

## 운전방법에 따른 가정용 연료전지 시스템의 적용성 검토

박대흠<sup>1</sup> · 차광석<sup>1</sup> · 정영관<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>현대건설 연구개발본부, <sup>2</sup>금오공과대학교 기계공학과

### Study on Applicability of Household Fuel Cell System with Operating Methods

DEAHEUM PARK<sup>1</sup>, KWANGSEOK CHA<sup>1</sup>, YOUNGUAN JUNG<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Research & Development Division, Hyundai Engineering & Construction Co.,Ltd.,  
102-4, Mabuk-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 446-716, Korea

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Kunoh National Institute of Technology,  
61 daehak-ro, Gumi, Gyeongbuk, 730-701, Korea

**Abstract** >> A Fuel Cell is one of the solving to reduce greenhouse gases. Despite the high efficiency and environmental friendly of Household Fuel Cell System it has hardly obtained popularity mainly due to its high prices. In order to encourage use of the system prices and operational expenses need to become economical. In this study, optimization through simulation was conducted to find out the optimal operational condition. As a result of simulation the system is operated with DSS operation from 5 O'clock until 19 O'clock for 13 hours at the constant output of 0.4kW to maximize reduction of energy rate. Furthermore, instead of the domestic system with the rated output of 1kW, rated output of the system should be reduced to 0.4 - 0.6kW which can promote installation of household Fuel Cell System.

**Key words** : Household fuel cell system(가정용 연료전지 시스템), Load following(부하추종), Apply and demand (수급), Operating optimization(운전 최적화)

#### Subscripts

Grid Power =  $P_G$

Generated Power by FC =  $P_F$ ,

Generated Heat By FC =  $H_F$ ,

Generated Heat by Boiler =  $H_B$

Power Consumption =  $P_C$

Heat Consumption =  $H_C$

Surplus Power =  $P_S$

Surplus Heat =  $H_S$

#### 1. 서론

지구온난화 문제가 세계적으로 부각되고 있는 가운데 세계 각국은 온실가스 감축을 위한 도시가스를 이용한 연료전지의 보급<sup>1)</sup> 등 다양한 노력을 해오고 있다. 그 노력의 일환으로 우리나라를 포함한 세계 각국은 건물에너지 절감을 위한 다양한 정책을 쏟아내고 있다. 우리나라의 경우, 2020년 제로에너지 하

<sup>†</sup> Corresponding author : jyg\_kr@kumoh.ac.kr

[ 접수일 : 2013.11.26 수정일 : 2014.4.1 게재확정일 : 2014.4.30 ]

Copyright © 2014 KHNES

우스를 목표로 단계적인 정책적용 실행을 계획하고 있다. 신재생에너지는 이러한 제로하우스 구현을 위한 필수 요소로서 다양한 에너지 소스가 고려되고 있다.

서울시의 경우, 10만<sup>2</sup>m 이상 재건축, 재개발 건물에 대하여 에너지 사용량의 10%에 대해 신재생에너지 의무적용을 시행하고 있다<sup>2)</sup>. 현재 널리 사용되고 있는 태양광의 경우, 설치면적의 제한으로 단독 설치는 의무비율 달성이 불가능하며, 다른 신재생에너지 원과의 복합 설치가 필요하다.

연료전지는 설치면적당 출력 비율이 재생에너지원과 비교하여 월등한 성능을 가져, 그 실용성이 다시 부각되고 있으며 여러 건설사들도 새로운 공동주택 및 건물에 대해 이의 적용을 검토하고 있다.

연료전지 시스템의 비용 절감에 대한 대책으로 다른 재생에너지원과의 연계를 통한 수전해·연료전지 가역셀을 통한 연료와 시스템 비용 절감을 위한 연구가 진행<sup>3)</sup>되고 있으나, 현재 누진세가 적용되는 전기료의 절감으로 초기 투자금을 회수 할 수 있다. 연료전지 시스템의 빠른 확대 보급을 위해서는 기기효율 향상과 함께 적절한 운전 제어<sup>4,6)</sup>를 통해 요금 절감률을 높여야한다<sup>7,8)</sup>.

