

축방향 자기장 인가를 통한 플라즈마토치 전극 수명연장

論 文
56-11-16

Extension of Electrode Lifetime for Plasma Torch by Axial Magnetic Field

曹柱鉉* · 崔永旭[†] · 韓容基** · 韓鉉** · 權五旻**
(Chuhyun Cho · Young-Wook Choi · Yong-Ki Han · Hyun Han · Oh-Kyung Kwon)

Abstract - Axial magnetic field was applied into the hollow anode of plasma torch for the purpose of extension of electrode lifetime. The average arc voltage increased because the arc column became longer, the arc voltage ripple frequency became low. The steady state of arc voltage was removed by applied magnetic field. The lifetime of electrode was 60 times longer than operation without magnetic field.

Key Words : plasma torch, arc voltage, electrode lifetime, magnetic field

1. 서 론

아크 방전을 이용하여 고온의 가스 상태를 만들어 내는 플라즈마 토치는 산업현장에서 다양하게 응용되어지고 있으며 그 범위가 점차 확대되고 있다. 가장 널리 사용되고 있는 분야는 고온의 열을 이용하는 플라즈마 절단, 용접, 용사(spraying) 등이 있다. 최근에는 고온의 상태가 가지는 특성이외에 전리된 이온과 라디칼(radicals)의 활발한 화학적 반응 특성을 이용하는 폐가스 처리 등의 분야에 활용이 확대되고 있다[1].

이처럼 다양한 산업현장에서 사용되고 있는 플라즈마 토치는 전극의 수명이 생산성과 직결되므로 수명연장이 매우 중요한 기술과제가 되고 있다. 플라즈마 토치의 수명을 결정하는 요인은 무엇보다 양극 전극의 수명이다. 양극은 아크 칼럼에서 발생하는 열과 아크의 양극점에서 발생하는 열에 의해서 가열되므로 가장 가혹한 조건에 놓이게 되며, 반드시 강제적으로 냉각을 하여야만 한다. 냉각의 효율 및 발열의 제어를 통하여 양극의 수명을 연장하기 위한 다양한 형태의 전극구조가 개발되어 사용되고 있다[1-3].

양극에서의 아크의 거동에 대해서는 몇몇 연구에서 보고된 바가 있다[4, 5]. 비이행형 아크에 의한 플라즈마 토치는 그 특성상 아크의 소멸과 재생성(restrike)이 반복되고 있는 것으로 알려져 있다. 직류 전원에 의해서 작동하는 플라즈마 토치에서 아크가 소멸하는 이유는 아크칼럼의 길이가 일정하지 않고 토치 노즐을 통한 플라즈마 가스의 흐름과 전자 기력에 의해서 지속적으로 변하기 때문으로 여겨지고 있다.

본 연구에서는 산업용 플라즈마 토치의 수명연장을 위한

방법으로, 양극에 축방향 자기장을 인가하여 아크의 거동을 활발하게 하는 방법을 제안하고, 아크의 거동을 분석 및 수명연장 실험을 행하였다.

2. 축방향 자기장에 따른 아크의 거동

그림 1은 축방향 자기장을 인가하기 위해서 제작된 플라즈마 토치의 전극형상을 나타낸다. 아크는 초기에 트리거에 의하여 음극과 노즐에서 발생하여 양극으로 전이한다. 음극 점과 달리 양극점은 가스의 흐름, 전자력 및 양극의 표면 상태에 따라서 원통형 전극의 내부 표면에서 활발하게 움직인다. 원통형 양극의 내부에 인가되는 자기장은 양극의 바깥쪽에 솔레노이드형으로 감긴 코일에 직류전류를 인가하여 발생시켰다.

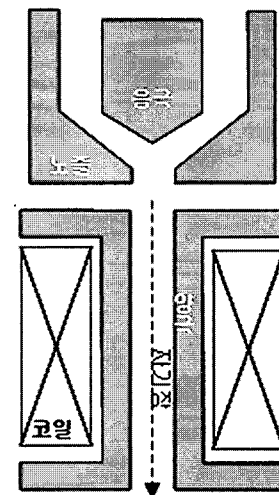


그림 1 축방향 자기장을 인가하기 위해 제작된 플라즈마 토치의 전극구조

Fig. 1 Schematic of plasma torch for applying axial magnetic field

† 교신저자, 正會員 : 한국전기연구원 책임연구원

E-mail : ywchoi@keri.re.kr

* 正會員 : 한국전기연구원 선임연구원

** 正會員 : (주)케이피씨

接受日字 : 2007年 9月 10日

最終完了 : 2007年 10月 1日

아크의 거동을 직접적으로 관측한 연구 논문도 있으나 [5], 일반적으로 관측이 쉽지 않으며 음극과 양극사이의 전압을 측정하여 아크의 거동을 추측한다. 그림 2에는 제작된 플라즈마 토치에서 아크 전압의 전형적 패턴을 나타내었다. 전형적인 아크 전압은 주기적 리플과 불규칙적 스파이크를 가진다.

