

산업용 토치 개발에 관한 연구

°김외동, 심제학, 장용무, 강형부
한양대학교 전기공학과

A Study on the Development of the Industrial Torch

°Kim Oe Dong, Shim Jae Hak, Chang Yong Moo, Kang Hyung Boo
Dept. of Electrical Eng., Han Yang University

Abstract

A performance of the torch greatly depends on the plasma gas and the cooling gas. The plasma gas constricted by the nozzle concentrates electric power and momentum, so it can eject molten metal from a cut. As an electric arc constricted in a nozzle is more constricted through thermal pinch by the cooling gas, it is possible to transfer larger thermal concentration to the workpiece. The optimized parameter value in this study was given below.

Plasma gas pressure is $4[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ and gas mass flow is $30[\text{t}/\text{min}]$. Cooling gas pressure is $6[\text{kgf}/\text{cm}^2]$ and gas mass flow is $120[\text{t}/\text{min}]$

1. 서론

약 70년전 유럽의 Gerdien이 플라즈마 제트 장치를 개발한 이후[1] 아크 방전을 이용한 플라즈마 토치는 플라즈마 절단, 플라즈마 용접, 플라즈마 용사 및 플라즈마를 이용한 금속산화물의 용융 환원등 많은 금속 처리 공정에 이용되고 있다[2]. 그럼에도 불구하고 토치의 실제적인 설계에 있어서는 전극-노즐의 재료역학적 문제 및 아크의 유체역학적, 전기역학적인 문제등 복잡한 함수관계로 인해 그 최적화된 설계가 어렵다. 하지만 플라즈마 토치는 간단한 구조에서도 큰 성능을 발휘하는 만큼 산업분야에서의 중요성은 날이 갈수록 높아지고 있는 실정이라서 이에 대한 연구는 더욱 필요하게 되었다.

플라즈마 토치의 성능은 전극-노즐 구조, 플라즈마 가스의 공급 방식 및 냉각 방식등에 의해 결정된다. 이외에도 중요한 파라미터가 많이 있지만

대부분이 작업상의 문제이고 토치 자체의 성능은 아니다. 전극과 노즐의 형상에 의해 플라즈마 가스의 공급방식이 결정되고, 가스의 종류에 따라 전극재료가 정해진다[3]. 또한 전극과 노즐은 작업 중 큰 열적 스트레스를 받아서 부식이 빨리 일어나므로 효과적인 냉각이 필요하고, 대부분의 소형 토치는 이중 흐름(dual-flow)의 냉각 방법이 사용되고 있다.

본 논문에서는 절단기용 공기 플라즈마 토치를 개발하여 토치의 성능을 결정하는 전극-노즐의 구조, 플라즈마 가스 공급 및 냉각 방식의 영향을 다양한 아크 현상에 대한 특성 보고[4]를 기초로 하여 조사했다.

2. 플라즈마 토치의 원리

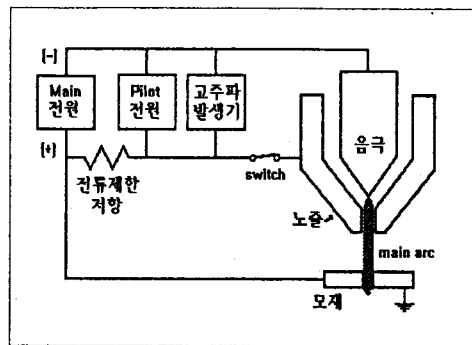


그림 1. 이행형 아크 플라즈마 토치의 원리

그림 1.은 이행형(transferrable type) 아크 플라즈마 토치의 원리를 나타낸 것이다. 절연과피이론에 의하면 공기의 임계 절연과피 전계-압력 비 $(E/P)_{crit}$ 는 약 $27\text{kV}/\text{cm}\cdot\text{atm}$ 이다. 예를들어 3atm , 1.4mm 간격 전극의 경우 약 $12,000\text{V}$ 이상의 DC전

압이 필요하다. 따라서 그림 1.과 같이 DC전원에 고주파 발생기를 혼용하여 아크 방전을 돕고 있다. 고주파에 의해 점화된 공기는 먼저 작은 전류의 pilot 아크에 의해 플라즈마 제트가 되고, 음극과 모재 사이의 main 아크로 이행할 수 있다. 가스 흐름과 노즐의 작용으로 온도와 유속은 자유공간의 아크 플라즈마에 비해 고온, 고속이다.

Pilot 아크가 모재로 이행하여 main 아크가 되면 전류제한저항에 의해 pilot 아크는 억제된다.

