



RESEARCH ARTICLE

공동주택 열, 전기 소비특성 차이에 따른 연료전지 종류별 에너지 효율화 차이 비교

유정현¹ · 방선규^{2*} · 김가연² · 윤인환¹

¹한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원, ²한국토지주택공사 토지주택연구원 연구원

Energy Efficiency Analysis of Different Types of Fuel Cells based Characteristic Heat and Electric Consumption

Yoo, Jung-Hyun¹ · Bang, Sun-Kyu^{2*} · Kim, Ga-Yeon² · Yoon, In-Whan¹

¹Research Fellow, Korea Land and Housing Corporation, Land and Housing Institute, Daejeon, Korea

²Researcher, Korea Land and Housing Corporation, Land and Housing Institute, Daejeon, Korea

*Corresponding author: Bang, Sun-Kyu, Tel: +82-42-866-8597, E-mail: sunq@lh.or.kr

ABSTRACT

This study analyzed the applicability of fuel cells as new energy sources in the residential sector based on the theoretical equation. Specifically, considering that fuel cells are a type of cogeneration system, the energy saving effects of fuel cells were compared to existing individual heating system. The conclusions obtained from this study are summarized as follows: (1) The most distributed PEMFC for buildings was found to have maximum efficiency at around heat ratio 1.0 and SOFC and PAFC was have maximum energy efficiency between heat ratio 0.1 and 0.5. The primary energy savings of PEMFC 20%, SOFC 30%, and PAFC 23% could be expected if 50% of the power load was fuel cell system. (2) Consumption of electricity and hot water was found to have a large impact on the difference in the number of households, and in the case of heating, it was analyzed that the difference between household members was not significant. It was found that a detailed analysis of household characteristics or types of energy consumption should be reflected in determining fuel cells types. (3) It was analyzed that the application effect of PEMFC in unit A with high thermal potential. But SOFC or PAFC in unit B with a higher power load ratio compared to thermal load would be high. In particular, according to the characteristics of fuel cells, PEMFC with high heat recovery were found to have high energy efficiency in mid-season, winter, and SOFC with high power generation efficiency in summer.

주요어 : 연료전지, 열전비, 공동주택, 에너지 효율

Keywords: Fuel Cells, Heat ratio, Apartment house, Energy efficiency

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2021 October, 15(5): 525-536
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20210044>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: September 24, 2021

Revised: October 17, 2021

Accepted: October 20, 2021

© 2021 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

연구의 배경 및 목적

2025년부터 30호 이상의 공동주택을 대상으로 시작되는 제로 에너지 건축물 인증제의무화는 난방, 냉방, 급탕, 조명 및 환기에 필요한 1차 에너지 소요량의 최소 20%(이하, 에너지 자립률)를 신재생 에너지로 공급하는 것을 주요 골자로 하고 있다. 이러한 정책기조는 공동주택의 자립률 확보에 필요한 건축, 계획적 진화를 유도하고 있으며 대표적으로 태양광 발전 시스템(이하, PV)의 설치 용량을 확대할 수 있는 입면, 측면 디자인의 개선, 옥상부위의 단순화 등 신재생 에너지의 보급 확대에도 기여하고 있다.

한편, 많은 연구자들은 다양한 관점과 방법을 통하여 공동주택의 최소 에너지 자립률 20%에 대한 달성 가능성을 가시화하고 있지만, 향후 자립률 상승의 지속성을 강화하는 측면에서 새로운 신재생 에너지 시스템의 발굴과 적용 가능성에 대한 검토도 중요한 과제로 다루어질 필요가 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 주택 에너지 부문의 에너지 공급원으로서의 기능과 목적을 안정적이고 지속적인 공급에 두고, 동시에 미래 에너지 설비변화에 대응하기 위한 측면에서 연료전지 시스템의 적용 가능성에 대한 이론적 검토를 실시하였다.

구체적으로 최근 다양한 목적으로 상용화되고 있는 3종의 연료전지 PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells), SOFC (Solid Oxide Fuel Cells), PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells)를 대상으로 발전과 배열회수 효율에 따른 에너지 절감효과를 이론식에 근거하여 분석하였다. 이를 바탕으로 중부지역 소재의 2개 단지의 난방, 급탕, 전력 소비량을 세대 구성원 측면에서 분석하고 가구원수 차이에 따른 용도별 에너지 소비 형태와 열전비의 차이에 기존 설비 대비 1차 에너지 소비량의 변화를 분석하였다.

기존연구 분석

연료전지 관련 기존 연구는 시스템 설치를 위한 설비적 측면에서의 연구와 효율성, 경제성을 확보할 수 있는 운영방안에 관한 연구로 대별할 수 있다. 전자와 관련해서 대표적으로 Hwang et al. (2008)은 연료전지의 효율적인 배열활용을 목적으로 지역, 평형에 따른 적절한 급탕량 산정을 위하여 총 158세대의 급탕사용량을 분석하였고, Cha and Kim (2014a; 2014b)은 중저온 배열을 난방부하에 적용할 수 있는 스택의 배열을 기계적으로 검토하는 등 급탕과 난방 부하에 대한 연료전지의 적용 가능성에 대하여 실태조사와 시뮬레이션 등을 수행하여 연료전지 배열의 활용성을 제시하였다(Park et al., 2014). 아울러 Dong et al. (2015), Fujii et al. (1988)은 실제 건물에 설치 운전되고 있는 10 kW급 PEMFC의 운전데이터를 기반으로 발전량, 열 생산량, 가스소비량을 예측할 수 있는 선형함수모델을 제시하였으며, Lee et al. (2016)은 10 kW급 건물용 SOFC의 최적 운전 조건에 대한 시나리오를 도출함으로써 에너지 공급원으로서의 역할과 가능성을 제시한 바 있다.

