

평판형 수소생산시스템의 최적 운전조건을 위한 연소조건별 분위기 온도 연구

허수빈[†] · 박재민¹ · 윤봉석² · 이도형²

(원고접수일 : 2012년 2월 3일, 원고수정일 : 2012년 2월 23일, 심사완료일 : 2012년 3월 26일)

A study on the Temperature Profile with combustion conditions change for the Optimum drive of Plate type Hydrogen Generation Sytem

Su-Bin Heo[†] · Jae-Min Park¹ · Bong-Seock Yoon² · Do-Hyung Lee²

요 약 : 저탄소 친환경 대체 에너지의 한 분야인 수소에너지는 화석연료의 개질 및 물의 전기분해 등 다양한 방법을 통해 얻어진다. 수소를 연료로 사용하는 연료전지인 PEMFC용 1kW급 평판형 수소생산시스템을 자체 개발 중이다. 연소조건에 따른 평판형 수소생산시스템의 개질적정온도까지의 승온시간과 CO, O₂, CO₂의 평균 농도를 통해 개질기 내 연소기의 특성을 조사하여 개질기의 적정 운전조건을 확인하였다. 차후 PEMFC용 고효율 평판형 수소생산시스템의 개발에 있어 수치해석, 수소수율 및 시스템의 전체 효율을 연구하기 위해 기초연구를 진행하였다.

주제어 : 수증기 개질기, 승온시간, 개질기, 연료전지, 1kW급

Abstract: The purpose of this study is to search the temperature-rise time conditions for adequate reforming temperature region of hydrogen generation system. And we measured the exhaust gas at the exit of that system in order to know the combustion state of hydrogen generation system's combustor. We found the optimum condition of heat supply and temperature-rise time at well burned state. And the results were nearly same when the reactants were entered to each reactors. We will further consider the effects of temperature change near the exothermic reactors and find out hydrogen yield through reforming experiment.

Key words: Steam reformer, Temperature-rise time, Reformer, Fuel cell, 1kW class

1. 서 론

현재 화석연료의 사용은 보다 효과적이고, 효율적인 이용 및 그에 관한 장치개발이 중요과제였다. 그러나 화석연료의 고갈·가격증대 및 무분별한 사용으로 인하여 여러 가지 문제가 발생하였다. 이에 안전하고 친환경적인 대체 에너지원에 대한 관심이 집중되고 있다. 그 중 연료전지는 수소의 화학 에너지를 전기에너지로 변환하는 에너지 변환기구로서 효율이 높고 오염물질의 배출이 없다는 장점이 있다. 연료전지의 상용화를 위해서는 수소의 원

활한 공급이 절실하므로 이미 기반시설이 구축된 천연가스를 직접 개질하여 사용하는 방법이 널리 쓰이고 있다[1-3].

수증기 개질반응은 수소의 생산량이 많고 안정적인 공급이 가능하나 외부에서 반응열을 공급해야 하는 점과 개질반응을 위한 승온시간이 길다라는 단점이 있다.

이에 본 논문에서는 자체 개발 중인 1kW급 평판형 수소생산시스템의 최적 운전조건을 찾기 위하여, 공연비·공급열량 변화에 따른 STR의 개질적정

[†] 교신저자(부경대학교 에너지시스템공학과, E-mail:hsbin@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-7710)

1 부경대학교 에너지시스템공학과

2 부경대학교 기계공학과

온도까지의 승온시간 및 시스템 내 연소기의 특성을 연구하였다[4-6].

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험실에서 자체 개발 중인 평판형 수소생산시스템의 도면을 Figure 1에 나타내었다. 평판형 수소생산시스템의 치수는 가로 358mm×세로 410mm×높이 224mm이며 연소기·STR·HTS·LTS·PROX1·2 순으로 이루어져 있다.

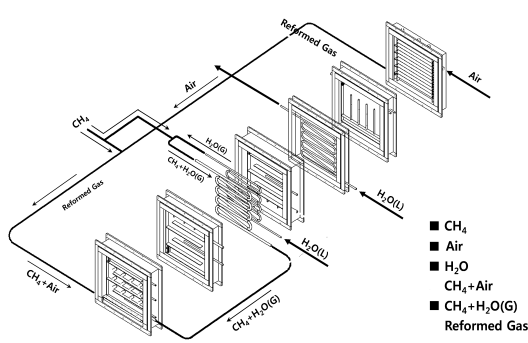


Figure 1: The 2D sketch of steam reforming reactor - isometric view

평판형 수소생산시스템의 전반적인 반응 메커니즘은 크게 흡열반응과 발열반응으로 나타내었으며, Figure 2에 나타내었다. STR은 흡열반응으로 반응적정온도는 1023~1073K이다. HTS·LTS·PROX1·2는 미소발열반응이며, 반응적정온도는 각각 673K, 473K, 383K이다.

