

1 kW 고분자 전해질형 연료전지의 에너지성능 예측 모델 도출 연구

문선혜¹ · 조수현² · 정영선^{3*} · 황승태⁴

¹에버리젠, 대표

²한국건설기술연구원, 학생연구원 / 서울시립대학교, 박사과정

³한국건설기술연구원, 연구위원

⁴넥셀시스템(주), 책임연구원

A Study on Deriving a Model for Predicting Energy Performance of a 1 kW Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

Mun Sun Hye¹ · Cho Su Hyun² · Jeong Young Sun^{3*} · Hwang Seung Tae⁴

¹Representative, EVEREGEN Co.

²Student Researcher, The Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology / PhD, University of Seoul

³Research Fellow, The Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

⁴Senior Research Engineer, Nexellsystem

†Corresponding author: sunj74@kict.re.kr

Abstract

The dissemination of green architecture is one of the representative strategies of the architectural sector for the preemptive implementation of government-backed goals of increased greenhouse gas reductions. One implementation method is to realize zero-energy buildings through the convergence of passive houses and new and renewable energy. Energy self-sufficiency in residential buildings can be accomplished by the fusion of fuel cells with other renewable energy sources. To apply a fuel cell to a building, predictions of a building's energy consumption and fuel-cell energy production should be conducted simultaneously. Although many existing studies and tools have been developed for predicting building energy consumption, research on the application of fuel cells to buildings remains insignificant. This study aims to derive an energy performance prediction equation for a 1-kW polymer electrolyte membrane fuel cell. To this end, operational data based on the partial load ratio were collected and analyzed, and the heat and power energy production and fuel consumption prediction equations of the corresponding fuel cell were derived.

Keywords: 고분자 전해질형 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell), 운영 실험(Operational experiment), 성능 예측 모델(Performance prediction model), 기계학습(Machine learning)

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.42, No.5, pp.13-24, October 2022
<https://doi.org/10.7836/kjes.2022.42.5.013>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 31 March 2022

Revised: 13 September 2022

Accepted: 5 October 2022

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기호 및 약어 설명

a_0, a_1, a_2	: 모델 계수
b_0, b_1, b_2	: 모델 계수
$c_{p,w}$: 물의 비열(kJ/kgK)
LHV_{fuel}	: 연료의 저위발열량(kJ/kmol)
\dot{N}_{fuel}	: 연료의 몰 유량(kmol/s)
$P_{AC,anc}$: AC 소비전력(kW)
$P_{AC,net}$: net AC 생산전력(kW)
$P_{AC,ref}$: 레퍼런스 조건 AC 생산전력(kW)
P^*	: 무차원 출력(-)
PLR	: 부분부하율(-)
PV	: 태양광시스템
\dot{Q}	: 회수열량(kW)
\dot{Q}_{fuel}	: 연료의 연소열(kW)
$\dot{Q}_{fuel,ref}$: ref. 조건에서 연료의 연소열(kW)
\dot{Q}_{ref}	: ref. 조건에서 회수열량(kW)
\dot{Q}^*	: 무차원 회수열량(kW)
\dot{Q}_{fuel}^*	: 연료의 연소열 무차원 계수(kW)
r_0, r_1	: 모델의 계수
$T_{w,in}, T_{w,out}$: 스택 냉수의 입출구 온도(°C)
\dot{V}_{fuel}	: 연료의 체적유량(m ³ /s)
V_m	: 연료의 몰유량(m ³ /mol)
\dot{V}_w	: 물의 체적유량(m ³ /s)

그리스 기호 설명

ρ_w	: 물의 밀도(kg/m ³)
----------	-----------------------------

1. 서론

정부는 2030 국가 온실가스 감축목표를 2018년 배출량(727.6 백만톤)대비 40% (291 백만톤) 감축으로 설정

하였으며, 탄소중립위원회에서는 2021년 10월에 2050 탄소중립 시나리오를 발표하였다. 녹색건축의 조성은 정부의 강화된 온실가스 감축목표의 선제적 이행을 위한 건축부문의 대표적인 전략 중 하나이며, 패시브 하우스와 신재생에너지의 융합을 통한 제로에너지 건축물의 구현은 주요 실행방법 중 하나이다. 제로에너지 건축물이란 단열 및 기밀을 강화하여 건물의 에너지 부하를 줄이고 고효율의 설비시스템을 적용하여 건물에 소요되는 에너지를 최소화한 뒤, 신재생에너지 설비로 에너지를 생산하여 실질적인 에너지사용이 제로인 건물을 의미한다. 국내에서 운영되고 있는 제로에너지 건축물 인증제도에서는 제로에너지 건축물을 건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고 신에너지 및 재생에너지를 활용하여 에너지 소요량을 최소화하는 녹색건축물로 정의하고 있다¹⁾. 즉 제로에너지 구현을 위해서는 건물에서 최종적으로 요구되는 에너지를 생산할 수 있는 신재생에너지 설비의 도입이 필수적이다.