후자와 관련해서 Kim et al. (2009; 2012)은 공동주택단지를 대상으로 에너지, 환경 측면에서 시뮬레이션을 통하여 타당성을 분석하고, 공동주택에 적용 될 경우 에너지 성능, 환경성능, 경제성에 대한 상세 분석을 실시하였다. 특히 Park et al. (2012)은 가정용 연료전지 시스

템의 경제성 측면에서 누진세가 적용될 경우 전기요금 절감으로 초기 투자금 회수가 가능하다는 점을 제시하는 등 고가의 연료전지가 보급될 수 있는 제도적 방안을 제시하였다. 이 외에도 Jang et al. (2016)은 공공업무시설을 대상으로 경제성, 환경성, 기술성 및 복합성을 기준으로 평가함으로써 시스템 투자회수기간을 비교분석하였으며, Hong et al. (2020)은 업무시설을 대상으로 경제성을 확보할 수 있는 PEMFC의 운전시나리오와 유관 설비의 용량을 도출한바 있다.

이상의 기존 연구를 분석한 결과 다양한 시나리오에 바탕하여 연료전지의 효율적 운전방법을 제시하고 보급 확대를 위한 제도적 개선 방안과 친환경적 측면에서의 연료전지의 가능성을 도출함으로써 연료전지의 보급과 활용성을 재고할 수 있는 다양한 분석이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 그러나 연료전지 시스템이 열병합 발전의 일종임을 고려할 때 변화하는 에너지 소비형태, 가구 특성에 따른 운전방법, 다양한 연료전지 종류에 따른 기대효과 등에 대한 연구가 추가적으로 필요함을 시사하고 있다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 연료전지의 설비적 특성에 주안점을 두고 에너지 소비형태의 차이에 따른 에너지 효율성을 분석하고자 한다.

이론식을 통한 연료전지 적용 효과

연료전지 시스템의 에너지 효율산정 방법

연료전지는 수소를 연료로 화학반응을 유도함으로써 열과 전력을 발생시키는 열병합 발전 시스템의 일종이다. 따라서 열과 전력부하의 비율(열부하/전력부하, 이하 열전비)에 따라 에너지 효율화에 중요한 영향을 미치게 된다. Table 1은 본 연구에서 검토하고 있는 3종의 연료전지 특성을 나타내고 있으며, 전해질과 작동온도 등의 차이로 인하여 발전효율, 배열회수효율 등의 차이를 확인할 수 있다. 한편, 연료전지에 따라 기동시간 등의 차이에 따른 운전 방법의 차이를 예상할 수 있으나 본 연구에서는 이론식에 근거하여 연료전지 종류와 용량변화에 대한 검토를 목적으로 하는 측면에서 기동 시간에 대한 검토는 생략하였다. 이를 바탕으로 기존 계통전력과 보일러로 구성된 공동주택에 연료전지를 설치할 경우 기대되는 에너지 효율화에 관한 이론식을 정리하면 다음과 같다.

Table 1. Comparison of power generation and heat recovery efficiency by fuel cells type

Fuel cell type	Efficiency (%)			Operation Temperature (°C)
	Electric (η_p)	Heat (η_h)	Total (η_c)	
PEFC	35	50	85	60
SOFC	80	10	90	800
PAFC	45	35	80	60 (120)

우선, 1차 에너지 소비량 기준으로 전력과 열의 소비량은 각각 Q_E (Kcal)와 Q_H (Kcal)로 나타낼 수 있으며, η_T , η_B 는 송전 손실을 고려한 발전효율과 보일러 효율을 의미한다. 본 연구에서는 η_T :35%, η_B :92%를 가정하고 있으며, 2차 에너지 기준 전력부하 A와 열부하

B(HHV기준)의 1차 에너지 소비량 환산 방법은 식 (1), (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Q_E = \frac{A \times 860}{\eta_T} \quad (1)$$

$$Q_H = \frac{B}{\eta_B} \quad (2)$$

이를 바탕으로 기존 계통 전력과 보일러를 사용할 경우 발생하는 총 1차 에너지 소비량 Q_{total} (Kcal)은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{total} = Q_E + Q_H = \frac{A \times 860}{\eta_T} + \frac{B}{\eta_B} \quad (3)$$

한편, 연료전지를 가동하여 전력부하에 대응할 경우 발생하는 전력 소비량 Q_{FCE} 는 식 (4)와 같이 표현할 수 있으며, 이때 $k(0 \leq k \leq 1)$ 는 전체 전력 부하 중 연료전지 시스템이 담당하는 비율을, η_P 는 연료전지의 발전효율을 의미한다.

