

연료 재순환 이젝터를 이용한 연료전지-폐기물 기반 가역 고체 산화물 연료전지의 최적 설계

잡반티엔¹ · 이영덕^{1,2} · 김영상² · 쿠엔¹ · 안국영^{1,2,†}

¹과학기술연합대학원대학교 환경에너지기체공학, ²한국기계연구원 청정연료발전연구실

Optimal Design of RSOFC System Coupled with Waste Steam Using Ejector for Fuel Recirculation

VAN-TIEN GIAP¹, YOUNG DUK LEE^{1,2}, YOUNG SANG KIM², THAI QUYEN QUACH¹,
KOOK YOUNG AHN^{1,2,†}

¹Department of Environment & Energy Mechanical Engineering, University of Science and Technology (UST), 217 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34113, Korea

²Department of Clean Fuel & Power Generation, Korea Institute of Machinery & Materials (KIMM), 156 Gajeongbuk-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34103, Korea

†Corresponding author :
kyahn@kimm.re.kr

Received 24 July, 2019
Revised 19 August, 2019
Accepted 31 August, 2019

Abstract >> Reversible solid oxide fuel cell (RSOFC) has become a prospective device for energy storage and hydrogen production. Many studies have been conducted around the world focusing on system efficiency improvement and realization. The system should have not only high efficiency but also a certain level of simplicity for stable operation. External waste steam utilization was proved to remarkably increase the efficiency at solid oxide electrolysis system. In this study, RSOFC system coupled with waste steam was proposed and optimized in term of simplicity and efficiency. Ejector for fuel recirculation is selected due to its simple design and high stability. Three system configurations using ejector for fuel recirculation were investigated for performance of design condition. In parametric study, the system efficiencies at different current density were analyzed. The system configurations were simulated using validated lumped model in EBSILON® program. The system components, balance of plants, were designed to work in both electrolysis and fuel cell modes, and their off-design characteristics were taken into account. The base case calculation shows that, the system with suction pump results in slightly lower efficiency but stack can be operated more stable with same inlet pressure of fuel and air electrode.

Key words : Hydrogen energy(수소에너지), Electrolysis(수전해), Reversible solid oxide fuel cell(가역고체산화물연료전지), Renewable energy(신재생에너지), Round-trip efficiency(양방향 효율), Hydrogen energy storage system(수소에너지저장시스템), Waste steam(폐스팀), Waste heat(폐열)

1. 서론

태양광, 풍력 등의 재생에너지 비율이 증가함에 따라 재생에너지의 특성상 전력의 공급과 수요의 불일치 문제가 야기되고 있다^{1,2)}. 이와 같은 재생에너지의 간헐성에 의한 잉여 전력과 계통의 안정성 저하를 해결하기 위한 방법으로는 전력수요 제어 및 에너지 저장 방법이 있다³⁾. 전력수요 제어로는 세 가지 방법이 있으며, 첫째로는 전력이 필요할 때 가스터빈 등을 이용하여 전원을 공급하여 피크전력 부하를 해결하는 방법이 있으며, 둘째로는 슈퍼 그리드 등과 같이 전력 수요를 분산하는 방법, 셋째로는 스마트 그리드 제어 등을 들 수 있다⁴⁾. 에너지 저장 방법으로는 양수발전 방법이 효율적 측면에서 가장 유리하나 지역적인 제한이 있으며, 다른 방법으로는 배터리, 압축공기 저장장치(CAES), 액체공기 저장장치(LAES), 플라이휠 등이 제안되고 있으나 시스템 저장 용량이나 시간 등을 고려하면 수전해에 의한 수소 저장이 가장 바람직한 방법으로 알려져 있다^{5,6)}.

수전해의 경우 알칼라인 및 PEM 등의 저온 수전해와 SOEC 등의 고온 수전해로 나눌 수 있으며, 고온 수전해의 경우가 전환효율이 높다⁷⁾. 하지만 국내의 경우 아직 개발 초기단계에 있으며, 국외의 경우에도 제한적으로 제품을 상용화하여 판매하고 있지만 아직 기술의 성숙도가 낮은 실정이다. 특히, 고온 수전해의 경우에도 수소의 생산과 전기의 생산을 하나의 스택을 이용하여 운전할 수 있는 양방향 수전해 기술은 설비가격 및 운전의 이점에도 불구하고 기술적 완성도가 낮아 어려움을 겪고 있다⁸⁾.