일반적으로 주거용 건물에서 최종적으로 요구되는 에너지 소요량은 전력뿐만 아니라 난방과 급탕을 위한 열 에너지도 존재하며, 전력과 열 요구량은 계절에 따라 변동성을 갖는다. 이와 같은 주거용 건물의 에너지 특성을 고려하였을 때, 열과 전기를 함께 생산하고 기존 인프라와의 연계성이 높은 연료전지는 제로에너지 건물 구현에 있어 적용이 기대되는 에너지원 제공 기술 중 하나이다.

국내에서는 차량용 연료전지가 관련 기술을 주도하고 있으나 국외에서는 이미 제로에너지 건물의 구현을 위한 건물용 연료전지 적용을 검토하는 다양한 실증 연구들이 수행되었다. Lokar and Vrtič (2020)²⁾의 논문에서는 슬로베니아에 위치한 파일럿 건물을 대상으로 태양광 시스템과 연료전지의 적용을 통한 에너지 자립 연구를 수행하였다. 비록 대상 건물의 실제 운영결과 자립율 62.13%로 완전한 자립은 이루어지지 않았으나, 태양광과 ESS 그리고 연료전지가 융합된 하이브리드 시스템을 통해 주거용 건물의 완전한 자립이 될 수 있음을 확인하였다. Yunez-Cano et al. (2016)³⁾은 멕시코의 가정집을 대상으로 태양광과 연료전지의 하이브리드 시스템을 제시하였다. 이 연구에서는 태양광을 통해 1차적으로 주택의 전력사용량을 충당하고, 잉여 전력은 수소 생산을 위해 전해조에 공급되어 연료전지를 통해 전기 사용량의 일부를 충당하는 시스템을 구현하였다. 이와 같은 태양광-수소 하이브리드 시스템을 사용하여 하위 시스템의 효율성 높이기 위한 연구를 수행하였다. 이와 유사하게 Stewart et al. (2009)⁴⁾에서는 패시브 하우스에 태양광과 연료전지 적용을 연구하였다. 이 때 MATLAB/Simulink를 통해 제어 로직과 시스템 구성 요소를 모델링 한 뒤, 기 정의된 시나리오에 의해 시뮬레이션을 수행하였다. 다수의 태양광-연료전지 융합 외에도 풍력-연료전지 하이브리드 시스템의 적용을 통해 제로에너지 건물을 구현하기 위한 실증연구도 이루어졌다. Firtina-Ertis et al. (2020)⁵⁾는 그리드에 연결하지 않은 독립형 시스템으로 무정전 연속 전력공급을 위해 주거용 건물의 평균 소비전력을 기반으로 연료전지와 풍력시스템의 용량을 선정하였다. 그 결과 풍력-연료전지 시스템을 통해 일 년 동안 안정적으로 전력공급이 가능함을 보여주었다.

이와 같이 기존 연구들에서 검토된 바와 같이 연료전지는 다른 신재생에너지원과의 융합을 통해 주거용 건물의 높은 에너지 자립을 가능하게 할 수 있다. 그렇기 때문에 정부에서는 2025년 탄소중립을 위한 방법론 중 하나로 수소경제를 언급하고 있다. 이미 수소 차의 경우 순수소를 연료로 발전을 하고 있으나 자동차와 달리 건물

에 적용되는 시스템은 정격운전에서 고효율/고출력 확보가 요구되고 차량에 비해 장시간 운전을 해야 하는 등 차이점이 존재한다⁶⁾. 뿐만 아니라 건물에 연료전지를 적용하기 위해서는 건물의 에너지소요량에 대한 예측과 연료전지의 에너지 생산량 예측이 함께 이루어져야 한다. 건물의 에너지소요량 예측은 기존의 연구나 툴 등이 많이 개발되어 있지만 건물용 연료전지 적용을 위한 연구는 아직 미미한 편이다.

본 연구는 1 kW 규모의 건물용 PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)의 에너지 성능 예측식의 도출을 목표로 한다. 이를 위해 부분부하율에 따른 운영 데이터가 수집되었으며, 이를 분석하여 해당 연료전지의 열과 전력의 생산량 및 연료전지 운영에 따른 연료(도시가스) 소비량 예측식을 도출하였다.

2. PEMFC 시스템 개요

PEMFC는 국내에서 가장 널리 쓰이는 연료전지 타입으로 고분자로 이루어진 막을 전해질로 사용하는 연료 전지이다. Fig. 1(a)와 같이 PEMFC는 개질기(Reformer), 스택(Stack), 급탕 탱크(Hot Water tank) 그리고 인버터를 포함한 전력제어유닛(PCU)으로 구성되어 있다. 개질기를 통해 공급된 수소가 스택(Stack)에서 수소 이온과 전자로 분리되면서, 이온은 전해질 막을 통해 반대 전극으로 이동하여 산소와 만나 물이 형성되어 배출되고 도선을 따라 이동하는 전자에 의해 전류가 생성되게 된다(Fig. 1(b)).

