

400kW 개량형 고온플라즈마 발생장치 성능평가연구

박상훈* · 이기선* · 이승진* · 황리호* · 이병호* · 나재정** · 이정민**

Performance Test of 400kW Enhanced Huels Type Plasma Generator

Sanghun Park* · Kiseon Lee* · Suengjin Lee* · Leeho Hwang* ·
Byongho Rhee* · Jaejeong Na** · Jungmin Lee**

ABSTRACT

An Enhanced Huels Type Plasma Torch that generates over 5000°C plasma arc flow is the core equipment of arc-jet wind tunnel. It is applied to the high-tech areas such as a new materials development and eco-friendly industry. Although the Enhanced Huels Type Plasma Torch produce uniform flow of high purity, its complicated structure and operating condition makes the commercialization of it to be difficult. The 400kW arc-jet generator using the enhanced Huels type plasma torch was tested. The result of this study showed that the torch was operated in the range of 280~320 A and 250~1350 V.

초 록

5000도 이상의 고열류 유동을 발생시키는 개량형 고온플라즈마 토치는 신소재, 환경 및 에너지 사업 등, 첨단 기술의 실험을 위한 아크젯 풍동의 핵심장비이다. 개량형 고온플라즈마 토치는 내부 아크의 분기현상이 없는, 균일한 고순도의 유동을 발생할 수 있지만 까다로운 구조 및 작동조건 때문에 상용화가 어렵다. 본 연구에서는 개량형 고온플라즈마 토치를 이용한 플라즈마 발생 장치의 성능 평가 실험을 수행하였다. 400kW급 플라즈마 발생 장치의 성능평가 결과, 전류 280 ~320 A 및 전압 250 ~ 1350 V 범위에서의 설계 성능을 확인하였다.

Key Words: Plasma(플라즈마), Enhanced Huels Type, Constrictor(수축관), Electric Power Supply (전력 공급)

1. 서 론

* (주) 비즈로테크

** 국방과학연구소

연락처, E-mail: psh2@vitzrotech.com

플라즈마 토치를 이용한 아크젯 풍동은 이미 미국, 독일, 일본 등의 선진국에서 개발되어 신

소재 개발, 환경 사업 및 에너지 분야에 이르기까지, 여러 분야의 첨단 사업에 활용되어 왔다.

이 아크젯 풍동의 핵심 장비는 개량형 고온플라즈마 토치이다. 기존의 플라즈마 토치와는 달리, 여러 개의 디스크들로 구성된 개량형 플라즈마 토치는 노즐 출구에서 5000도 이상의 고열류 유동을 얻을 수 있으며, 아크의 유동이 균일하고, 전극의 오염이 적은 장점이 있다.

현재 상용으로 사용되고 있는 아크 플라즈마 장치는 홀스 형식의 공동형 혹은 ICP(Induction coupled plasma) 토치이다. 홀스 아크플라즈마 장치는 구조적으로 간단하여 유지가 용이하다. 그러나 비엔탈피가 작고 유동의 흐름 중에 아크 요동이 발생하며, 전극 용삭에 의한 유동오염 및 효율이 균일하지 못한 단점이 있다. ICP 형식은 유동의 순도와 고온 생성 면에서 유리하나 압력과 유동의 균질성면에서 단점이 있고, 대량 생산에 적용하는데 한계가 있다.

홀스 형식의 공동형 플라즈마 토치는 내부의 기체의 흐름과 자기장, 전자기의 자체작용, 상호작용에 의해 아크 분기(Shunt)가 일어난다. 이것이 유동의 요동을 일으키고, 플라즈마 흐름의 파라미터에 많은 영향을 미친다. 토치 내부에 유입되는 기체의 양이 일정할 때, 분기 현상에 의해 전류가 증가되면 전압이 감소하여 아크의 파워가 증가되는 것을 막아 전압-전류가 반비례 하는 특성을 가진다.[1]

개량형 고온플라즈마 토치는 다른 플라즈마 토치에 비해, 신소재 개발과 고순도의 유동조건을 구사할 수 있는 우수한 장점에도 불구하고, 까다로운 구조 및 작동 조건 때문에 국내에서 이를 상용화하기까지는 더욱 많은 연구가 필요한 실정이다.

