

Reformer부터 버너까지 플라즈마의 응용

강희석*, 이대훈, 김관태, 변성현, 조성권, 송영훈

Application of plasma from reformer to burner

Heeseok Kang, Daehoon Lee*, Kwantae Kim, Sunghyun Pyun, Sungkwon Jo, Younghoon Song

1. 서론

플라즈마는 높은 에너지의 전자/이온들을 생성하며 이로 인해 반응성이 뛰어난 기체 상태를 형성할 수 있다. 플라즈마의 이러한 화학적 특징은 소재, 에너지, 환경, 표면처리 의료 등 다양한 분야에서 활용이 되고 있거나 활용을 위한 기술이 활발히 개발 중이다.

이들 플라즈마의 다양한 응용 가능 분야 중 에너지/환경 분야의 대표적인 예로는 플라즈마 개질기, 플라즈마 버너를 들 수 있다.

본 연구에서는 회전아크 반응기에 기반한 플라즈마 개질기를 소개하며 플라즈마 개질기의 확장된 개념으로서의 플라즈마 버너를 소개하고자 한다. 플라즈마 개질기의 응용은 다양한데, 그 목적에 따라 합성가스를 탈질반응의 환원제로 공급하거나, 화염 안정화를 위한 수소 공급원으로 사용하는 것을 그 예로 들 수 있다.

2. Application of rotating arc plasma

2.1 Plasma reformer

화석 에너지를 기반으로 하는 현재의 에너지 체계에서 수소 기반 경제의 중간 단계로 합성 가스가 큰 주목을 받고 있다. 합성가스는 수소와 일산화탄소를 주 성분으로 하는 기체로 기존의 화석 연료나 알코올류 등으로부터 생산이 가능하다.

합성가스는 부분산화(POx), 수성가스반응(SR), Dry reforming(CDR) 등 다양한 방법으로 생산된다. 각 방법에 따라 생성되는 합성가스는 만들어지는 수소와 일산화탄소의 비가 다르고 열역학적 특성이 다르므로 원하는 목적에 맞는 적절한 개질 방식의 선택이 필요하다.

플라즈마를 이용하여 개질을 수행할 경우 탄소의 침적이나 신회성에 대한 문제를 근본적으로 제거할 수 있는 이점이 있으나, 고급 에너지인

전기 에너지를 사용하므로 운전비용 측면에서 불리한 점이 있다.

본 연구에서는 플라즈마를 이용한 메탄의 개질 반응으로부터 플라즈마 특성에 따른 반응 특성을 관찰하여 보다 경제적이고 선택성이 높은 반응의 가능성을 탐구하는 것을 그 목적으로 하였다.

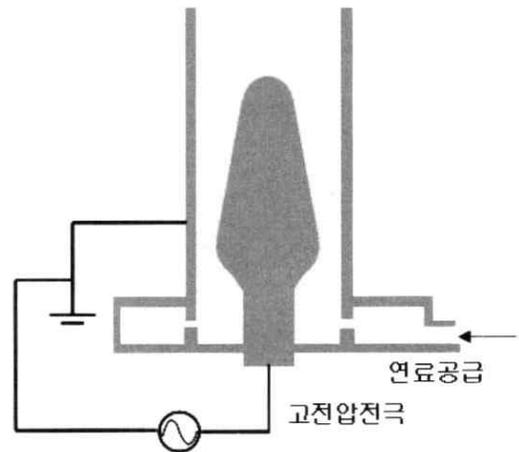


Fig. 1. Schematic of rotating arc reactor

회전 아크를 이용한 메탄의 개질 반응의 특성을 알아보았다. 회전아크에 의해 발생하는 플라즈마는 다양한 모드가 있는 것을 확인하였고 각 모드에 따라 반응기 내에서 일어나는 메탄 개질 반응의 특성이 달라지는 것을 확인하였다. 각 모드에 따른 특성은 다음과 같이 정리하였다.

- 회전 아크 반응기에는 3가지 운전 모드가 존재한다.
- 각 모드는 반응 전체에서 플라즈마-화학 반응과 열-화학 반응이 차지하는 정도에 따라 서로 다른 반응 특성을 나타낸다.
- 모드 1에서 2, 3으로 진행할수록 열적 특성이 높아져 메탄의 전환률이 상승하게 되며 각 모드 사이에서는 불연속적인 전환률의 증가가 관찰된다.
- 모드가 낮을수록 C₂H₂, C₂H₄ 등과 같은 C₂ 화합물의 선택도가 높아지는데 이는 전체 반응

에서 플라즈마에 의한 반응의 부분이 차지하는 비율이 높은 상태임을 의미한다.

- 5) 회전 아크에서 플라즈마 및 열 화학 반응의 특성을 이해하면 생성물의 선택도 제어를 통해 반응의 경제성을 높일 수 있다.