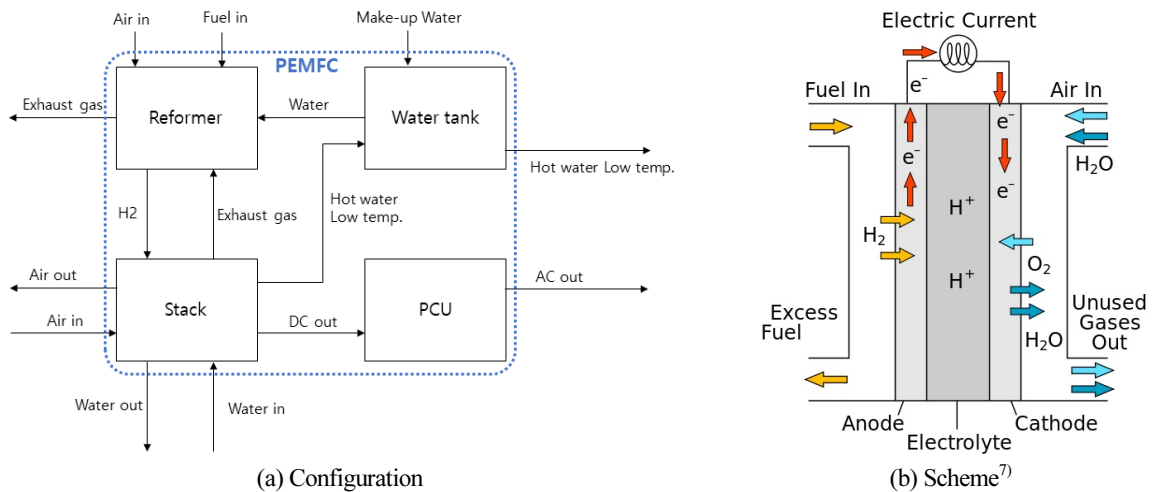


Fig. 1 PEMFC Configuration and Scheme

연료전지의 경우 제품화 이후에는 성능예측을 위한 파라미터들의 값을 모니터링하는 것은 매우 어려운 일이다. 그렇기 때문에 Ham et al. (2015)⁸⁾는 상용화된 10 kW 규모의 연료전지 성능을 예측을 위해 단순화된 방법론을 활용하였다. 본 연구에서는 해당 방법론을 활용하여 부분부하율(Part Load Ratio, PLR)에 따른 PEMFC의 에너지 생산 성능 및 연료소비량 예측을 진행하였다. 성능 예측을 위해 활용된 주요 수식은 식(1) ~ 식(8)과 같다. 주요 변수는 연료전지 운영에 따른 PLR과 스택의 입출구 온도 데이터이다.

$$P^* = a_0 + a_1 PLR + a_2 PLR^2 \quad (1)$$

$$P^* = \frac{P_{AC,net}}{P_{AC,ref}} \quad (2)$$

$$\dot{Q} = c_{p,w} \rho_w \dot{V}_w (T_{w,out} - T_{w,in}) \quad (3)$$

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{ref}} \quad (4)$$

$$P^* \dot{Q}^* = \frac{P_{AC,net} + \dot{Q}}{P_{AC,ref} + \dot{Q}_{ref}} = r_0 + r_1 PLR (\alpha T_{w,out} - T_{w,in}^\beta) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{fuel} = \frac{\dot{V}_{fuel} LHV_{fuel}}{V_m} \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{fuel}^* = \frac{\dot{Q}_{fuel}}{\dot{Q}_{fuel,ref}} \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{fuel}^* = b_0 + b_1 PLR + b_2 PLR^2 \quad (8)$$

3. PEMFC의 운영데이터 수집 및 분석

본 연구의 대상 연료전지는 1 kW 규모의 PEMFC이며 제품 사양은 Table 1과 같다. 운영데이터 수집 항목으로 스택의 입출구 온도와 유량 그리고 연료(도시가스) 사용량, 전력과 열의 생산량을 5분 간격으로 모니터링 하였다. Fig. 2는 PEMFC의 온도 및 유량의 센서가 설치된 모습을 나타낸 것이다. 배관의 표면온도는 k-type의 열전대를 통해 측정되었으며 Huato社의 로거를 통해 수집되었다. 1 kW 연료전지의 스택의 경우 배관 손상 없이 입출구 유량을 측정하기 위해서 비접촉식 초음파 유량계인 FD-XS20 (Keyence社)이 활용되었다. 가스 유량계는 AICHI TOKEI DENKI社의 UX15-ODC-L-13A 제품이 사용되었다. 데이터의 수집기간은 연료전지의 PLR 별로 상이하나, 2021년 12월 9일부터 2022년 1월 3일까지이다(Table 2). 데이터 수집 간격은 5분이며, 최종적으로 13개 항목에 대해 총 3,362개의 데이터 셋이 수집되었다. Table 3은 수집 데이터를 종합적으로 정리한 것이다.

