

축 방향 자기장에 의한 아크의 거동과 전극표면의 손상

조주현*, 최영욱*, 한용기**, 한현**, 권오경**
 *한국전기연구원, **(주)케이피씨

Arc behaviors and electrode surface damage under the axial magnetic field

Chuhyun Cho* · Young-Wook Choi* · Yong-Ki Han** · Hyun Han** · Oh-Kyung Kwon**
 * KERI, **Korea Pionics Co., Ltd.

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 over 1000 hours which is 100 times longer than operation without magnetic field.

기존의 경로에 비하여 길이가 짧은 경우 전압강하가 급격히 변하여 리플을 만들어낸다.

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 특성 이외에 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 전자기력에 의해서 지속적으로 변하기 때문으로 여겨지고 있다.

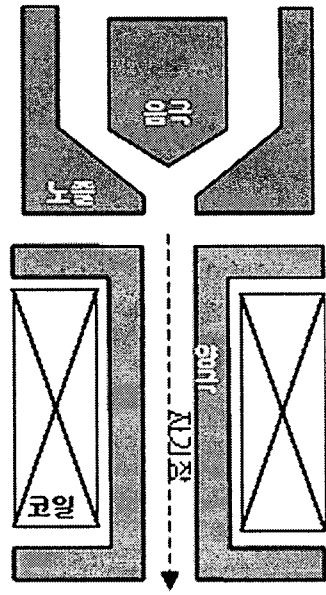
본 연구에서는 산업용 플라즈마 토치의 수명연장을 위한 방법으로, 양극에 축방향 자기장을 인가하여 아크의 거동을 활발하게 하는 방법을 제안하고, 전극 표면의 관찰과 아크전압을 측정하여 아크의 거동을 분석하고 전극의 수명 실험을 행하였다.

2. 축 방향 자기장에 따른 아크의 거동

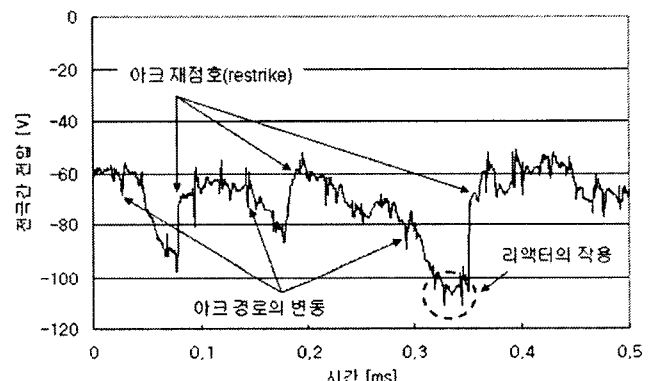
그림 1은 축 방향 자기장을 인가하기 위해서 제작된 플라즈마 토치의 전극형상을 나타낸다. 아크는 초기에 트리거에 의하여 음극과 노즐에서 발생하여 양극으로 전이한다. 음극점과 달리 양극점은 가스의 흐름, 전자기력 및 양극의 표면 상태에 따라서 원통형 전극의 내부 표면에서 활발하게 움직인다. 원통형 양극의 내부에 인가되는 자기장은 양극의 바깥쪽에 솔레노이드형으로 감긴 코일에 직류전류를 인가하여 발생시켰다.

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.

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 플라즈마의 소멸로 이어지지는 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



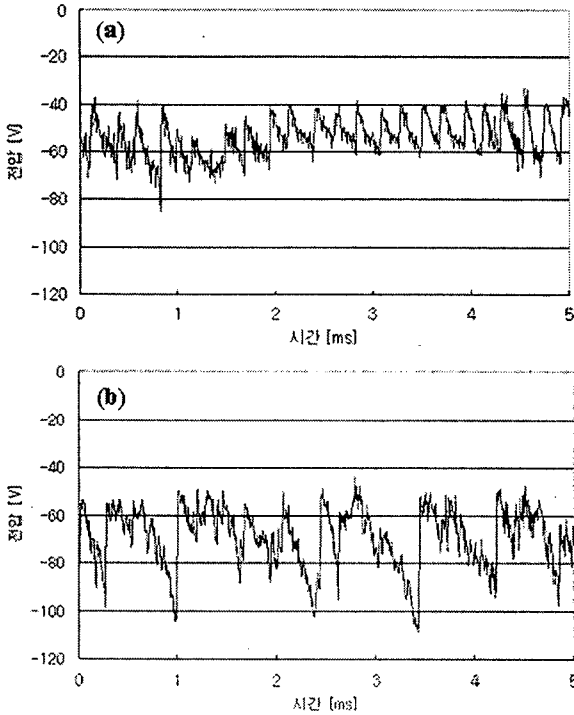
〈그림 1〉 축 방향 자기장을 인가하기 위해 제작된 플라즈마 토치의 전극구조