$$Q_{FCE} = \frac{A \times 860 \times (1 - k)}{\eta_T} + \frac{A \times 860 \times k}{\eta_P} \quad (4)$$

아울러 열 부하에 대응하기 위한 열 소비량 Q_{FCH} 역시 식 (5)와 같이 연료전지의 배열회수 효율($\eta_C - \eta_P$)의 관계로 나타낼 수 있다.

$$Q_{FCH} = \frac{\frac{B - A \times 860 \times k}{\eta_P} \times (\eta_C - \eta_P)}{\eta_B} \quad (5)$$

다만, 배열 회수 열량보다 실제 열 부하가 작을 경우에는 식 (6)과 같이 전력부하에 대응하기 위한 소비량만이 반영이 되며,

$$Q_{FC} = A \times 860 \times \left(\frac{1 - k}{\eta_T} + \frac{k}{\eta_P} \right) \quad (6)$$

연료전지의 배열회수용량으로 열 부하를 충족하지 못하는 $Q_{FCH} > 0$ 인 경우 식 (7)과 같이 연료전지와 보일러가 함께 가동되는 형태로 나타낼 수 있다.

$$Q_{FC} = Q_{FCE} + Q_{FCH} = A \times 860 \times \left(\frac{1 - k}{\eta_T} + \frac{k}{\eta_P} + \frac{k \times (\eta_C - \eta_P)}{\eta_B \times \eta_P} \right) \times \frac{B}{\eta_B} \quad (7)$$

마지막으로, 에너지 절감효과 $S(\%)$ 는 식 (8)로서 나타낼 수 있으며 기존 계통전력과 보일러를 이용할 경우의 1차 에너지 소비량 Q_{total} 과 연료전지 적용 시 소비되는 1차 에너지 소비량 Q_{FC} 의 비교를 통해 산출할 수 있다.

$$S(\%) = \frac{Q_{total} - Q_{FC}}{Q_{total}} \times 100 \quad (8)$$

연료전지 시스템의 종류별 에너지 효율 곡선

Figure 1은 식 (1)~식 (8)을 이용하여 PEMFC, SOFC, PAFC를 대상으로 열전비, 시스템 용량변화에 따른 1차 에너지 절감 효과를 도식화한 결과이다. 구체적으로 연료전지의 종류에 관계없이 열전비 1이하에서 최대 에너지 절감 효과를 기대할 수 있으며, 시스템 용량이 증가함에 따라 기대할 수 있는 에너지 절감효과 역시 상승하는 것을 확인할 수 있다. 아울러 발전 효율과 배열회수효율의 차이로 인하여 연료전지 별로 기대할 수 있는 에너지 절감효과의 차이가 발생하며, 전력에 비하여 열부하가 상대적으로 증가할 경우 에너지 절감효과는 감소하는 것을 볼 수 있다.

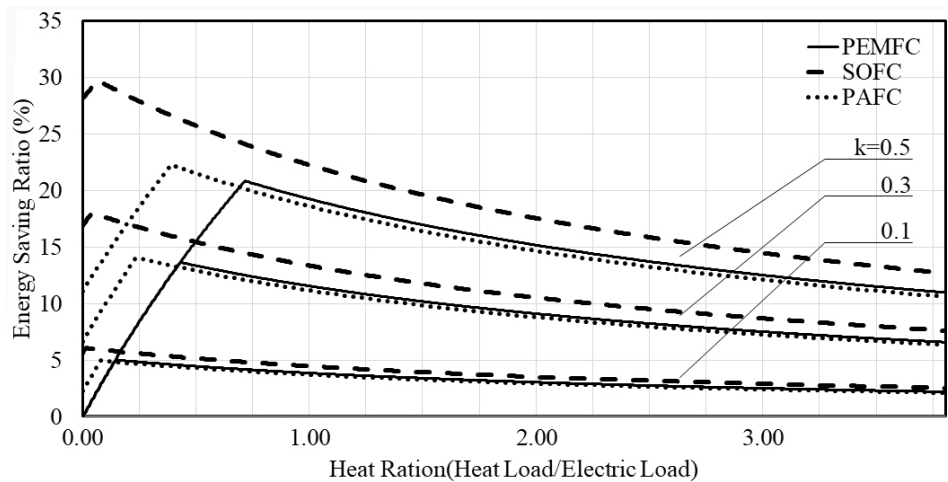


Figure 1. Energy saving ratio by fuel cell type and heat ratio

구체적으로 연료전지 종류별로 살펴보면, PEMFC의 경우 열전비 1.0 부근까지 시스템 용량 증가에 따른 절감효과가 증가하며 전력부하 50%를 연료전지가 담당할 경우 최대 1차 에너지 소비량의 약 22% 수준까지 1차 에너지 소비량을 줄일 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 한편, PEMFC, PAFC에 비하여 상대적으로 발전효율이 높은 SOFC는 열전비 0.2 수준에서 최대 에너지 절감효과를 기대할 수 있으며, 열전비가 높아지더라도 상대적으로 다른 종류의 시스템보다 에너지 절감효과가 높은 것을 확인할 수 있다. 특히 SOFC는 열부하 대비 전력 부하가 상대적으로 큰 최근의 고성능 주택 또는 1인가구 등에 적합한 시스템으로 예상할 수 있다.