Table 1 Specifications of fuel cell (1 kW PEMFC)

Property	Unit	Value
Output power		1 kW ±10%
Maximum power generation	kW/month	720
Rated heat output	W	1,395
Fuel consumption	Nm ³ /h	0.26
Rated power generation efficiency	% (LHV)	35
Rated heat recovery efficiency	% (LHV)	50
Rated Total Efficiency	% (LHV)	≥85
Size	mm (W×D×H)	650×550×1,580



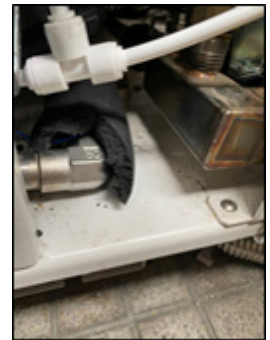
(a) Stack inlet/outlet temp. & flux



(b) Water tank inlet temp. & flux



(c) Radiator inlet/outlet temp.



(d) Water tank outlet temp.

Fig. 2 Sensor installation location

Table 2 Measurement period

Part Load Ratio	Period
1.0	12 / 6 ~ 12 / 15
0.75	1 / 10 ~ 1 / 12
0.5	12 / 15 ~ 12 / 20
0.35	1 / 3 ~ 1 / 5

Table 3 Data description

	Temperature						Flow rate		Power generation	Gas consumption	PLR
	Stack inlet	Stack outlet	HW tank inlet	HW tank outlet	Radiator inlet	Radiator outlet	Stack	HW tank			
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	LPM	LPM	W	m ³	-
Std.	6.64	6.17	5.48	12.38	14.76	5.22	1.17	0.31	212.65	0.05	0.24
Mean	54.42	48.40	50.09	38.90	36.83	31.00	1.98	0.60	575.99	0.17	0.65
Max	65.04	59.59	59.68	56.05	60.49	44.94	4.06	1.57	899.09	0.27	1.00
Min	23.20	22.10	23.60	13.00	15.20	16.30	0.64	0.23	300.18	0.10	0.35

측정된 연료전지의 각 PLR에서의 운전 모니터링 결과는 다음과 같다.

① PLR 1.0 (Fig. 3): 배열 회수부에서는 스택으로부터 배열을 전달받아 온수탱크 및 방열기에 순차적으로 배열을 저장 및 방출하게 된다. 배열 회수부로 전달되는 스택의 공급 온도는 연료전지 가동시작 1시간 이내에 약 63°C에 도달하였으며, 최대 도달온도는 약 57°C로 모니터링 되었다. 연료전지 가동 초반에 온수탱크에 저장된 열을 사용하지 않은 결과, 연료전지 가동 5시간 이후 방열기가 작동하여 배열이 진행되었다. 방열기 작동 이후 스택 공급 및 온수탱크 입구 온도는 일정 하였으며, 배열회수부에 열을 전달하고 스택으로 다시 들어가는 온도는 평균 약 50°C로 측정되었다. 연료전지 운영에 있어 스택의 유량과 온도가 저하되는 현상이 주기적으로 발생하였는데, 이는 연료전지 자체에 내장되어 있는 cool down 기능으로 일시적으로 출력을 줄여서 스택을 보호하는 것으로 확인되었다. PLR 1.0으로 정격운전 시 스택의 평균 유량은 3.9 LPM으로 일정하였으며, 온수 탱크 유량은 평균 1 LPM이었으나 증감 경향이 뚜렷한 것으로 확인되었다. 이는 온수탱크의 입/출구 온도 변화에 따른 유량 제어가 발생하고 있음을 의미한다. 스택 공급 평균열량(2.17 kW) 대비 온수탱크 배열 회수열량(1.39 kW) 감소되었는데 이는 스택 유량 점검 수행 및 개질기로의 배열 활용에 따른 것으로 사료된다. 연료전지 배열 회수열량은 제공 스펙과 동일한 수준으로 확인되었다. 전기 생산량은 연료전지 가동 후 초반 900 W 정도까지 상승 후 800 W 후반의 값에서 진동경향이 확인되었다. 가스 사용량은 0.25 m³/h 값이 일정하게 관측되었다. 방열기의 순간 풍속 값은 약 3 m/s로 측정 되었다.

