

Flat Burner 위에 설치된 Ceramic Honeycomb의 축열성능 연구

박재민[†] · 허수빈¹ · 윤봉석² · 이도형²

(원고접수일 : 2012년 2월 6일, 원고수정일 : 2012년 3월 7일, 심사완료일 : 2012년 3월 22일)

A Study on the Heat Accumulation Performance of Ceramic Honeycomb located on the Flat Burner

Jae-Min Park[†] · Su-Bin Heo¹ · Bong-Seock Yoon² · Do-Hyung Lee²

요 약 : 최근 화석연료 사용으로 인한 에너지 위기와 환경오염 문제가 사회적 문제점으로 떠오르고 있어 친환경 에너지 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. PEMFC는 기본적으로 수증기 개질반응을 통해 고순도 수소를 얻고 있지만 운전 시 기동시간이 길고 빠른 기동을 필요로 하는 곳에는 문제가 있다. 따라서 본 연구실에서는 1KW급 평판형 STR 반응기에 적용할 연소기의 고효율 및 균일가열을 목표로 세라믹 허니컴을 적용하는 가능성을 알아본다. 한편, 축열체의 열량 보존시간에 대한 실험결과는 마일드연소기 개발에서 공기의 고온화를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

주제어 : 고분자전해질연료전지, 수증기개질기, 수소, 플랫폼너, 축열체, 마일드연소

Abstract: Recently energy crisis and environmental pollution using fossil fuel became social issue. The Fuel Cell, one of the new and renewable energy has great advantage for the former mentioned problems. The PEM Fuel Cell needs highly purified hydrogen for fuel, in many cases CH₄ was reformed to H₂ basically using steam reforming. The purpose of this paper is to understand the probability of ceramic honeycomb to apply the combustor of STR. We tested the heat accumulation performance of ceramic honeycomb by change of excess air ratio. The results were suitable for our purpose and also these results can be used to make high temperature air at mild combustion field.

Key words: PEMFC, Steam Reformer, Hydrogen, Flat burner, Heat Accumulator, Mild Combustion

1. 서 론

최근 화석연료의 고갈 및 사용에 의한 환경오염이 중요한 사회적 문제로 대두되면서 친환경 동력원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 연료전지는 수소의 화학에너지를 전기에너지로 변환하는 기구로서 효율이 높고, 오염물질을 발생시키지 않는 장점이 있다. 이러한 연료전지의 상용화를 위해서 수소의 안정적인 공급이 필요한데, 이를 위해서 탄화수소 연료를 직접 개질하여 사용하는 방

법이 널리 쓰이고 있다[1].

현재 탄화수소에서 수소를 얻는 방법으로 널리 쓰이는 수증기 개질반응은 운전 시에 기동시간이 길어서 빠른 기동을 필요로 하는 곳에는 적합지 못한 결점을 가지고 있으나 수소의 생산량이 상대적으로 많고 안정적인 운전이 가능하기 때문에 연료전지시스템에서 널리 사용되고 있다[2-3]. 이러한 STR은 연소에 의한 균일한 열 공급이 가장 중요하여, 다양한 방법의 연소기가 사용되고 있다.

[†] 교신저자(부경대학교 에너지시스템공학과, E-mail:rokpice@naver.com, Tel: 051-629-7710)

1 부경대학교 에너지시스템공학과

2 부경대학교 기계공학과

본 연구실에서는 자체 개발한 1kW급 평판형 STR 반응기에 적용할 연소기의 고효율 및 균일가열을 목표로 하여 연구 중에 있다[4].

본 연구에서는 그 중의 한 방법으로 세라믹 허니컴의 축열성능을 적용하는 가능성을 알아보고자 한다. 따라서 먼저 평판형 연소기를 제작하여 평면 화염의 구조를 살펴보고, 다음에 축열체 전후의 온도 변화 및 소염 후의 시간별 온도 추이를 살펴, 축열량 및 이의 보존시간을 유추하고자 한다. 또한, 얻어진 축열량 보존시간에 대한 결과는 마일드연소기 개발에서 공기의 고온화를 위한 기초자료로 활용하고자 한다[5].

