

촉매 연소기와 열전 소자를 이용한 전력 생산

진정근* · 권세진**†

Thermoelectric power generation using catalytic combustion

Jungkun Jin and Sejin Kwon

ABSTRACT

A small scale power generation system was investigated by integrating a catalytic combustor with a thermoelectric generator. As a fuel, H₂ was used in the experiment. The system was tested with various heat sinks and it was found that the efficiency of the system is strongly affected by the heat sink attached on the cold side of thermoelectric generator. The effects of the flow rates and the equivalence ratio were also studied experimentally. In addition, the influence of the external load resistance was investigated using an electric load. The output power was maximized when the external load resistance was equal to the internal resistance of thermoelectric generator. In this study, 1.4% of maximum thermal efficiency was obtained with 1.1W of maximum power.

Key Words : Catalytic combustor, Micro power source, Thermoelectric generation

기 호 설 명

I	전류	Φ	당량비
P	출력	η	효율
R _{ex}	외부 부하 저항	TEG	열전 발전 소자
R _{in}	내부 저항	EL	Electric load
V _{OC}	개방 회로 전압		

1. 서 론

초소형 동력원은 MEMS 가공 기술을 비롯한 미세 가공 기술을 기반으로 한 다양한 개념의 마이크로 시스템들이 개발됨에 따라 그 필요성이 증가하고 있다. 마이크로 시스템은 현재까지 대부분 기존의 2차 전지를 동력원으로 사용하고 있다. 그러나 기술이 발달함에 따라 마이크로 시스템은 다양한 기능을 장시간 구현하기 위해 더 높은 에너지 밀도의 동력원을 요구하고 있다. 적합한 동력원의 부재는 마이크로 시스템 개발에 많

은 제약을 가져오며 이에 많은 연구자들이 화학 연료를 이용한 동력원을 대안으로 제시하고 있다.[1]

일반적으로 탄화수소계 연료는 약 45 MJ/kg의 에너지 밀도를 가지며, 고성능의 리튬 전지는 1.2 MJ/kg, 알칼라인 전지의 경우 0.6 MJ/kg 에너지 밀도를 가진다.[1] 따라서 동력 장치의 효율이 1~3% 정도로 낮더라도 보다 높은 에너지 밀도를 구현할 수 있다. 또한 2차 전지에 비해 쉽고 빠르게 재충전이 가능하다는 장점이 있다.

초소형 동력원으로는 마이크로 연료전지[3-5]와 연소기 기반의 동력원에 대한 연구가 수행되고 있다. 연료전지는 높은 효율과 소형화의 용이성으로 인해 활발히 연구되고 있다. 그러나 연료전지의 경우 현재까지 사용 가능한 연료가 수소, 메탄올로 제한되어 다른 연료를 사용할 경우 개

* 한국과학기술원 항공우주공학전공 대학원

† 연락처, turmpet@kaist.ac.kr

** 한국과학기술원 항공우주공학전공

질기와 같은 별도의 연료 처리장치가 필요하다.[3-5] 이에 반해 연소기 기반의 동력원은 연소기를 이용하여 열원을 제공하며 이를 동력으로 전환하기 때문에 다양한 연료를 사용할 수 있다는 장점이 있다.

초소형 연소기는 동력원의 열원으로서 활발히 연구되어 왔다. 연소 반응 메커니즘과 관련하여 문헌에 따르면 표면적 대 체적비가 큰 소형 연소기에서는 외부로의 과도한 열손실과 화염과 표면 결합의 상호 작용으로 인해 소염이 쉽게 발생하여 화염 연소 반응을 안정적으로 유지하기 어려운 것으로 보고되고 있다.[6,7] 이에 따라 소형 연소기는 대안으로 촉매 연소 반응을 사용하고 있다.[8-13] 촉매 연소에서는 연료와 산화제가 촉매 활성점과 접촉하여 연소되고 반응 경로가 화염 연소와 달라진다. 이때 반응의 활성화 에너지가 낮아져 화염 연소에 비하여 상대적으로 낮은 온도에서도 반응이 안정적으로 유지되며 화염이 없어 소염이 발생하지 않는다는 장점이 있다.

연소기에 의해 생성된 열 에너지는 열기관, 열전 발전 등을 이용하여 동력으로 전환할 수 있다. 마이크로 가스터빈[14,15], 로터리엔진[16], 왕복동 엔진[17]을 포함한 열기관은 초소형 동력원의 개념으로서 가장 오랫동안 연구되어 왔다. 그러나 마이크로 열기관은 시스템이 복잡하고 소형 고속 구동부 제작의 한계로 인해 개발에 많은 어려움이 있어 아직까지 개발 단계에 있으며 현재는 시스템의 크기가 다소 커진 상태이다.