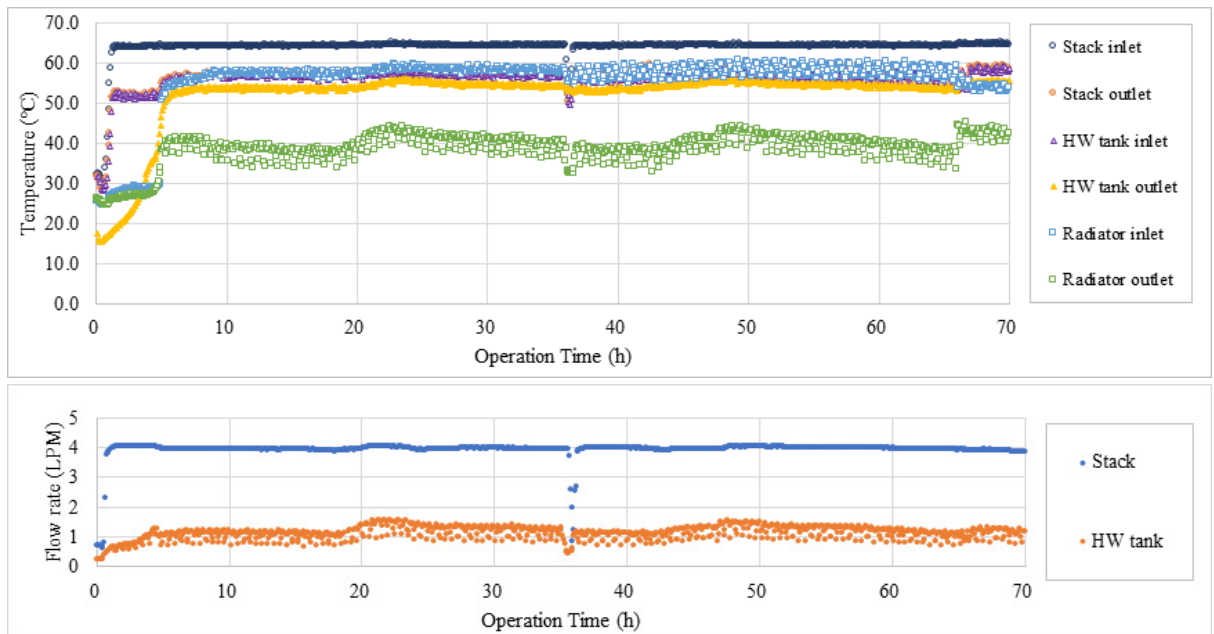


Fig. 3 Temperature (above) and Flow rate (below) Monitoring results (PLR = 1.0)

② PLR 0.75 (Fig. 4): 1시간 동안 약 60°C 까지 온도 상승 후 50°C 대로 하강하는 온도의 상하 경향이 반복되는데 이는 발전량의 소폭 증가 및 감소에 의한 것으로 사료된다. 초반 5시간 동안 온수탱크의 온도 상승이 발생 후 온수탱크의 배출 온도가 40°C 중반에 도달하였을 때, 방열기 가동이 시작되어 방열기 입구의 온도가 상승하는 것으로 측정되었다. 방열기 가동 후에는 온수탱크 출구 쪽으로 순환수가 흐르지 않아 실내온도 수준으로 온도 하강이 발생하였고, 배열이 방열기 입구/출구의 온도 차이를 통해 밖으로 배출되고 있음을 알 수 있다. 스택 및 온수탱크의 유량은 일정한 값 범위 내에서 진동하는 경향을 나타내었다. 연료전지 배열 생산량은 방열기 가동 여부에 따라 차이를 보이고 있는 반면(정격 열생산량 대비 42 ~ 53%), 회수량은 온수탱크 저장 및 방열기 가동 시점에 관계없이 정격생산량 대비 36 ~ 37% 정도의 값을 갖는 것으로 분석되었다. 배열 생산/회수량은 발전량 대비 낮은 열 생산량을 보이고 있어, 전기 생산과 열 생산량 간의 차이가 발생함을 알 수 있다. 전기생산량은 약 700 W로 확인되었으며, 가스사용량은 약 0.2 m³/h로 일정하게 기록되었다.

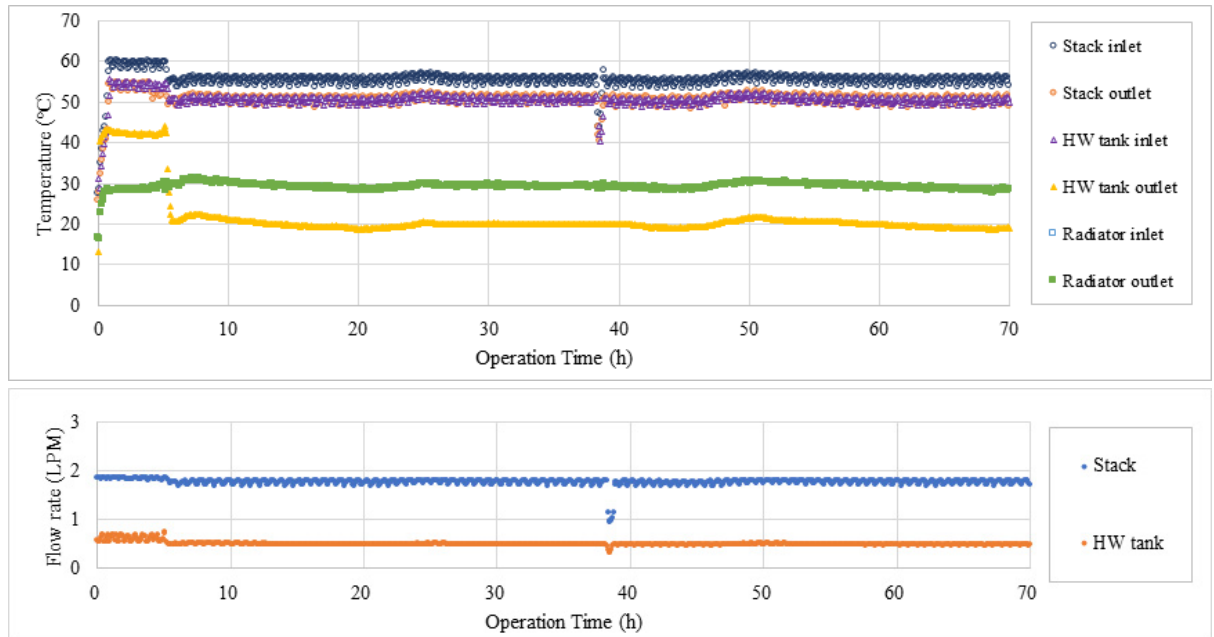


Fig. 4 Temperature (above) and Flow rate (below) Monitoring results (PLR = 0.75)