마지막으로 PAFC의 경우 SOFC와 유사하게 열 전비 0.2~0.4에서 최대 에너지 절감효과를 기대할 수 있었으며, 연료전지 용량의 증가비율보다 높은 에너지 절감비율을 기대할 수 있는 시스템으로 분석되었다. 이상의 연료전지 별 특성을 종합하면 PEMFC의 경우 시스템 용량의 증가가 에너지 효율화에 선형으로 비례하진 않지만 다른 연료전지 시스템에 비하여 상대적으로 열부하가 많은 가구특성에 적합하며, SOFC, PAFC는 전력부하가 많은 가구 특성에 적합하고 용량에 비례하여 에너지 절감효과도 증가하는 것을 알 수 있다.

공동주택의 에너지 소비형태

검토단지 개요

Table 2는 연료전지의 적용효과를 검증하기 위한 2개 단지의 상세로서, 공통적으로 에너지 효율등급 2등급을 득하고 중부 지역에 위치한 단지이다. 우선 단지 A는 세대수 468세대, 세대원수 약 1500명, 단지 B는 세대수 900세대, 세대원수 약 2200명 수준으로 단지 A와 B의 평균가구원수는 각각 약 3.5인, 약 2.6인 이다. 난방, 급탕, 전력의 실제 소비량 데이터는 1년 8,760시간을 100%로 설정 할 경우 단지 A는 98% (8,584 h), 단지B는 97% (8,497 h)수준의 데이터를 수집하여 분석에 활용하였다.

Table 2. Details of apartment complexes for energy consumption analysis

Unit	Housing		Location	Representative Floor Area	Energy Efficiency Grade	No. of Datas
	Number	Person				
A	468	1500	Central	84m ²	2	8,548
B	900	2200		84m ²	2	8,497

* Number of Datas : 8760 h (100%)

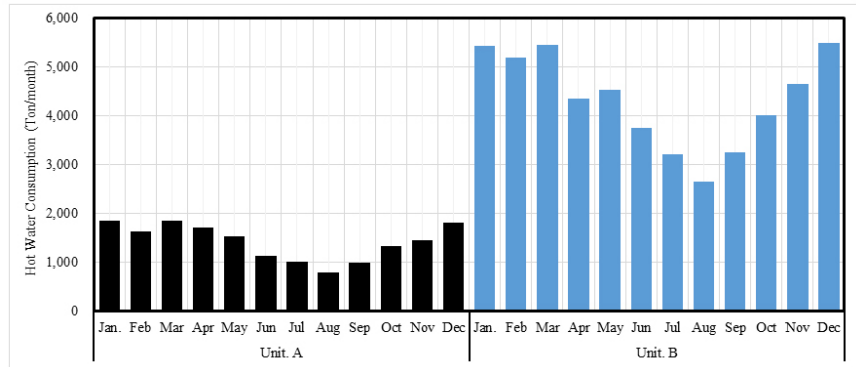
가구 특성별 소비량 분석

Figure 2는 2개 단지에 대하여 전력, 난방(1차에너지 환산치) 및 급탕(톤)에 대한 소비량을 월 단위로 정리한 결과이다. 우선 급탕 소비량의 경우 공통적으로 3월의 급탕 소비량이 가장 많았으며, 이를 100%로 가정하였을 경우 극서기 8월의 소비량은 약 70% 수준으로 나타났다. 1인당 연평균 급탕 소비량은 단지 A는 약 11.4톤, 단지 B는 약 23.6톤으로 2배 이상의 차이를 보이는 것으로 이는 거주원수 차이에 기인하는 것으로 예상할 수 있다. 한편, 공동주택에서는 급탕 소비량을 유량 단위로 계측하여 과금하게 되는데 이를 월별 시수온도와 공급온도(45°C)의 관계를 통하여 열량단위로 환산할 경우 하절기의 소비량은 동절기의 약 50% 수준으로 분석 되었다.

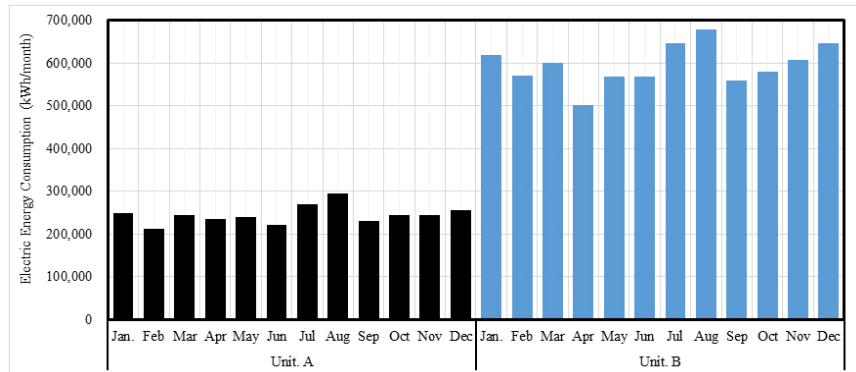
아울러, 월 평균 전력 소비량은 단지 A의 경우 2차에너지 기준 약 2,100 kWh/월, 단지 B는 2,550 kWh/월 수준으로 공동주택의 특성 상 계절적으로 현저한 소비량 차이는 발생하지 않는 것으로 나타났다. 공통적으로 하절기 냉방부하 발생에 따른 소비량 증가로 인하여 7, 8월에 가장 많은 소비량이 발생하였으며 연평균 전력소비량과 7,8월의 전력 소비량 차이를 냉방에 소요된 전력 소비량이라고 가정할 경우 단지 A는 2.5%, 단지 B는 1.8% 가 냉방에 소비되는

