

150kW급 플라즈마 토치의 전류 제어 및 Arc Initiation에 관한 연구

한철우*, 현동기*, 박상훈*, 황리호*, 이병호*, 나재정**, 문관호**
(주)비츠로테크*, 한국과학기술원**

A Study of a 150kW plasma torch for current control and arc initiation.

Chul-Woo Han*, Dong-Gi Hyun*, Sang-Hoon Park*, Lee-Ho Hwang*, Byong-Ho Rhee*,
Jae-Jeong Na**, Kwan-Ho Moon**
Vitrotech Co. Ltd*, KAIST**

Abstract - This paper deals with the power system development of an arc plasma torch for current control and arc initiation. For stable output of a plasma torch, there are ways of supplying gas suitably, a plasma torch initiation and control system which can control desired output. The design of plasma torch is form of modified Huels type which has narrow downstream. This paper we product suitable feeder of power system and we can control stably in considering many work conditions.

1. 서 론

플라즈마는 고온 상태에서 이온화된 입자 상태로, 전자와 양이온, 즉 전기를 띤 하전 입자들로 구성돼 있으며 전기적으로 중성인 하전기체의 물질 상태를 말한다. 본 논문에서 다루는 플라즈마 토치는 고온 플라즈마(Thermal plasma)로서 주로 아크 방전에 의해 발생시킨 전자, 이온, 중성입자(원자 및 분자)로 구성된 부분 이온화된 기체로, 국소열평형(Local Thermodynamic Equilibrium) 상태를 유지하여 구성입자가 모두 수천에서 수만 도에 이르는 같은 온도를 갖는 고속의 제트 불꽃 형태를 이루고 있다. 기존의 재래식 연소 과정을 통한 화학적 반응으로 발생시킨 열 유체에서는 얻을 수 없는 초고온, 대열용량, 고속, 다양한 활성입자를 갖는 고온 플라즈마 발생기로서의 토치는 고온 제어와 폭넓은 출력의 자유스러운 조정이 가능하고 빠른 열 및 물질 전달 능력을 갖고 있으며 다양한 기체들을 열 유체로 쉽게 전환 할 수 있어서, 한계에 다른 기존 열 유체 발생기술을 대체하여 신속한 반응과 단축된 가공 및 공정처리로 효율적이며 환경면에서 깨끗한 열원이나 반응로로 제공되어, 제조 및 소재와 환경산업의 생산기반에 핵심이 되는 열 유체 기기로서 사용되어 진다. 특히, 특정 가스를 Plasma화 한 경우 전리된 상태이므로 반응성이 우수하며, 초고온으로써 급속 반응이 가능하다는 장점 때문에 표면처리, 초미분체 제조, 특수화합물의 합성 등에 Plasma가 이용되고 있다.

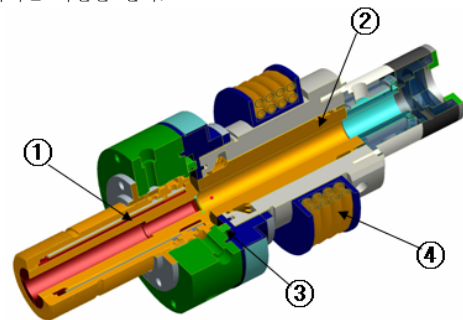
하지만 플라즈마를 이용한 공정개발은 타 공정에 비해 많은 전력이 소모되기 때문에 경제적인 운영을 위하여 고효율 토치개발과 절전형 전류공급 시스템 설계 등 다양한 측면들을 해결해야 한다. 현재 플라즈마 발생과 공정처리의 제어, 최적화, 재현성 등에 있어서 과학기술적 기초가 부족하여 기술개발이 분석적이기 보다 경험에 의존하는 경우가 많다. 또한 플라즈마 자체에 내재된 물리적 성질의 다변성과 공정변수의 복잡성 때문에 아크 플라즈마의 발생방법 및 열 유동 현상, 공정처리 대상물과의 열 및 물질전달과 화학반응 같은 상호작용에 대한 이해가 불완전하고 실험 데이터가 불충분한 실정이다.