열전소자를 이용한 전력 생산은 Seebeck 효과를 기반으로 한다. 이 개념은 열기관과 달리 구동부가 없으며 시스템의 구성이 단순하여 초소형 동력원의 개념으로 적합하다.[18] 그러나 현재 상용화되어 널리 사용되고 있는 Bi/Te를 이용한 발전 소자는 효율이 5% 미만으로 낮기 때문에 연소기를 이용한 동력 생산 보다는 폐열(waste heat)로부터 에너지를 회수하는데 사용되어 왔다. 그러나 최근 열전소자 재료의 기술 발전으로 인해 양자우물 열전소자(Quantum Well Thermoelectric module)와 같은 고효율 소자가 연구, 보고되고 있다.[19] 따라서 향후에는 열전소자를 이용한 고효율 동력원 개발이 가능할 것으로 기대한다.

이 연구에서는 촉매 연소기와 열전소자를 통합한 소형 동력원에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 열전소자를 이용한 시스템 통합을 수행하였으며 별도의 예열없이 상온에서부터 반응이 활발한 수소 촉매 연소를 열원으로 사용하였다.[20] 실험을 통해 방열판(heat sink), 연료 공급량, 당량비 변화에 따른 동력 생산 특성을 확인하였다

2. 동력원 및 실험 장치 구성

2.1 열전 소자를 이용한 동력원 구성

열전소자와 연소기를 이용한 동력원의 개념을 Fig. 1에 제시하였다. 연소기는 50(L) × 50(W) × 12(H) mm 크기로 제작하였다. 연소 챔버의 크기는 20(L) × 30(W) × 3(H) mm 이며 입구와 출구에 5 mm 길이의 확산 및 수축 영역을 제작하였다. 연소기 내부에는 Fig. 2와 같이 5 wt% Pt/Al₂O₃ 펠렛을 삽입하였으며 니켈폼을 이용하여 내부의 촉매를 고정하였다. 이 연구에서 사용한 Al₂O₃ 펠렛(Alfa Aesar, γ -alumina)의 비표면적은 250 m²/g 이며 H₂PtCl₆을 이용한 함침법(Wet impregnation method)으로 백금을 코팅하였다.[12]

열전소자의 전면에 균일한 온도장을 형성하기 위하여 연소기와 열전소자 사이에 5 mm 두께의 구리판을 부착하였다. 열전소자의 다른 한 면에는 방열판(heat sink)을 부착하여 연소기에서 방출되는 열이 열전소자를 통과하여 외부로 방출되도록 하였다. 실험에서는 방열판의 영향을 확인하기 위하여 다양한 종류의 방열판을 사용하였다.

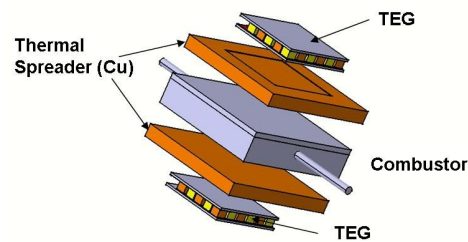


Fig.1 Schematic of the integrated system

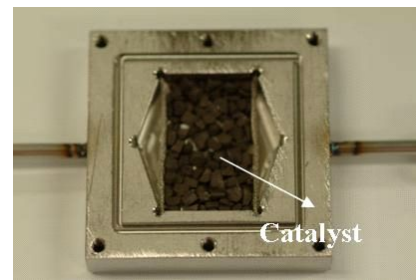


Fig.2 The combustion chamber with Pt/Al₂O₃

V_{OC} (V)	R_{in} (Ω)	W_{load} (W)	V_{load} (V)	Dimension (mm)
6.4	5	2.1	3.2	30×30×3.6

Table 1 Specifications of TEG

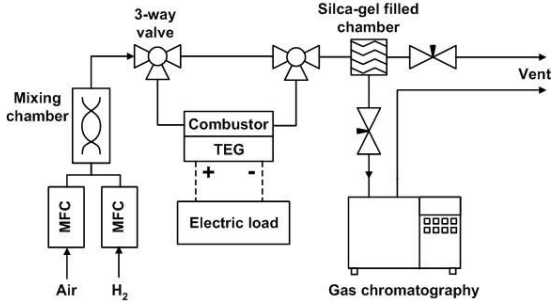


Fig. 3 Experimental setup

이 연구에서 사용한 열전소자(HMG-3730, (주) ACETEC)는 Bi와 Te으로 구성되어 있으며 최적 구동 조건 및 크기는 Table 1과 같다. 소자의 최대 허용 온도는 200℃이며, 저온부 50℃ 일때 최대 4.5%의 에너지 전환 효율로 2.1W의 동력을 얻을 수 있다. 시스템 통합 시에는 각 구성품의 경계면의 접촉 저항을 줄이기 위하여 방열 켄과 운드(SE-102, (주)ACETEC)를 도포하였다.

2.2 실험 장치

실험 장치 구성은 Fig. 3과 같다. 당량비와 유량은 MFC를 이용하여 조절하였으며 연소기에 공급하기 전에 혼합 챔버를 통과시켜 연료와 산화제를 예혼합 하였다. 수소 유량은 100 ~ 400 ccm의 범위에서 조절하였으며 혼합기체의 당량비는 0.8~1.0이 되도록 하였다.