〈그림 2〉 전극 간 전압의 변동과 아크의 거동

그림 3은 축 방향 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. 또한 가지 주목할 만한 특징은 전압 리플의 주파수 변화이다. 자장 무인가의 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.



(a) 인가하지 않았을 때, (b) 자기장을 인가하였을 때

3. 전극 수명실험 및 표면 관찰

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

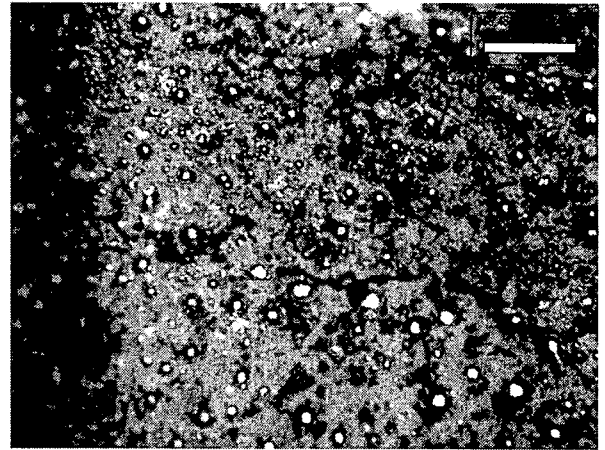
<표 1> 전극 수명 실험 조건

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

자기장을 인가한 상태에서의 플라즈마 토치는 연속하여 100시간 동안 이상 없이 동작하였다. 자기장을 인가하지 않았을 때와 비교하여 100배 이상 동작시간이 증가한 결과이다.

그림 4는 표 1의 조건으로 100시간 동작한 후 양극을 절개하여 내부 표면의 상태를 광학 현미경을 통하여 관찰한 사진을 나타낸 것이다. 전극의 표면에는 전극 표면의 일부분이 녹아서 생성된 것으로 보이는 돌기가 다수 표면을 뒤덮고 있었다. 돌기의 밀도는 음극에 가까울수록 더욱 높았으며 음극으로부터 30mm를 전후하여 돌기의 밀도가 급감하였다.

양극에 생성된 돌기 이외에도 표면에 다수의 균열이 관찰되었다. 아크의 양극점의 이동에 따른 온도차와 그에 따른 열 충격으로 인한 균열이 발생하고 있는 것으로 생각된다. 이와 같은 돌기와 균열이 양극의 마모를 가속시키는 원인으로 작용하고 있는 것으로 판단된다.



<그림 4> 양극 내부 표면의 광학현미경 관찰

4. 결 론

본 연구에서는 플라즈마 토치의 수명연장을 위하여 솔레노이드 코일을 이용한 축 방향 자기장을 인가하고 전극간 전압 측정을 통하여 아크의 거동을 분석비교 하였다. 자기장을 인가하지 않은 경우의 동작에 비하여 양극점의 이동범위가 증가하였고, 아크의 소멸과 재점화의 반복 주파수는 낮아졌다. 아크의 양극점에 의해서 전극의 표면이 용융되어 생성된 것으로 보이는 돌기와 온도차에 의한 열충격으로 발생한 것으로 판단되는 균열이 전극 양극 내부의 표면에서 다수 관찰되었다. 한편 수명 실험의 결과, 축 방향 자기장의 효과는 전극의 수명을 100배 이상 증가시키는 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

- [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)