전력소비량으로 예상할 수 있다.

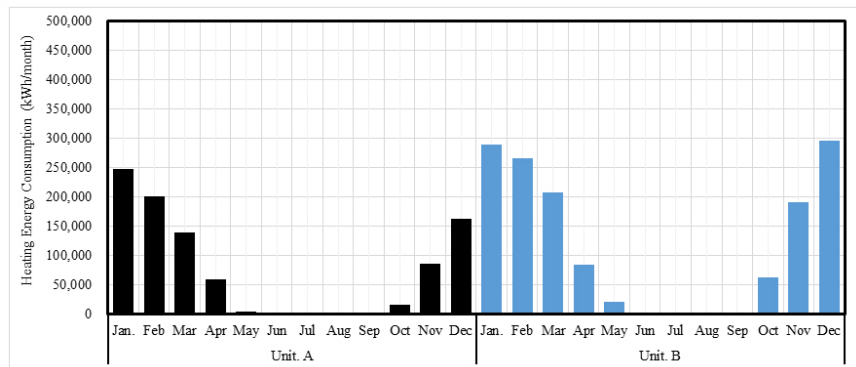
마지막으로 난방 소비량의 경우 다른 용도의 소비량과 상이하게 계절적 차이가 매우 크며, 2개 단지 모두 5~9월을 제외한 모든 월에서 난방 소비량이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 전체 소비량은 단지 A는 916,291 kWh/년, 단지 B는 1,421,038 kWh/년 이며 세대당 난방 소비량은 A,B 단지 각각 1,840 kWh/년, 1,450 kWh/년으로 상대적으로 큰 차이는 발생하지 않는 것으로 분석되었다. 이상의 내용을 2개 단지의 가구원수 측면에서 분석해보면 단지 B의 급탕과 전력 소비량은 단지 A의 소비량 대비 각각 2.1배, 2.6배 많은 반면, 난방 소비량은 1.6배로서 난방의 경우 가구원수에 따른 영향이 급탕과 전력에 비하여 크지 않음을 알 수 있었다.



(a) Hot Water Consumption



(b) Electric Consumption



(c) Heating Consumption

Figure 2. Results of monthly heating, power, and hot water consumption analysis

Figure 3은 2개 단지의 열전비를 시간대별로 도식화한 결과로서 Y축을 기준으로 상단부는 단지 A, 하단부는 단지 B를 나타내고 있다. 단지 A는 동절기 1~2, 하절기 0.3~0.4 수준으로 단지 B에 비하여 상대적으로 열전비가 높은 것을 알 수 있으며, 단지 A가 단지 B에 비하여 상대적으로 전력 소비량이 작은 것에 기인한다. 2개 단지 모두 난방부하 및 급탕부하가 줄어드는 하절기에 열전비가 절반 이하로 줄어드는 경향을 확인할 수 있으며 가구원수의 차이에 따라 열전비의 특성이 변화하는 특징을 알 수 있었다. 이러한 열전비의 특성은 결과적으로 연료전지의 운전형태와 종류에 영향을 미치게 되며, 결과적으로 가구형태에 따라 적용 연료전지의 종류를 검토할 필요가 있음을 시사한다.

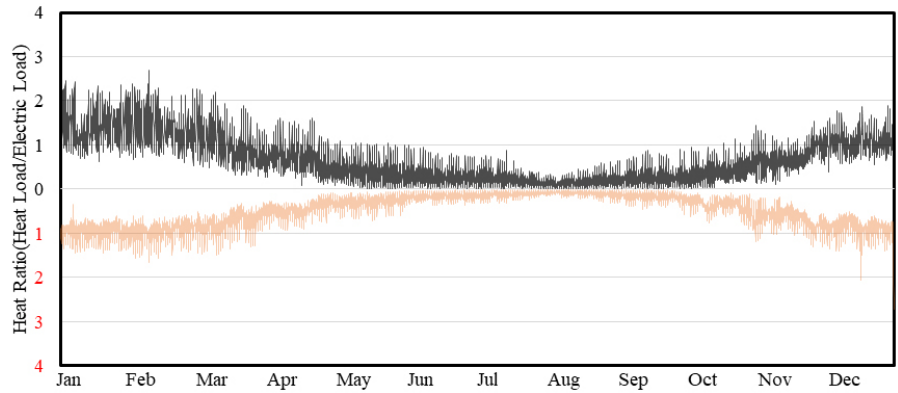


Figure 3. Difference in monthly heat and power ratio of two complex

연료전지 종류별 에너지 절감효과 분석

Figure 4, 5는 단지 A를 대상으로 $K=0.5$ 의 조건에서 시간대별 열전비의 변화, 식 (8)을 이용한 1차 에너지 절감비율 및 24시간 평균 추이를 기존 이론식에서 제시한 연료전지 특성 그래프의 구간과 병기하여 나타낸 결과이다.