2.2 Low NOx burner

플라즈마를 이용한 연소 제어 기술의 가능성과 특성을 평가하기 위해 기존의 저 NOx 가스버너에 회전아크(rotating arc)를 발생시키는 플라즈마 버너를 결합하여 다양한 당량비(stoichiometric ratio) 조건 즉, 희박 및 연료과농 조건에서 화염이 안정화될 수 있으며, NOx 저감 가능성에 기여할 수 있는지에 대해 알아보았다. 이를 위해 플라즈마 버너를 적용한 저 NOx 버너를 설계/제작하였으며, 1) 다단 연소로 인한 NOx 저감 가능성과 다단연소의 안정적 연소 한계, 2) 화염 안정화에 기여하는 플라즈마의 기능, 3) 플라즈마에 의한 화염 안정화 및 NOx 저감 가능성에 대한 기초연구를 수행하였다.

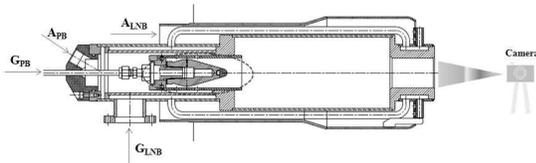


Fig. 2. Plasma assisted low NOx burner

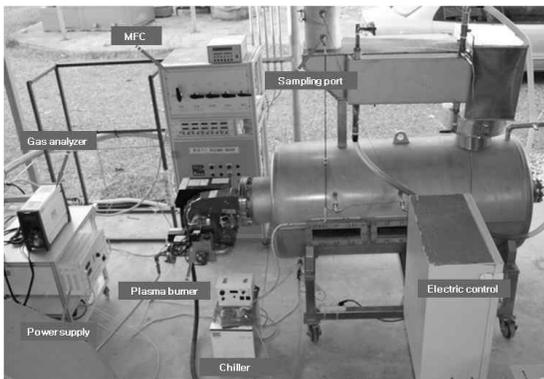


Fig. 3. Experiment apparatus

플라즈마를 이용한 연소 제어 기술의 가능성과 특성을 평가하기 위해 기존의 저 NOx 가스버너에 회전아크를 발생시키는 플라즈마 버너를 결합한 형태의 다단연소방식 가스버너를 설계/제작하였으며, i) 아크 반응기 즉, 플라즈마 버너(PB)의 연소특성, ii) 플라즈마 버너가 장착된 저

NOx 버너(PLNB)의 연소특성, iii) 기존 저 NOx 가스버너(LNB) 연소특성에 대해 다양한 당량비 조건에서 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) PB 단독실험결과

플라즈마 작동여부에 관계없이 O2/C3H8= 3 조건에서 화염이 1단 연소기인 플라즈마 연소실 내부로 삼켜지는 특성을 확인하였으며, O2/C3H8 비가 증가할수록 발생화염은 점차 청염으로 변하면서 화염길이는 짧아지는 것으로 나타났다.

2) PLNB 실험결과

- O2/C3H8=3 조건에서 NOx 발생농도가 가장 낮게 나타났으며, O2/C3H8=3 이하의 영역에서 상대적으로 높고 O2/C3H8=3 이상의 영역에서 낮은 발생농도를 보였다.
- 특히 O2/C3H8=2.75 조건에서는 플라즈마가 작동하지 않는 경우, 높은 NOx 발생농도를 보이다가 플라즈마를 작동하게 되면 급격히 감소하여, 플라즈마 작동에 따라 이러한 영역이 확대될 수 있음을 확인하였다.
- 이상의 특성은 QPB=10% 및 20%에서도 동일하였으며, 전체적으로 QPB 값이 증가할수록 NOx 발생농도는 높게 나타났는데, O2/C3H8=3 조건에서는 QPB 값과 무관하게 큰 차이를 보이지 않았다.

3) LNB 실험결과

PLNB와 동일하게 100,000kcal/h 연소부하에서 과잉공기비($\lambda=1.1\sim 1.7$) 별 연소특성 실험결과, NOx 발생농도가 약 58~76ppm 수준으로, 이는 PLNB(O2/C3H8=3 조건)의 약 2배 수준에 해당하는 것으로 나타났다.

참고 문헌

[1] D.H. Lee, K.T. Kim, M.S. Cha, Y.H. Song, D.H. Kim, "Methane reforming using atmospheric plasma source", The 31th KOSCO SYMPOSIUMH., 2005, pp. 64-68.
 [2] D.H. Kim, D.H. Lee, K.T. Kim, Y.H. Song, "Characteristics of CH4 reforming by rotating arc", J. Korean Soc. Combust. Vol. 11, No. 2, 2006, pp. 15-21.
 [3] K.T. Kim, H.S. Kang, D.H. Lee, Y.H. Song, J.E. Park, "Characteristics of Low NOx Plasma Burner Incorporating with Rotating Arc

Plasma”, Trans. of the Korean Hydrogen and
New Energy Society(2011. 12), Vol. 22, No. 6,
2011, pp. 934~941