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Figure 1은 난류예혼합 메탈화이버 플랫폼버너의 계통도이다. 연소에 사용된 공기는 DC(0V ~ 36V) 입력으로 구동되는 blower에서 직경 52.5mm의 유로를 통해서 공급된다. 연료는 상용프로판(C₃H₈)을 사용하였으며, 사용압력은 0.5kg/cm²으로 디지털 유량계(Tylan-2900 model MFC)를 사용하여 공기유속에 설치된 분사각 45°, 직경 1mm 분공 8개를 가지는 Nozzle을 통하여 예혼합 형태로 연소면에 공급된다. 메탈화이버 플랫폼버너의 연소면은 직경 80mm로 A사의 MF(Metal Fiber) model NIT 100S를 사용하였다. 연소면 전 단에는 연소면에 균일한 유동분포를 얻기 위하여 다공판(Perforation Plate)을 설치하였으며, 연소실은 내경 95mm, 길이 100mm의 석영관으로 구성하였다.

2.2 실험조건 및 방법

Table 1에 본 연구의 실험조건을 나타내었다.

온도 측정은 Pt/Pt-Rh 합금의 R-Type 열전대를 사용하였고, 연소가스 분석은 H사의 MEXA-554JK model을 사용하여 측정하였다. 이때, 열전대와 가스포집 프로브는 연소가스의 반응 동결을 위해 3중 수냉식으로 제작 사용하였다. 또한 연소실내 측정의 공간분해능을 높이기 위해 3축 이송대를 사용하였으며, 각종 측정 데이터는 A/D converter(Y사 MV-100 model)를 이용하였다. 한편, 축열성능

평가를 위한 축열체는 Al₂O₃ 36%, MgO 14%, SiO₂ 50%의 상용 허니컴을 사용하였다.

Table 1: Experimental conditions

Case name	Excess Air ratio	Length of Ceramic honeycomb
Case 1	$\alpha=1.3$	L=30mm
Case 2	$\alpha=1.4$	
Case 3	$\alpha=1.5$	
Case 4	$\alpha=1.6$	L=60mm
Case 5	$\alpha=1.7$	

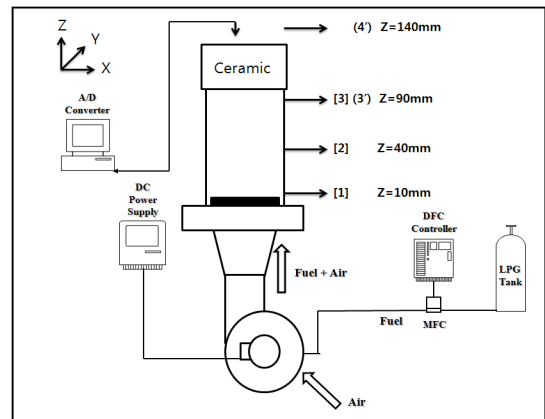


Figure 1: Schematic diagram of combustion system

3. 결과 및 고찰

3.1 Flat burner의 화염구조

3.1.1. 온도분포의 균일성 조사

Figure 2, 3은 case 1일 때 연소실 전체의 온도와 농도의 균일성을 확인하기 위해, 직각되는 두 방향(x 및 y)의 연소실 축 방향(z)으로 버너 상단 z=10mm(위치 1), 중간 z=40mm(위치 2), 끝 부근 z=90mm(위치 3, 이것은 세라믹 축열체가 놓일 경우는 축열체의 10mm 아래가 되며 기호는 3'로 나타내었다.) 및 4(축열체 상단 10mm)에서의 온도분포를 나타낸 것이다. 양 방향으로 거의 동일한 분포를 보였다. 이는 Figure 3의 농도 분포에서도 유사한 형태를 나타내며, 따라서 이하에는 x방향의 온도 및 농도를 반경방향 대표단면으로 나타낸다.