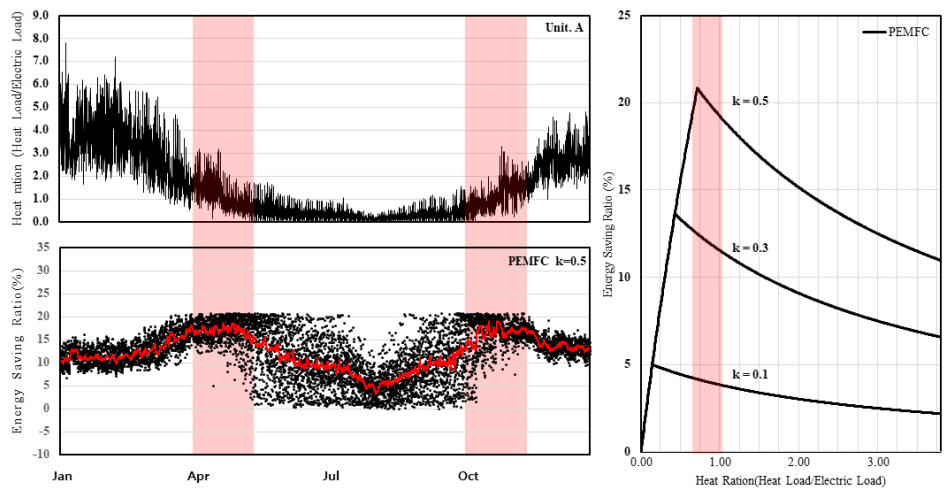


Figure 4. Fuel cell system characteristic relationship between energy saving ratio and heat ratio (Unit. A-PEMFC)

우선 PEMFC를 적용할 경우(Figure 4) 열전비 1.0 전후가 발생하는 중간기에서 에너지 절감효과가 가장 높고 배열을 이용할 수 있는 동절기까지 에너지 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 급탕부하가 동절기의 50% 수준으로 감소하고 전력 소비량이 다소 증가하는 하절기에는 에너지 절감비율이 약 5% 수준으로 감소하게 되며 시스템의 연속가동 시 비효율적인 운전이 예상되는 구간이다. 다만, 폐열에 대한 활용성을 고려하지 않는다고 해도 1차 에너지 소비량 기준 최대 17~18%, 연간 약 13% 수준의 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 분석되었다.

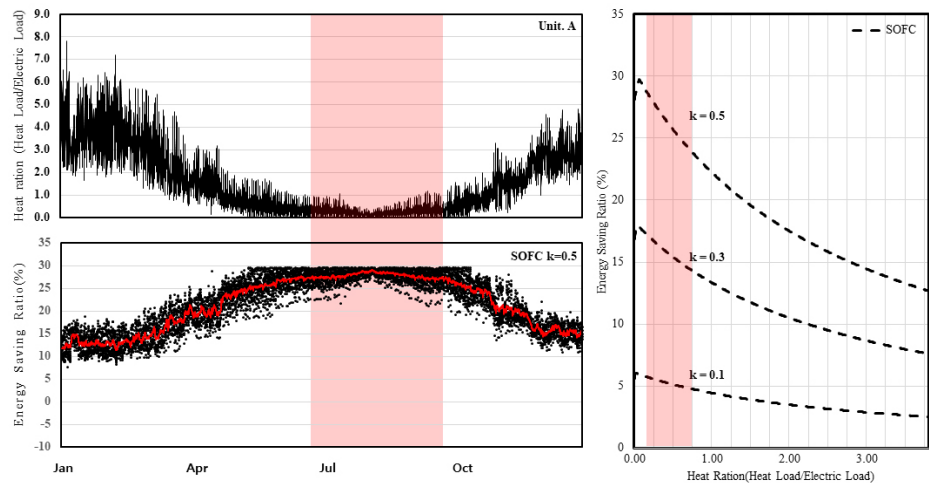


Figure 5. Fuel cell system characteristic relationship between energy saving ratio and heat ratio (Unit. A-SOFC)

한편, 발전효율이 약 80% 수준인 SOFC를 설치하는 경우(Figure 5) 수요 측의 열전비가 0에 근접한 구간(6월~9월)에 에너지 절감효과가 최대로 발생하는 것을 확인할 수 있으며, PEMFC를 설치하는 경우와 정반대의 결과로 분석되었다. 최근 1인가구의 증가, 가구원수의 감소, 단열성능의 강화 등 기존 주택에 비하여 열전비의 하락이 진행되는 상황에서 공동주택을 대상으로 할 경우 SOFC를 설치하는 것이 유리할 수 있음을 예상할 수 있다. 연간 최대 절감비율은 약 28%이며, 연평균 약 19.7% 수준의 1차에너지 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 나타났다.