이것은 기술적으로도 구현이 어려워 개량형 고온 플라즈마 토치와 유사한 특징을 갖는 시험장치로는 미국의 NASA Ames의 장치가 거의 유일하며, 독일의 DLR[2], 일본의 ISAS에서 보유하고 있는 장치는 미국에서 제작된 토치를 단순 설치하여 사용하고 있다.

본 연구의 목적은 연구용으로 설계된 400kW 급의 개량형 고온 플라즈마 토치 및 플라즈마

발생과 관련한 설비를 구성하고, 이들의 점화특성 및 성능을 확인하는 데 있다.

2. 본 론

2.1 개량형 고온 플라즈마 발생 장치의 구성

개량형 고온 플라즈마 발생 장치는 개량형 고온 플라즈마 토치, 전원공급 장치, 플라즈마 시험부, 냉각수 공급설비, 가스공급설비, 제어/계측/진단 설비, 진공배기설비(디퓨저, 열교환기, 진공펌프 시스템) 로 구성된다. [3]

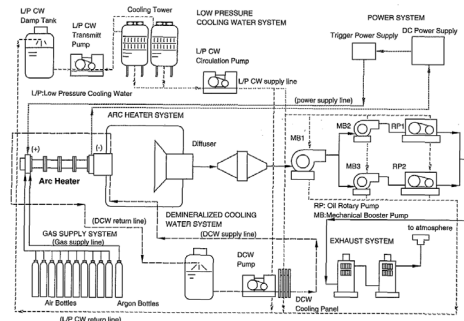


Fig. 1 ISAS Arc Windtunnel Facility

2.2 개량형 고온 플라즈마 토치

개량형 고온 플라즈마 토치는 Fig. 2와 같이 양전극부(anode), 수축관(constrictor), 음전극부(cathode) 그리고 노즐로 구성되어 있다.

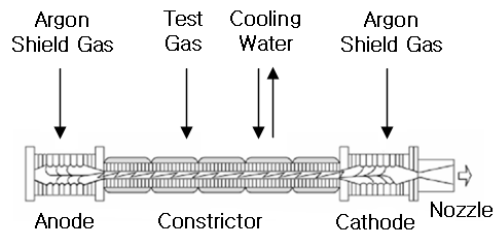


Fig. 2 A schematic drawing of a arc heater

플라즈마 토치 내부에서는 양전극부와 음전극부 사이의 높은 전압차에 의해 아크가 발생되며, 아크는 수축관 벽면을 통해 유입된 작동기체를

직접 가열시켜 국부적으로 수축관 중심의 온도를 10,000 °K 이상으로 상승시킨다. 중심의 높은 열에너지는 복사와 난류의 상호작용으로 인해 주위 기체에 전달되며, 일부 에너지는 토치의 벽면에 도달되어 냉각에 의해 흡수된다. 플라즈마 토치 내부 기체는 높은 열에너지로 인해 격렬한 화학 반응이 일어나, 이온과 자유전자, 중성원자가 서로 섞여있는 플라즈마가 된다.

개량형 고온 플라즈마 토치의 내부에 생성되는 아크 기둥은 두 전극 사이의 고정된 간격 하에서만 작동하도록 한정되어 있어 아크 길이가 전극사이의 거리에 의해 고정되어 운용영역의 한계를 넓힐 수 있다. 반경방향으로의 수축관 내부의 구속(confining) 효과는 전압구배와 반경방향으로의 온도 구배 증가를 가져와 높은 열량을 갖는 유동을 얻을 수 있다. 수축관 디스크는 아크 기둥의 고전압 구배로 인해 발생할 수 있는 벽면으로의 아크 분기 현상을 방지하도록 설계한다. 또한 전극과 전극 사이는 절연체와 냉각이 되는 원통형 금속 부품들로 구성된 여러 개의 디스크로 분리되어 있기 때문에 아크의 분기현상이 일어나지 않아 전류, 전압이 일정하고 아크 유동이 균일하다. 그리고 아크 길이를 기존의 홀스 형에 비하여 크게 늘려 더욱 높은 전압 및 전력을 얻을 수 있다.