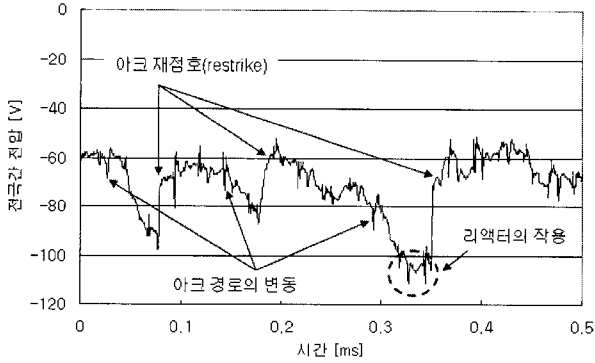


그림 2 전극 간 전압의 변동과 아크의 거동
Fig. 2 Arc behaviors and the voltage drop across the electrodes

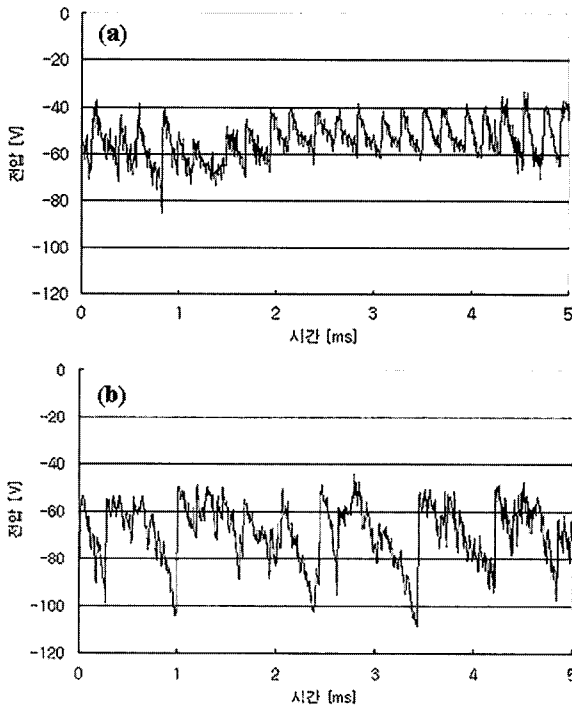


그림 3 자기장 유무에 따른 아크 전압변동의 차이 (a) 자기장을 인가하지 않았을 때, (b) 자기장을 인가했을 때
Fig. 3 Arc voltage variation (a) without magnetic field, (b) with magnetic field

주기적으로 나타나는 큰 전압 변동 (restrike)은 아크의 길이가 매우 길어져서 그 상태를 유지하지 못하고 순간적으로 음극점과 양극점이 모두 소멸되어 새로운 음극점과 함께 다시 아크를 형성한다. 아크의 칼럼의 소멸이 곧바로 플라스

마의 소멸로 이어지지 않으며, 아크의 안정화를 위하여 삽입되는 리액터에 의해서 전류의 흐름이 끊어지지 않고 일정한 양의 전류를 공급할 수 있다. 이 경우 리액터에 의해서 저장된 에너지가 직류 인가전압 이상의 전압을 만들어내기도 한다. 한편, 불규칙 적으로 나타나는 작고 날카로운 리플은 주로 양극점에서 아크의 움직임에 기인한다. 양극에서 아크는 지속적으로 움직여서 새로운 경로를 만들어가고, 새로 형성된 경로가 기존의 경로에 비하여 길이가 짧은 경우 전압강하가 급격히 변하여 리플을 만들어낸다.

그림 3은 축방향 자기장을 인가하지 않은 경우와 인가한 경우의 전압을 각각 나타내었다. 자장이 인가된 경우의 두드러진 특징은 평균전압의 상승이다. 그림 3(a)의 자장 무인가의 경우 60V 정도이지만, 그림 3(b)의 자장이 인가된 경우 80V 정도로 약 20V의 전압이 상승하고 있다. 전압 변동범위 또한 큰 차이를 보이고 있어서 자장무인가의 경우 30V에서 자장인가의 경우 50V까지 확대되고 있다. 또 한 가지 주목할 만한 특징은 전압 리플의 주파수 변화이다. 자장무인가의 경우 4.6kHz 정도에서 자장인가의 경우 1.8kHz 정도로 변하고 있다.

