

열 플라즈마 응용 AC 전기 아크로 구동 전력 변환 시스템 실증

임재욱, 강성진, 이재윤, 장영훈
다원시스

Demonstration of power conversion system by AC electric arc furnace for thermal plasma application

JAEUK LIM, SUNGJIN KANG, JAEYOON LEE, YOUNGHOON JANG
DAWONSYS

ABSTRACT

열 플라즈마는 수천 도에서 만 도 이상에 이르는 높은 온도를 쉽게 도달할 수 있는 특징을 가지고 있어 나노물질의 합성과 폐기물 처리와 같은 다양한 산업 공정에서 적용되고 있다. 다원시스는 열 플라즈마 공정 부하의 아크 제어를 위한 대용량 및 소용량 전력 변환장치를 국내 시장에 공급하고 있다. 본 논문에서는 다원시스에서 최근 실증 완료한 4MW급 대용량 AC 아크 제어용 전력 변환 장치 시스템 구성 및 개발 현황에 대하여 소개하고자 한다.

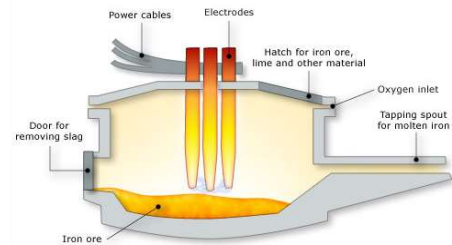


그림 1 AC 전기 아크로 구성

1. 서론

열 플라즈마(Thermal plasma)는 주로 아크 방전에 의해 발생시킨 전자, 이온, 중성입자(원자 및 분자)로 구성된 부분 이온화된 기체로 전기 방전을 통해 3,000K 이상의 온도를 가지는 불꽃 형태를 이룬다. 일반 연소로 발생시키는 화염에 비해 단위 시간, 체적당 고온, 고열량, 고속 에너지를 제공할 수 있는 장점을 가져 여러 산업 분야에서 첨단 기술로 각광을 받고 있다. 특히 현재 열 플라즈마 기술은 표면 가공, 코팅 등에 사용되는 공정 기술 부분과 생활 및 방사성 폐기물을 열분해 또는 유리화시켜 유해 물질 파괴와 부피 감량을 통해 공해 문제를 해결하는 폐기물 처리 분야로 연구 및 개발이 진행되고 있다.

전기 아크로에 적용되는 열 플라즈마 기술은 그래파이트 전극에서 아크 발생 및 제어를 진행하여 플라즈마 형성을 위한 보조의 가스(질소, 아르곤 등) 없이 대기압 조건에서도 쉽게 아크 형성 및 제어가 가능한 특징을 가지고 있다. 전기 아크로는 3상 AC방식과 DC 방식으로 구성된다. AC 방식은 전극 부하를 통해 아크를 발생시키도록 설계되어 어떤 물질이라도 처리할 수 있는 장점을 가진다. 다원시스는 4MW급 AC아크 제어용 전력 변환 장치를 개발하여 산업용 가공 공정에 적용하였다. 본 논문에서는 대용량 3상 아크 플라즈마 제어를 위한 전력 변환 시스템 구성에 대해 설명하고 실제 실증 데이터 및 운전 방안에 대하여 기술하였다.

2. 대용량 전기 아크 제어용 전력 변환 장치

2.1 전력 변환 장치 구성

그림 2는 대용량 전력 변환 장치의 시스템 구성을 나타낸다. 전력 변환 장치는 1MW급 Inverter 4병렬로 구성하였다.

표 1 전기 아크로 특성 비교

항 목	AC 방식	DC 방식
폐기물 특징	비전도성, 전도성 물질	전도성 물질
전극 소모량	2~3kg/철 1톤 용융	1~1.5kg/철 1톤 용융
건설 및 유지보수비	낮음	높음

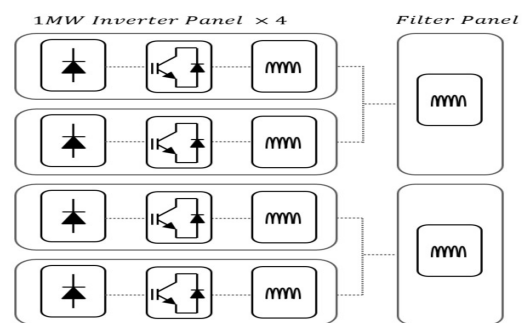


그림 2 전력 변환 장치 구성

각 Inverter는 DC Link 전압을 제공하기 위한 Diode Rectifier와 3상 IGBT Inverter, 출력 Filter로 구성된다. 각 소자들은 1MW 출력이 가능하도록 설계되었으며, 2개의 Inverter를 병렬로 연결하여 아크 유지용 Filter Panel에 각각 연결하였다. 전력 변환 장치는 SCADA와 통신하여 운전 명령 및 상태 데이터를 주고받도록 인터페이스 라인을 구성하였다.

Diode 정류기는 입력단의 고조파 저감과 높은 역률을 가지도록 12Pulse로 구성하였으며, 아크 부하 사고 발생시 계통과의 절연을 위해 입력단에 변압기를 구성하여 계통 전압과 절연

및 연결하였다. IGBT Inverter의 병렬 운전을 위해 각 Inverter의 게이트 신호들은 광 신호를 통해 연결 및 제어를 수행한다.

2.2 아크 전류 제어 기법

전기 아크로는 보조의 가스 없이 대기압 조건에서 아크를 발생 및 제어해야 한다. 따라서 아크를 발생시키기 위해서는 부하의 절연을 파괴할 수 있도록 운전 시퀀스를 구성해야 한다.