본 연구에서는 전기세의 보다 많은 절감을 이룰 수 있는 운전방법을 시뮬레이션을 통해 검토하여 보았다. 운전 방법으로는 DSS (Daily Start and Stop) 운전, 부하추종운전, Base 부하 운전을 적용하였다. DSS 운전은 연료전지의 운전시작 시간, 운전시간, 부하 크기의 변화에 따라, Base 부하 운전은 연료전지의 출력 크기에 따라 사용되어지는 가스량, 계통전원사용량을 계산하였다. 계산 결과로부터 가스 및 전력 요금을 산출하여, 운전 방법에 따른 연간 전기료 절감액을 비교하였다. 또, 가스 및 전기요금의 과거 데이터 분석을 통해, 연도별 요금 추이를 바탕으로 연료전지 시스템의 적용가능성을 검토하였다.

## 2. 시뮬레이션 방법

### 2.1 시뮬레이션 모델

Fig. 1은 연료전지가 적용된 가정에서의 에너지 흐름을 보여 준다. 그림과 같이 시스템의 input은 도시가스 및 계통전원이고 output은 전력수요, 온수수요, 잉여전력, 잉여온수로 설정하였다.

### 2.2 시뮬레이션 모델링

연료전지의 운전 시뮬레이션을 위해 수학적 모델링을 구축하였다. 가정용 연료전지 시스템의 input, output을 고려하여 Fig. 2와 같이 모델링을 하였다.

### 2.3 시뮬레이션 설정 및 알고리즘

시뮬레이션의 설정 조건은 일반적으로 알려진 가정용 연료전지 시스템의 성능을 참조하여 적용하였다. 온수 및 전력의 연계, 부하추종에는 다계층 모형 또는 선형혼합 모형을 이용하였다<sup>2)</sup>. 시뮬레이션 대상은 가정용 연료전지가 시범 적용된 북한산 힐스테

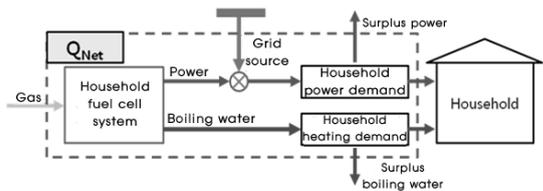


Fig. 1 Energy flow of household fuel cell system

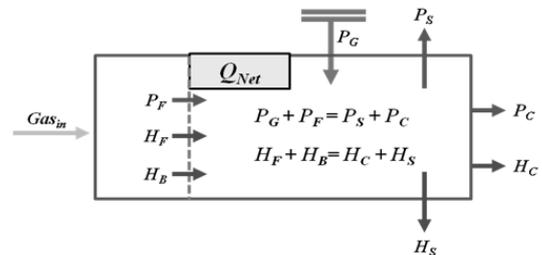


Fig. 2 Simulation model

이트 35평 및 45평 37가구의 실제 데이터를 활용하였으며, 시뮬레이션에 적용한 시스템 사양, 설정 조건, 알고리즘은 참고문헌 9)와 동일하게 설정하였다.

### 3. 시뮬레이션 결과

#### 3.1 가정용 연료전지 시스템의 운전방법에 따른 에너지 요금 비교

가정용 연료전지의 운전 방법에 따른 전기 및 가스요금을 시뮬레이션을 통해 산출하였다. 운전방법으로는 부하추종운전, Base 부하운전(발전 출력 0.2~1

kW), DSS 운전(시간대별, 발전출력 0.2~1kW)을 적용하였다.