이러한 차이는 자기장 인가에 의해서 아크는 원통 전극을 따라서 더 많이 이동하고 있으며, 결과적으로 아크칼럼의 길이가 길어져서 평균 전압이 상승하고, 아크의 소멸과 재점화를 반복하는 주파수가 낮아지고 있는 것으로 해석된다. 즉, 자기장을 인가하지 않은 경우는 아크의 양극점이 짧은 자주 이동하며, 자기장이 인가되면 양극점의 이동 범위가 커지고 반복주파수는 느려진다.

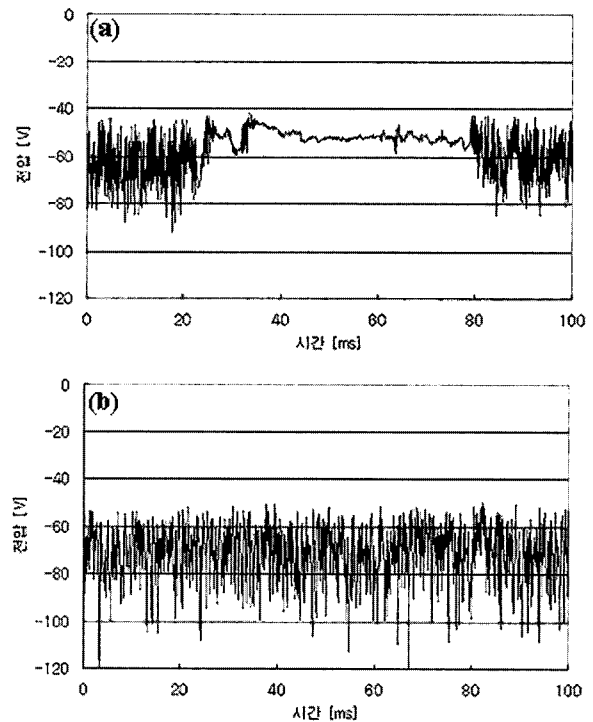


그림 4 긴 시간범위에서의 아크 전압 변동 (a) 자기장 없을 때, (b) 자기장을 인가했을 때
Fig. 4 Arc voltage variation in long time scale (a) without magnetic field, (b) with magnetic field

그림 4는 그림 3에서 나타낸 아크 전압 변동을 조금 더 긴 시간에 걸쳐서 관측한 결과를 나타낸다. 그림 4(a)의 자기장을 인가하지 않은 경우에 아크의 전압변동이 거의 없는 상태가 일부구간에서 나타나고 있다. 이 경우는 아크의 양극점이 한 점에 안정적으로 머물러 있는 상태를 나타내고 있는 것으로 보인다. 이러한 상태는 양극을 매우 빠르게 녹여서 수명을 단축시키는 결과를 초래한다. 자기장을 인가하지 않은 경우는 이러한 상태가 자주 반복해서 나타나는 것으로 관측되었다. 반면, 그림 4(b)의 자기장을 인가한 경우는 이와 같은 상태가 관측되지 않았다.

3. 전극 수명실험

자기장을 인가에 의한 수명연장 효과를 확인하기 위하여 표 1과 같은 조건으로 실험을 하였다. 양극 및 음극은 냉각수를 순환시켜 냉각 하였다.

표 1 전극 수명 실험 조건

Table 1 Experimental condition for lifetime evaluation

항목	실험조건
플라즈마 토치 전압	100V
플라즈마 토치 전류	150A
중심 자기장	750Gauss
플라즈마 가스 및 유량	질소, 분당 20리터
양극재료	Copper

그림 5는 자기장을 인가하지 않은 상태에서 2시간 동작 후의 양극의 상태를 나타내었다. 양극의 표면에 용융된 전극 물질로 부터 형성된 것으로 추정되는 돌기가 다수 관찰되었다. 그림 4에 나타낸 아크의 정지상태에서 발생한 전극의 국부적 용융으로부터 발생한 흔적으로 여겨진다. 자기장을 인가하지 않은 상태에서의 토치의 동작은 최장 8시간 정도였다.

그림 6에는 자기장을 인가하여 동작한 후 16시간이 경과한 전극의 상태를 나타낸다. 전극 내부의 표면에 아크의 움직임에 의한 흔적이 관측되었다. 그러나 그림 5와 같은 용융의 흔적은 관측되지 않았다. 자기장을 인가하여 실험한 경우 전극의 수명은 500시간 이상이였다. 냉각 및 구조변경에 의해서 1000시간 이상의 수명이 달성될 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 플라즈마 토치의 수명연장을 위하여 솔레노이드 코일을 이용한 축방향 자기장을 인가하고 전극간 전압 측정을 통하여 아크의 거동을 분석비교 하였다. 자기장을 인가하지 않은 경우의 동작에 비하여 양극점의 이동범위가 증가하였고, 아크의 소멸과 재점호의 반복 주파수는 낮아졌다. 또한 아크가 한 곳에 상대적으로 장시간 머무르는 현상이 감소하였다. 이와 같은 자기장 인가효과에 의하여 동 전극의 수명은 60배 이상 증가하였음을 확인하였다.



