

고온형 PEMFC 및 ORC 복합발전시스템의 해석적 연구

강현성^{*,**}, 김명환^{***}, 신유희^{*}

^{*}한국자동차연구원 동력성능연구센터

^{**}고려대학교 기계공학과

^{***}한국자동차연구원 수소모빌리티연구센터

e-mail:yhshin@katech.re.kr

Analytical Study of Combined Power System based on HT-PEMFC and ORC

Hyun Sung Kang^{*,**}, Myong-Hwan Kim^{***}, Yoon Hyuk Shin^{*}

^{*}Eco-friendly Vehicle R&D Division, Korea Automotive Technology Institute

^{**}Department of Mechanical Engineering, Korea University

^{***}Hydrogen Fuel Cell Mobility R&D Center, Korea Automotive Technology Institute

요약

본 연구에서는 기존에 선행되었던 고온형 PEMFC 및 ORC발전시스템 모델을 기반으로, 스택 열관리가 고려된 고온형 PEMFC 및 ORC 복합발전시스템 모델 구성과 더불어 운전조건에 따른 발전성능 및 효율 범위를 해석적으로 제시하고자 한다. 이를 위해 구성된 복합발전시스템 모델을 활용하여 스택 발전부하 및 운전온도 등의 변화에 따른 시스템 발전성능 및 효율을 예측하는 시스템 해석을 진행하였다.

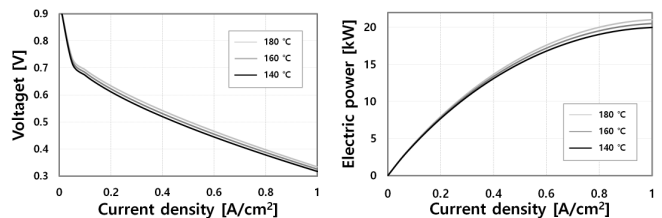
1. 서론

최근 급격한 기후변화와 대기오염 등의 문제가 심각해짐에 따라 에너지 절감 및 친환경 에너지 시스템에 대한 필요성이 점점 증가하고 있다. 특히, 화석연료와는 달리 유해물질이 거의 발생하지 않는 수소에너지 기반의 연료전지를 이용한 발전시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 가운데, 연료전지와 ORC(Organic Rankine Cycle)시스템을 결합한 발전시스템이 주목 받고 있다[1-4]. 특히 운전온도가 약 150~200 [°C]인 고온형 PEMFC(High temperature proton exchange membrane fuel cell)의 경우, 열관리시스템의 중요성이 높아지고, 비교적 높은 온도의 폐열에너지가 발생하여 ORC시스템의 열원으로서 활용이 가능하다. 이를 위해서는 스택 냉각수의 온도가 일정범위 이내에서 제한적으로 폐열이 활용되어야 함에 따라, 스택 열관리가 반영된 ORC 시스템 폐열활용 및 적정 운전 범위의 정립과 예측이 필요하다. 본 연구에서는 고온형 PEMFC의 폐열을 활용한 ORC복합발전시스템 해석 모델을 구성하여, 스택 발전부하 및 운전온도 별 ORC발전성능과 효율을 비교하였다.

2. 해석 모델

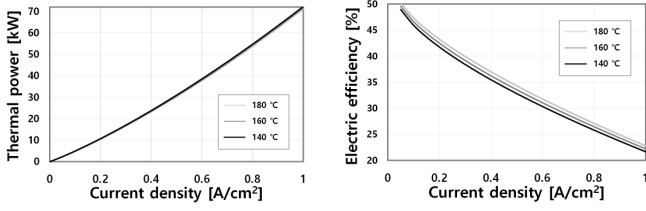
2.1 고온형 PEMFC 스택 모델링

스택 운전온도 및 입출구 냉각유체(Triethylene glycol)의 온도차에 따른 스택 발전량 및 발열량을 산출하기 위한 선행연구 기반의 스택 모델링을 진행하였으며, 시스템 해석에 반영한 스택 모델의 발전 및 발열성능은 그림 1과 같다[1].



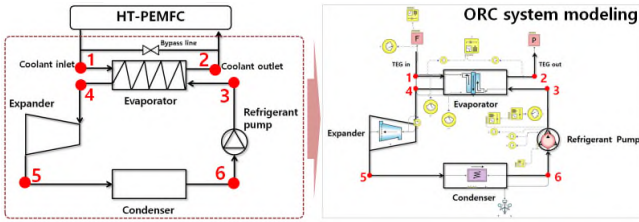
(a) 전류밀도-전압

(b) 전류밀도-발전량



(c) 전류밀도-발열량 (d) 전류밀도-발전효율
 [그림 1] 운전조건에 따른 고온형 PEMFC 스택 모델 성능

2.2 ORC 모델링



[그림 2] 고온형 PEMFC를 적용한 ORC복합발전시스템 해석 모델 개념도

스택 발열온도를 고려하여 ORC발전시스템의 구성부품 및 운전범위를 선정하였으며, 그림 2와 같이 스택 냉각유체 라인 은 폐열회수를 하는 ORC 증발기(Evaporator)와 bypass 라인 으로 연결되어 스택의 온도제어가 가능하도록 구성되었다. 또한 식(1)~(4)와 같이 각 유체라인 별 질량유량에 따른 열 교환 과정을 제시하였다. ORC 운전조건은 표 1과 같이 나타 내었으며, 스택 및 복합발전시스템의 효율은 식 (7), (8)과 같 이 나타났다.

