과 동시에 흐름장의 가시화를 위하여 칼라 슈리렌시스템을 설치하였다.

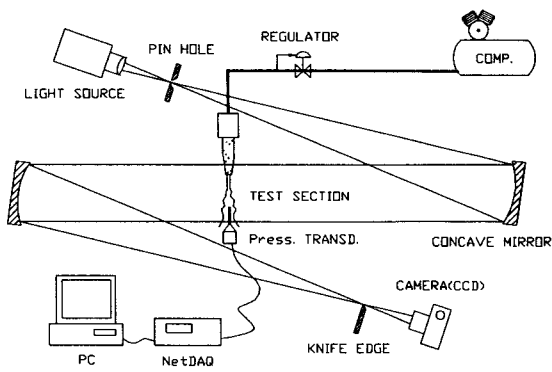


Fig.1 Schematic diagram of experimental facility & measurement system

## 2.2 실험조건

노즐입구의 압력  $p_0$ 를 400kpa 에서 800kpa 까지 변화하였으며 정체실의 온도는 대기의 온도와 같은 약 298K로 거의 일정하였다. Fig.2에는 본 연구에서 사용된 일체형 및 분리형의 절단팁 형상 및 본 연구에서 설계되어진 산소분출용 노즐형상을 나타냈었다. 노즐은 절단철판의 두께에 따라 노즐목의 직경 및 예열가스 분출구의 출구면적이 달라진다. 본 연구에서는 동일한 노즐목직경에 대하여 노즐목길이, 노즐출구직경, 확대각, 테이퍼 길이 등을 변수로 한 여러개의 노즐을 제작하여 시험하였다. 또한 기제품화된 국산 및 외국 일체형 절단팁 및 본연구에서 개발한 분리형 절단팁에 대한 성능을 비교, 분석 하였다.

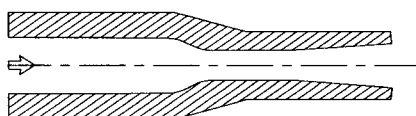


Fig.2 Nozzle used in experiment

산소분출용 노즐형상에 대하여 테이퍼 각을 가지지 않는 직선형의 노즐을 음속노즐(sonic nozzle), 축소-확대테이퍼를 가지는 노즐을 라발노즐(convergent-divergent nozzle), 축소-직선-확대테이퍼를 가지는 노즐을 수정 라발노즐(modify C-D nozzle)로 정의하였다.

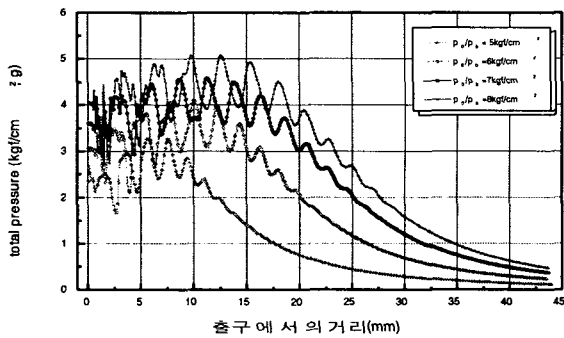
절단팁의 성능을 확인하기 위하여 동일한 조건(압력, 유량)에서 절단부재의 두께 25t에서 43t까지, 절단속도를 410mm/min에서 560mm/min까지 변화시키면서 일체형 및 분리형에 대한 성능을 비교, 분석하였다. 또한 실험의 정확성을 위하여 절단팁 진행속도가 일정하도록 자동절단장비를 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