본 연구는 재생에너지 시스템의 잉여전력과 폐기물 소각로에서 생산된 스팀을 이용하여 수소를 생산하여 저장하였다가(수전해 모드) 전력이 필요한 시점에 전력을 생산하는(연료전지 모드) 양방향 에너지저장 기술에 대한 것으로, 수전해 모드와 연료전지 모드가 하나의 스택에서 이루어지는 가역(reversible) 시스템을 제안하고 해석을 수행하였다. 특히, 수전해 모드에서는 연료극 재순환을 위하여 이젝터를 이용하였으며 시스템 효율을 향상시키기 위하여 배기열

이용을 위한 HRSG를 설치하였다^{9,10)}. 한편으로는 스택의 안정적 운전을 위하여 연료극 출구 하류에 펌프를 설치하여 연료극과 공기극 입구의 압력으로 같게 하는 시스템도 제안하였다¹⁾.

2. 제안 시스템

제안된 시스템은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 수전해 모드인 SOEC 모드에서는 폐기물 소각로 등에서 생산된 스팀이 물비로 75%, 수소가 25% 연료극으로 공급된다. 이 때 수소의 연료극(fuel electrode, F_Elec.)에서 전환율은 45%이다. 생산된 수소는 미반응 스팀과 함께 일부는 이젝터를 통하여 재순환되며 일부는 냉각-드레인-압축 과정을 거친 후 수소 100% 농도로 저장하게 된다. 공기극(air electrode, A_Elec.)의 경우에는 SOEC 및 SOFC 모드에서 동일하게 공기극 배기열을 이용하여 공급되는 공기를 열교환하여 온도를 맞추게 되며, SOEC모드에서는 725°C, SOFC모드에서는 675°C로 공급한다. 스택 입구의 연료 및 공기 온도는 입구에 설치된 전기히터를 이용하여 원하는 온도로 공급하도록 하였다.

Fig. 2에는 SOFC 모드를 나타낸 것으로, SOFC 모드에서는 연료극으로는 저장되어 있던 수소가 물비로 3%의 스팀과 함께 공급하게 되며, 연료극의 연료 이용률은 70%이다. SOEC 및 SOFC 모드에서 사용되는 송풍기, 열교환기 등의 BOP는 두 모드 중 용량이 큰 쪽을 선택하여 가능한 하나의 BOP로 두 모드 모두 운전할 수 있도록 하였다. 스택의 작동온도는 700°C이며, 열교환기의 유효열효율은 90% 압력강하는 저온측은 0.05 bar, 고온측은 0.002 bar로 하였다. 스택의 연료극 및 공기극 입구의 압력을 일정하게 유지하기 위하여 연료극 출구 하류측에 흡인펌프를 설치하여 스택이 안정적으로 운전될 수 있게 하였다.

Fig. 1과 Fig. 2에서 나타낸 사이클 중 system-0는 재순환 열교환기(R_HEX)를 사용한 경우이고, system 1은 시스템의 단순화를 위하여 재순환 열교환기를 제거한 경우이다. System-2는 system-1에 흡인펌프(suction pump)를 설치한 경우로서, 즉 재순환 열