생성물 조성은 기체 크로마토그래피(ACME 6000, (주)영린과학)와 Molesieve 13X(RESTEK Co.) 칼럼을 이용하여 분석하고 전환율을 측정하였다. 열전소자에는 Electric load를 연결하고 부하 저항을 조절하여 동력 소모 상황을 모사하였으며 개방 회로 전압, 전류, 동력을 측정하였다.

2.3 실험 방법

실험은 동일한 조건에서 방열판의 종류, 열전소자의 수량 및 연결형태, 수소 공급 유량을 달리하여 총 4가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 각 case 별 실험 세부 내용은 아래와 같다.

Case 1 :

방열판에 Fig. 4와 같이 냉각 팬을 장착하고

공급 직류 전압을 조절하여 방열판의 냉각 성능을 변화시켰다. 실험에서는 개방 회로 전압(V_{OC})를 측정하였다. V_{OC} 는 열전 소자에 외부 부하 저항이 연결되지 않은 상태에서 측정된 소자 양단의 전압이다.

Case 2 :

Case 1과 동일한 방열판을 사용하였으며 두 개를 사용하여 연소기 양면에 열전소자를 배치하고 열전소자를 직렬로 연결하였다. Fig. 5와 같이 중력 방향과 핀 방향의 배치를 달리하여 실험을 수행하였다.

Case 3 :

Case 3의 실험에서는 방열판 성능 향상 실험을 위해 CPU 냉각용 방열판(Zalman Tech Co., Ltd.)을 사용하였다. 방열판은 구리로 제작되었으며 0.2 mm 두께의 핀이 히트 파이프에 연결된 구조이다. 열전소자는 Case 1과 같이 연소기 한 면에만 부착하였다. Case 3에서는 Electric load를 이용하여 외부에서 인위적인 부하를 가하고 전압과 전류를 측정하여 출력을 기록하였다.

Case 4 :

Case 4의 실험에서는 핀-접합 형태의 방열판(HSP-100W, (주) ACETEC)을 사용하였다. 냉각 팬을 사용하였을 때 100W의 열을 방출할 수 있으며 200(L)125(W)46(H) mm의 크기를 가진다. Case 2와 같이 두 개의 열전 소자를 연소기 양면에 부착하였으며 case 3과 같이 Electric load를 연결하여 동력 소모 상황을 모사하였다.

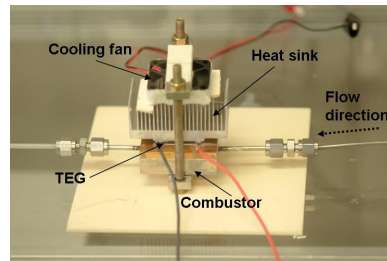


Fig. 4 Power generation system for case 1

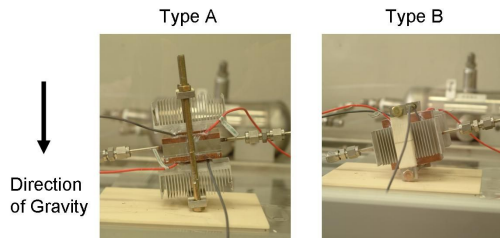
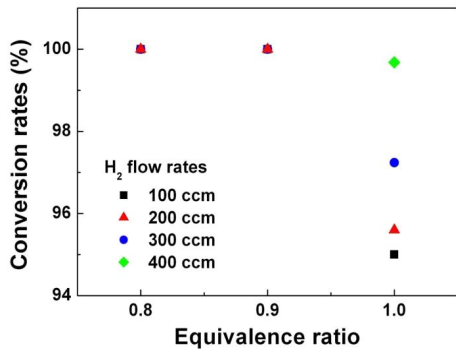


Fig. 5 Power generation system for case 2

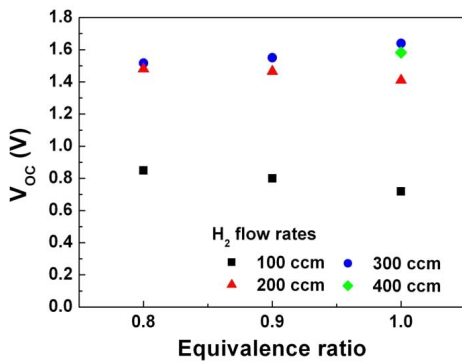
3. 실험 결과 및 분석

3.1 방열판 성능 변화에 따른 V_{oc} 변화

Fig. 6는 case 1 실험에서 방열판을 자연 대류 방식으로 작동하여 측정 결과이다. Fig. 6(a)와 같이 수소 전환율은 당량비에 따라 크게 변하지 않았으며 이론당량비($\Phi=1$)의 조성에 대하여 전환율이 수소 공급 유량이 감소함에 따라 다소 감소하였으나 모두 95% 이상으로 나타났다. 따라서 수소 유량이 증가함에 따라 연소기에서 생성된 열량이 증가하고 있음을 확인할 수 있다. V_{oc} 는 당량비에 따라 크게 달라지지 않았다(Fig. 6(b)). 그러나 같은 당량비에 대하여 수소 유량을 증가시켰을 경우, 200 ccm 이상의 공급 유량에서는 V_{oc} 가 크게 증가하지 않았다. 전환율 측정 결과에 따르면 연소기의 방열량은 유량 증가에 따라 증가하고 있다. 이러한 V_{oc} 의 특성은 방열판에 의해 제한되고 있다고 생각할 수 있다.