Fig. 3은 35평, 45평 아파트에서 가정용 연료전지 시스템의 적용 전후, 부하추종운전 및 Base 운전에 따른 전기 및 가스 합산 요금의 연간 변화를 나타내고 있다. 35평 아파트에서는 0.2kW로 Base 부하 운전하였을 때 연간 합산 요금이 1,616,228원으로 가장 낮았으며, 45평 아파트에서는 0.4kW로 Base 부하 운전하였을 때 연간 합산 요금이 2,141,593원으로 가장 낮았다. 35평에서 0.2kW로 base 부하 운전할 때와 45평에서 0.4kW로 base 부하 운전할 때, 연료전지로부터의 전력 및 온수 공급이 수요를 전부 대처하지는 못한다. 하지만, 연료전지로부터 공급 되는 에너지(전기+온수)의 사용률이 상대적으로 높아 과잉 되는 에너지의 양이 적어(효율이 높아) 전기 및 가스의 합산 요금이 가장 낮아진다. 이상으로부터 base 부하운전을 할 경우 35평에서는 0.2kW로, 45평에서는 0.4kW로 운전하는 것이 요금을 가장 많이 절감 할 수 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4은 35평, 45평 아파트에서 DSS 운전의 운전 지속 시간, 운전시의 연료전지 출력에 따른 요금 변화를 나타낸다. 35평, 45평 아파트 모두 0.4kW로 운전할 때가 가장 요금이 낮았으며, 35평에서는 13시간 연속 운전할 때 요금이 가장 낮았으며, 35평에서는 13시간 연속운전 할 때 1,612,465원, 45평에서는 15시간 운전 할 때 1,893,624원이 최소 요금이었다. 이 결과로부터 DSS 운전에서는 운전지속시간을 조절함으로써 따라 요금을 최대로 절감 할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 5는 35평, 45평 아파트에서 전기 및 온수의 사용이 가장 많은 아침과 저녁 시간에 하루 2회 DSS 운전을 실시할 경우, 운전시간 및 운전시의 연료전지 출력에 따른 요금 변화를 나타낸다. 그림과 같이 35평에서는 6~12시와 18~24시에 걸쳐, 0.4kW로 연료전지를 일정 출력 운전할 때 요금이 1,642,442원으로

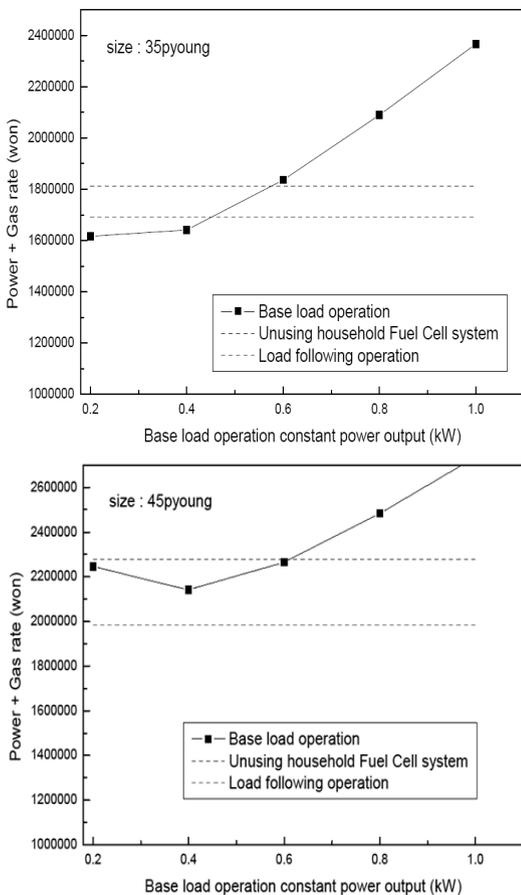


Fig. 3 Comparison of energy rate by fuel cell's output power in a year (base load operating)

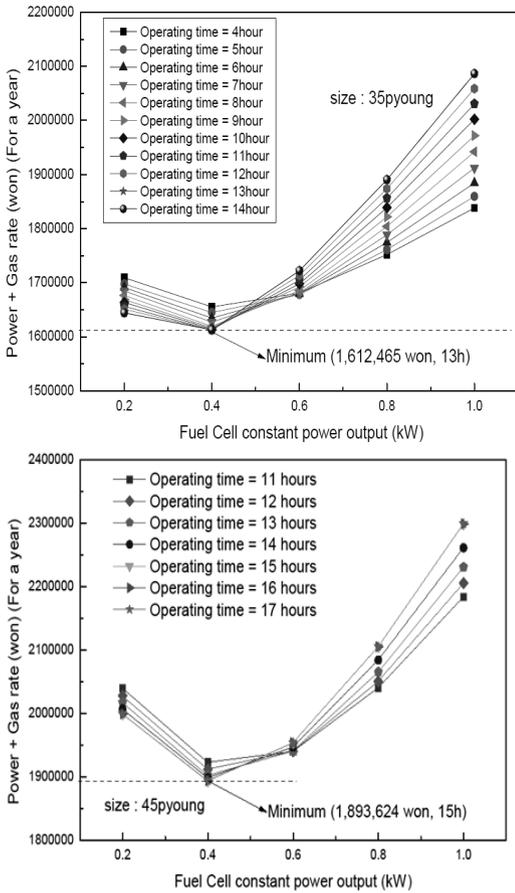


Fig. 4 Variation of energy rate by operating time and fuel cell output power in a year (one time DSS operating in a day)