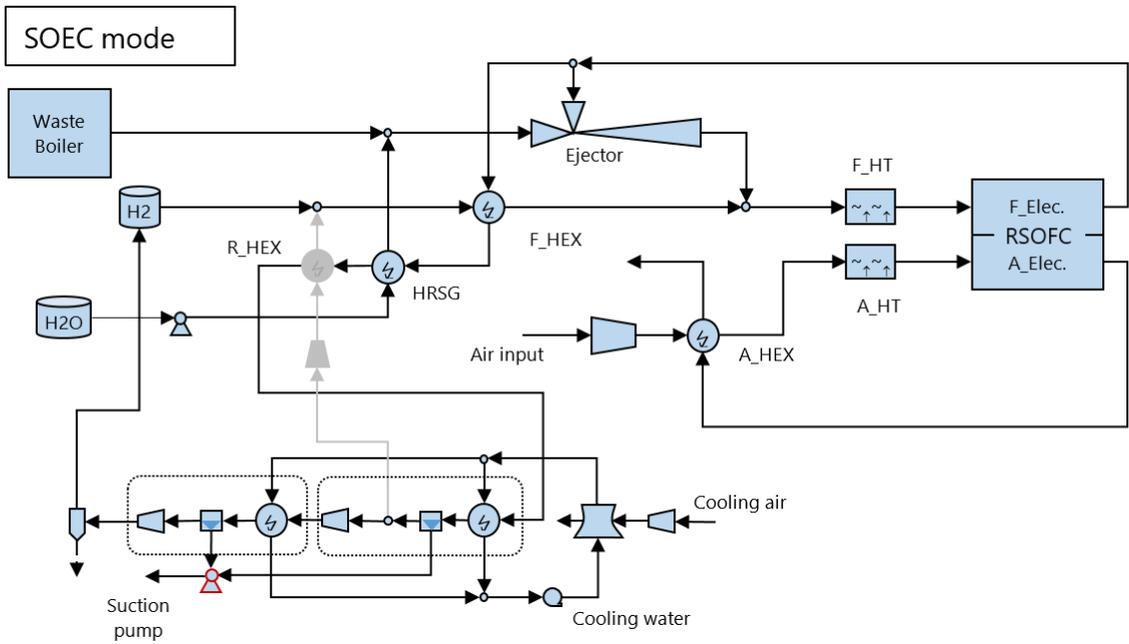


Fig. 1. Schematics of SOEC mode

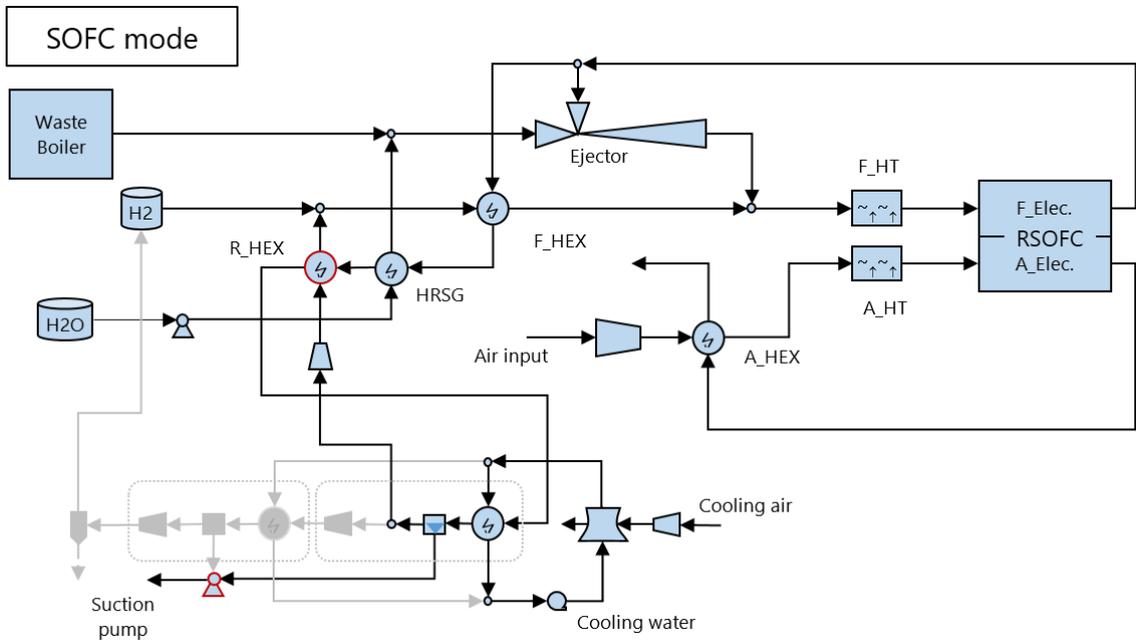


Fig. 2. Schematics of SOFC mode

교환기는 제거하고 흡인펌프를 설치한 경우이다.

Table. 1에는 작동점에서의 사양을 나타내었으며, Barelli 등¹²⁾에 따르면 SOEC 공기극으로 공급되는 가스(sweep gas)의 양은 공기극 출구 산소농도가 50% 이하로 적절하도록 설정되어야 한다. 본 연구에서는 두 가지 조건을 SOEC 모드에 적용하였다. 1) 공기극 출구 가스의 산소농도가 35%로 유지되도록 하였으며, 2) 수소농도가 일정한 조건에서 전류밀도가 증가할수록 산소농도는 변화한다. 즉, Fig. 3의 하나의 성능곡선을 따라 전류밀도가 변화한다.