Table 3은 단지 A를 대상으로 연료전지 종류와 용량 별 차이에 따른 월별 에너지 절감율을 나타내고 있다. 구체적으로 연료전지 종류에 관계없이 설치 용량은 클수록 에너지 절감효과의 상승으로 이어지는 것으로 나타났으며 이는 기존 시스템에 비하여 연료전지의 종합효율이 높기 때문으로 예상할 수 있다. 일례로 전력부하의 50%를 연료전지로 부담할 경우 단지에 관계없이 PEMFC는 최대 약 17%, SOFC는 최대 약 28%, PAFC 최대 19% 수준의 절감효과를 보였으며, 연평균으로는 각각 13%, 20%, 16% 정도의 1차 에너지 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 분석되었다. 아울러 연료전지의 용량변화 측면에서 K=0.1을 K=0.5로 증가시켰을 경우 PEMFC는 선형으로 5배의 효과로 이어지지 않는 것으로 나타났으며 이는 시스템 용

량의 선정 지 적정 시스템 용량을 면밀히 검토해야 함을 의미한다. 이와 반대로 SOFC, PAFC의 경우 시스템 용량에 비례하여 에너지 절감효과가 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

Table 3. Monthly Energy saving ratio (%) by fuel cell type and system volume (k). [Unit A]

Month	Unit	Fuel Cell Type								
		PEMFC			SOFC			PAFC		
		k=0.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.5
Jan.	A	2.2	6.6	11.0	2.6	7.7	12.8	2.1	6.4	10.7
	B	2.7	8.1	13.5	3.1	9.4	15.7	2.6	7.9	13.1
Feb.	A	2.2	6.7	11.2	2.6	7.7	12.9	2.2	6.5	10.8
	B	2.6	7.9	13.1	3.0	9.1	15.2	2.5	7.6	12.7
Mar.	A	2.7	8.2	13.6	3.1	9.4	15.7	2.6	7.9	13.1
	B	2.9	8.6	14.4	3.3	10.0	16.6	2.8	8.3	13.9
Apr.	A	3.5	10.4	17.0	4.0	12.1	20.1	3.4	10.1	16.8
	B	3.5	10.6	17.4	4.1	12.3	20.4	3.4	10.3	17.1
May.	A	4.2	11.4	16.0	4.9	14.8	24.6	4.1	12.0	19.5
	B	4.0	11.7	18.0	4.7	14.0	23.3	3.9	11.6	19.2
Jun.	A	4.3	9.8	11.2	5.4	16.1	26.9	4.4	12.6	19.2
	B	4.4	11.6	14.4	5.2	15.6	25.9	4.3	12.6	20.3
Jul.	A	4.4	8.3	8.8	5.5	16.6	27.7	4.5	12.4	18.2
	B	4.5	10.3	11.4	5.4	16.2	26.9	4.5	12.8	19.7
Aug.	A	4.1	6.0	6.1	5.7	17.1	28.4	4.6	11.6	16.4
	B	4.5	8.5	8.7	5.6	16.7	27.7	4.6	12.7	18.4
Sep.	A	4.3	9.5	10.6	5.4	16.3	27.1	4.5	12.5	19.0
	B	4.4	11.2	13.8	5.2	15.6	26.1	4.3	12.6	20.0
Oct.	A	4.1	11.4	16.2	4.9	14.6	24.3	4.1	11.9	19.4
	B	3.9	11.6	17.9	4.5	13.5	22.4	3.8	11.3	18.7
Nov.	A	3.3	9.8	16.0	3.8	11.3	18.9	3.2	9.5	15.7
	B	3.1	9.4	15.6	3.6	10.9	18.1	3.0	9.1	15.1
Dec.	A	2.6	7.9	13.2	3.1	9.2	15.3	2.6	7.7	12.8
	B	2.7	8.2	13.7	3.2	9.5	15.8	2.6	7.9	13.2
Annual	A	3.3	8.5	12.6	3.9	11.8	19.7	3.3	9.4	15.1
Avg	B	3.4	9.5	14.3	4.0	12.1	20.2	3.4	10.0	16.2

결론

본 연구에서는 공동주택의 새로운 에너지 공급원으로서 연료전지를 설정하고 연료전지의 종류와 가구특성에 따른 에너지 효율수준을 이론식에 근거하여 분석하였다. 이를 위하여 세대수와 가구원수에 따른 실측 데이터를 바탕으로 열전비 측면에서 에너지 사용 특성을 분석하고, 연료전지 종류별 발전, 배열회수 효율에 따른 에너지 절감효과를 이론식에 근거하여 분석하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결과와 연구의 한계점은 다음과 같다.