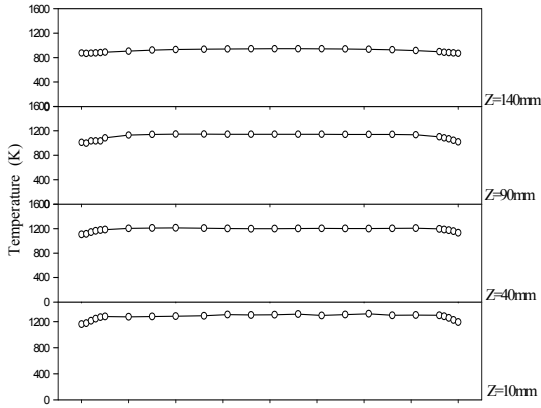


Figure 2: Temperature profile of x direction

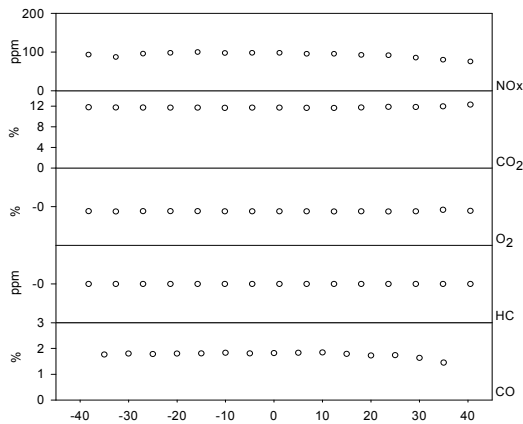


Figure 3: Exhaust gas profile of x direction

3.1.2. 연소실 내부 위치별 온도분포 변화

Figure 4~6는 case 2~4일 때 연소실 화염층(상류)에서 하류방향 1, 2, 3 위치에서의 온도분포의 변화를 나타내었다. 연소실 벽면에서의 분포를 제외하고는 대부분 균일하였다. 또한, 석영유리를 통한 복사열손실에 의해 상류와 하류의 온도차가 약 70℃~80℃정도 발생하였다.

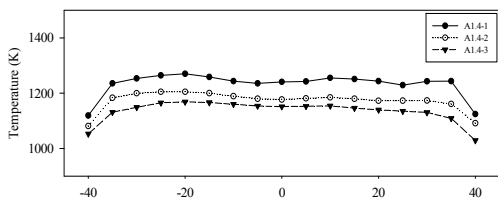


Figure 4: Temperature profiles of Case 2($\alpha=1.4$)

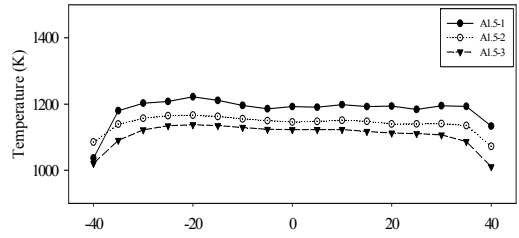


Figure 5: Temperature profiles of Case 3 ($\alpha=1.5$)

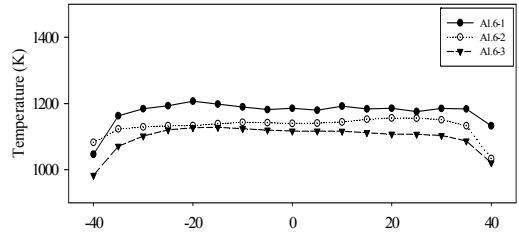


Figure 6: Temperature profiles of Case 4 ($\alpha=1.6$)

3.2 축열체 전후의 온도분포의 변화

3.2.1. 축열체 길이 30mm인 경우의 전후 온도 분포

Table 2는 실험조건 $\alpha=1.4, 1.5, 1.6$ 일 때의 연소기 중간의 축열체 10mm 하단 3' 및 상단 4' 위치 온도를 나타낸 것이다. 축열체를 두지 않았을 경우보다 473.2K 이상의 온도 증가를 보였다. 이는 축열체에 의한 복사열전달의 영향이다.

Table 2: Temperature difference between below and upper of honeycomb at each case

Ceramic	position	$\alpha=1.4$	$\alpha=1.5$	$\alpha=1.6$
30mm	3'	1393.1	1390.5	1426.3
	4'	936.5	958.4	995.7

3.2.2. 축열체 길이 60mm인 경우의 전후 온도 분포

Table 3은 실험조건 $\alpha=1.6$ 및 1.7일 때의 연소기 중간의 축열체 10mm 하단 3' 및 상단 4' 위치 온도를 나타낸 것이다.