Table 1. System operating conditions

Parameters	Base value (range)	Units
Stack operating temperature	700	°C
Inlet steam temperature	700	°C
Inlet air temperature (reference temperature)	25	°C
HRSG pinch temperature	10	°C
Inlet air pressure	1.01325	bar
Electrical efficiency of motors	85	%
Ejector efficiency	15	%
Heat exchanger		
Maximum effectiveness	0.9	
Cold channel pressure drop	0.05	bar
Hot channel pressure drop	0.002	bar
Pressure drop through RSOFC (both channels)	0.03	bar
SOEC mode		
Stack fuel inlet temperature	725	°C
Stack Air inlet temperature	725	°C
H ₂ concentration in fuel	25	% vol
Steam conversion ratio	45	%
Temperature decrease	50	°C
SOFC mode		
Stack fuel inlet temperature	675	°C
Stack Air inlet temperature	675	°C
H ₂ concentration in fuel	97	% vol
Fuel utilization	70 ¹¹⁾	%
Temperature rise	50	°C

3. 시스템 해석

앞서 언급한 시스템에 대한 해석을 위하여 연료전지 스택을 비롯하여 열교환기 등 BOP에 대한 모델링 식을 제시하고, 효율을 정의하였다. 해석에 사용된 가정은 다음과 같다: 1) 모든 구성요소의 열손실은 없다. 2) 배관의 열손실 및 마찰손실은 없다.

3.1 연료전지 스택 모델링

가역 고체산화물 연료전지(reversible solid oxide fuel cell, RSOFC) 스택의 셀 전압은 다음과 같이 계산된다.

$$U = U_{rev} - U_{act} - U_{ohm} + U_{con}$$

여기서, nernst voltage는

$$U_{rev} = \frac{\Delta G}{2F} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{y_{H_2} \sqrt{P_A y_{O_2}}}{y_{H_2O}}$$

이며, 각 손실은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Activation 손실은 아래와 같으며,

$$U_{act} = \text{sign}(j) \frac{2RT}{nF} \sinh^{-1} \left(\frac{|j|}{2j_0} \right), n = 2 \text{ (for H}_2\text{)}, 4 \text{ (for O}_2\text{)}$$

$$j_{ofuel} = \gamma_f y_{H_2 tpb} y_{H_2 O tpb} e^{-E_{H_2}/RT}$$

$$j_{oair} = \gamma_a y_{O_2 tpb}^{0.25} e^{-E_{O_2}/RT}$$

Ohmic 손실은 아래와 같다.

$$U_{ohm} = \frac{j d_e}{\sigma_0} e^{\frac{80000}{RT}}$$

또한, Concentration 손실은

$$U_{con} = \frac{RT}{4F} \ln \frac{y_{o2tpb}}{y_{O_2}} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{y_{H_2 tpb} y_{H_2 O}}{y_{H_2} y_{H_2 O tpb}}$$

로 나타낼 수 있으며, y_{H2tpb} 및 y_{O2tpb} 는 수소와 산소의 몰농도이다.

$$y_{O2tpb} = \frac{1}{\delta_{O2}} - \left(\frac{1}{\delta_{O2}} - y_{O2} \right) \exp \left[\frac{RT}{4F} \frac{j\delta_{O2}d_a}{PD_{effO2}} \right]$$

$$y_{H2tpb} = y_{H2} - \frac{RT}{2F} \frac{j d_c}{PD_{effH2}}$$

압력의 경우에는 설계 조건에서의 압력을 이용하여 다음과 같이 구하였다.

$$\Delta P = \Delta P_N \left(\frac{m}{m_N} \right)^2$$

여기서, m 및 m_N 은 작동 조건과 설계 조건에서의 질량유량을 나타낸다.

3.2 BOP 모델링

열교환기는 다음과 같은 식을 이용하여 모델링하였다.

$$\varepsilon = \frac{Q_{transferred}}{(mC_p)_{min} (T_{hotin} - T_{coldin})}$$

$$Q_{transferred} = K * A * LMTD$$

$$LMTD = \frac{T_{hotout} - T_{coldin} - (T_{coldout} - T_{hotout})}{LN(T_{hotout} - T_{coldin}) - LN(T_{coldout} - T_{hotout})}$$

탈설계점에서는 열전달 계수는 Epsilon에서 주어진 값으로 다음과 같이 나타낼 수 있다¹³⁾.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{FK_{cold}AL_{cold}} + \frac{1}{FK_{hot}AL_{hot}}$$

$$FK_{hot} = [1 - .0005(\bar{T}_{hot} - \bar{T}_{hotN})] \left(\frac{m}{m_N} \right)^{exhot}$$

$$FK_{cold} = \left(\frac{m}{m_N} \right)^{exCold}$$

여기서, K 는 총체열전달계수이며 AL 은 각 채널에서의 열전달 계수이다. $exot$ 및 $exCold$ 는 Epsilon에서 주어지는 계수값이다¹⁴⁾.