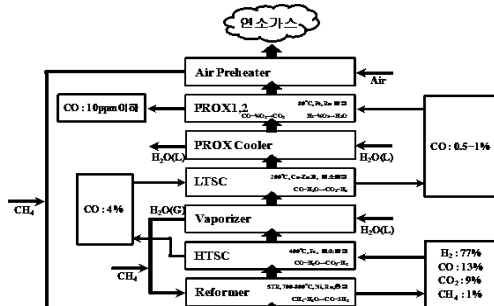


Figure 2: Schematic diagram of Reaction mechanism

컨트롤 패널을 통해 평판형 수소생산시스템 내에 공급유량, 온도를 제어 할 수 있으며, 각 반응기의 온도 및 공급유량은 PC를 통해 자동으로 저장된다. 공급되는 가스의 유량은 MFC(Mass Flow Controller) 및 솔레노이드 밸브를 통하여 제어 및 공급된다. 컨트롤 패널은 Figure 3에 나타내었다. 연소용 공급공기는 컴프레서에서 압축되어 MFC를 통하여 연소기로 공급되며, 평판형 수소생산시스템의 연료 및 반응물로써의 도시가스 또한 MFC를 통하여 연소기 및 개질 반응기에 공급된다[7].

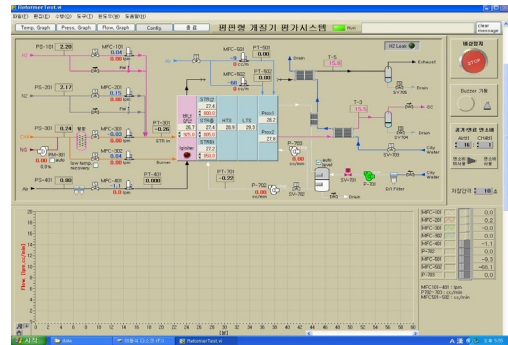


Figure 3: Control panel

2.2 실험방법

본 실험은 실험실에서 자체 개발 중인 평판형 수소생산시스템의 최적운전조건을 위한 실험조건별 반응기의 분위기 온도와 반응기의 개질적정온도까지 승온시간을 연구하기 위해 공급열량과 공연비를 변화시켜 실험을 진행하였습니다.

Table 1에 각 실험조건을 나타내었다.

Table 1: Experimental condition

Conditions	Heat supply (kW)	Air supply (l/min)	Air-Fuel Ratio (a)
case 1	1.790kW	33 l/min	1.1
case 2		39 l/min	1.3
case 3		45 l/min	1.5
case 4	1.193kW	26 l/min	1.3
case 5	2.388kW	52 l/min	1.3

case 1에서 case 3까지는 공급 열량을 고정 후, 공연비를 변화시켰으며, case 2, case4, case 5는 공

연비를 고정한 후, 공급 열량을 변화시켰다. 또한 각 실험조건별 연소가스의 화학종 농도분포를 측정하였다.

실험은 평판형 수소생산시스템의 초기화를 거친 후 각 실험조건을 적용하여 진행하였다.

연소기와 반응기에 유입되는 유량 및 온도는 자동으로 기록되며, 각 실험조건별로 STR의 온도가 반응적정온도인 1073K에 도달하기까지의 승온시간을 측정하였다. Burner, STR top-middle-bottom, HTS, LTS, PROX1,2, 연소가스 배출구에 K-type 열전대를 설치하여 각 위치별 온도를 실시간으로 모니터링 가능하도록 하였다. 또한, H사의 MEXA-554JKNR를 사용하여 배출가스의 화학종별 농도분포를 확인하였다. 연소가스 측정은 연소조건 적용 후, 실시간으로 측정하였다. 측정한 모든 데이터는 분당 평균온도 및 평균농도로 취득하여 그래프로 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공급공기량 변화에 따른 승온시간

연소기에 공급되는 공급열량을 고정 후, 공연비를 변화시켜 실험을 진행하였다. case 1은 STR의 개질 적정온도까지의 승온시간은 65분, case 2는 52분으로 이론 공연비보다 공기를 과잉으로 공급하는 것이 효과적인 것으로 보여지나, case 3의 개질 적정온도까지의 승온시간이 51분으로 case 2와 비교하였을 경우 효율측면에서 큰 차이가 없었다. 이러한 경향을 보아 case 2의 공급공기량이 본 실험에 사용된 평판형 수소생산시스템 내 연소기의 최적 공급공기량이다.