가장 낮았으며, 45평에서는 5~11시와 17시~23시에 일정한 출력의 운전을 할 때 요금이가 1,907,490원으로 가장 낮았다.

### 3.2 연도별 전기 및 가스 단가와 운전방법에 따른 연간 요금 비교

전기 및 가스 요금에 따라 운전방법이 동일하더라도 절감할 수 있는 금액은 차이가 발생 할 수 있다. 또, 절감 금액의 차이는 운전방법에 따라서도 달라진다. 따라서 과거의 전기 및 가스 요금 데이터의 분석을 통해, 향후 요금 변화를 예측하여, 2015년도까지

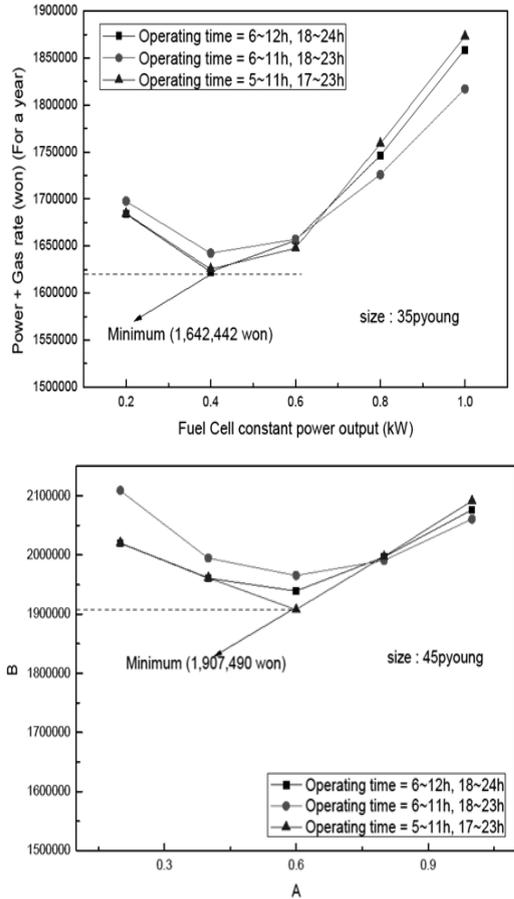


Fig. 5 Variation of energy rate by operating time & fuel cell output power in a year (two times DSS operating in a day)

의 요금변화에 따른 최대 요금 절감 금액을 시뮬레이션을 통해 산출하였다. 또, 요금 변동에 따라 요금 절감 금액이 최대가 되는 운전 방법을 도출 하였다.

Fig. 6은 35평 아파트에 가정용 연료전지 시스템을 적용할 때, 요금 변동 및 운전 방법에 따른 연간 요금 변동을 나타내고 있다. 2012년도 기준으로, 그 이전에는 연료전지의 운전 시간 및 출력이 증가 할수록 요금의 절감 금액은 커졌으며, 그 이후에는 연료전지의 출력을 줄이고 운전시간을 줄일수록 요금 절감 금액은 증가하였다. 또, 절감할 수 있는 최대 금액은 년도가 증가 할수록 줄어들었다. 이러한 결과는 전기 요금의 상승은 미비하여 절감 금액에 미치는

