

비이송식 플라즈마 토치 구조에 따른 열플라즈마의 특성 시험 분석

정안목*, 임재구*, 전의식*
*공주대학교 기계자동차공학부
e-mail:dkjam0630@naver.com

Experimental Analysis on the Thermal Plasma Characteristics in Non-Transferred Plasma Torches

An-Mok Jung*, Jae-Koo Lim*, Euy-Sik Jeon*
*Dept. of Mechanical Engineering, Kongju National University

요 약

본 연구에서는 자장인가방식의 계단형 구조를 가지는 비이송식 플라즈마 토치를 설계 제작하여 토치의 전극 구조가 열플라즈마의 안정성에 미치는 영향을 진단하고 원통형 구조를 가지는 표준형 토치와 비교 분석하였다. 운전 변수인 전극 간격, 전류, 아크기체의 유량 변화에 따른 아크전압의 특성을 살펴보고, 설계 변수인 전극 구조에 따른 아크의 동적 특성 실험을 통해 열플라즈마의 특성에 미치는 영향을 실험적으로 규명 하였다.

1. 서론

플라즈마의 발생기는 플라즈마를 발생시키는 전 원장치와 그 전원장치의 특성에 적합한 토치로 구성되어 있다.^[1, 2] 소재공정에 많이 사용되는 비이송식 플라즈마 토치는 음극과 노즐 형태의 양극 사이에 아크 기체를 주입시켜 아크 방전에 의해 플라즈마 제트를 발생시킨다. 이러한 비이송식 플라즈마 토치를 활용 시에 가장 문제가 되고 있는 것은 안정된 아크의 발생과 토치의 침식(erosion)에 관한 것으로 알려져 있다.^[1, 3] 플라즈마 토치에서는 미시적인 아크 방전의 변화가 일어나는데, 이러한 아크 방전의 동적변화는 열 플라즈마 제트 특성을 시간과 공간적으로 변동시켜 토치를 이용하는 공정의 신뢰도와 균 일성을 저하시키는 요인으로 작용한다.^[4]

따라서, 본 연구에서는 비이송식 플라즈마 토치 특성 실험을 통해 설계 파라미터를 도출하여 보다 안정된 플라즈마 제트를 생성하고자 한다. 이를 위하여 도출된 설계 파라미터에 의해 제작된 자장인가방식의 계단형 노즐과 일반형 노즐을 대상으로 세 가

지 운전변수인 전극 간격, 사용되는 아크 기체의 유량, 전류량에 따른 전압 특성을 분석하고, 노즐 형태에 따라 아크 전압의 동적 특성 변화를 실험적으로 규명하고자 한다.

2. 비이송식 플라즈마 토치의 설계 및 제작

전술한 바와 같이 안정한 플라즈마 제트를 발생 시켜 공정의 신뢰성을 높이고 노즐과 전극의 침식을 최소화 하여 수명을 증가시킬 수 있는 방안을 수립 하기 위하여, 본 연구에서는 자장인가방식의 계단형 구조의 노즐을 갖는 비이송식 플라즈마 토치^[5]를 제작하였다. 자장인가방식은 양극 노즐에 영구 자석을 설치하는 방법으로써 영구자석에서 자기장은 아크 전류와 자기에 의한 로렌쯔 힘을 발생시켜 이 힘에 영향을 받는 아크루트(arc root)를 노즐 내부에서 회전시킴과 동시에 앞뒤로 움직이게 하는 효과가 있어, 양극노즐 전체를 소모시켜 양극 노즐의 수명을 연장 시킬 수 있도록 설계하였다.^[5] 계단형 노즐의 효과로는 노즐 내부에서 직경이 넓어져 계단 후방에

서 내부 유체 흐름이 급격하게 팽창하게 되고, 이에 따라 반경방향의 강한 난류의 발생과 온도, 속도 분포가 확산되며 유체 흐름의 분리에 의한 정체 구역이 형성된다. 이와 같은 계단 후방 영역의 유체 역학적 특성으로 노즐 내벽을 따라 외부에서 주입된 차가운 기체가 균일한 절연 층을 형성하는 것을 방해하게 되어, 결과적으로 아크와 양극 노즐 내벽간의 절연 전압을 생성시킨다. 이를 통해 아크의 길이를 제어 하면서 아크 끊어짐에 의한 아크 전압의 요동 폭을 줄임으로써 안정한 플라즈마 불꽃을 발생시킬 수 있어 플라즈마 공정의 신뢰도와 재현성을 향상시킬 수 있도록 설계하였다.^[6] 그림 2.1은 선행 연구를 분석하여 도출된 설계 파라미터를 바탕으로 제작된 비이송식 플라즈마 토치의 분해도이다. 플라즈마 운전 시스템 구성은 정전류 방식의 직류 플라즈마 전원공급기, 냉각수를 공급해 주는 냉각기, 아크 기체와 아크 기체의 유량을 조절할 수 있는 유량 조절장치와 플라즈마 제트를 생성하는 토치로 구성되어 있다.