$$Q_{evaporator,ref} = \dot{m}_{ref}(h_4 - h_3) \quad (1)$$

$$Q_{evaporator,coolant} = \dot{m}_{coolant} C_{coolant} (T_2 - T_1) \quad (2)$$

$$P_{expander} = \dot{m}_{ref}(h_5 - h_4) \quad (3)$$

$$Q_{condenser} = \dot{m}_{ref}(h_6 - h_5) \quad (4)$$

[표 1] ORC발전시스템 운전조건

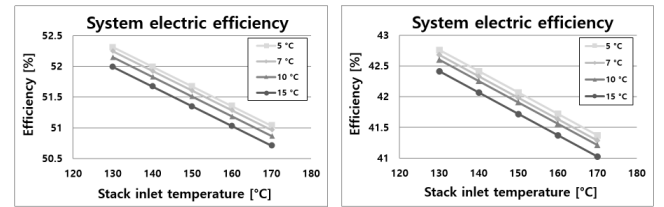
Parameters	Values
Superheat [K]	5
Pressure(evaporating) [bar]	14
Pressure(condensing) [bar]	2.2
Condensing temperature [°C]	36
Stack coolant mass flow rate [kg/s]	Variable
Stack coolant inlet temperature [°C]	Variable

$$\eta_{stack} = \frac{P_{stack}}{Q_{stack} + P_{stack}} \quad (7)$$

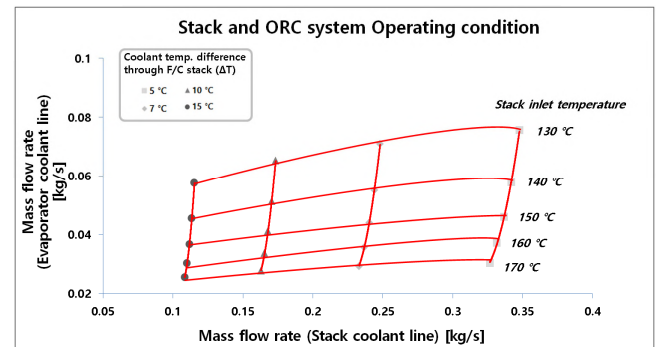
$$\eta_{system} = \frac{P_{stack} + P_{expander} - P_{pump}}{Q_{stack} + P_{stack}} \quad (8)$$

3. 해석 결과

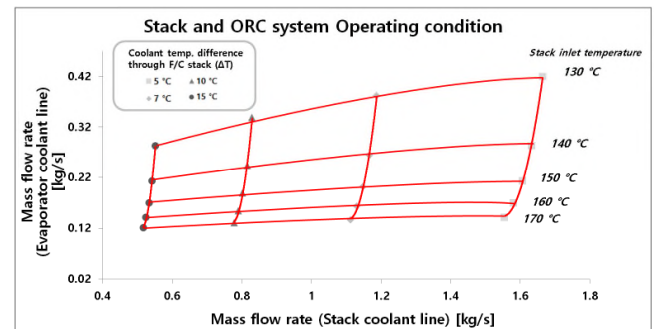
시스템 해석을 통하여 그림 3과 같이 스택의 전류밀도에 따 른 스택 및 ORC복합발전시스템의 발전효율을 비교하였으며, 그림 4 및 그림 5와 같이 각 운전온도 조건에 따른 스택 냉각 유체의 운전범위를 전류밀도 별로 나타냈다.



[그림 3] 스택 운전온도 및 입출구 온도차에 따른 ORC발전시스템 운전범위 해석 결과(스택 전류밀도: 0.4 A/cm²)



[그림 4] 스택 운전온도 및 입출구 온도차에 따른 ORC발전시스템 운전범위 해석 결과(스택 전류밀도: 0.1 A/cm²)



[그림 5] 스택 운전온도 및 입출구 온도차에 따른 ORC발전시스템 운전범위 해석 결과(스택 전류밀도: 0.4 A/cm²)

4. 결론

본 연구에서는 고온형 PEMFC의 폐열을 활용한 ORC복합 발전시스템 해석 모델을 구성하여, 스택 발전부하 및 운전온도 별 복합 발전성과 효율을 비교하였다. 또한, ORC발전을 위한 스택의 냉각유체 운전범위를 스택 발전부하에 따라 비교하였다. 이는 고온형 PEMFC 및 ORC 복합발전시스템의 최적인전 전략 수립과 효율적인 시스템 구성을 위한 기초 연구로서 향후 적용대상 별 응용 연구에 기여할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(NRF-2016M1A2A2937158)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] Chang, H.; Wan, Z.; Zheng, Y.; Chen, X.; Shu, S.; Tu, Z.; Chan, S.H.; Chen, R.; Wang, X., “Energy- and exergy-based working fluid selection and performance analysis of a high-temperature PEMFC-based micro combined cooling heating and power system”, *Applied energy*, 204, pp. 446 - 458, 2017.
- [2] Kandidayeni, M.; Macias, A.; Boulon, L.; Trovão, J. P. F., “Online Modeling of a Fuel Cell System for an Energy Management Strategy Design”, *Energies*, 13, 3713, 2020.
- [3] Jannelli, E.; Minutillo, M.; Perna, A., “Analyzing microcogeneration systems based on LT-PEMFC and HT-PEMFC by energy balances”, *Applied Energy*, 108, pp. 82-91, 2013.
- [4] He, T.; Shi, R.; Peng, J.; Zhuge, W.; Zhang, Y., “Waste heat recovery of a PEMFC system by using organic rankine cycle”, *Energies*, 9, 267, 2016.