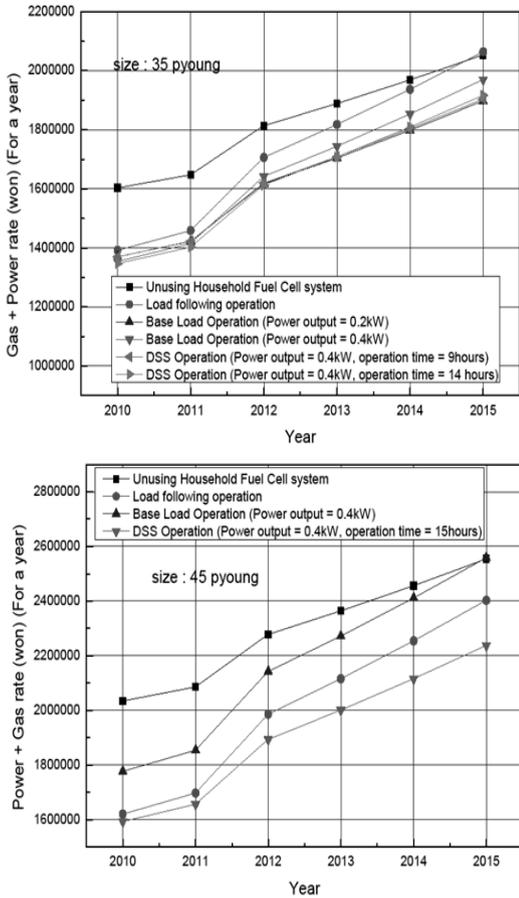


Fig. 6 Variation of energy rate by unit cost change over years

영향은 적으나 가스요금이 년 6%로 상승하여, 전기요금에 비해 상대적인 영향이 크기 때문이다. 여기서, 가스를 연료로 사용하는 연료전지 시스템은 전기요금 상승보다 가스요금 상승 폭이 더 증가 할수록 그 설치 장점이 줄어든다는 것을 알 수 있다.

45평 아파트는 35평 아파트와 비교하여, 요금의 절감이 최대가 되는 운전방법은 0.4kW 15시간 DSS 운전으로 년도에 관계없이 동일하고, 절감 금액만 소폭 감소한다. 이는 35평과 비교하여, 상대적으로 월간 전기사용량이 많기 때문에 연료전지의 사용으로 인해 전기요금의 절감 폭이 커지기 때문이다.

이상의 결과로부터 가정용 연료전지 시스템의 적

용 메리트를 극대화하기 위해서는 운전방법의 최적화와 함께 적용대상의 선정이 중요함을 알 수 있다. 전기를 적게 사용하는 곳에서는 전기요금 절약을 통한 메리트가 크게 줄어들기 때문이다. 월간의 전기 사용량이 400kWh 이상인 대형 주택 또는 큰 평수의 아파트가 적절하리라 생각되며, 월 500kWh 이상을 사용하는 가정에서는 연료전지 시스템의 도입 효과가 최대로 나타날 수 있다. 또한, 현재 선진국대비 60%정도인 우리나라의 전기 요금 체계로는 연료전지 적용 메리트에 한계가 있다. 일본의 경우 초기 설치비 회수 기간이 4~7년 정도로 우리나라의 10년 이상과는 차이가 있다. 현실적인 전기요금을 반영하여 인상이 이루어진다면 연료전지의 도입 효과는 더욱 커질 것이다.

전기로 인상과는 반대로 가스 요금이 싸질 경우에도 연료전지 시스템의 적용 장점은 증가 할 수 있다. 다행히 현재 미국에서는 셰일 가스 시추기술의 혁명적인 개발로 인해 제2의 산업혁명이라고 불리 정도로 활발히 개발 사업이 이루어지고 있다. 세계 1위의 천연가스 수입국이었던 미국은 2012년 수출국으로 변화하고 있으며, 2017년 한국가스공사와 LNG 수출의 협약을 체결한바 있다. 따라서 년 6% 성장인 천연가스가 안정이 된다면, 가정용 연료전지 시스템의 도입으로 인한 장점은 더욱 확대 될 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

가정용 연료전지 적용 전과 후의 전기 및 가스 요금을 시뮬레이션을 통해 산출하여 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

- 1) Base 부하 운전의 경우 35평에서는 0.2kW로, 45평에서는 0.4kW로 운전하는 것이 합계 요금을 가장 많이 절약 할 수 있다.
- 2) DSS운전의 경우 운전 시작시간이 요금에 미치는 영향은 미비하였으며, 35평에서는 하루 중 0.4kW로 13