한편, 이젝터에서의 등엔트로피 효율은 다음과 같이 나타내어진다⁷⁾.

$$\eta_e = \eta_{tur} \times \eta_{com} = \varphi \frac{h_{2out,s} - h_{2in}}{h_{1in} - h_{1out,s}}$$

3.3 효율 정의

양방향 수전해 효율은 수소를 생산하는 SOEC 모드와 전기를 생산하는 SOFC모드 모두를 고려한 효율로서, 저위발열량(LHV) 기준으로 각 효율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

SOEC모드의 경우는 아래와 같으며,

$$\eta_E = \frac{\text{hydrogen output}}{\text{electricity input} + \text{exergy of steam input}}$$

SOFC모드에서의 효율은

$$\eta_F = \frac{\text{Electricity output}}{\text{hydrogen input}}$$

와 같이 나타낼 수 있으며, 양방향 효율(round-trip efficiency)은 두 효율의 곱으로 다음과 같이 나타내었다.

$$\eta = \eta_E \eta_F$$

4. 결과 및 고찰

4.1 스택 모델 검증

스택 모델의 검증을 위하여 3 cells로 실험한 데이터를 이용하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안된 모델 결과는 실험 결과와 잘 일치함을 알 수 있으며, 모델 계산 결과를 이용하여 스택 연료

극 입구 수소 농도에 따른 성능곡선을 나타내었다. 그림에서 SOEC모드의 경우 점선과 실선으로 표시된 성능곡선은 실험데이터를 이용하여 구한 아래 Table 2의 결과를 이용하여 얻어진 성능곡선이다.

4.2 시스템 비교

본 연구에서는 시스템을 단순화하여 안정적으로 스택을 운전할 수 있도록 하는 데 주안점을 두었으며, 이 경우에도 시스템의 효율 저하는 최소화할 수 있도록 하였다. 시스템 단순화를 위하여 재순환 열교환기를 사용한 경우(system-0)와 재순환 열교환기를 제거한 경우(system-1)를 비교하였다. System-2는 system-1에 흡인펌프를 추가한 경우로서 흡인펌프를 이용함으로써 스택의 연료극과 공기극 입구의 압력을 동일하게 맞추어 스택 운전을 안정적으로 할 수

있도록 하였다.

각 시스템의 효율은 44.90%, 44.82%, 44.78%로 system-0가 가장 효율이 높으나 차이는 매우 적다.

System-0에서 재순환 열교환기를 통과하는 고농도 수소가스는 53°C에서 279°C로 상승하지만 단지 0.8 kW의 열만 활용하므로 효율에 미치는 영향이 매우 적기 때문에 system-1 및 system-2에서는 재순환 열교환기를 제거하였다. 또한, system-2에서의 흡인펌프는 공급유체의 양이 매우 적고 액체 상태이므로 소비동력이 무시할 만큼 적어 적용하였다.

Fig. 4는 SOEC모드에서 공급되는 동력의 사용을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 스택 입구에 설치된 전기히터의 소비동력은 약 3.8% (2.45 kW)이며 대부분 스택에 사용(93.5%)된다.

SOFC 모드에서 생산된 전기는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 스택 입구에 설치된 전기 히터에 20% (8.56 kW), 공기 브로워에 6%가 소비되며, 연료전지로부터 생

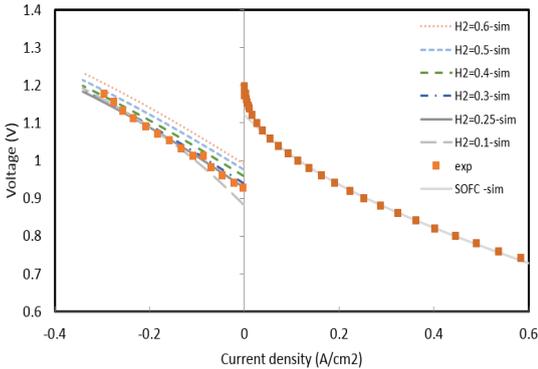


Fig. 3. Characteristic curve validation of RSOFC model

Table 2. Parameters for RSOFC stack modeling

Parameters	SOEC	SOFC
γ - fuel electrode	3.598E+09	1.661E+10
γ - air electrode	1.905E+08	9.900E+10
E_{act} -Felectrode (J/mol)	107,034	111,763
E_{act} -Aelectrode (J/mol)	93,758	80,000
σ_0 -electrolyte	5,870,467	5,870,467
Stack operating temperature	700 °C	700 °C
H2/H2O (vol)	25/75	97/03
O2	21%	21%