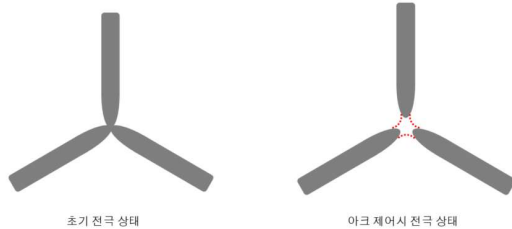


그림 3 AC 전기 아크 운전 시퀀스

그림 3은 아크 전류 제어를 위한 일렉트-로드의 운전 상태를 나타낸다. 초기 기동시 3상 부하 전극을 접촉하여 단락상태로 전류 제어를 진행한다. 전류 제어를 통해 대전류를 전극에 흐르는 조건을 만족시키면, 많은 전자의 운동 에너지로 인해 각 전극 사이에 작은 아크들이 발생한다. 이 조건에서 각 전극들을 강제로 이격시켜 물리적인 연결을 차단시키면 리액터의 관성으로 전류는 아크를 발생시키면서 흐르게 되며 3상 AC 아크를 운전 및 제어할 수 있는 상태가 된다.

2.3 대용량 전기 아크 제어용 전력 변환 장치 실증

다원시스는 4MW급 AC 전기 아크를 위한 전력 변환장치를 개발 및 실증하였다. 전원장치는 1MW급 인버터 4EA를 병렬로 구성하였으며, 아크 유지를 위한 리액터, 통합 제어부로 구성된다. 그림 5는 아크 운전시 출력 3상 전류와 출력 전압 파형을 나타낸다. 3상 AC 전류가 정상적으로 출력 되는 것을 확인할 수 있으며, 아크 부하의 특성상 큰 부하 변동으로 전류의 순시적인 변동이 있다. 그림 6은 TCP/IP 통신을 사용하여 100ms단위로 PC를 통해 DSP 내부 제어 변수를 확인 한 결과이다. 3상 아크 유지를 위한 전류, 전압 출력이 정상적으로 동작하고 있다. 그림 7은 실제 아크 운전시 전극봉 상태 및 아크 상태를 확인할 수 있는 카메라 사진이다. 초기 운전시 각 전극간의 짧은 거리를 이용하여 아크를 발생시키고 아크 유지시 전극봉간의 거리를 벌려 높은 열 플라스마 에너지를 발생시켜 공정에 적용하였다..

표 2 아크 제어용 전력 변환 장치 SPEC

입력전압	출력전력	출력전압	출력전류
22.9kV	4MW	480V	4800A



그림 4 전력 변환 장치 사진

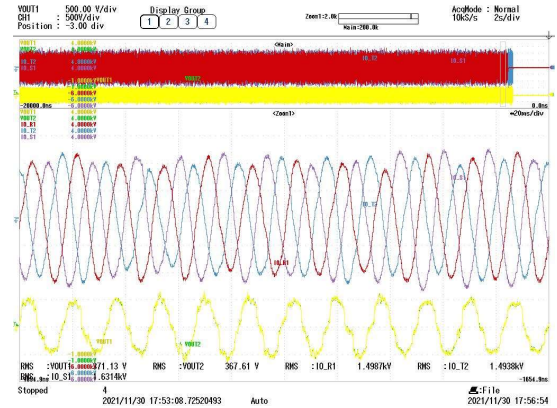


그림 5 전력 변환 장치 운전 파형

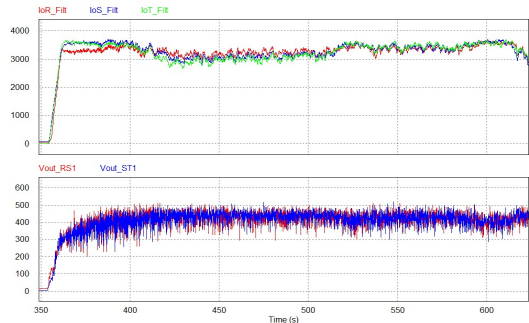


그림 6 전력 변환 장치 운전 제어 데이터

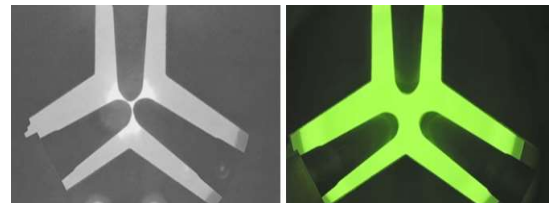


그림 7 아크 운전시 전극 봉

3. 결 론

본 논문에서는 열 플라스마 응용에 있어 핵심 기술 중 하나인 3상 AC 아크 플라스마 제어용 전원장치의 구성과 운전 방안, 실증 현황에 대하여 기술 하였다. 산업 폐기물 소각 및 소재 가공을 위한 열 플라스마 기술 응용을 위한 전력 전자 기술에 대한 산업 현장의 요구 및 연구가 활발히 진행되고 있다. 다원시스는 kW급 소용량부터 MW급 대용량에 적용 가능한 AC 아크 제어용 전력 변환 장치 개발 경험을 가지고 있으며, 다양한 산업용 특수 전원장치 개발에 주력하고 있다. 또한 열 플라스마 기술을 통한 초고온, 대출력, 초고속 아크를 이용한 산업 공정 적용 및 연구를 위하여 전력전자 전문 업체와 대학, 기업, 연구소간 긴밀한 협력 체계가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] P. Faushais and A. Vardelle, Thermal Plasmas, IEEE Trans. Plasma Sci., 25, 1258-1280 (1997).
- [2] S. Choi, D. W. Park, and T. Watanabe, Thermal plasma decomposition of fluorinated greenhouse gases, Nuclear Eng. Technol., 44, 21-32 (2012).