3. 실험

(1) 절단 시스템

전체 절단 시스템은 크게 전원부, 토치, 이송장치 등 세가지로 구성되었다. 전원부는 0~60A의 전류를 공급할 수 있는 DC전원이다. 무부하시의 pilot 전압, 전류는 각각 250V, 15A이다. 그리고 main 아크 전압은 120~150V 정도이다.

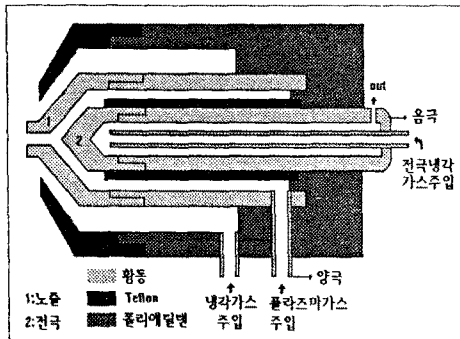


그림 2. 토치의 개략적 구조

토치의 구조는 상당히 복잡하지만 그림 2에 개략도를 나타내었다. 전극과 노즐은 열전도도, 전기전도도가 좋고 가공이 쉬운 황동을 사용하였다. 전극-노즐 간격은 1.4mm, 노즐 구멍의 지름은 1.3~2.0mm 사이의 값이고, 노즐 구멍의 깊이는 2.6mm이다. 토치 몸체의 재질은 폴리에틸렌이고, 냉각가스 가이드 및 전극·노즐 간의 절연은 테플론으로 하였다. 냉각 가스는 원통형의 토치 몸체의 4방향에서 공급되며, 플라즈마 가스는 120° 간격으로 공급하여 축방향 흐름이 되도록 하였다. 그림 3.은 설계된 토치의 분해도이다.

마지막으로 이송장치는 X-Y플로터 방식으로, 구동장치로서 DC모터를 사용하여 전압으로 속도 제어를 할 수 있으며 최대 120[cm/min]의 속도를 낼 수 있다.

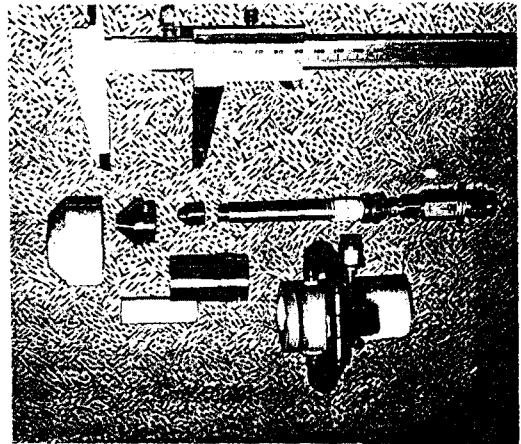


그림 3. 설계된 토치의 분해도

(2) 실험 방법

그림 1.의 스위치를 누르면 pre-flow가 흐르고 잠시 후 15,000~20,000V의 고주파(1~3 MHz)에 의해 점화되면 약 2초 정도 pilot 아크가 유지된다. Pilot 아크에서 main 아크로의 이행은 토치에 무리가 가지 않도록 하기 위해 모재의 가장자리에서 시작한다.

표 I. 절단 실험 파라미터 값

	실험 1	실험 2	실험 3
	플라즈마 가스영향	냉각가스 영향	전극-노즐 구조 영향
플라즈마 가스압력 [kgf/cm ²]	1,2,3,4,5	3	3
플라즈마 가스유량 [L/min]	10,20,30,40 50,60,70,80	20	20
냉각가스 압력 [kgf/cm ²]	5	4,5,6,7	5
냉각가스 유량 [L/min]	50	50,100,120	100
절단속도 [cm/min]	15~	15~	15~
전류 [A]	30	30	30
모재두께 [mm]	3.2	3.2	3.2

일단 절단이 시작되면 main 아크 전류량은 바꿀 수 없고, 플라즈마 가스, 냉각 가스의 압력 및 유량, 그리고 절단속도를 변화시켜 아크의 상태와 절단상태를 관찰한다.

플라즈마 가스, 냉각 가스의 영향 및 전극-노즐의 구조가 미치는 영향에 대한 실험을 실시하였고, 표 I.에 각 실험에 대한 파라미터의 값을 나타내었다(숫자가 여러 개 있는 것은 변화량을 나타

낸다). 절단에 사용된 전극의 형상은 침형, 평면형, 둥근형 세가지로 하였다.