(a) Conversion rate

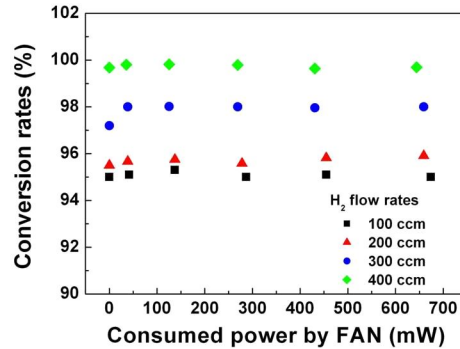


(b) Open circuit voltage

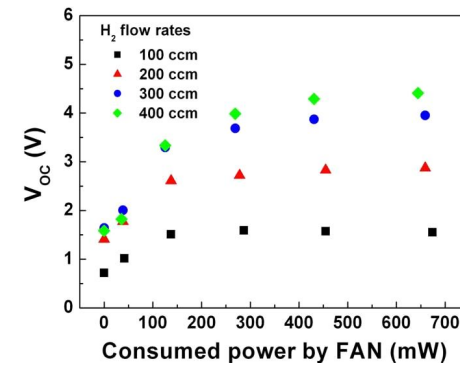
Fig. 6 V_{oc} and conversion rates with different flow rate and equivalence ratio (case 1, Natural convection)

Fig. 7은 방열판에 부착된 냉각팬을 구동하여 측정한 결과이다. 팬 구동 동력이 증가함에 따라 팬의 회전 속도가 증가하여 방열판을 통한 방열량이 증가한다. Fig. 7(a)와 같이 방열량이 증가하여도 연소기의 전환율은 거의 일정하게 유지되었다. 따라서 연소기 외부로의 열손실이 증가하여도 반응성은 감소하지 않았으며 이러한 장점으로 연소기에서 손실된 열을 직접 사용하는 열전 발전에는 촉매 연소 반응이 적합하다.

V_{oc} 는 팬 구동에 따라 큰 차이를 보였다(Fig. 7(b)). 팬 구동 동력이 증가함에 따라 V_{oc} 는 증가하였으며 수소 유량에 따른 차이가 뚜렷하게 나타났다. Fig. 7(b)에서 팬이 작동하지 않을 경우 200-400 ccm의 수소 유량에 대하여 유사한 V_{oc} 가 측정되었으나 팬 동력이 130 mW일 경우 300-400 ccm의 수소 유량에 대하여 더 높은 V_{oc} 가 측정되었다. 그리고 팬 동력이 300 mW 이상일 경우 수소 유량이 증가함에 따라 V_{oc} 가 증가하는 경향이 나타났다.



(a) Conversion rate



(b) Open circuit voltage

Fig. 7 V_{oc} and conversion rates with different operating power of fan (case 1, Forced convection, $\Phi=1.0$)

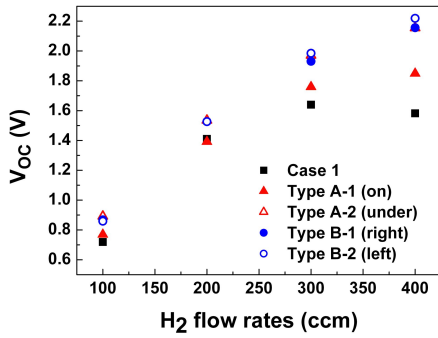


Fig. 8 Comparison of V_{OC} of each TEG (case 2, Natural convection, $\Phi=1$)

연소 반응에 의해 생성된 열의 일부는 열전소자를 통과하지 않고 연소기의 측면으로 방출되거나 생성 기체에 흡수되어 생성물의 온도를 증가시킨다. 따라서 앞의 실험에서 같은 수소 유량에 대하여 V_{OC} 가 증가함에 이와 같은 손실 열이 감소함을 의미한다.

Fig. 8은 case 2의 각 열전 소자에서 측정된 V_{OC} 와 case 1에서 얻은 결과를 비교하고 있다. 전체 동력원의 V_{OC} 는 두 개의 열전 소자를 사용함으로써 증가하였다. 특히 각 열전 소자에서 측정된 V_{OC} 가 다소 차이를 보였다. 이러한 특성은 자연대류로 작동하는 방열판의 핀이 중력 가속도 방향과 비교하여 배치된 형상에 의해 많은 영향을 받는다. Case 1과 Type A-1은 모두 핀의 방향이 중력과 반대 방향으로 형성되어 있으며 다른 배치에 비해 다소 낮은 V_{OC} 가 측정되었다.