③ PLR 0.5 (Fig. 5): 정격 발전량 대비 50% 모드에서 스택 공급부 온도는 초기에 50°C 중반까지 상승 후 감소하는 경향을 반복하게 되는데, 온수탱크 출구부의 온도와 밀접한 관련이 있다. 즉 온수탱크 출구부의 온도가 40°C 중반에 도달하게 되면, 스택 공급부 온도 감소, 방열기 가동(방열기 입구 온도 상승), 유량 감소 등이 동시에 발생하며 약 5시간 이내 지속된 뒤 다시 스택 공급부 온도 증가, 방열기 정지, 유량 회복 등이 발생하는 경향이 반복된다. 스택 공급부 온도 하강 시 온수탱크 입/출구의 온도 차이가 거의 없어지며(온수탱크 방열 정지), 동시에 방열기 입/출구의 온도차가 발생한다. 실내온도 하강(약 10°C 부근) 시점에는(46 ~ 66, 70 ~ 88 h) 스택

온도 상승 경향이 차단되어 방열기 가동 현상이 일시적으로 발생하지 않는다. 스택 및 온수탱크 유량은 방열기 가동 여부에 따라 증감을 반복한다. 연료전지 배열 생산량은 75% 모드와 유사하게 방열기 가동 여부에 따라 차이를 보이고 있는 반면(정격 열생산량 대비 28 ~ 46%), 회수량은 온수탱크 저장 및 방열기 가동 시점에 관계없이 정격생산량 대비 21% 정도의 값을 보이고 있다. 전기생산량은 500 W로 확인되었으며, 가스사용량은 0.12 m³/h로 일정하게 기록되었다.

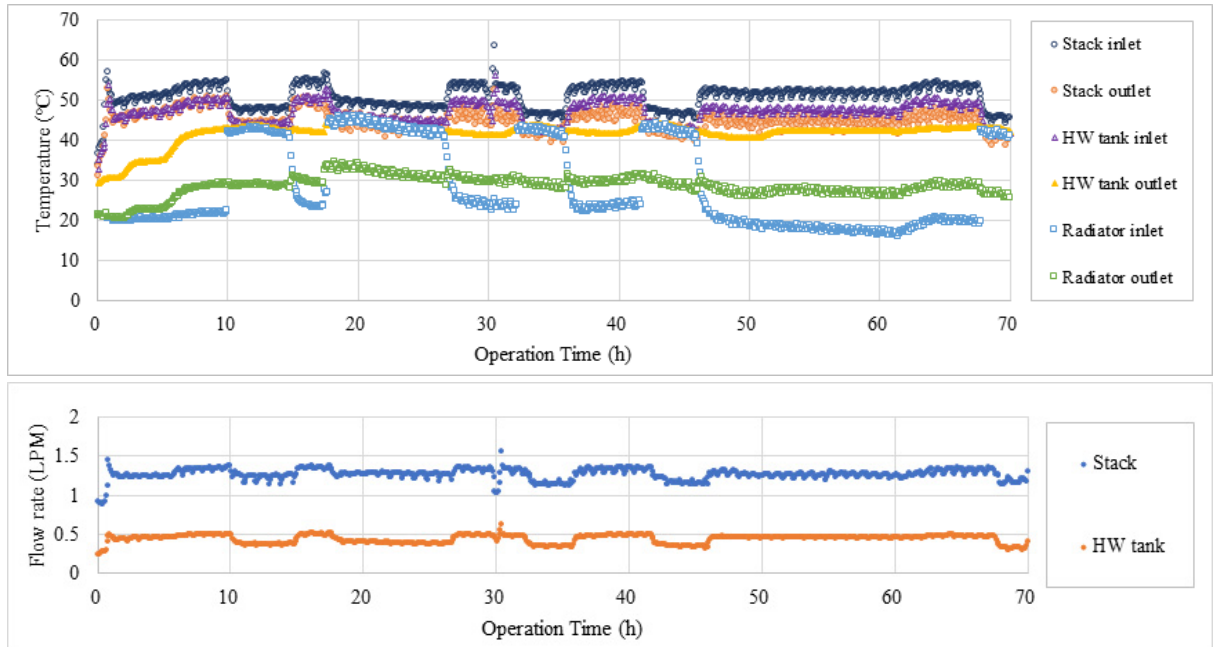


Fig. 5 Temperature (above) and Flow rate (below) Monitoring results (PLR = 0.5)