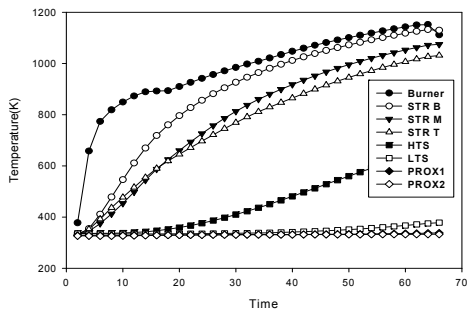


Figure 4: Timewise temperature change(Case 1)

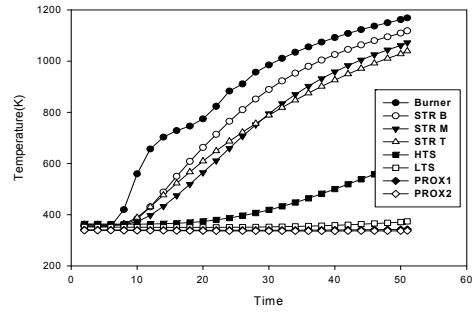


Figure 5: Timewise temperature change(Case 2)

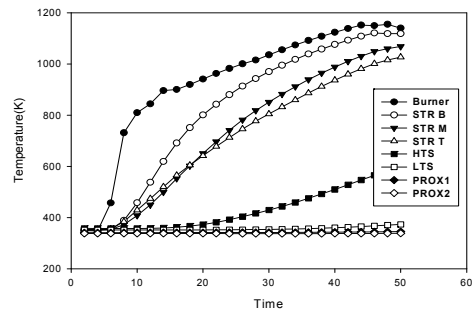


Figure 6: Timewise temperature change(Case 3)

3.2 공급열량 변화에 따른 승온시간

앞의 실험에서 확인한 평판형 수소생산시스템 내 연기의 최적 공연비로 고정한 후, 실험조건을 적용하여 승온시간을 측정하였다. case 2의 경우, 승온시간이 52분이며, case 4일 때에는 99분이 되어서야 STR의 개질 적정온도에 도달하였다.

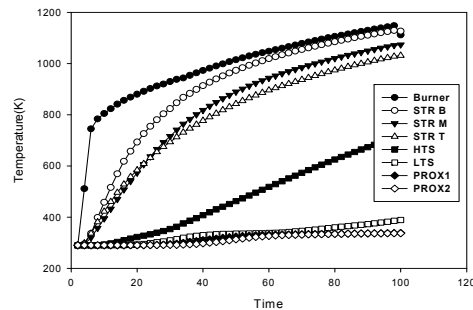


Figure 7: Timewise temperature change(Case 4)

이를 통해 STR에 적정열량을 공급하는데 있어서 case 4의 공급열량으로는 상대적으로 부족하다는 것을 알 수 있었다. case 5의 개질 적정온도까지 승

온시간은 37분으로 다른 실험조건들에 비해 최단시간 내 STR의 개질 적정온도에 도달하였다.

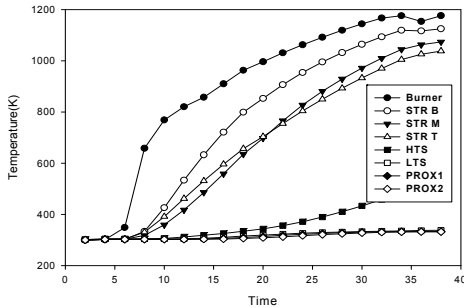


Figure 8: Timewise temperature change(Case 5)

3.3 실험조건 별 연소가스 온도 및 화학종 농도분석
실험조건을 적용한 후 배출되는 배출가스의 온도 및 화학종 별 농도를 측정하였다. 측정된 배기가스의 화학종은 CO, CO₂, O₂이며, case 1 ~ case 5까지 측정 후 비교해보았으며, 측정 장비의 특성상 CO₂와 O₂농도가 부분적으로 떨어지는 구간을 확인하였다.