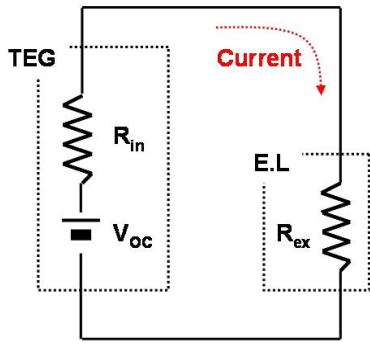


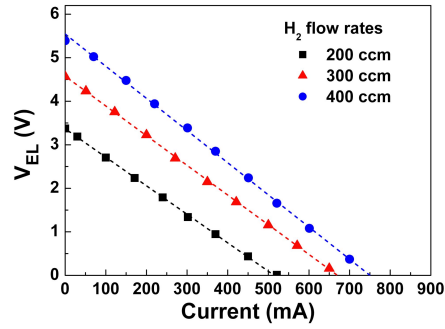
Fig. 9 Simplified electric circuit

3.2 Electric load를 이용한 동력 소모

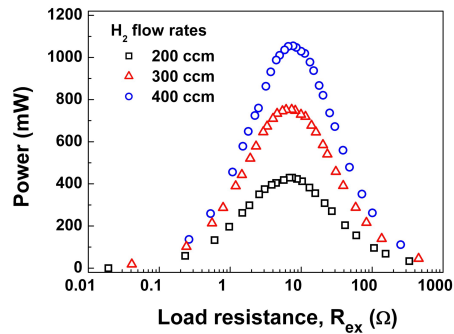
3.1절의 실험은 동력 소모가 없는 상태에서 V_{OC} 를 측정하여 동력원의 포텐셜을 측정하였다. 그러나 실제 응용에서는 동력 소모 장치가 연결되어 사용되며, 이 연구에서는 electric load를 연

결하여 동일한 상황을 모사하였다.

Fig. 10은 TEG와 electric load를 연결한 회로를 단순화 시킨 모델이다. 열전 소자는 전압이 V_{OC} 인 이상적인 전원과 R_{in} 의 저항이 연결된 직렬 회로로 표현할 수 있다. 직렬로 연결된 electric load는 저항의 크기가 R_{ex} 인 가변 저항으로 모사할 수 있다. 이 저항의 크기를 조절함에 따라 회로에 흐르는 전류를 조절하고 electric load에 의해 소모되는 동력을 조절할 수 있다.



(a) $I - V_{EL}$



(b) $R_{ex} - P$

Fig. 10 Performance curves TE power generation with electric load (case 3, Natural convection, $\Phi=1$)

Fig. 10은 case 3 실험에서 electric load 조절에 따른 전압 및 동력 변화를 나타내고 있다. Fig. 10(a)에서 electric load에 가해진 전압은 회로 전류 증가에 따라 선형적으로 감소하였다. 전류에 따른 전압 감소율은 동력원에 공급된 연료의 유량과 관계없이 일정하게 나타났다. 이러한 특성은 열전 소자의 내부 저항에 의한 전압 강하로 인하여 나타난다. Electric load에 가해지는 전압 V_{EL} 은 식 (1)과 같이 표현되며 전압의 감소율은 내부 저항의 크기와 같다. 따라서 연료 공급량에 관계없이 전압 감소율은 동일한 열전소자에 대하여 일정하게 나타난다.

$$V_{EL} = V_{OC} - I \cdot R_{in} \quad (1)$$

$$P = V_{OC}I - I^2R_{ex} \quad (2)$$

$$P_{max} = \frac{V_{OC}^2}{4R_{ex}} \quad \text{when, } I = \frac{V_{OC}}{2R_{ex}} \text{ or } R_{in} = R_{ex} \quad (3)$$

식(2), (3)은 electric load에서 소모되는 동력과 최대 동력을 나타낸다. 동력은 전류에 대하여 이차곡선의 형태로 얻어지며 부하 저항의 크기가 열전 소자의 내부 저항과 일치할 때 최대 동력을 얻을 수 있다. Fig. 10(b)에 따르면 최대 동력은 동일한 크기의 부하 저항에서 얻을 수 있으며 이 실험에서 측정된 값은 7Ω으로 나타났다. 이는 사용한 열전소자의 내부 저항의 크기(5Ω)보다 다소 높다. 이것은 열전소자에 열이 공급됨에 따라 소자의 평균 온도가 증가하여 내부 저항의 크기가 다소 증가하였기 때문이다.

최대 Fig. 10은 case 3 실험에서 electric load 조절에 따른 전압 및 동력 변화를 나타내고 있다. Fig. 10(a)에서 electric load에 가해진 전압은 회로 전류 증가에 따라 선형적으로 감소하였다. 전류에 따른 전압 감소율은 동력원에 공급된 연료의 유량과 관계없이 일정하게 나타났다. 이러한 특성은 열전 소자의 내부 저항에 의한 전압 강하로 인하여 나타난다.