④ PLR 0.35 (Fig. 6): 가동 후 스택 온도는 50°C 중반까지 상승 후 하강한 이후로 상승과 하강 반복 진동을 통해 점진적으로 상승하여 50°C 초반까지 도달하는 결과를 보였다. 스택 공급 연료전지 배열은 온수탱크에 저장되어 점차 온수탱크 출구부 온도가 상승하며, 점차 일정한 온수탱크 배출 온도를 보이게 된다. 이 때 주변부로 열이 이동하여 방열기 입구/출구의 온도가 상승하는 것을 볼 수 있으며, 방열기는 작동하지 않는 것으로 확인된다. 실내온도가 10°C 중반 에서 20°C까지 상승하여, 실내온도의 방열기 입구/출구부 영향이 거의 없는 것으로 확인된다. 스택 및 온수탱크 유량은 일정한 주기성을 갖고 반복된 값을 나타내며, 37시간 정도에 온도 및 유량 변화로부터 연료전지 정기 점검이 발생한 것을 알 수 있다. 연료전지 배열 생산량(정격 열생산량 대비 30%)은 회수량(정격 열생산량 대비 10%)과 많은 차이를 나타내고 있어 정격 용량 대비 전기 생산량이 감소함에 따라 배열 공급/회수량 간의 차이가 증가함을 알 수 있다. 전기생산량은 약 300 W로 확인되었으며, 가스사용량은 약 0.1 m³/h로 일정하게 기록되었다.

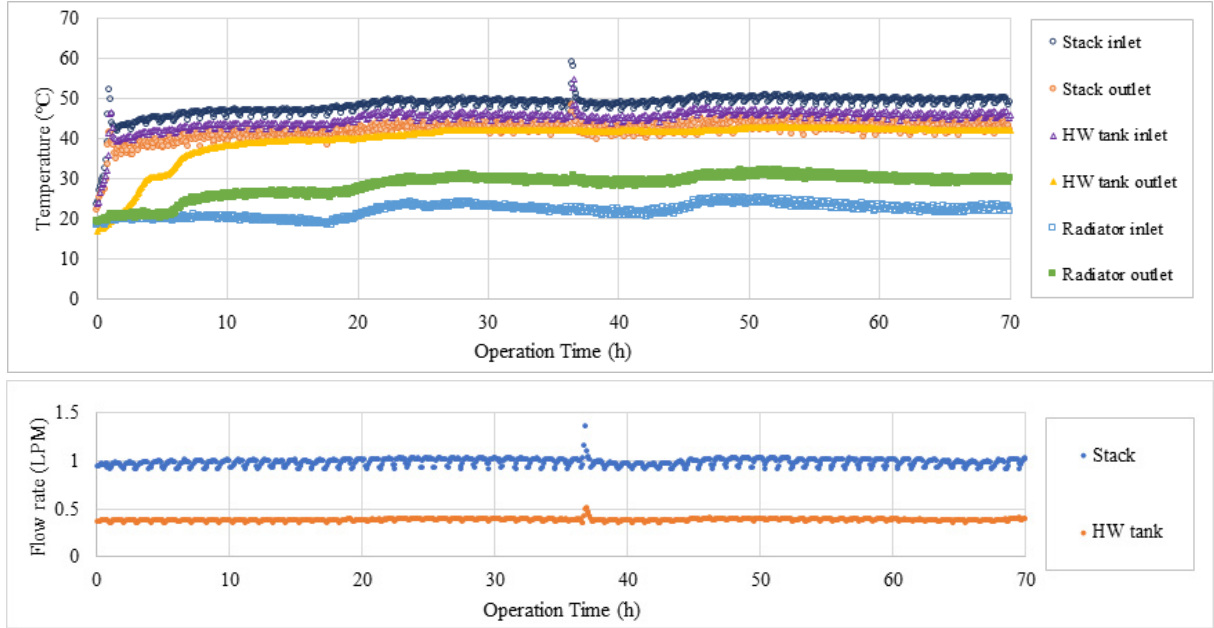


Fig. 6 Temperature (above) and Flow rate (below) Monitoring results (PLR = 0.35)

4. 1 kW PEMFC의 에너지 성능 예측식 도출

본 연구에서는 수집된 데이터를 기반으로 PEMFC의 에너지 생산량과 가스소비량을 예측하기 위한 수식을 도출하였다. 각 계수 도출을 위한 학습에는 Python 3.6이 활용되었다. 우선적으로 수집된 데이터는 PLR별로 나누어 처리되었으며, 데이터의 안정성을 위해 PLR별 상위 2.5%와 하위 2.5%는 이상(outlier) 값으로 판단하여 제거 하였다. 다음으로 PLR별 균등한 데이터 분포를 위해 난수로직(Random Shuffle)을 통해 PLR마다 데이터의 70%는 학습데이터로, 30%는 검증 데이터로 활용되었다. 도출된 모델의 검증에는 R²와 더불어 cv (RMSE)와 MBE가 지표로 활용되었다(식(9)와 식(10)).

$$CV(RMSE) = \frac{1}{y_{measured}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{measured,i} - \overline{y_{predicted,i}})^2}{n - p}} \times 100 \quad (9)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{measured,i} - \overline{y_{predicted,i}})}{y_{measured}(n - p)} \times 100 \quad (10)$$