아래 Table의 $\alpha=1.6$ 인 경우와 비교하면 3' 위치의 온도는 동일하지만 축열체 이후의 온도는 상당히 낮아져서 축열효과가 더 커진 것을 알 수 있다. 이

는 복사열전달이 축열체에 끼치는 영향이다. 이후, 계산에 의한 축열량이 가능할 것으로 보인다.

Table 3: Temperature difference between below and upper of honeycomb at each case

Ceramic	position	$\alpha=1.6$	$\alpha=1.7$
60mm	3'	1426.4	1464.4
	4'	969.6	1000.3

3.3 소염 후의 시간별 온도 변화

Figure 7은 case 1($\alpha=1.3$)에서 ceramic honeycomb 축열체의 길이 30mm 인 경우, 소염 후 공기만을 일정량(실험조건에 의준) 흘렸을 때의 축열체 입구(3') 및 출구(4') 10mm에서 중심축 부근의 시간대별 온도추이를 나타낸 것이다. 소염 직후의 축열체 입구온도는 1335.9K로 소염 전의 온도와 비슷하며, 연소기 상류에서 유입되는 차가운 공기 온도에 의해 축열체 입구의 온도는 급격하게 감소한다. 그러나 축열체 출구의 온도는 938.4K에서 상당 기간 느리게 온도가 낮아지며, 809.15K 부근(메탄의 자발착화온도)을 유지하기까지 약 50초간 지속된다.

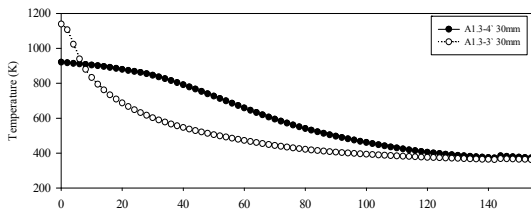


Figure 7: Temperature profiles of Case 1($\alpha=1.3$)

Figure 8 및 Figure 9는 case 2($\alpha=1.4$) 및 case 3 ($\alpha=1.5$)에서 위와 동일한 위치의 시간대별 온도추이를 나타낸 것이다. 공기비를 증가시킴에 따라 축열체 입출구에서의 시작점($t=0$) 온도는 증가하였으나, 그 경향은 비슷하고 813.2K 부근에 이르는 시간도 큰 변화를 보이지 않았다. 그러나 현재 실험 단계에서는 이 시간대별 온도변화가 공기온도의 변화인지 공기의 냉각에 의한 축열체 주위의 온도 변화인지는 분명하지 않으며, 다음에 추가로 조사하여야 한다.

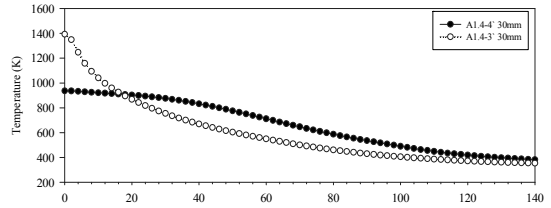


Figure 8: Temperature profiles of Case 2($\alpha=1.4$)

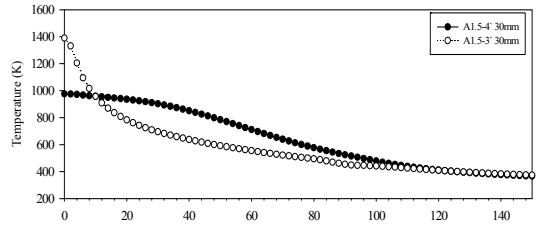


Figure 9: Temperature profiles of Case 3($\alpha=1.5$)

Figure 10는 축열체 길이 60mm일 때, case 3($\alpha=1.6$)에서의 축열체 입구(3') 및 출구(4') 10mm에서 중심축 부근의 시간대별 온도추이를 나타낸 것이다. 위 길이30mm인 경우의 Figure 8($\alpha=1.5$)와 비교하면, 축열량 증가로 인해 축열체 전후의 온도가 약 293.2K 정도 증가하였다. 또한 고온을 유지하는 시간도 눈에 띄게 늘었으며, 813.2K까지 감소하는데 걸리는 시간은 약 10초정도 늘어났다.

