

공동형 DC 플라즈마 토치 구동을 위한 전력 변환 시스템 실증

임재욱, 김주영, 장영훈
다원시스

Demonstration of Power Conversion System for Dual-mode Plasma Torch

JAEUK LIM, JUYOUNG KIM, YONGHUN JANG
DAWONSYS

ABSTRACT

플라즈마 토치는 전기를 이용해 수천도 이상의 아크 불꽃을 발생시키는 시스템으로 화학 원소 분석, 강관 절단 등 다양한 산업에 적용되고 있다. 플라즈마 토치는 소재를 직접 가열하는 이송 구조와 간접 가열하는 비이송 구조로 구분되며 각각의 장단점이 명확한 특징을 가지고 있다. 본 논문에서는 이송/비이송 모두 운전이 가능한 공동형 플라즈마 토치의 제어 위한 전력 변환 기술 및 시스템에 대해 기술한다.

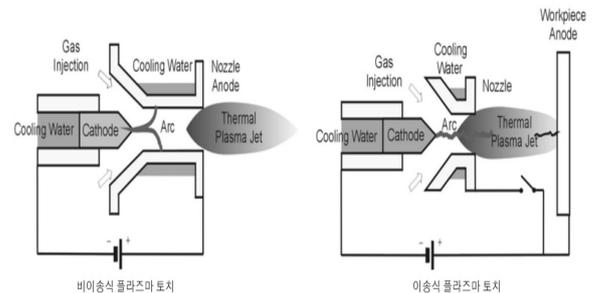


그림 1 비이송식, 이송식 플라즈마 토치 구성

1. 서론

플라즈마 토치는 전기 아크를 이용하여 가스를 해리시키고 전력 에너지를 가스로 전달하여 초고온의 화염을 발생시키는 장치이다. 플라즈마 토치는 비이송식(Non-Transferred type) 플라즈마 토치와 이송식(Transferred type) 플라즈마 토치로 분류된다. 그림 1은 각 플라즈마 토치의 구성을 나타낸다. 비이송식 토치는 아크는 토치 내부에서만 발생하고 아크 불꽃을 통해 피처리물을 간접 가열한다. 토치 내부에서 아크를 발생시키기 때문에 용융물의 조건과 무관하게 안정적으로 동작시킬 수 있으나, 가열 효율이 낮고 전극의 소모가 빠른 단점을 가진다. 이송식 플라즈마 토치는 처리물에 아크 경로를 활성화하여 아크를 통한 직접 가열을 수행한다. 직접 가열을 통해 높은 온도를 제공할 수 있지만, 아크 도통을 위해서는 용융 대상이 도체로 구성되어야 하는 단점을 가진다. 두 토치 각각의 장단점이 명확하기에, 이송 모드와 비이송 모두 운전 가능한 공동형 플라즈마 토치가 개발되어 산업 현장에서 적용중이다. 본 논문에서는 공동형 플라즈마 토치를 구동하기 위한 전력 변환 장치의 구성 및 제어 전략에 대해 기술하였다.

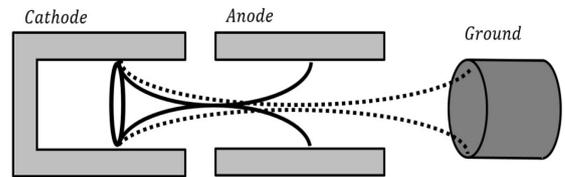


그림 2 공동형 플라즈마 토치 구성

2.1 플라즈마 제어용 전력변환장치 구성

그림3은 공동형 플라즈마 토치를 제어하기 위한 전력 변환 장치의 구성을 나타낸다. 전원 장치는 2개의 IGBT를 가지는 구조로 구성되며, IGBT 1은 Buck Converter로 구성되어 스위칭을 통해 전체 아크 전류 제어를 담당한다. IGBT 2는 비이송 경로를 연결/차단할 수 있도록 Anode 전극과 연결한다. IGBT 2의 ON/OFF 제어를 통해 비이송 모드와 이송 모드의 모드 변환을 수행한다.

2. 플라즈마 토치 시스템

그림2는 비이송 / 이송 운전이 모두 가능한 공동형 플라즈마 토치 구성을 나타낸다. 비이송 모드로 동작시, 아크는 Cathode-Anode 전극을 통해 유지되며 비교적 짧은 아크 거리와 에너지를 가진다. 이송 모드로 동작시, 아크는 Cathode-Ground 경로로 발생하며 긴 경로와 직접 가열을 통해 높은 에너지를 대상체에 전달할 수 있다.

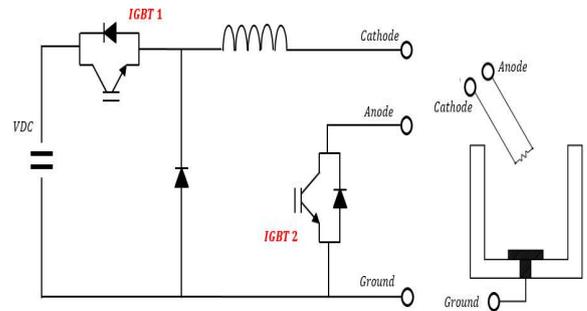


그림 3 공동형 플라즈마 토치 전력 변환 시스템

2.2 공동형 플라즈마 토치 운전 전략

공동형 플라즈마 토치 기동은 점화, 비이송, 혼합, 이송 총 4개의 모드로 운전된다. 운전 시작시 IGBT 스위칭을 통해 일정 전압을 토치 양단에 인가한 상태로 두 전극 사이의 절연을 파괴하여 아크를 발생시키고 전류 제어를 통해 아크를 유지한다. 공동형 토치의 초기 아크 운전은 아크 길이가 짧은 비이송 모드로 운전되며 이송 모드로 전환하기 위해서는 아크가 용융물을 직접 가열할 수 있도록 전류와 가스 유량을 조절하여 이송 조건을 만족시켜야 한다. 이송 모드로 아크가 잘 유지되는 조건이 만족되어 이송으로 잘 운전된다면 비이송 경로를 차단하여 완전 이송 모드로 아크를 운전한다.