플라즈마 토치의 성능분석 및 DATA 분석을 통해 효율 및 수명에 영향을 미치는 인자들을 찾아내고, 실험 및 연구를 통해 수명증대 기술 및 수명 평가기술 획득하여 산업용 플라즈마 코팅 및 용융장치, 고온의 삭막현상을 이용한 인조다이아몬드 생성장치, 신소재 개발 및 폐기물 처리 등에 국내기술을 통한 적용이 필요하기 때문에 플라즈마 토치에 대한 꾸준한 연구가 필요하다. 이에 저자는 150kW급 고효율 토치 개발과 이에 따르는 전원 공급 및 제어 장치 설계, 제작하여 실험을 진행하였다.

2. 본 론

2.1 150kW급 플라즈마 토치 성능 및 제한

그림 1은 150kW급 본 실험을 위해 제작된 비 이송식 플라즈마 토치이다. 토치는 크게 다음과 같이 양극(Anode), 음극(Cathode), 작동가스(Air)공급관, 자기코일(Spin coin)로 구성된다. 양극은 고온의 플라즈마 상태로 변환 기체가 분출되는 출구쪽에 연결되고, 음극은 열전자가 방출되는 출구의 반대편에 연결된다. 작동가스(air) 공급관은 오리피스를 통하여 기체를 접선방향으로 주입하고 두 전극 사이에 와류를 형성시켜 원심력 차이에 의해 상대적으로 차가운 기체는 벽쪽으로, 뜨거운 기체는 아크축으로 몰려 열적으로 잘 보호된 상태에서 아크 방전이 축을 따라 수축된 형태로 안정화 시킨다. 자기코일(Spin coin)은 대전류의 흐름인 아크를 그 주변에 자기장을 형성하여 Lorentz 힘에 의해 플라즈마 유체의 항력과 균형을 이루며 축 안쪽으로 향하는 힘에 의해 수축된 형태로 아크의 자기안정화(Magnetic Stabilization)를 유도할 뿐만 아니라, 아크점이 전극 표면의 한 점에 고정되지 않고 회전이 일어나서 전극 물질의 침식이 완화되어 전극 수명을 연장시키는 역할을 한다.



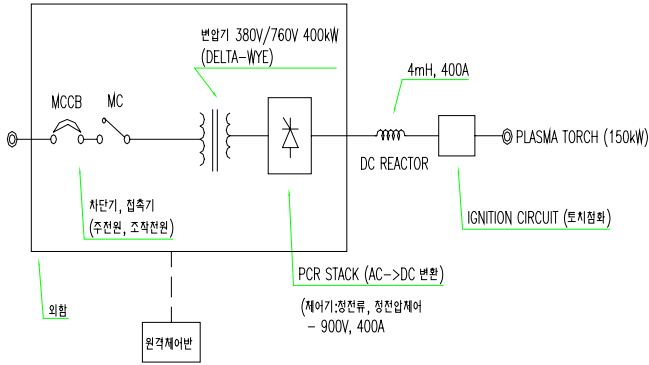
NO.	NAME OF PARTS	NO.	NAME OF PARTS
1	Anode Ass'y	3	Working Air Supply Housing Ass'y
2	Cathode Ass'y	4	Spin Coil Ass'y

〈그림 1〉 플라즈마 토치의 구성도

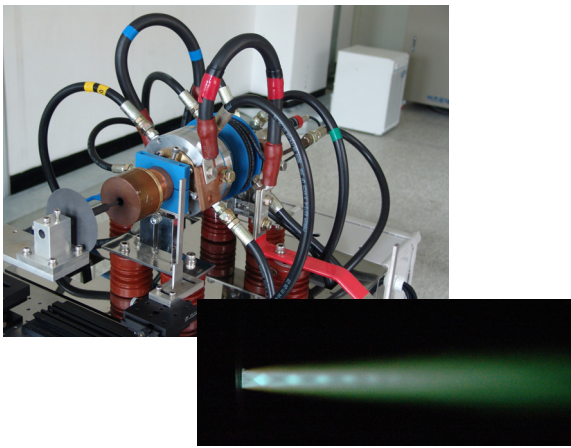
2.2 150kW급 플라즈마 토치 전원 공급장치 .