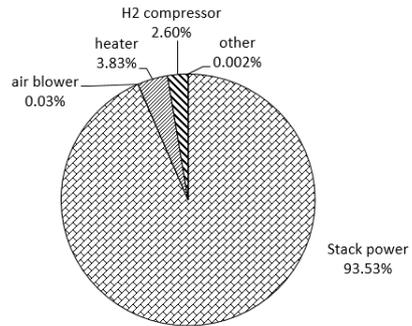


Fig. 4. Electricity consumption distribution of SOEC mode in system-2

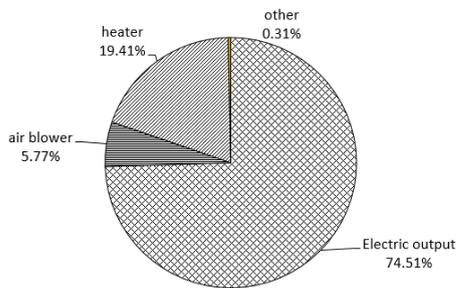


Fig. 5. Power output distribution of SOFC mode in system-2

산되는 전기량은 74.5%이다.

4.3 전류 밀도에 따른 성능 평가

설계점에서의 성능을 파악하기 위하여 전류 밀도에 따른 양방향 효율과 수소 발생량을 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 SOEC 모드에서는 공기극 출구의 산소농도를 일정하게 한 경우(fixed U_O2)와 연료극 입구의 수소 농도를 일정하게 한 경우를 나타내었으며, system-0, system-1 및 system-2의 효율은 거의 같다.

공기극 출구의 산소 농도를 일정하게 한 이유는 산소 농도가 증가하게 되면 공기극 후류에 설치되는 구성품의 산화 등을 고려하여야 하기 때문이며, 한편으로는 전류 밀도가 증가함에 따라 스택에서의 반응이 흡열모드에서 열적중립으로 이동하게 되어 공기극의 공기량이 증가하게 되어 송풍기 동력 증가로 시스템 효율이 저하하기 때문에 공기극 출구 산소농도를 일정하게 하여 흡열모드를 유지하도록 하였다.

즉, 전류밀도가 증가하면 연료극으로 공급되는 수소농도를 낮게 하여 흡열반응을 유지하게 되고, 따라서 공기극으로 공급되는 공기량을 줄여 출구의 산소농도를 일정하게 된다.

연료극 입구의 수소농도를 일정하게 한 경우는 Fig. 3의 SOEC 성능곡선을 따라 가면서 전류밀도가

변화하는 경우로서, 전류밀도가 증가함에 따라 스택에서의 반응이 흡열모드에서 열적중립으로 이동하게 되어 공기극으로 공급되는 공기량의 증가로 시스템 효율이 감소한다.

두 경우 모두 전류밀도가 증가함에 따라 양방향 효율은 감소하나 수소 생산량은 증가한다.

공기극 출구의 산소 농도를 일정하게 한 경우가 양방향 효율이 높은 것은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 SOEC 모드에서의 효율이 높기 때문이다.

그림에서 fixed U_O2는 SOEC 모드에서 공기극 출구 산소농도를 일정하게 유지한 경우이며, notFixed U_O2는 연료극에 공급되는 수소농도가 일정한 경우 즉, 수소농도가 25%인 경우이다. 또한, 그림에는 산소 및 수소농도 변화를 나타내었는데, 공기극 출구의 산소농도를 일정하게 한 경우에는 연료극 입구의 수