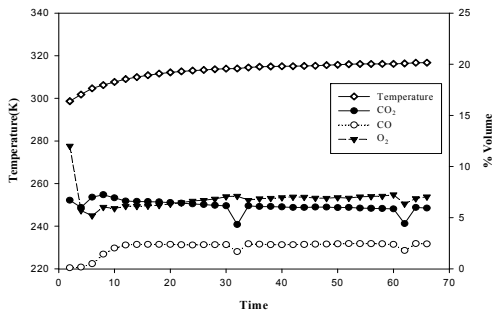


Figure 9: Exhaust gas temperature and species concentration - CO₂, CO, O₂, Temperature (Case 1)

case 1은 공급열량에 비해 case 2, case 3보다 상대적으로 공급공기량이 부족하여 연소가 원활하게 이루어지지 않는 것을 CO농도를 통해 확인할 수 있다. case 2, case 3, case 4는 연소가 원활하게 이루어진다는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있었다. 그러나 case 5의 CO농도를 보면 case 2, case 4에 비해 상대적으로 공급열량이 과잉이며, 그로인해 연소가 원활하게 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있다.

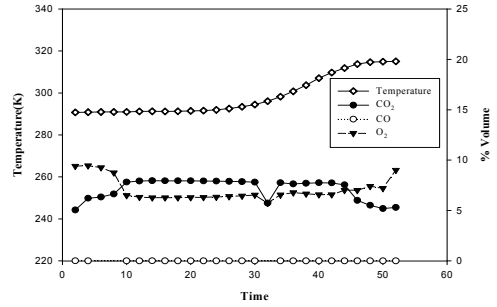


Figure 10: Exhaust gas temperature and species concentration - CO₂, CO, O₂, Temperature (Case 2)

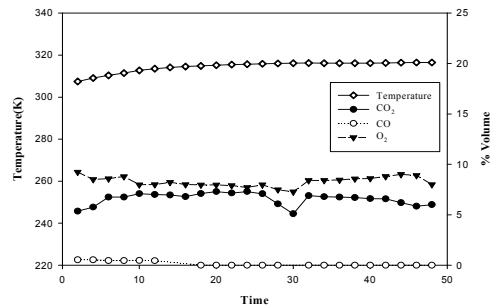


Figure 11: Exhaust gas temperature and species concentration - CO₂, CO, O₂, Temperature (Case 3)

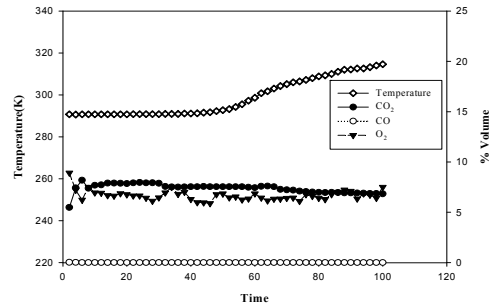


Figure 12: Exhaust gas temperature and species concentration - CO₂, CO, O₂, Temperature (Case 4)

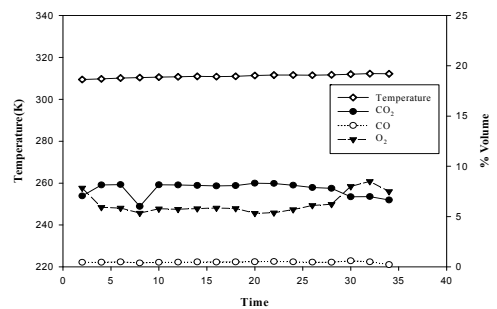


Figure 13: Exhaust gas temperature and species concentration - CO₂, CO, O₂, Temperature (Case 5)

3.4 최적 운전조건을 적용한 개질실험시 각 반응기 별 분위기 온도.

앞의 실험을 통해 최적 운전조건을 확인하였다. 최적운전조건인 case 2의 실험조건을 적용한 후 개질실험을 진행 할 때 각 반응기 별 분위기 온도를 확인하였다. 반응물의 조건은 Steam 6cc/min, LNG 2 l/min이다. Figure 14를 보면 반응물을 유입하였을 때, 승온시간은 유사하며, STR의 온도는 떨어지나, 반응적정온도는 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

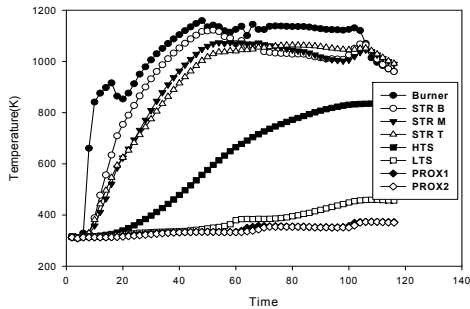


Figure 14: optimized operation applied reforming operation

4. 결 론

본 연구는 자체 개발한 1kW급 평판형 수소생산 시스템의 최적 운전조건을 위하여 공급공기량·공급열량 변화에 따른 연소조건별 분위기 온도를 연구하고, 앞으로의 연구를 위한 기초자료를 제공하는 것이 그 목적이다. 이에 실험조건에 따라 승온시간 및 배출 연소가스의 화학종 농도를 측정, 비교·분석한 후 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 공급열량을 1.790kW로 고정 후 공연비를 변화시켰을 경우, CO농도를 보면 이론 공연비보다 과잉으로 공급하는 것이 원활하게 연소가 이루어졌다. 그러나 39 l/min과 45 l/min을 비교하였을 때 큰 차이는 없었으므로, 공연비를 1.3으로 고정하는 것이 보다 효율적이다.