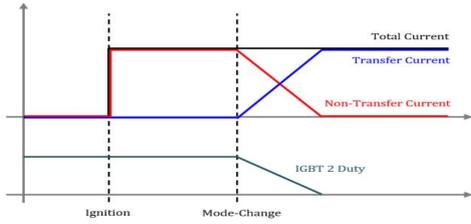


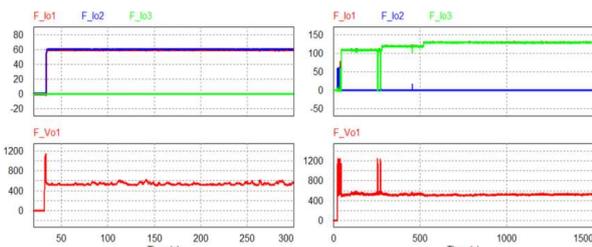
그림 4 공동형 플라즈마 토치 운전 시퀀스

2.3 공동형 플라즈마 토치 실증

다윈시스는 100kW급 소용량 공동형 플라즈마 토치 제어용 전력 변환 장치를 개발 및 시험하였다. 그림 5는 개발 완료된 소용량 전원장치 및 플라즈마 토치 시험 사진이다. 비이송 모드, 이송 모드 이상없이 운전 가능하며, 최대 출력 600V, 250A급 전력 변환 장치를 개발하여 실증하였다. 실제 운전시 비이송 모드인 경우 전방전극의 마모를 고려하여 30kW 출력으로 진행하였으며, 이송모드 운전은 60kW로 검증하였다. 전력 변환 장치 제어기 내부 데이터는 PC와 이더넷 통신을 통해 100ms 단위로 저장하였다. 그림5~7은 플라즈마 토치 운전에 따른 제어 데이터와 파형을 나타낸다. 그림 6은 비이송 운전시 스코프 파형으로, 전류 명령치인 60A를 이상 없이 아크를 통해 제어하고 있으며 이송 모드 없이 전체 전류가 비이송을 통해 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 이송 운전 파형으로, 전류 명령에 따른 150A의 아크 전류가 이송 경로로 운전되는 것을 확인할 수 있다.



그림 5 플라즈마 토치 제어용 전력 변환 장치 개발 및 시험



비이송 모드 운전 데이터 이송 모드 운전 데이터
그림 5 전력 변환 장치 제어기 데이터

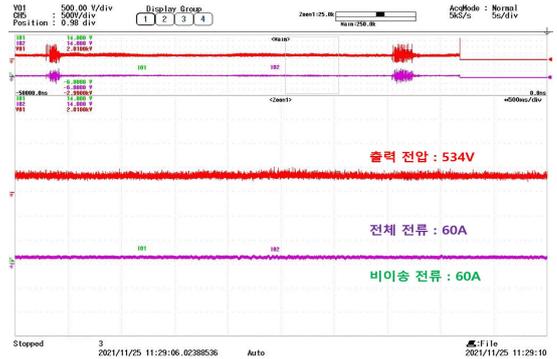


그림 6 비이송 운전 파형

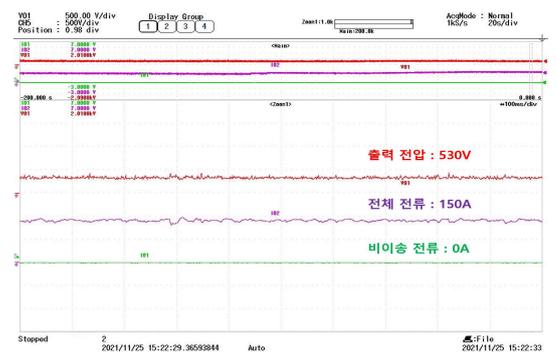


그림 7 이송 운전 파형



비이송 시험 이송 시험
그림 8 비이송 / 이송 운전 사진

3. 결론

본 논문에서는 100kW급 소용량 공동형 플라즈마 토치 시스템을 위한 전력 변환장치 실증 및 시험 결과에 대해 연구하였다. 하나의 플라즈마 토치 전력 변환 시스템으로 비이송 모드와 이송 모드 모두 이상 없이 동작 가능한 것을 확인하였으며, 실제 시스템을 구성하여 검증하였다. 다윈시스는 kW급 소용량부터 MW급 플라즈마 토치 구동용 전원 장치의 납품 실적 및 실증 경험을 가지고 있으며, 초고온, 대출력 열 플라즈마 기술을 활용한 다양한 산업 현장에 적용하고자 노력 하고 있다.

참고 문헌

- [1] S.L. Camacho, "Industrial-worthy plasma torches : State of the art", Pure Appl. Chem. Vol. 60. No. 5. pp. 619-632, 1988
- [2] T. H. Kim, Y. H. Lee, M. Kim, J. H. Oh, and S. Choi, Thermal flow characteristic of the triple plasma torch system for nanoparticles synthesis, IEEE Trans. Plasma Sci., 47, 3366-3373 (2019).