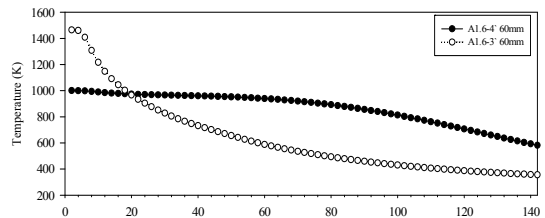


Figure 10: Temperature profiles of Case 4($\alpha=1.6$)

Figure 11의 경우(case 5, $\alpha=1.7$)에는 축열체 입, 출구의 시작점 온도는 더욱 높아져서 축열량이 증가하였음을 알 수 있으나, 813.2K부근을 유지하는 시간은 약 10초가 짧아졌다. 이는 소염 후에 들어간 공기량이 증가하였기 때문이라 생각되며, 동일한 공기량 유입을 전제로 한다면 유지시간은 늘어날 것으로 생각된다.

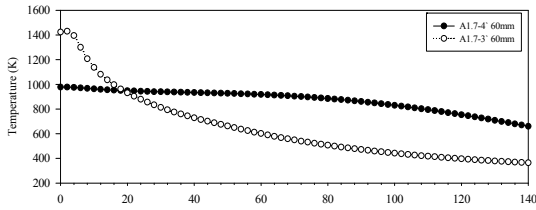


Figure 11: Temperature profiles of Case 5($\alpha=1.7$)

4. 결 론

STR의 연소기에 세라믹 허니컴의 적용 가능성을 알아보고, 또한 마일드연소기에 적용할 공기의 고온화를 위해 평면화염의 구조와 축열량 및 이의 보존시간을 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 평판형 연소기의 설계에서 균일한 온도분포를 얻는 것이 가장 중요하다. 본 연구에서는 MF 플랫폼버너를 제작하여 연소실 내부의 온도분포가 균일한 것을 확인하였다.

2) 연소실 내부에서는 석영관을 통해 상당한 열손실이 있었으며 특히, 고온인 버너측이 심하게 나타나서, 고온을 유지하기 위해서는 구역별 적절한 단열이 이루어져야 한다.

3) 축열체 전후의 온도변화를 확인한 결과, 모든 실험조건에서 축열체의 온도는 STR의 목표온도 부근이 됨을 확인하였다. 따라서 본 실험조건으로 STR에 세라믹 허니컴을 설치하면 균일한 온도로 단시간에 효율 좋은 수증기 개질 반응이 이루어질 것으로 판단된다.

4) 소염 후 공기만을 주입하여 축열체 주위의 시간별 온도추이를 살펴 본 결과, 상당 기간 축열체 후반까지 온도가 상승해 있음을 확인하였으며, 당연히 축열체 길이가 증가할수록 축열량이 증가하였다. 이는 마일드연소기에서 메탄의 자발착화온도를 증가하는 공기의 고온화에 적용될 수 있음을 보여준다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부의 지역혁신인력양성사업 및 지식경제부 에너지기술개발사업 국제공동

연구로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] 서용석, 서동주, 서유태, 윤왕래, “메탄 수증기 개질반응기에서 연소, 열전달 및 개질반응 특성 연구”, 제31회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 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] 오영삼, 송택용, 백영순, 최리상, “컴팩트형 수증기 개질장치 효율분석”, 한국수소 및 신에너지학회 논문집, 제13권, 제4호, pp. 313-321, 2002.
- [4] 김현주, 이지홍, 이명용, 이상석, 이도형, “평판형 STR의 연소공간 형상변화에 따른 성능예측”, 한국 수소 및 신에너지 학회 논문집 제21권, 제4호, pp. 286-294, 2010.
- [5] 하지수, 유상열, 심성훈, 김태권, “당량비 변화에 따른 MILD 연소로의 온도 분포 및 NOx, CO 생성 특성”, 한국마린엔지니어링학회지 제34권, 제4호, pp. 485-490, 2010.

저 자 소 개

박재민(朴宰礪)

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



허수빈(許琇斌)

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





윤봉석(尹奉錫)

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

관심분야: 기계공학, 연소공학, 신재생에너지



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