Table 4 Equations and validation results

	P*	P*Q*	Q*fuel	
Equation	$P^* = -0.08392 + 1.20794PLR - 0.25914PLR^2$	$P^*Q^* = 0.1973 + 2.1752e-7PLR - (-0.6952T_{w,out} + T_{w,in}^{3.54887})$	$Q^*_{fuel} = 0.21367 + 0.44941PLR + 0.31546PLR^2$	
Train Dataset	Curve fitting result			
	cv (RMSE)	2.483	9.396	2.409
	MBE	0.000	0.000	0.000
	R2	0.996	0.953	0.995
Test Dataset	Curve fitting result			
	cv (RMSE)	2.536	9.849	2.475
	MBE	-0.009	-0.016	0.020
	R2	0.995	0.948	0.994

Table 4는 최종적으로 도출된 1 kW 연료전지의 에너지생산 및 연료소비량 예측 및 검증 결과에 대해 검증 지표와 Predicted-Actual 그래프로 각각 나타낸 것이다. 전력생산량의 경우 데이터가 크게 4개의 부분으로 구분이 되며, 이는 영향력이 큰 변수인 PLR에 기인한 것이다. 전력생산량 예측에 있어 학습데이터와 검증 데이터 모두 R2값은 99%이상, cv (RMSE)가 3% 이하로 높은 정확도를 보였다. 열 생산량의 경우 cv (RMSE)는 9%를 상회하였으며, R²값은 약 95%로 도출되었다. 마지막으로 가스 사용량의 경우 cv (RMSE)는 2.4%, R², 99%이상으로 모델의 정확도가 높았다.

5. 결론

본 연구 수행의 목적은 패시브 하우스를 제로에너지 건축물로 구현하기 위해 에너지 생산설비로써 1 kW 규모의 PEMFC의 에너지 성능을 예측하기 위한 수식의 도출에 있다. 이를 위해 실험체를 구축하고 운영에 따른

성능 데이터를 수집하였다. 또한 수집된 데이터를 활용하여 PLR과 스택의 입출력 온도를 변수로 갖는 1kW PEMFC의 에너지 생산량과 가스 사용량 예측식을 도출 및 검증 하였다.

건물용 연료전지의 운영이나 성능 예측에 관한 연구를 국내외에 거의 찾아볼 수 없기 때문에 본 연구에서 제공되는 예측식과 운영 정보가 향후 1 kW PEMFC의 건물 적용을 검토하는데 있어 기여할 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 제시된 예측식을 활용한다면 연료전지의 시간별 열 및 전력에너지 생산량과 건물에서 요구되는 에너지 사용량을 비교함으로써 연료전지 적용 시 대상 건물의 자립율을 검토 할 수 있을 뿐만 아니라 실시간으로 건물에너지 소요량을 예측하고 이에 따라 PLR을 조정함으로써 연료전지의 최적 운영방안을 도출하는 연구로 확장될 수 있을 것으로 기대한다.

후기

본 연구는 국토교통부 / 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(No. 22HSCT-B157909-03).

REFERENCES

1. Zero Energy Building Certification, 2022. www.zeb.energy.or.kr. last accessed on the 7th September 2022.
2. Lokar, J. and Virtič, P., The Potential for Integration of Hydrogen for Complete Energy Self-sufficiency in Residential Buildings with Photovoltaic and Battery Storage Systems, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 45, No. 60, pp. 34566-34578, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.170>.
3. Yunez-Cano, A., González-Huerta, R. de G., Tufiño-Velázquez, M., Barbosa, R., and Escobar, B., Solar-hydrogen Hybrid System Integrated to a Sustainable House in Mexico, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 43, pp. 19539-19545, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.203>.
4. Stewart, E. M., Lutz, A. E., Schoenung, S., Chiesa, M., Keller, J. O., Fletcher, J., Ault, G., McDonald, J., and Cruden, Modeling, A., Analysis and Control System Development for the Italian Hydrogen House, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, No. 4, pp. 1638-1646, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.12.008>.
5. Firtina-Ertis, I., Acar, C., and Erturk, E., Optimal Sizing Design of an Isolated Stand-alone Hybrid Wind-hydrogen System for a Zero-energy House, *Applied Energy*, Vol. 274, pp. 115-244, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115244>.
6. Kim, M., [Special Issue] Polymer Fuel Cell System Technology Using Hydrogen Fuel, *Gas Newspaper*, 2022.
7. Javed, K., Gouriveau, R., Zerhouni, N., and Hissel, D., Prognostics of Proton Exchange Membrane Fuel Cells Stack Using an Ensemble of Constraints Based Connectionist Networks, *Journal of Power Sources*, Vol. 324, pp. 745-757, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.05.092>.
8. Ham, S., Jo, S., Dong, H., and Jeong, J., A Simplified PEM Fuel Cell Model for Building Cogeneration Applications, *Energy and Buildings*, Vol. 107, pp. 213-225, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.023>.