- (1) 우선, 기존 개별난방과 계통전력 시스템을 기본 시스템으로 설정하고 현재 상용화 되고 건물에 적용중인 연료전지 3종을 대상으로 이론식에 근거하여 에너지 절감효과를 비교 하였다. 건물용으로 가장 보급이 많이 되고 있는 PEMFC는 열전비 1.0부근에서, SOFC 와 PAFC는 열전비 0.1~0.5 사이에서 최대 효율성을 보이는 등 에너지 수요원의 차이에 따른 기대 효과의 차이를 확인할 수 있었다. 특히 전력부하의 50%를 연료전지 시스템으로 대응할 경우 PEMFC 20%, SOFC 30%, PAFC 23%의 1차 에너지 절감 효과를 기대 할 수 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 아울러, 중부지역에 소재한 호별 면적 84㎡ 중심의 공동주택 2개 단지를 대상으로 용도 별 시간 데이터를 분석하였다. 구체적으로 전력과 급탕 소비는 가구원수 차이에 따른 영향이 큰 것으로 나타났으며 상대적으로 난방의 경우 세대원차이의 영향이 크지 않은 것으로 분석되었다. 특히 세대별 가구원수에 따른 열전비의 차이가 발생할 수 있음을 확인 하였으며 가구 특성 또는 에너지 소비형태의 상세 분석이 연료전지 결정시 반영되어야 함을 알 수 있었다.
- (3) 마지막으로, 연료전지 설치를 통한 에너지 절감 측면에서 분석한 결과 열전비가 높은 단지A의 경우 PEMFC가, 열부하에 비하여 전력부하의 비율이 높은 단지B의 경우 SOFC 나 PAFC가 적용효과가 높을 것으로 분석되었다. 특히, 연료전지의 특성에 따라 배열회 수가 높은 PEMFC는 중간기, 동절기에, 발전효율이 높은 SOFC는 하절기에 에너지 효율 화가 높은 것으로 나타났으며, 시스템을 전력부하의 50%로 설정할 경우 기대할 수 있는 1차 에너지 절감효과는 약 14~20% 수준으로 나타났다.

본 연구에서는 이론식에 근거하여 기존의 개별난방 주택과의 1차 에너지 절감효과를 분석 하였으며, 연료전지의 기동특성, 폐열발생 대응, 운전 스케줄 등에 대한 설비적 검토까지는 이루어지지 않은 부분을 과제로 지적할 수 있다. 따라서 추가 연구에서는 시간별 데이터를 기반으로 설비측면에서의 효율적 운전방법과 최근 증가하고 있는 1인 세대에 대한 열전비 검토 등을 포함하여 연료전지 설치와 운전에 대한 상세 분석을 실시할 예정이다.

후기

이 논문은 국토교통부 / 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행한 연구결과의 일부임 (과제번호 : (21HSCT-B157913-02)).

References

1. Cha, K.S., Kim, H.S. (2014a). A study on monitoring energy performance of 1kW Proton Exchange Membrane Fuel Cell in case of proof applied to house units. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, 8(5), 269-274.

2. Cha, K.S., Kim, H.S. (2014b). Development of Temperature Control System to use in Building Heating of low Temperature Heat of PEMFC. *The Plant Journal*, 10(3), 45-51.
3. Dong, H.W., Jo, S.Y., Lee, S.J., Jeong, J.W. (2015). Empirical Performance Prediction Model for Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC). *Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 31(10), 203-210.
4. Hong, J.H., Aum, T.H., Lee, J.C. (2020). A Study on the Building Energy Efficiency Rating Changes by Enhanced Thermal Insulation Performance of Building Envelope Standards in Apartment Houses. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 32(4), 173-178.
5. Hwang, Y.J., Ahn, Y.C., Cheong, S.I., Jin, K.H., Lee, J.K. (2008). Experimental Investigation on the Optimal Design of Water Tank for Domestic Hot Water Supply using PEMFC Co-generation System. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 20(6), 394-399.
6. Jang, H.M., Cho, Y.H., Hwang, J.H. (2016). Payback Period Analysis of Composite Applying New&Renewable Energy Systems for Hydrogen Fuel Cell System of the Public Office Facility. *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 10(2), 122-129.
7. Kim, Y.H., Ko, M.J., Kim, Y.S., Chang, J.D. (2012). Performance Evaluation of Hydrogen Fuel Cell System in Apartment Complex. *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*, 19(4), 464-471.
8. Lee, Y.H., Yang, C.U., Yang, C.M., Park, S.H., Park, S.J. (2016). Optimization of Operating Conditions for a 10kW SOFC System. *Transaction of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, 27(1), 49-62.
9. Park, D.H., Cha, K.S., Jeong, Y.G. (2014). Study on Applicability of Household Fuel Cell System with Operating Methods. *Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, 25(2), 139-144.
10. Park, D.H., Cha, K.S., Jo, H.K., Jung, Y.G. (2012). Study on Optimization of Operation in household Fuel Cell System. *The Korean Hydrogen and New Energy Society*, 23(6), 598-603.
11. Fujii, S. Yuasa, K., Tarumi, K. (1989). Application of cogeneration system to building equipment, *Journal of Environmental Engineering, IFAC Proceeding Volumes*, 22(10).
12. Kim, Y.H., Kim, H.J., Ko, M.J., Kim, Y.S. (2009). The Energy and Environmental Performance of Hydrogen Fuel Cell System in Apartment Complex. *The Korean Solar Energy Society Conference*, 199-204.