플라즈마 토치의 전원공급장치는 그림 2와 같이 설계되었다. 전원공급장치는 수전반, 전압 조정 변압기, 제어정류기, 직류 리액터 및 Initiation 로 구성되어진다. 3상 380V를 수전반 전압 조정 변압기를 거쳐 760V로 승압하여 제어정류기인 SCR(Silicon Controlled Rectifier)로 입력된다. 제어정류기는 교류전압을 사용자가 원하는 직류 전압으로 바꿀 수 있으며 또한 정전류 제어 방식을 채택하여 사용자가 실험중에 입의 출력 전류를 조정하여 플라즈마 토치의 상태를 바꿀 수 있도록 하였으며 제어기기는 DSP TMS320C31의 연산기능을 이용하여 정확한 전류 제어를 할 수 있도록 하였다. 직류리액터는 플라즈마 토치 초기 점화시 발생하는 과도전류와 운전 중에 발생하는 고조파를 방지할 수 있도록 설계, 제작 되어 토치의 안정적인 운영을 가능하게 하여주는 부분으로 직류에서는 리액터에 의한 손실이 내부권선저항에 의한 줄열만이 작용하므로 손실측면에서도 이로운 점이 있어 토치의 효율 향상에도 많은 도움을 줄 수 있다. Initiation는 토치 양단간에 초기에 인가되어 있는 전원을 고압, 고주파의 펄스로 인가하여 토치를 통전시켜 아크 전류가 발생할 수 있게 만들어 주는 장치이다. 고주파 전압은 30kV, 1MHz로 토치 양단에 인가할 수 있도록 설계 되었으며, Initiation 내부에 방전궤를 조정함으로써 출력 점화 전압을 조절할 수 있도록 하였다. 이는 토치의 양극과 음극과의 초기 거리에 따라서 고주파 전압을 조정함으로써 토치 설계에 따라서 출력 전압을 조절할 필요성이 있기 때문이다. Initiation

동작시에 발생할 수 있는 서지문제를 방지할 수 있도록 Initiation 출력단에 공심 변압기를 설치하여 Initiation 1차단의 보호를 도모하였으며 또한 Initiation 내부에는 시정수 설계에 의한 필터 회로를 부착하여 정류기의 보호가 가능하도록 하였다.

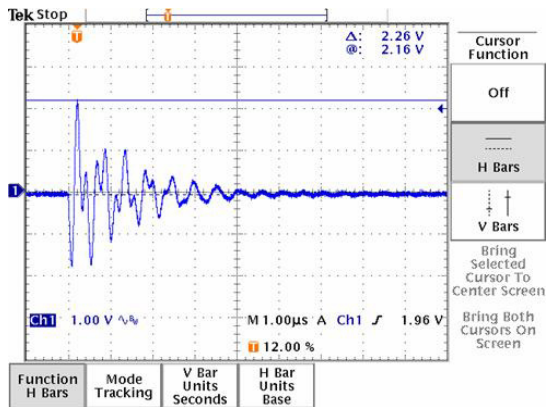


〈그림 2〉 플라즈마 토치 전원공급장치 계통도



〈그림 3〉 운전중인 150kW급 플라즈마 토치

그림 3은 본 논문에서 사용된 플라즈마 토치 시스템 및 운전중인 플라즈마 토치 상태를 보여주며 실험은 대기 상태에서 진행 되었다.



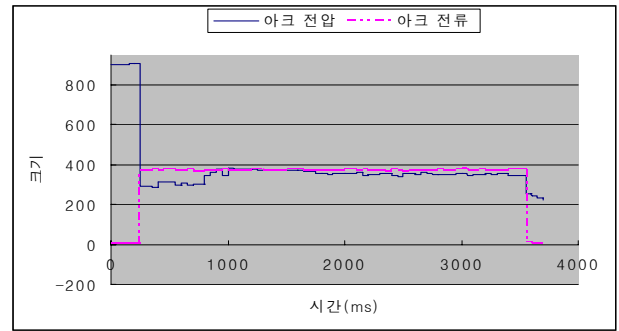
〈그림 4〉 Initiation 출력 전압

그림 4는 무부하 상태에서 Arc Initiation 파형을 측정된 것이다. 고전압 프로브는 15000:1을 사용하였다. Initiation전압은 33kV정도이며, 주파수는 1MHz이상임을 확인할 수 있다. Initiation내부에 콘덴서가 있어 에너지 출력 시 파형이 oscillation이 발생함을 알 수 있다. 하지만 1MHz 이상의 고주파로 발생함으로써 토치의 운전에는 그 영향이 미비하다. 토치의 점화는 초기 가장 큰 전압이 인가 되었을때 점화가 이루어진다.