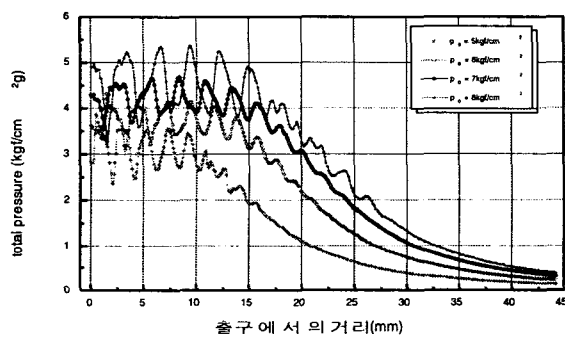
### 3.1 전압력 결과

Fig.3은 노즐출구에서 흐름장 하류 방향으로의 전압력 변화를 노즐입구압력에 따라 나타낸 것이다. 여기서 A절단팁은 외제일체형, B절단팁은 국내 일체형, C절단팁은 본연구에서 개발한 분리형 절단팁을 의미한다. 전체적인 경향은 노즐입구압력이나 절단팁의 종류에 상관없이 증가와 감소를 반복하다가 일정한 거리에 이르면 점진적으로 감소하고 있다. 이러한 압력변동은 흐름장이 초음속 유동장으로 흐름장내에는 압축파와 팽창파가 존재하고 강도가 각각 다른 충격파가 존재하게 된다. 따라서 전압력을 측정하기 위하여 흐름장내에 있는 피토관 입구에는 강하고 약한 수직충격파가 주기적으로 존재하고 압축영역과 팽창영역에서의 운동에너지의 크기가 또한 주기적으로 반복됨에 따라 전압력은 증가와 감소를 반복하게 되나 이러한 초음속 영역이 끝나는 영역 이후부터는 아음속 유동장으로 단지 대기와의 마찰에 의한 손실만 존재하여 전압력이 점진적으로 감소를 하고 있다. Fig.3의 (a)를 보면 노즐입구압력에 따라 하류방향으로의 전압력 변동은 유사한 경향을 보이고 있으나 반복주기의 회수와 변동폭은 서로 다르게 나타남을 알 수 있다. 이것은 노즐의 형상이 일정한 경우 압력비(노즐출구압력/노즐입구압력)에 따라 출구에서의 압력이 다르고 따라서 초음속영역의 길이가 다르게 된다. 이것으로만 볼 때 출구의 압력이 높은 것이 좋으나 동시에 압력의 변동폭도 커지게 되므로 설계값에 대한 최적 압력이 존재한다. 이것은 흐름장내에 발생된 충격파의 강도가 강하고 손실이 커진다는 것을 의미한다. 따라서 초음속영역을

길게 하기 위하여는 노즐입구 압력을 높이는 것이 좋으나 노즐의 효율은 저하하게 된다. 따라서 초음속 영역의 길이 및 압력변동폭(즉, 충격파의 강도와 연관됨)이 조화를 이룰 수 있는 영역이 필요하다. 본연구에서는 노즐설계값인  $7\text{kgf/cm}^2$  이 가장 최적의 경향을 보이고 있다. 이것은 분리형인 C절단팁도 유사한 경향을 보이고 있다. Fig.4는 설계조건인 절단팁 사용압력  $7\text{kgf/cm}^2$  인 경우에 일체형인 A절단팁 및 B절단팁, 분리형인 C절단팁 대한 압력변동을 비교 도시한 것이다.



(a) A절단팁



(b) C절단팁

Fig.3 Variation of total pressure along jet axis

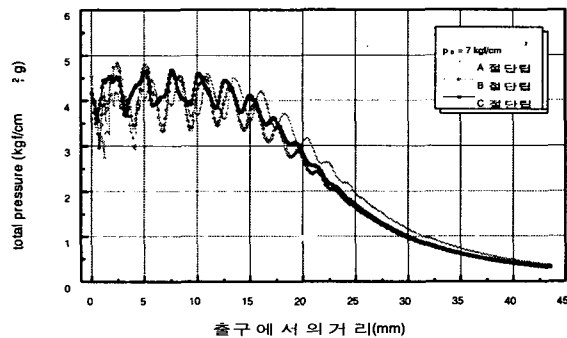


Fig.4 Comparison of total pressure along jet axis at  $p_0 = 7\text{kgf/cm}^2$

그림에서 +, O, ■는 각각 A절단팁, B절단팁, C절단팁을 나타내고 있다. 초음속영역의 길이는 모두 거의 유사하게 나타나고 있으나 압력변동은 C절단팁이 가장 적게 나타나고 있다. 이것은 C절단팁이 다른제품에 비교해서 좀더 효율적인 것임을 알 수 있다. 또한 전압력 변동주기 및 개수가 가시화사진에서 보이는 충격파의 주기 및 개수와 일치함을 알 수 있다. 앞서서도 설명하였듯이 전압관에 의해 측정되어지는 전압력이 변동하는 것은 전압관이 통과하는 유동장의 상태, 즉 압축파 영역 혹은 팽창파 영역이냐에 따라 운동에너지가 달라지기 때문이라 생각한다.

### 3.2 가시화 결과

(가) C절단팁

(나) A절단팁



(a)  $p_0 = 5\text{kgf/cm}^2$



(b)  $p_0 = 6\text{kgf/cm}^2$



(c)  $p_0 = 7\text{kgf/cm}^2$



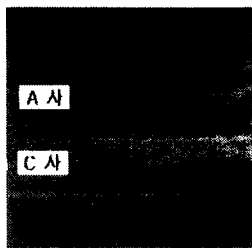
(d)  $p_0 = 8\text{kgf/cm}^2$

Fig.5 Schlieren photographs of supersonic jet

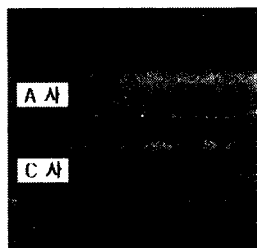
Fig.5은 C절단팁 및 A절단팁으로부터 분류되는 흐름장을 노즐입구 압력변화에 따라 가시화한 일례이다. 모든 경우에 대하여 흐름장 중에 충격파가 발생하는 초음속 유동장임을 알 수 있다. 또한 C절단팁 및 A절단팁 모두 정성적으로 유사한 경향을 보이고 있다. 노즐입구 압력이 높아질수록 충격파의 개수는 많아지고 충격파사이의 간격은 커지고 있다. 이것은 초음속 노즐에서의 유동장은 출구상태가 일정한 경우(여기서는 대기압) 입