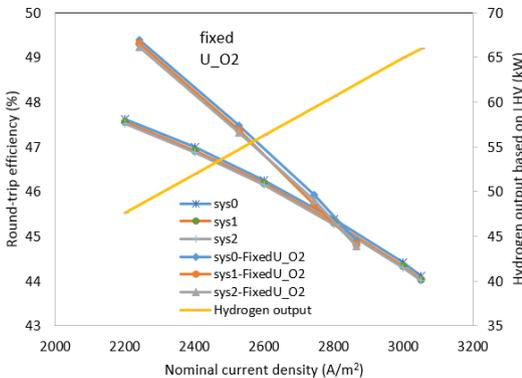


Fig. 6. System round-trip efficiencies and hydrogen output as a function of nominal current density

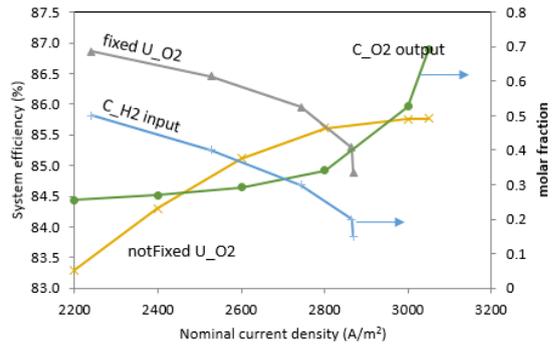


Fig. 7. SOEC mode efficiencies of two different operating cases

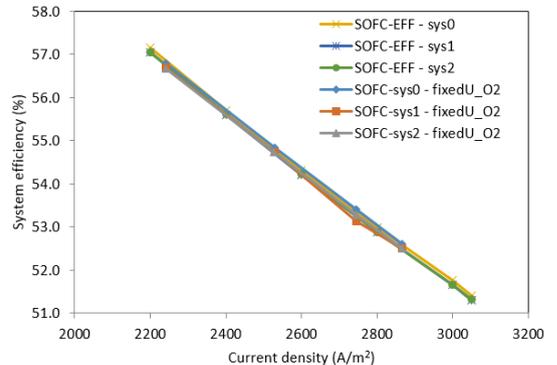


Fig. 8. SOFC mode efficiencies of different system configurations

소농도(C_H2 input)가 떨어져 전류밀도가 2,865 A/m² 이상에서는 흡열반응을 더 이상 유지할 수가 없어 효율이 현저히 저하되어 운전이 어렵게 된다. 일반적으로 SOEC 스택의 성능저하를 방지하기 위하여 연료극 입구 수소 농도는 10% 이상을 유지하여야 한다¹⁵⁾.

연료극에서 수소 농도를 일정하게 하여 Fig. 3에서의 성능곡선을 따라서 전류 밀도를 변화시킨 경우(notFixed U_O2)에는 전류밀도가 증가함에 따라 전압도 증가하게 되어 운전모드가 흡열모드에서 열적 중립모드로 접근하게 된다. 따라서, 공급되는 고온의 공기량이 줄어들게 되어 공기극 입구의 전기히터와 공기 송풍기 용량이 줄어들게 되어 효율이 상승하게 된다.

공기극 출구의 산소농도를 일정하게 한 경우(fixed U_O2)에는 전류 밀도가 증가함에 따라 효율이 감소하고 있다. 전류 밀도가 증가함에 따라 연료극 입구 수소 농도는 공기극 출구 산소농도를 일정하게 하기 위하여 감소하여 공기극으로 공급되는 공기량을 증가시켜야 하기 때문이다.

Fig. 8에는 SOFC 모드에서의 전류밀도에 대한 효율을 나타낸 것으로, 전류밀도가 증가함에 따라 효율이 감소하고 있음을 알 수 있으며 system-2의 경우 운전압력이 조금 높아 효율도 미미하지만 조금 높다.

5. 결론

수소 경제 활성화 로드맵에 따라 수소 생산 기술은 부생수소 및 추출수소라 불리는 회색 수소(grey hydrogen)으로부터 수전해에 의한 그린 수소(green hydrogen)로의 생산은 불가피할 전망이다. 본 연구는 재생에너지의 문제점인 수요와 공급의 불일치를 해결하기 위한 수소 생산에 관한 것으로, 양방향 수전해 시스템의 효율 저하를 최소화하면서 시스템을 단순화하고 스택이 안정적으로 운전될 수 있도록 하기 위한 시스템을 제안하였다. 본 연구를 통하여 얻게 된 결론은 다음과 같다.

1) 시스템을 단순화하기 위하여 재순환 열교환기를 제거하여도 시스템 효율은 거의 변하지 않음을

알 수 있었다. 또한, 열교환기 설치에 따른 압력 강하를 줄일 수 있는 이점이 있다.