4. 실험결과 및 검토

그림 4는 절단중의 토치를 나타낸 것이다. 플라즈마 가스의 압력을 높일수록 아크 전체 전압이 증가했다. 즉 입력 파워 $V \times I$ 가 커졌다. 그리고 유량이 80[l/min] 이상인 경우 main 아크가 매우 불안정해져서 절단이 지속되지 않았다. 주어진 절단 속도에 대해서 플라즈마 가스 압력이 높을수록 아크가 모체에 더욱 수직으로 입사되었고, 절단중 녹은 금속을 강하게 붙여내어 절단면이 균일해졌다. 그림 4에서 보는 것처럼 모체 아래쪽의 불꽃이 녹은 금속이다.

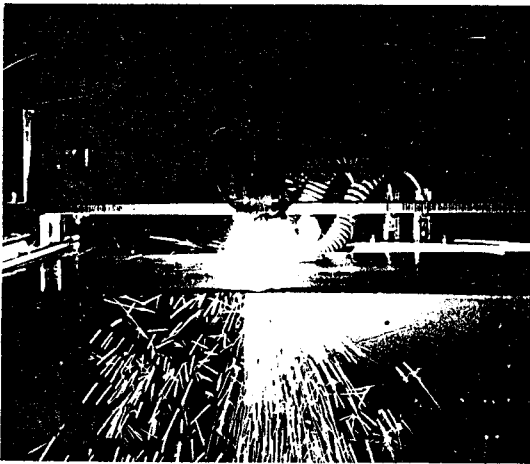


그림 4. 절단중의 토치

위의 과정에서 파워는 증가되었지만, 플라즈마 가스의 압력 및 유량을 증가시켰을 때 모체로 전달되는 열에너지, 즉 효율이 증가될 지에 대해서는 더 많은 실험과 연구가 필요하다.

냉각 가스의 압력 및 유량을 높였을 경우 두가지 효과를 보였다; 1) 노즐에 붙는 slug가 줄었다. 2) 노즐 마모가 줄었다. 압력이 4[kgf/cm²]로 낮은 경우 노즐 구멍 주위에 slug가 많이 붙고, 극단적으로 구멍이 막히는 경우도 있었다.

노즐 안쪽 면이 고동색의 부식을 보였는데 이는 가공면의 불균일로 인한 pilot 아크에 의한 손상이다.

침형 전극의 경우 노즐 구멍과 정확히 중심잡기가 어렵고, 절단 중 침단부의 마모가 심해 전체 전극의 길이가 많이 줄었다. 따라서 아크의 길이가 달라져 아크가 불안정해진다.

평면형 전극은 세가지 전극 중 가장 안정된 아크 특성을 보였으나 전극이 깊게 마모되었다.

둥근형 전극은 곡률 처리부근에서 아크가 먼저 튀어 이중 아크(double arc)가 생기는 경우가 많았다. 평면형 전극에 비해 음극점이 크게 확장되어 전극의 마모가 더욱 심했다.

5. 결론

본 연구에 사용된 토치의 각 중요 파라미터의 영향은 다음과 같다.

1) 플라즈마 가스 유량은 열농도를 증가시키고, 압력의 증가는 아크가 모체쪽으로 더욱 수직하게 이행할 수 있도록 한다.

2) 냉각 가스의 압력 및 유량은 모체로부터 slug가 튀기는 것을 방지하고 노즐의 부식을 최소화한다.

3) 전극의 세가지 전극 형상중 가장 아크가 안정한 평면형과 가스 흐름을 안정화시키는 둥근형의 혼용을 필요로 한다.

토치 노즐의 구멍 깊이[arc constrictor depth]는 설계된 것보다 길게 해야한다. 이것은 아크를 더욱 압축하여 피집을 방지하고, 큰 열농도를 전달할 수 있도록 하기 위해서다.

본 연구에 있어서 고려되지 않은 것은 전극 부식에 대한 메카니즘이다. 현재 사용되는 대부분의 시제 토치는 많은 실험 결과 및 데이터를 바탕으로 최적화 설계되었으나 전극 및 노즐의 수명이 상당히 짧다. 이런 한계를 극복하기 위해서는 아크 현상에 대한 이론적 연구뿐만아니라 전극 및 노즐 재료의 개발이 시급하다.

References

[1] R.M.Gage, "The principles of the modern arc torch", Welding Journal p959, Sept, 1959
 [2] "플라즈마 토치의適用例と今後の展望", J. IEE Japan, Vol. 107, No 10, pp1019-1022, 1987
 [3] "플라즈마切斷の基礎と實際", (社)日本銲接協會, 1983
 [4] A.E.Guile, "Arc-electrode phenomena", Proc. IEE, IEE rev., Vol.118, No. 9R, p1131-1154, Sept, 1971