Fig. 11은 부하 저항 변화에 따른 효율의 변화를 나타내고 있다. 효율은 식 (4)를 이용하여 계산하였다.

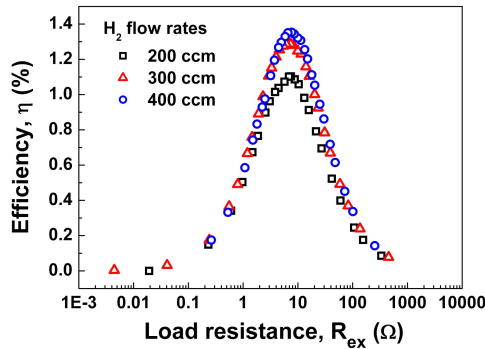


Fig. 11 Efficiency with different R_{ex} (case 3, Natural convection, $\Phi=1$)

식(4)는 공급된 연료의 연소 반응을 통해 얻을 수 있는 최대 발열량 중 electric load에 의해 소모된 동력의 효율을 나타내고 있다. Fig. 11에서 확인된 바와 같이 동력원의 효율은 부하 저항의 영향을 많이 받는다. 실제로 각각의 실험에서 연료 공급량을 포함한 동력원의 모든 조건이 동

일하게 유지되었을 때, 효율은 부하 저항의 크기에 따라 큰 변화를 보였다. 최대 동력 조건에서 열전 소자에 의해 생산된 동력의 절반은 열전 소자 내부 저항의 의해 열의 형태로 소모된다 (Joule heat)[26]. 이 연구에서 얻은 효율은 최대 1.4%로 나타났다.

$$\eta = \frac{\text{Power consumed by electric load}}{\text{HHV of H}_2 \text{ combustion}} \times 100$$

HHV of $H_2 = 285.84 \text{ kJ/mol}$ (4)

Fig. 12는 case 4의 실험에서 두 개의 열전 소자의 연결 형태를 달리하여 측정된 동력 곡선이 다. 그래프에서와 같이 열전 소자의 연결 형태를 달리 함에 따라 소자의 내부 저항이 달라져 각기 다른 부하 저항의 크기에서 최대 동력을 얻을 수 있었다. 그러나 최대 출력 동력은 거의 동일하게 나타났다. 따라서 열전소자를 이용하여 동력원을 설계할 경우 사용 목적에 적합하게 소자의 연결 형태를 결정하여 최적의 구동 조건을 얻을 수 있어야 한다.

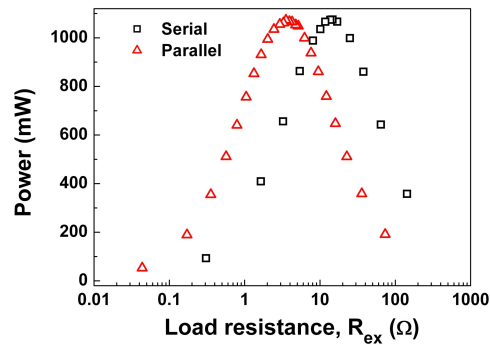


Fig. 12 Power curves with different connection of two TEGs (case 4, $\Phi=1$, 400 ccm of H_2)

Fig. 13은 각 수소 유량 및 방열판에 대하여 소모 동력이 최대가 되었을 때의 부하 저항 크기를 비교하고 있다. 그래프의 점선은 열전 소자의 연결 형태에 따른 상온에서의 내부 저항 크기를 나타내고 있다. 그래프에 따르면 부하 저항은 전체적으로 상온에서의 열전소자 저항보다 크며 수소 유량이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 특성은 열전 소자의 평균 온도가 증가함에 따라 소자 내부 저항의 크기가 증가함으로 인해 나타난다. 수소 공급량이 증가함에 따라 소자의 온도가 증가하여 이로 인해 내부 저항이 다소 증가하게 된다. 따라서 최대 동력에 대한 부하 저항 역시 증가하게 된다. 실험 결과에 따르면 이러한 영향은 열전 소자를 병렬로 연결할 경우에 적게 나타났다(case 4 parallel).