그림 5 자기장 없이 2시간 동작 후의 전극 내부상태
Fig. 5 Electrode surface condition after 2 hours operation without magnetic field

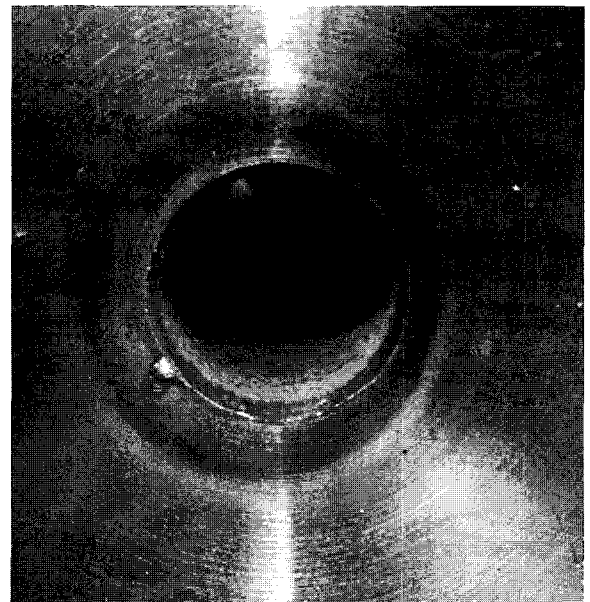


그림 6 자기장 인가 16시간 동작 후의 전극 내부 상태
Fig. 6 Electrode surface condition after 16 hours operation with magnetic field

감사의 글

본 연구는 산업자원부 부품·소재 전문기업 기술지원사업의 일환으로 수행하였음.

참고 문헌

- [1] N. Venkatramani, Current Science, 83, 254(2002)
- [2] He-ping Li and E. Pfender, IEEE Trans. on Plasma Sci., 33, 400(2005)
- [3] A. R. dayal and R. T. Deam, J. Phys. D: Appl. Phys., 35 1486(2002)
- [4] S. Ghorui, S. N. Sahasrabudhe, P. S. S. Murthy, A. K. Das, and N. Venkatramani, IEEE Trans. on Plasma Sci., 28, 2179(2000)
- [5] Jean-Luc Dorier, Malko Gindrat, Christoph Hollenstein, Armando Salito, Michael Loch, and Gerara Barbezat, IEEE Trans. on Plasma Sci., 29, 494(2001)

저 자 소 개



조 주 현 (曹柱鉉)

1966년 1월 29일생.
 1989년 한양대 공대 전기공학과 졸업
 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
 2004년 長岡技科大 에너지환경 졸업(박사)
 1996~현재 한국전기연구원 선임연구원
 Tel : (055)280-1420
 E-mail : cho@keri.re.kr



최 영 옥 (崔永旭)

1960년 6월 26일생.
 1984년 한양대 공대 전기공학과 졸업
 1994년 九州大學大學院 總合理工學研究科 에너지변환공학과 졸업 (석사)
 1997년 동대학원 졸업 (박사)
 1984년 3월 - 1991년 10월 한국전기연구소 연구원
 1997년 4월 - 현재, 한국전기연구원 책임연구원
 주관심분야 : 생체질병 바이오센서 개발, 레이저·광 응용 계측 (LIF), 전자빔/플라즈마응용, PDP MgO박막 제조장비, 고전압 전원기술
 Tel : (031)500-4835
 E-mail : ywchoi@keri.re.kr



한 용 기 (韓容基)

1978년 1월 6일생.
 2000년 충주대학교 열공학과 졸업
 2005년 충남대대학원 기계공학졸업(석사)
 2006-현재 (주)케이피씨 연구개발팀
 Tel : (031)678-6045,
 E-mail : hyk@kpc.co.kr



한 현 (韓鉉)

1965년 2월 26일생.
 1988년 숭실대 공대 전자공학과 졸업
 1988-2000.4 삼성전자 반도체 근무
 2000.5-2006.5 코닉시스템, 대화일렉트론 반도체사업부장, 연구팀장 역임
 2007.5-현재 (주)케이피씨 개발팀장 재직중
 Tel : (031)678-6044
 E-mail : hhan@kpc.co.kr



권 오 경 (權五旻)

1962년 1월 28일생.
 1986년 한양대 공대 재료공학과 졸업
 2000년 충북대 경여대학원 경영정보학과 졸업(석사)
 2007. 10- 현재 한국기술교육대학 박사과정
 1986.1-2002.2 (주)하이닉스
 2003.8 - 2005.2 (주)케이씨텍
 2006.2 - 현재 (주)케이피씨 연구소장 재직중
 Tel : (031)678-6002
 E-mail : koka0825@kpc.co.kr