2) 연료극 출구단 후류에 흡인펌프를 설치함으로써 스택으로 공급되는 연료극 및 공기극 입구 압력을 동일하게 하여 스택을 안정적으로 운전할 수 있도록 하였다. 이 경우에도 효율 변화는 거의 없었다.

3) 따라서, 재순환 열교환기를 제거하고 연료극 후류에 흡인펌프를 설치하도록 하였으며, 각 경우에 대하여 전류밀도가 증가할수록 양방향 효율은 감소하며, 공기극 출구 산소농도를 일정하게 유지한 경우와 연료극 입구 수소농도를 일정하게 유지한 경우 보다 높은 효율을 갖는다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제이다(No. 20163010140530).

References

1. V. T. Giap, Y. D. Lee, Y. S. Kim, and K. Y. Ahn, "Techno-Economic Analysis of Reversible Solid Oxide Fuel Cell System Couple with Waste Steam", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 30, No. 1, 2019, pp. 21-28, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2019.30.1.21>.
2. T. W. Brown, T. Bischof-Niemz, K. Blok, C. Breyer, H. Lund, and B.V. Mathiesen, "Response to 'Burden of proof: A comprehensive review of the feasibility of 100% renewable-electricity systems'", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 92, 2018, pp. 834-847, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.113>.
3. A. Evans, V. Strezov, and T. J. Evans, "Assessment of utility energy storage options for increased renewable energy penetration", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, No. 6, 2012, pp. 4141-4147, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.048>.
4. K. Rahbar, M. R. V. Moghadam, S. K. Panda, and T. Reindl, "Shared energy storage management for renewable energy integration in smart grid", 2016 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), 2016, USA, IEEE, doi: <https://doi.org/10.1109/ISGT.2016.7781230>.

5. T. M. I. Mahlia, T. J. Saktisahdan, A. Jannifar, M. H. Hasan, and H. S. C. Matseelar, "A review of available methods and development on energy storage; technology update", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 33, 2014, pp. 532-545, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.068>.
6. C. Lamy, "From hydrogen production by water electrolysis to its utilization in a PEM fuel cell or in a SO fuel cell: Some considerations on the energy efficiencies", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 34, 2016, pp. 15415-15425, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.173>.
7. P. Kim-Lohsoontorn, D. J. L. Brett, N. Laosiripojana, Y. M. Kim, and J. M. Bae, "Performance of solid oxide electrolysis cells based on composite $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_{3-\delta}$ - yttria stabilized zirconia and $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ oxygen electrodes", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 35, No. 9, 2010, pp. 3958-3966, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.02.039>.
8. V. T. Giap, S. Kang, and K. Y. Ahn, "HIGH-EFFICIENT reversible solid oxide fuel cell coupled with waste steam for distributed electrical energy storage system", *Renewable Energy*, Vol. 144, 2019, pp. 129-138, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.112>.
9. S. Baba, N. Kobayashi, S. Takahashi, and S. Hirano, "Development of Anode Gas Recycle System Using Ejector for 1 kW Solid Oxide Fuel Cell", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 137, No. 2, 2014, p. 021504, doi: <https://doi.org/10.1115/1.4028361>.
10. M. Aneke and M. Wang, "Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review", *Applied Energy*, Vol. 179, 2016, pp. 350-377, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.097>.
11. R. Peters, R. Deja, L. Blum, J. Pennanen, J. Kiviaho, and T. Hakala, "Analysis of solid oxide fuel cell system concepts with anode recycling", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 38, No. 16, 2013, pp. 6809-6820, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.03.110>.
12. L. Barelli, G. Bidini, and G. Cinti, "Air variation in SOE: Stack experimental study", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 43, No. 26, 2018, pp. 11655-11662, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.070>.
13. S. S. Technologies, "EBSILON®Professional", 2018.
14. R. K. McGovern, G. Prakash Narayan, and J. H. Lienhard, "Analysis of reversible ejectors and definition of an ejector efficiency", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 54, 2012, pp. 153-166, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2011.11.003>.
15. A. Hauch, S. D. Ebbesen, S. H. Jensen, and M. Mogensen, "Solid Oxide Electrolysis Cells: Microstructure and Degradation of the Ni/Yttria-Stabilized Zirconia Electrode", *Journal of The Electrochemical Society*, Vol. 155, No. 11, 2008, pp. B1184-B1193, doi: <https://doi.org/10.1149/1.2967331>.