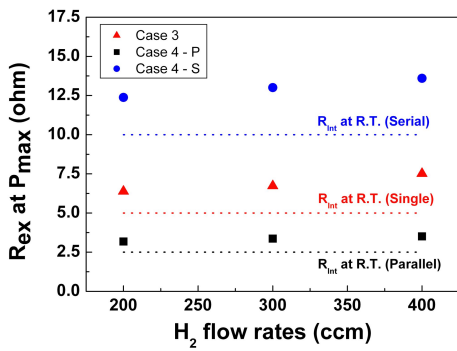


Fig. 13 R_{ex} for P_{max} with different H_2 flow rates

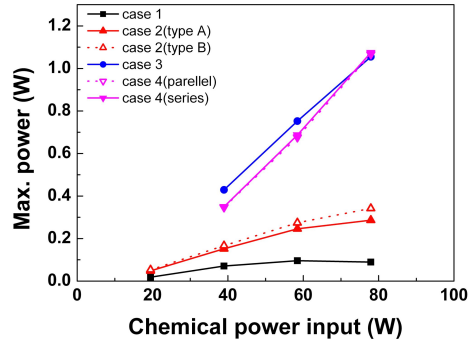
3.3 최대 전력과 최대 효율

Fig. 14는 공급된 연료의 에너지 변화에 따른 최대 동력 및 효율의 변화를 나타내고 있다. 여기서 최대 동력과 효율은 3.2 절에 설명한 바와 같이 각 수소 공급 유량에 대하여 electric load의 저항을 달리하였을 때 얻어진 최대 동력을 이용하여 획득하였다. 공급된 연료의 에너지는 연료의 고발열량(Higher Heating Value, HHV)로 계산하였다.

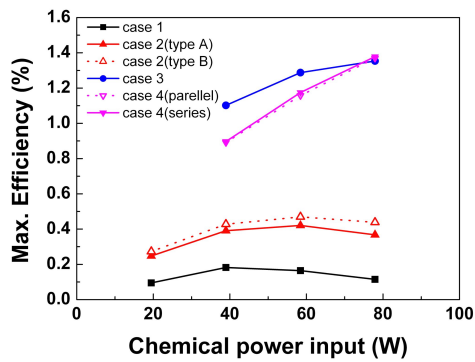
Fig. 14에 따르면 주어진 동력 시스템의 P_{max} 및 η_{max} 는 방열판의 성능에 따라 크게 달라짐을 확인할 수 있다. 따라서 열전 소자와 연소기를 이용한 동력원 설계시 최적의 방열판 선정이 요구된다. 방열판이 결정될 경우, 동력 시스템에 대한 최적의 에너지 공급량이 결정된다. 실험 결과에 따르면 P_{max} , η_{max} 모두 임의의 공급 에너지에 대하여 최대값을 가지게 된다. 그러나 최적 조건을 얻을 수 있는 조건은 동력과 효율에 대하여 각기 다른 조건에서 나타난다. Case 2의 경우, 60W 이상의 공급 에너지에 대하여 η_{max} 는 다소 감소하는 경향을 보였으나 P_{max} 는 계속 증가하는 현상을 보이고 있다.

이러한 특성은 다음과 같이 설명할 수 있다. 에너지 공급량을 증가시키기에 따라 열전소자와 방열판을 통과하는 열량이 증가한다. 이 때 전체 공급 에너지 중 열전 소자를 통과하는 열량의 비율 역시 동시에 증가하여 전체 동력 시스템의 효율이 증가한다. 효율이 최대가 되는 조건에서 이 비율은 최대가 된다. 에너지 공급량이 더욱 증가하면 열전소자를 통과하는 열량은 증가하지만 전체 공급된 에너지에서 차지하는 비율은 감소하게 된다. 이로 인해 출력은 증가하지만 효율은 오히려 감소하는 현상이 나타난다. 다음으로 최대 동력 이상의 공급 에너지에 대해서는 열전소자를 통과하는 열량이 더 이상 증가하지 못하고 연소

기에서의 직접적인 열손실(생성물에 의해 흡수된 열 및 연소기 표면에서 외부로의 열손실)이 증가하게 된다. 이로 인해 최대 동력은 더 이상 증가하지 않고 오히려 다소 감소한다. 따라서 동력원 설계 시 최대 효율과 동력 어떤 것을 설계 요구 조건으로 선정할 지에 대한 고려가 필요하다.



(a) P_{max}



(b) η_{max}

Fig. 14 P_{max} and η_{max} with different chemical power input

4. 결론

축매 연소기와 열전 소자를 통합하여 전력 생산 장치를 제작하였다. 백금 축매를 사용하여 수소 축매 연소를 통해 열원을 제공하였으며 최대 1.4%의 열효율로 1.1W의 최대 전력을 얻었다.

동력원의 효율은 열전 소자의 저온부에 부착된 방열판에 따라 크게 변화하였다. 따라서 동력원의 최적화를 위해 적합한 방열판을 선정하고 이를 소형화 하는 것이 전체 시스템의 소형화에서 가장 중요할 것으로 판단한다.

일정한 연료 공급량에 대하여 동력원의 효율 및 동력은 열전 소자의 내부 저항과 동력 소모 장치의 내부 저항이 일치할 때 최대가 되었다. 또한 최대 동력과 최대 효율을 얻을 수 있는 공급 유량이 존재하였으며 동력은 최대 효율 보다

다소 높은 공급 유량에서 최대가 되었다.