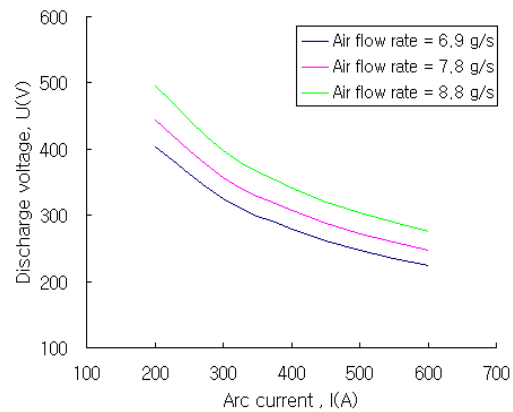
그림 5는 플라즈마 토치의 아크 전압과 전류를 계속한 파형이다. 초기 운전시에는 무부하 전압 900V로 세팅되고 Initiation후에는 플라즈마가 발생되면서 전압과 전류가 응답한다. 초기에는 아크 전류를 370A로 세팅하고 플라즈마 작동기체는 MFC(Mass Flow Control)를 통해서 7g/s에서 운전하였으며, 유량을 8g/s로 증가하였을때 아크 전압이 증가함을

보여준다. 정전류 제어(Close loop)방식을 채택하여 유량의 증가에도 아크 전류는 일정하게 제어됨을 보여준다.

그림 6은 플라즈마 작동기체에 따른 전류-전압의 관계를 보여준다. 가장 큰 특징은 전압과 전류가 반비례적인 관계를 갖는다. 다시 말하자면 본 논문에서의 플라즈마 상태에서는 옴의 공식이 성립하지 않으며 반비례적인 옴의 공식을 갖는다. 이는 플라즈마



〈그림 5〉 아크 전압, 전류



〈그림 6〉 작동 기체에 따른 전류-전압의 관계

토치의 전류제어에 어려움을 갖지만 본 시스템에서는 thyristor 제어 방법을 사용하여 완벽한 제어를 할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 플라즈마 토치의 전류 제어 및 Arc Initiation에 관하여 다루었다. 플라즈마 토치의 운전을 위한 전류 제어와 Arc Initiation시의 문제점을 해결 할 수 있었다. 플라즈마를 이용한 무궁무진한 산업체의 적용이 기대되며, 플라즈마를 이용한 산업체의 적용시의 장점은 제어가 용이하고, 높은 고온 효율성과 청정에너지 이용이라는 점에서 다른 방법의 처리법보다 우수하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 사항을 고려하여 150kW급 플라즈마 토치와 전원장치, 주변 장치를 설계 및 제작하여 실험을 하였다. 향후 플라즈마 토치의 수명 평가 연구를 위하여 꾸준한 연구를 수행 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. Benocci, G. Bonizzoni, and E. Sindoni, editors, Thermal Plasmas for Hazardous Waste Treatment World Scientific, London, 1996
- [2] Plasma Technology Working Group, Plasma Technology for a better Environment, (U. I. E.), 1992.
- [3] J. S. Chang, H. A. Lawess and T. Yamamoto, IEEE Trans. On Plasma Sci., Vol. 19, pp. 1152-1160, 1991.
- [4] 나재정, 문관호 외 "Operational Envelope of a 150kW Huels Type Arc-jet", 한국연소학회지, pp. 187-195, 2006
- [5] 홍상희, 주원태, 김동욱, 류지명, 허민, "산업용열플라즈마 발생기의 최적 설계 및 제작", 서울대학교 열플라즈마기술 연구실 2차년도 연구보고서 2001.
- [6] 한철우, 김준성 외 "플라즈마를 이용한 액상 폐기물 처리 전 원장치 개발 및 분해 기술 개발", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 1900-1902, 2004