개량형 고온 플라즈마 토치의 전극부는 플라즈마 유동의 오염을 낮추기 위해 아크 접점(arc foot)을 자력에 의해 전극부 표면을 따라 회전하도록 설계하였다. 아크는 자력과 아크 접점에서 전류 흐름에 수직인 방향으로 회전하게 된다. 또한 전극부에 아르곤 가스를 접선방향으로 주입하여 전극 손실을 줄인다. Fig.3에 회전하고 있는 아크를 양전극부의 관측창을 통해 고속으로 촬영한 영상을 보여주고 있다.

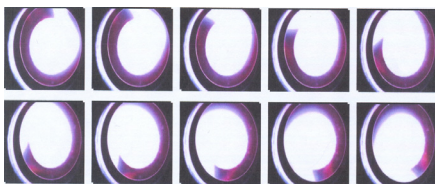


Fig. 3 Enhanced Huels arc rotation

2.3 전원 공급 장치

전원 공급 장치는 3상 AC 22.9kV를 수전하여, 사용하고자하는 전압으로 조정하는 강압용 변압기 및 입력 교류전원을 직류전원으로 변환시키는 정류부, 전류 제어를 담당하는 Chopper부, 정류된 전원을 안정되게 토치로 공급시키기 위한 출력 Reactor, 개량형 고온 플라즈마 토치의 점화를 위한 점화부로 구성된다. Fig.4에 실제 전원의 구성을 도식적으로 나타내었다.

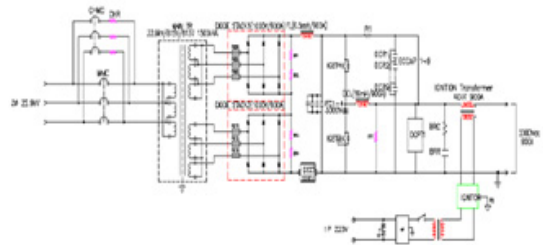


Fig. 4 Power Supply system P&ID

2.4 개량형 고온 플라즈마 토치 제작 및 설치

Figure 5는 본 연구에서 사용된 개량형 고온 플라즈마 토치의 제작사진이다. 보는 바와 같이 8개의 디스크가 1개의 모듈을 구성하고 있으며, 본 개량형 고온 플라즈마 토치는 전극 외에 총 3개의 모듈로 구성된다.

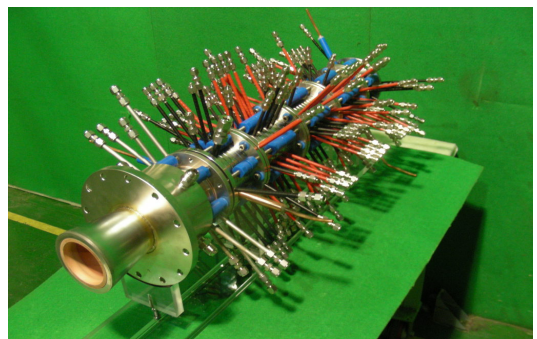


Fig. 5 400kW Enhanced Huels plasma torch

Figure 6은 본 Fig.5의 개량형 고온 플라즈마 토치를 진공 챔버에 결합한 사진이며, 보는 바와 같이 각 전극 및 디스크에 냉각수, 공기, 아르곤 공급라인 등이 매우 복잡하게 연결되어 있다.