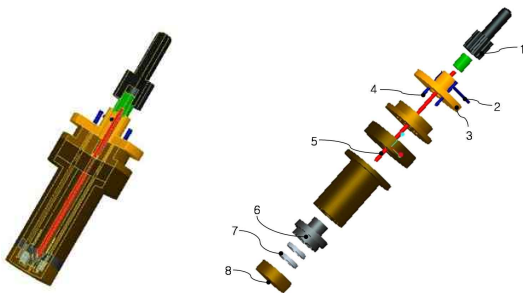


그림 2.1 플라즈마 토치 분해도

표 1. 시스템 명칭 및 기능

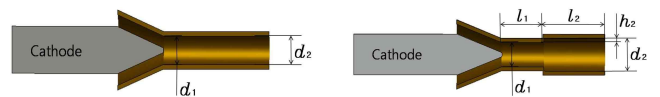
번호	명칭	기능
1	전극 간격 조절 손잡이	전극 간격 조절
2	냉각수 주입 관	전극을 냉각
3	토치 몸체 고정 척	몸체와 전극봉 고정
4	가스 주입 관	플라즈마 기체 공급
5	전극봉 (Cathode)	음극 역할
6	노즐	양극 역할
7	자석	노즐에 자기장 인가
8	앞 뚜껑	노즐밀착, 수밀성 확보

3. 아크 안정성 실험 방법 및 내용

자장인가방식 계단형 구조를 갖는 토치와 원통형의 구조를 가지는 표준형 토치를 대상으로 전극구조가 열플라즈마의 안정성에 미치는 영향을 비교 분

석하였다. 전극구조가 열플라즈마의 안정성에 미치는 영향을 진단하기 위하여 실험에서 사용된 자장인가방식 계단형 열 플라즈마 양극 노즐과 표준형의 양극 노즐은 그림 3.1과 같은 구조를 가지며 구체적인 치수는 표 2와 같다. 아크 플라즈마 발생 장치는 토치 내에서 조절이 가능한 음극과 양극 노즐의 전극 간격, 사용되는 아크 기체의 유량, 그리고 정전류 방식의 전원장치로부터 공급되는 전류량인 세 가지 운전 변수를 가지고 서로 독립적으로 조절이 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 우선 세 가지의 운전 변수에 따른 특성 실험을 한 후, 설계 변수인 노즐의 형태에 따른 아크의 동적 특성 실험을 수행하였다.



(a) 표준형 노즐(Type 1) (b) 계단형 노즐(Type 2)
그림 3.1 계단형 노즐과 표준형 노즐 구조

표 2. 노즐의 치수

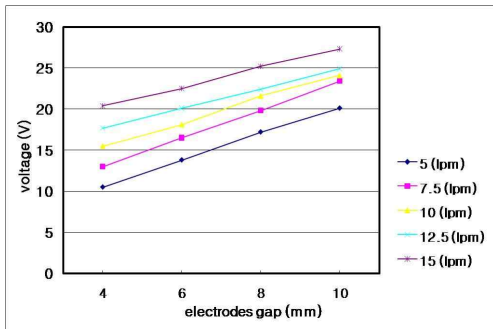
구분 \ 설계 변수	d_1	d_2	h_1	l_1	l_2
Type 1	3	3		18	
Type 2	3	4	0.5	3	15

단위 (mm)