2. 공연비를 1.3으로 고정한 후 공급열량을 변화시켰다. 2.388kW인 경우에 승온시간이 37분으로 실험

조건 중 최단시간 내 STR의 개질 적정온도에 도달하였다. 그러나 실험조건 별 배출가스 화학종 농도분포 및 온도를 비교해 본 결과, 1.790kW와 1.193kW에 비해 공급열량을 상대적으로 과다하게 공급하여 불완전 연소하는 것을 CO농도를 통해 확인할 수 있었다.

3. 평판형 수소생산시스템의 운전조건을 공급열량 1.790kW, 공연비 1.3으로 적용한 후 개질반응실험을 진행하였다. 승온시간은 유사하였으며, 반응물 유입 시 STR의 온도는 약간 떨어지나, 반응적정온도인 973~1023K을 유지하는 것을 확인하였다.

위와 같은 결과에 비추어 현재 평판형 수소생산 시스템의 최적 운전조건은 공급열량 1.790kW, 공연비는 1.3이다. 추후 이 연구를 토대로 평판형 수소생산시스템의 개질효율 및 수소수율에 관해 연구할 계획이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지원 혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] 서용석, 서동주, 서유태, 윤왕래, “메탄수증기 개질반응기에서 연소, 열전달 및 개질반응 특성연구”, 제31회 KOSCO SYPOSIUM문집, pp. 50-57, 2005.
- [2] 박준근, 이신구, 임성광, 배중면, “천연가스로부터 수소를 생산하기 위한 수증기 개질기의 작동조건과 형상에 대한 수치해석 연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제33권, 제1호, pp. 60-67, 2009.
- [3] 이경호, 권오재, “연료전지용 콤팩트형 개질기의 고성능화를 위한 고온 공기 연소 기술의 적용에 관한 연구”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 제16권, 제3호, pp. 229-237, 2005.
- [4] 오영삼, 송택용, 백영순, 최리상, “컴팩트형 수증기 개질장치 효율분석” 한국수소 및 수소에너지학회, 제13권, 제4호, pp. 313-321
- [5] 이명용, 이지홍, 이상석, 이진석, 이도형 “다양

한 형태의 버너를 이요한 수증기개질기의 고 효율화 연구”, 대한기계학회 2008년도 추계 학술대회, pp. 2786-2791.

- [6] 최종균, 정태용, 남진현, 신동훈, “수증기 메탄 개질반응 해석모델의 비교연구”, 대한기계학회 논문집B권, 제32권, 제7호, pp. 497-503, 2008.
- [7] 김현주, 이지홍, 이명용, 이상석, 이도형, “평판형 STR의 연소공간 형상변화에 따른 성능예측”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 제21권, 제4호, pp. 286-294, 2010.

저 자 소 개



허수빈(許琇斌)

2011년 부경대학교 기계공학과 (공학사), 현재 부경대학교 에너지시스템공학과(공학석사과정).
관심분야 기계공학, 연소공학, 신재생에너지



박재민(朴宰璠)

2005년 평생교육진흥원 자동차공학과 (공학사), 2009년 동의대학교 기계공학과 (공학석사), 현재 부경대학교 에너지시스템공학과(박사과정). 관심분야 기계공학, 자동차공학, 연소공학, 신재생에너지



윤봉석(尹奉錫)

2001년 부경대학교 기계공학과 (공학사), 2003년 부경대학교 자동차공학과 (공학석사), 2010년 - 현재 부경대학교 공학연구원(연구원).
관심분야 기계공학, 연소공학, 신재생에너지

너지



이도형(李度衡)

1980년 부산대학교 기계공학과 (공학사), 1982년 부산대학교 기계공학과(공학석사), 1989년 부산대학교 기계공학과 (공학박사), 1983년 - 현재 부경대학교 기계공학과(교수). 관심분야 기계공학, 연소공학, 신재생에너지

연소공학, 신재생에너지