제작된 시스템은 백금 촉매를 이용한 모든 발열 반응에 적용이 가능하다. 이 연구에서 제작한 동력원을 이용하여 수소 대신 메탄올을 연료를 공급하여 동력원의 구동에 성공 하였다. 이 외에 과산화수소 분해 반응을 열원으로 한 동력원 구동 역시 가능할 것으로 생각된다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2006-0000-11311-0)

참고문헌

- [1] A. Carlos Fernandez-Pello, 2002, "Micro-Power Generation Using Combustion: Issues and Approaches," *Proceeding of Combustion Institute*, Vol. 29 pp. 883~899.
- [2] Shuji Tanaka, Juei-Sung Chang, Kyong-Bok Min, Daisuke Satoh, Kazushi Yoshida and Masayoshi Esashi, "MEMS-based components of a miniature fuel cell/fuel reformer system," *Chemical Engineering Journal*, Vol. 101, pp. 143~149.
- [3] Shin-Kun. Ryi, Jong-Soo Park, Seung-Hoon Choi, Sung-Ho Cho and Sung-Hyun Kim, 2005, "Novel micro fuel processor for PEMFCs with heat generation by catalytic combustion," *Chemical Engineering Journal*, Vol. 113, pp. 47~53
- [4] Taegy Kim and Sejin Kwon, 2006, "Fabrication and Performance Evaluation of MEMS Methanol Reformer for Micro Fuel Cells," *Trans. of the KSME (B)*, Vol. 30, No. 12, pp. 1196~1202
- [5] Dae Hoon Lee and Sejin Kwon, "Heat transfer and quenching analysis of combustion in a micro combustion vessel," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 12, pp.670-676, 2002
- [6] Kyu Tae Kim, Dae Hoon Lee and Sejin Kwon, 2006, "Thermal and Chemical Quenching Phenomena in a Microscale Combustor (II) Effects of Physical and Chemical Properties of SiO_x(x≤2) Plates on Flame Quenching," *Trans. of the KSME (B)*, Vol. 30, No. 5, pp. 405~412
- [7] J. Vican, B.F.Gajdeczko, F.L.Dryer, D.L.Milius, I.A.Aksay and R.A.Yetter, 2002, "Development of a microreactor as a thermal source for microelectromechanical systems power generation," *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 29, pp. 909~916.
- [8] C.M. Spadaccini, Xin Zhang, C.P. Cadou, Norihisa Miki and Ian A. Waitz, 2003, "Preliminary development of a hydrocarbon-fueled catalytic micro-combustor," *Sensor and Actuator A*, Vol. 103, pp. 219-224.
- [9] Yuji Suzuki, Yuya Hori and Nobuhide Kasagi, 2003, "Micro catalytic combustor with tailored Pt/Al₂O₃ films," *Power MEMS 2003*, Makuhari, Japan.
- [10] Michael T. Janicke, Harry Kestenbaum, Ulrike Hagendorf, Ferdu Schuth, Maximilian Fichtner and Klaus Schubert, 2000, "The Controlled Oxidation of Hydrogen from an Explosive Mixture of Gases Using a Microstructured Reactor/Heat Exchanger and Pt/Al₂O₃ Catalyst," *Journal of Catalysis*, Vol. 191, pp. 282-293.
- [11] Jungkun Jin and Sejin Kwon, 2007, "Fabrication and performance test of micro catalytic combustors with Pt coated porous support for micro power generation systems," *6th Asia-Pacific Conference on Combustion*, Nagoya, Japan
- [12] Chung Ki Kim, Gyaee Byung Yang and Sejin Kwon, 2007, "Fabrication of the platinum coated porous silicon substrate and evaluation of combustion characteristics," *35th KOSCO symposium*, Andong.
- [13] Alan H. Epstein, 2003, "Millimeter-scale, MEMS gas turbine engines," *Proceedings of ASME Turbon Expo 2003*, GT-2003-38866, Atlanta, USA
- [14] Amit Mehra, Xin Zhang, Arturo A. Ayn, Ian A. Waitz, Marin A. Schmidt and Christopher M. Spadaccini, 2000, "A Six-Wafer Combustion System for a Silicon Micro Gas Turbine Engine," *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 9, No.4, pp. 517~527.
- [15] C.H.Lee, K.C.Jiang, P.Jin and P.D. Prewett, 2004, "Design and fabrication of a micro Wankel engine using MEMS technology," *Microelectronic Engineering*, Vol. 73-74, pp. 529-534.
- [16] Dae Hoon Lee, Dae Eun Park, Joon Bo Yoon, Sejin Kwon and Euisik Yoon, 2002, "Fabrication and test of a MEMS combustor and reciprocating device," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 12, pp. 26-34.
- [17] S.B.Riffat and Xiaoli Ma, 2003, "Thermoelectrics : a review of present and potential applications," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp. 913-935.
- [18] S.Ghamaty, J.C.Bass and N.B.Elsner, 2003, "Quantum Well Thermoelectric Devices and Applications," *22th International Conference on Thermoelectrics*, pp. 563~566.
- [19] Jungkun Jin and Sejin Kwon, 2007, "Catalytic combustion of H₂/Air mixture using Pt/Al₂O₃ coated nickel foam," *34th KOSCO symposium*, Chuncheon.