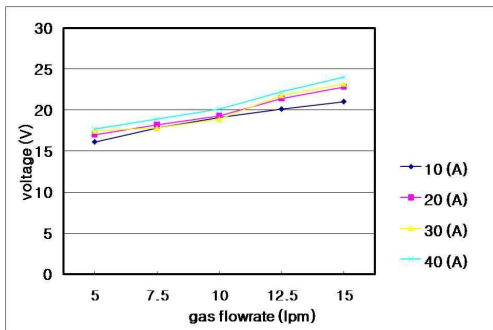
3.1 방전 특성 실험

표준형 노즐과 계단형 노즐에 대하여 유량 변화, 전극 간격을 조절하면서 방전 특성 실험을 하였다. 그림 3.2와 그림 3.3에서 볼 수 있듯이 전극 간격의 변화가 아크 전압에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 전도체의 저항치는 저항체의 단면적에 반비례하고 길이에 비례하는데 이는 전극 간격의 길이가 증가함에 되어 전류를 고정 하여도, 전압이 증가하는 결과를 볼 수 있다. 기체 유량의 증가에 따른 전압상승 역시 같은 원리로 해석할 수 있으며 차가운 기체에 의해 아크기둥이 수축하게 되면 아크기둥의 단면적이 감소하여 저항이 증가하는 것으로 판단된다. 그림 3.2(b)와 그림 3.3(b)에서 보는 전류의 증가에 따른 전압 증가의 상승폭은 조금밖에 관찰이 되지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 본 실험에서는 전류의 증가가 전도도 및 전류 밀도를 증가시켜 플라즈마의 온도 상승에 더 크게 관여한 것으로

보인다. 그림 3.2와 그림 3.3을 비교해보면 알 수 있듯이 자장 인가 방식의 계단형 구조를 갖는 노즐에서 일반적인 원통형 노즐보다 아크의 전압의 증가가 조금 더 많이 관측되는 것을 볼 수 있는데 이것은 자장인가방식으로 인한 자기핀치 효과로 판단된다. 그러나 전압의 차이가 많이 나지 않는 것으로 노즐의 설계 변수중 하나인 계단의 길이가 짧아 아크기둥의 길이를 짧게 함으로써 그 효과가 미약한 것으로 판단된다. 그러나 저전류-고전압 운전이 가능한 하나의 방법으로써 전극 침식의 효과를 줄일 수 있는 방안이 될 수 있다고 생각된다.

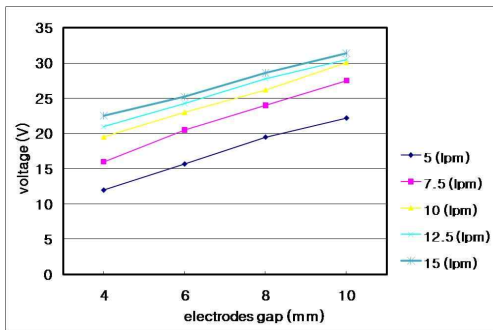


(a) 표준형 노즐 (전류 20 A)

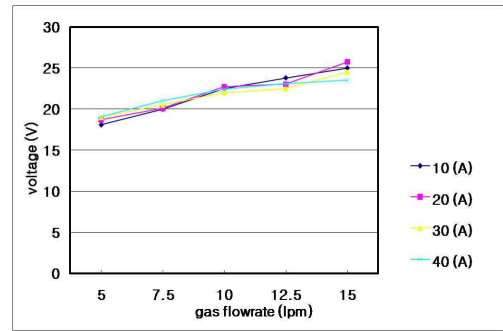


(b) 표준형 노즐 (전극 간격 6 mm)

그림 3.2 표준형 노즐의 방전 특성 실험



(a) 자장인가방식의 계단형 노즐 (전류 20 A)



(b) 자장인가방식의 계단형 노즐
(전극 간격 6 mm)

그림 3.3 자장인가방식의 계단형 노즐의 방전 특성 실험

3.2 노즐의 형태에 따른 아크의 동적 특성 실험

토치 내부에서는 지속적인 아크 방전의 변화가 일어나며 이러한 아크 방전 고유의 동적 변화는 열 플라즈마 제트 특성을 시간과 공간적으로 변화시켜 토치를 이용하는 공정의 신뢰도와 균일성을 저하시키는 요인으로 작용한다. 이러한 아크의 동적 변화를 측정하기 위해 전극 구조에 따라 이러한 아크 흔들림이 어떻게 일어나는지를 알아보기 위하여 10msec 동안 아크의 전압을 디지털 오실로스코프로 측정하였다. 그림 3.4와 그림 3.5에서 볼 수 있듯이 자장인가방식의 계단형 노즐에서 표준형 노즐보다 아크의 요동 폭이 작아지는 것을 볼 수 있는데 그것은 노즐 입구부와 출구부에서의 직경비가 서로 달라 노즐 내부의 유체 흐름에 인위적으로 강한 난류를 발생시켜 아크 끊어짐(Arc Shunting)을 원하는 위치로 유도함으로써 안정한 노즐 내부에서 아크 길이가 성장하는 시간을 단축시켜 아크 전압의 요동 주파수를 높이면서 요동 폭을 감소시켜 플라즈마 제트의 안정화를 꾀하기 때문이다.