구전압에 영향을 받아서 출구에서의 압력 및 팽창상태가 다르기 때문이다. 그림에서도 보여지듯이  $p_0=7\text{kgf/cm}^2$ 인 경우가 노즐출구 직후의 jet의 폭이 상대적으로 노즐출구직경과 일정하고 충격파의 강도도 약한 것임을 알 수 있었다. 또한 앞의 전압력 분포에서도 알 수 있듯이  $p_0=7\text{kgf/cm}^2$  일 때가 압력의 변동폭이 가장 작음을 알 수 있었다. 이것은 설계된 노즐이  $p_0=7\text{kgf/cm}^2$ 부근에서 적정팽창이 이루어지도록 설계되어져 있기 때문이다.

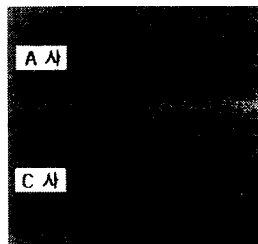
### 3.3 절단성능결과



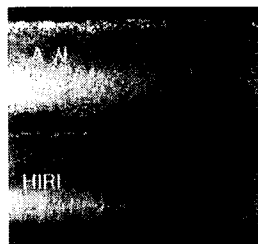
(a) 25t, 수직  
속도:452mm/min



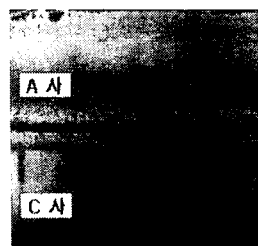
(b) 25t, 수직  
속도:520mm/min



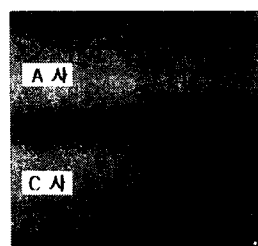
(c) 25t, 20°개선,  
속도:452mm/min



(d) 35t, 수직  
속도:415mm/min



(e)35t, 수직  
속도:500mm/min



(f)35t, 20° 개선  
속도:500mm/min

Fig.6 Photographs of gas cutting performance test

Fig.6-° C절단팁과 A절단팁에 대한 절단성능을 절단두께 25mm, 35mm을 강판을 절단 속도를

화시키면서 또한 절단면에서 수직 및 20° 개선면에 대하여 절단한 부재의 단면형상을 나타낸 것이다.

절단두께 25mm에서 절단속도 520mm/min 가 절단품질(절단면 조도, 편평도, 슬래그부착정도 등)이 양호하게 나왔고, 절단두께 35mm 경우 절단속도는 조금 낮았으나 절단품질은 아주 양호하게 나타났다. 또한 각각의 두께에 대하여 20° 개선 절단에 대해서도 절단면의 품질은 양호하게 나타났으며 불꽃 조정 및 산소의 소모량에 있어서도 일체형에 비해 전혀 손색이 없는 것으로 나타났다.

### 4. 결론

본 연구에서는 고속절단팁 개발을 위하여 여러종류의 노즐을 제작하여 초음속 분류에 대한 실험을 수행하였으며, 분리형 절단팁을 제작하여 절단성능 시험을 실시 하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 분리형 절단팁을 위한 노즐이 초음속 유동장의 길이, 전압력변동, 분류폭, 충격파 개수등에서 일체형 절단팁 노즐과 거의 유사하였다.
- (2) 분리형절단팁이 절단성능 시험에서 절단면, 절단속도, 산소소모량, 조작방법 등에서 우수하였다.
- (3) 초음속 분류의 길이 및 노즐의 성능은 노즐의 목두께, 목길이, 확대각에 영향을 받으나 예열가스의 분류가 절단가스의 유동에는 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

### 5. 참고 문헌

1. A.H. Shapiro, "Compressible fluid flow Ronald Press Company, 1953
2. 김희동, 이종수, "가스미립화용 노즐로부터 방출되는 초음속 분류에 관한 실험적 연구(1)", 대한기계학회 논문집(B), 1996
3. J.W.Naughton, "Minature. Fast- Re Five hole Conical Probe for Supe Flowfield Measurements", AIAA, Vol.31, 1993
4. 橋本達哉 外, "熱切斷およびその応用", 現代溶接技術大系, 産報出版, 1980
5. 金柄哲, "高速ガス切斷法について", 溶接技術, 1999.8