- 시간 연속운전 할 때, 45평에서는 하루 중 0.4kW로 15시간 운전할 때 요금을 가장 많이 절약할 수 있다.
- 3) 전력 및 온수 수요가 집중된 아침시간과 퇴근 후 저녁시간에 맞추어 하루 2회 DSS 운전을 실시 할 경우, 35평에서 6~12시와 18~24시의 2회 DSS 운전, 45평에서는 5~11시와 17시~23시의 2회 DSS 운전을 할 때 요금 절감 폭이 가장 크다.
  - 4) 35평에서는 0.4kW로 하루 중 14시간 DSS 운전 할 때 최대 요금을 절감 할 수 있었으며, 45평의 경우에는 0.4kW로 하루 중 15시간 DSS 운전 할 때 최대 요금을 절감 할 수 있다.

현재 적용 되고 있는 정격출력 1kW 가정용연료전지는 소비자에게 가장 중요한 요소인 요금 절약 효과가 미비하고 오히려 시스템의 가격상승이 부담으로 작용할 가능성이 높다는 것을 유추할 수 있다. 시뮬레이션 결과에서 운전 방법에 관계없이 연료전지의 발전 출력이 0.4kW 일때 연료전지 시스템의 이용률 및 요금 절감 효과가 최대로 나타나기 때문에 기존 1kW 연료전지의 용량을 줄일 필요가 있다. 따라서 가정용 연료전지는 기존 1kW에서 0.4~0.6kW 정도로 연료전지의 발전 용량을 줄여 시스템의 가격은 낮추어, 가격 경쟁력을 통한 확대 보급이 이루어지도록 해야 한다. 또한, 2000~2011년과 같은 전기 요금 및 가스 요금 상승률이 지속 된다면 가정용 연료전지 시스템 적용에 따른 요금 절감효과는 계속적으로 줄어들어, 향후 시스템의 도입 장점이 없다. 하지만, 전기료의 합리적인 인상 및 세일가스의 개발로 인한 가스요금의 보합이 예상되기 때문에 가정용연료전지 도입의 장점이 향상 될 것으로 기대 된다.

## References

1. S. Muraki, "Residential Fuel Cell LIFUEL-Challenges and Expectations for Its Promotiom-", FC EXPO Keynote Session, 2006, pp. 51-63.
2. 서울특별시 환경영향평가 조례, 2013년 8월 1일.
3. C. M. Hwang, D. H. Park, Y. G. Jung, K. H. Kim and J. S. Kim, "Study on optimization of operation in household Fuel Cell system", Trans. of the Korean Hydrogrm and New Energy Society, Vol. 24, No. 4, 2013, pp. 320-325.
4. Y. G. Jung, S. W. Kim, K. H. Kim, S. D. Choi, T. I. Jang, and C. M. Hwang, "A Study on the Hydrogen Supply for Variation in Output from a Metal Hydride Canister", Trans. of the Korean Hydrogrm and New Energy Society, Vol. 20, No. 3, 2013, pp. 216-223.
5. D. H. Park, D. H. Kim, K. H. Kim, and Y. G. Jung, "A Study on The Control of Humidification and Dew condensation by on/off control", Trans. of the Korean Hydrogrm and New Energy Society, Vol. 22, No. 6, 2013, pp. 835-841.
6. Y. G. Jung, C. M. Hwang, D. H. Park, K. H. Kim, and C. H. Han, "The control of Hydrogen Flow in keeping with Load Changing at the PEMFC", Applied Mechanics and Materials, Vol. 249-250, 2013, pp. 477-480.
7. H. S. Ryu, and S. D. Kim, "An Analysis on the Optimal Operation and Economic Feasibility of Household FuelCell system for Climate Change", Korea energy Economic Review, Vol. 10, No. 1, 2011, pp. 25-48.
8. D. H. Park, G. S. Cha, H. G. Jo, and Y. G. Jung, "Study on optimization of operation in household Fuel Cell system", Trans. of the Korean Hydrogrm and New Energy Society, Vol. 23, No. 6, 2012, pp. 598-603.
9. C. G. Moon, and S. D. Kim, "An Application of the Multilevel Model = Estimation and Prediction of the Heat Load Profile Using Weather and Heating/ Cooling Data", Environmental and Resource Economics Review, Vol. 16, No. 4, 2007, pp. 803-832.