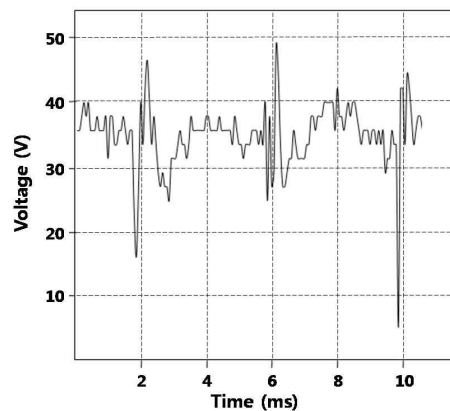


그림 3.4 표준형 노즐의 동적 아크 실험

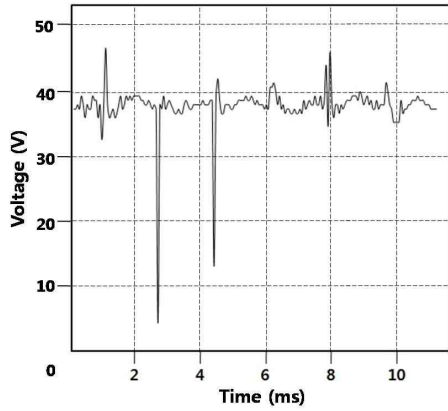


그림 3.5 자장인가방식의 계단형 노즐의 동적 아크 실험

4 결론

열플라즈마 제트의 요동을 줄여 안정한 열플라즈마 제트를 발생시키기 위해 제작된 자장인가방식의 계단형 노즐을 장착한 비이송식 플라즈마 토치를 대상으로 방전 특성 실험을 하고, 아크의 동적 변동에 관해 원통형 노즐의 구조를 갖는 표준형 토치와 비교 분석하였다.

플라즈마 발생장치의 주요 운전 변수인 전극 간격, 전류량, 아크 기체의 유량율의 변화에 따른 아크 전압 특성은 세 가지 운전 변수 중 전극 간격과 아크 기체 유량 율에 관련이 있으며, 그 중 전극 간격의 영향이 가장 크다는 것을 알 수 있었으며, 세 가지 운전 변수의 동일한 조건하에서는 자장인가방식의 계단형 토치가 표준형 토치보다 더 높은 전압을 나타내어 저전류-고전압 운전이 가능함을 확인하였다. 또한 아크의 동적 변동을 진단하기 위해 수행된 실험을 통해 자장인가방식의 계단형 구조의 노즐을 갖는 토치에서 아크 요동 폭이 줄었음을 알 수 있다.

따라서 자장인가방식의 계단형 노즐을 갖는 토치가 표준형 토치보다 안정한 플라즈마 제트를 생성하며 이러한 안정된 플라즈마 제트를 생성시키기 위한 토치의 설계 변수와 공정 변수간의 관계를 실험적으로 규명하였다.

참고문헌

[1] 홍상희, “산업용 열플라즈마 발생기 최적설계제작기술 보고서” 과학기술부
 [2] 박현서, 김형진, 정일록, “플라즈마를 이용한 비산재 처리기술”, 산업폐기물 소재화 연구센터 심포지움 자료집
 [3] K. Landes, US Patent, 5,406,046 (1995).

[4] 조홍(2000), “폐기물 처리용 플라즈마 발생장치 실험 및 열플라즈마 온도계측”, 서울대학교 석사학위논문
 [5] 최수석(2004), “비이송식 플라즈마 토치에서 전극구조 및 자장인가의 열플라즈마 제트 특성에 미치는 영향”, 서울대학교 석사학위논문
 [6] 조홍(2000), “폐기물 처리용 플라즈마 발생장치 실험 및 열플라즈마 온도계측”, 서울대학교 석사학위논문
 [7] 최병룡, 주원태, 홍상희(1994), “전극 간격 가변형 플라즈마 토치의 개발” 한국에너지공학회, Vol. 3, No. 2 pp. 225~235
 [8] J. Zierhut, P. Haskbeck, K. D. Landes, G. Barkezat, M. Muller, M. Schultz, Ttiplex-arc innovative three-cathode plasma torch, Proc. 15th Inter. Thermal Spray Conf., pp1375-1379, Nice, France, 25-29 May 1998.