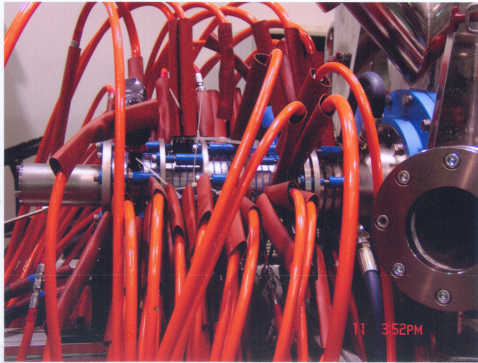


Fig. 6 0.4MW Enhanced Huels torch install

2.5 개량형 고온 플라즈마 토치 성능시험

개량형 고온 플라즈마 토치 성능시험은 전류를 고정하고, 공급되는 공기 유량을 변경하여 성능을 확인하는 시험과 공기 유량과 전류를 고정하고 전극 사이의 디스크 개수를 변경하여 확인하는 시험을 수행하여 플라즈마 토치의 성능에 대해 분석하였다.

성능확인 시험 시 촬영한 플라즈마 유동을 Fig.7에서 확인할 수 있으며, 사진에서와 같이 초음속 유동에 의한 충격파 형상을 육안으로 확인할 수 있다.

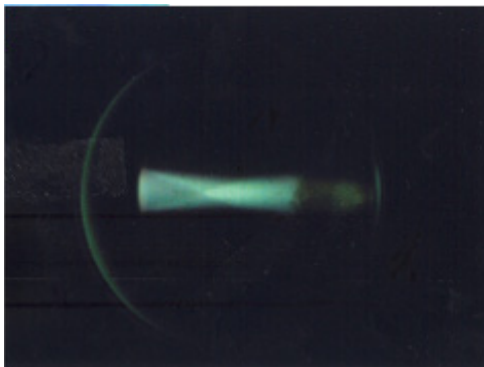


Fig. 7 0.4MW Enhanced Huels torch flow

개량형 고온 플라즈마 토치 시험시의 전압, 전류 측정 Data를 Fig 8에 나타내었다. 전류 280 ~ 320A, 전압 250 ~ 1350V의 범위에서 안정적인 아크 플라즈마 유동이 발생하는 것을 확인하였다.

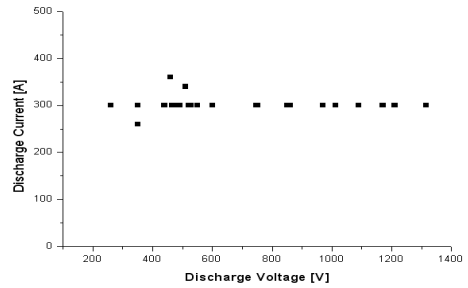


Fig. 8 0.4MW Enhanced Huels torch flow

3. 결 론

본 연구에서는 공동형 홀스 방식(Cylindrical Huels Type) 플라즈마 토치의 단점을 개선한 개량형 고온 플라즈마 토치의 장점, 설계변수, 제작, 시험에 대하여 전반적으로 기술하였다. 향후 추가적인 시험을 통해 개량형 고온 플라즈마 토치의 특성 분석, 설계인자 확립 등 학술적인 연구와 다이아몬드등과 같은 특수소재 부품생산을 위한 실험설비 개발, 아크젯 풍동 시험설비 개발 등 상용화를 위한 연구를 지속적으로 수행할 것이다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 민수 기술이전 사업의 일환으로 수행되었다.

참 고 문 헌

1. 한철우의 5인, "150kW급 플라즈마 토치의 전류 제어 및 Arc Initiation에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2007, June 18, pp. 1496-1497
2. P. K. Smith의 2인, "Experiments with a dual electrode plasma arc facility at the Deutsche Forschungsanstalt fuer Luft-und-Raumfahrt E.V.(DLR)," AIAA-96-2211, 1996
3. Tetsuya YAMADA의 1인 "Arc Heating Facility and Test Technique for Planetary Entry Missions," ISAS SP No.17, 2003