

# 가정용 고분자 전해질 연료전지 열병합 발전시스템의 급탕 적용을 위한 온수 저장조의 최적 설계에 관한 실험적 연구

황 유진, 안영철<sup>\*\*</sup>, 정성일, 진근호<sup>\*\*</sup>, 이재근  
부산대학교 기계공학과, <sup>\*</sup>부산대학교 건축학부, <sup>\*\*</sup>LG전자 DA연구소

## Experimental Investigation on the Optimal Design of Water Tank for Domestic Hot Water Supply using PEMFC Co-generation System

Yujin Hwang, Young-Chull Ahn<sup>\*\*</sup>, Seong-ir Cheong, Keun-ho Jin<sup>\*\*</sup>, Jae-keun Lee<sup>\*</sup>  
*Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*  
*<sup>\*</sup>School of Architecture, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*  
*<sup>\*\*</sup>Digital Appliance Research Laboratory, LG Electronics, Seoul 153-802, Korea*

(Received February 1, 2008; revision received May 19, 2008)

**ABSTRACT:** There are many attempts to use a fuel cell system as a residential power generation system. The purpose of this study is to investigate the optimal design of a water tank for a hot water system when the fuel cell co-generation system is combined with a domestic hot water supply system. The demands of hot water supply per month per home are investigated in Busan for a year. It showed somewhat large differences between the actual demand and the designed demand of hot water, but the actual capacity of hourly averaged hot water demands is analyzed as 60 l/h in this study based on the actual demand. The experiments are performed in the various inlet and outlet locations of nozzles, and the hot water consumption rates. The experimental results are showed that the optimal capacity of the water tank is 200 l when the thermal efficiency, the storing capacity of hot water and the space for installation are considered.

**Key words:** PEMFC(고분자 전해질 연료전지), Co-generation(열병합 발전시스템), Hot Water Supply (급탕), Water Tank(저장조)

### 기 호 설 명

- $T_1$  : 상수도 공급 온도 [°C]
- $T_2$  : 냉각수 입구 온도 [°C]
- $T_3$  : 냉각수 출구 온도 [°C]
- $T_4$  : 급탕 공급 온도 [°C]

### 1. 서 론

지난 20세기는 과학탐구의 시기였으며 아울러 고도의 산업화로 풍요로운 물질문명의 혜택을 누렸던 시기였다. 그러나 이면에는 막대한 양의 화석연료 소비를 유발하며 이산화탄소의 배출로 지구의 온난화가 가속화되었고 많은 환경오염의 부산물을 남겼다. 그런 이유로 선진국에서는 대체 에너지 개발촉진법, 에너지이용합리화법 등의 사업을 통해 많은 연구들을 진행하고 있으며 그 중

† Corresponding author  
Tel.: +82-51-510-2492; fax: +82-51-514-2230  
E-mail address: ycahn@pusan.ac.kr

연료전지는 고효율, 환경친화성의 특성으로 유망한 차세대 에너지 변환 기술로 인식되고 있다.<sup>(1)</sup> 특히 여러 연료전지 중 고분자전해질 연료전지(Polymer electrolyte membrane fuel cell, PEMFC)는 전해질로 액체를 사용하지 않고 고분자막을 사용하는 연료전지로 취급이 용이하고, 다른 종류의 연료전지에 비해 부피와 무게가 작고 상온에서 동력밀도가 높으며 시동과 정지가 용이한 장점이 있다. 그러나 실제로 연료전지 시스템의 최적 운전특성을 유지하기 위해서는 화학반응에 의한 스택의 온도상승을 억제하여 일정온도로 유지시켜주는 것이 필요하며 이를 위해 공기 또는 물 등의 유체를 이용하여 냉각을 하고 있다. 이때 냉각을 위한 유체를 적절히 활용함으로써 인해 버려지는 열을 회수하여 재이용이 가능하다.<sup>(2-4)</sup> 그 결과 전기와 열을 동시에 발생시키는 열병합 발전 시스템을 가정에 적용할 수 있게 되었으며, 특히 발생하는 열을 이용하여 가정의 급탕에 사용하는 방안이 고안되었다.

따라서 본 연구에서는 PEMFC 열병합 시스템의 배열을 회수하여 효율적으로 온수를 공급하고 또 저장할 수 있는 저장조에 관한 최적 설계안의 도출을 위하여 실제 국내의 급탕에 관한 수요조사를 실시하여 사용 패턴을 분석하였으며 1.4kW 급 열병합 시스템의 배열을 회수하여 저장하고 동시에 가정의 급탕 공급과 스택의 냉각수 공급을 수행하는 실험 장치를 모사하여 배열 회수 열량, 저장조 용량, 급탕 사용 유량에 대한 시스템의 급탕 사용 특성을 분석하여 저장조의 최적 설계 인자에 대한 도출을 수행 하였다.

## 2. 급탕량 산정을 위한 수요 조사

일상생활에 사용되는 급탕량은 지역별, 평형별 매년 변하고 있지만 1982년 미국의 Hoover Code로 법제화하기 시작한 급탕량 산정방법에 대해서 국내에서는 일본의 1970년에 발표된 빌딩관리법과 건설성고시 1597호(1975. 12. 20), HASS 206-1976(급배수 설비기준), 미국의 ASA A40. 8-1955 등에 대한 자료를 그대로 사용하고 있어 급탕 사용량에 대한 과대한 설계치를 사용하고 있으며 이에 대한 문제점을 인식하여 국내 생활환경을 토대로 새로운 급탕량 산정법 제시를 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. 따라서 지역, 평형에 따른

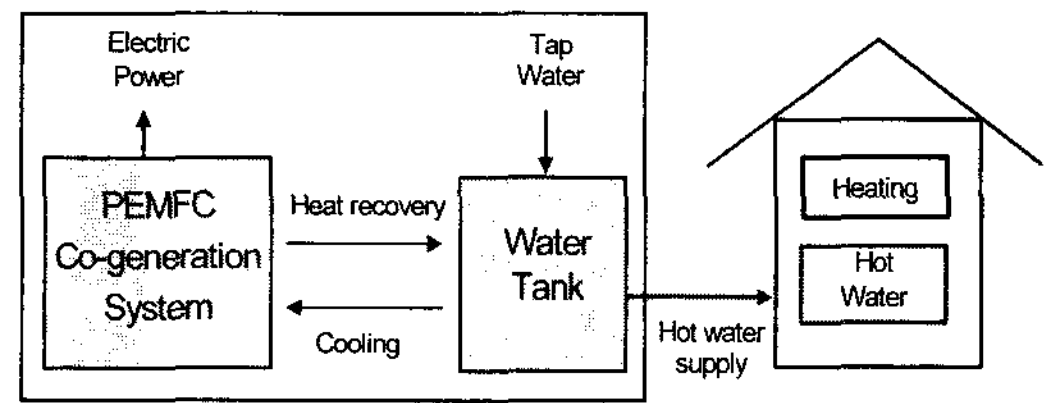


Fig. 1 Schematic diagram of the PEMFC cogeneration system.

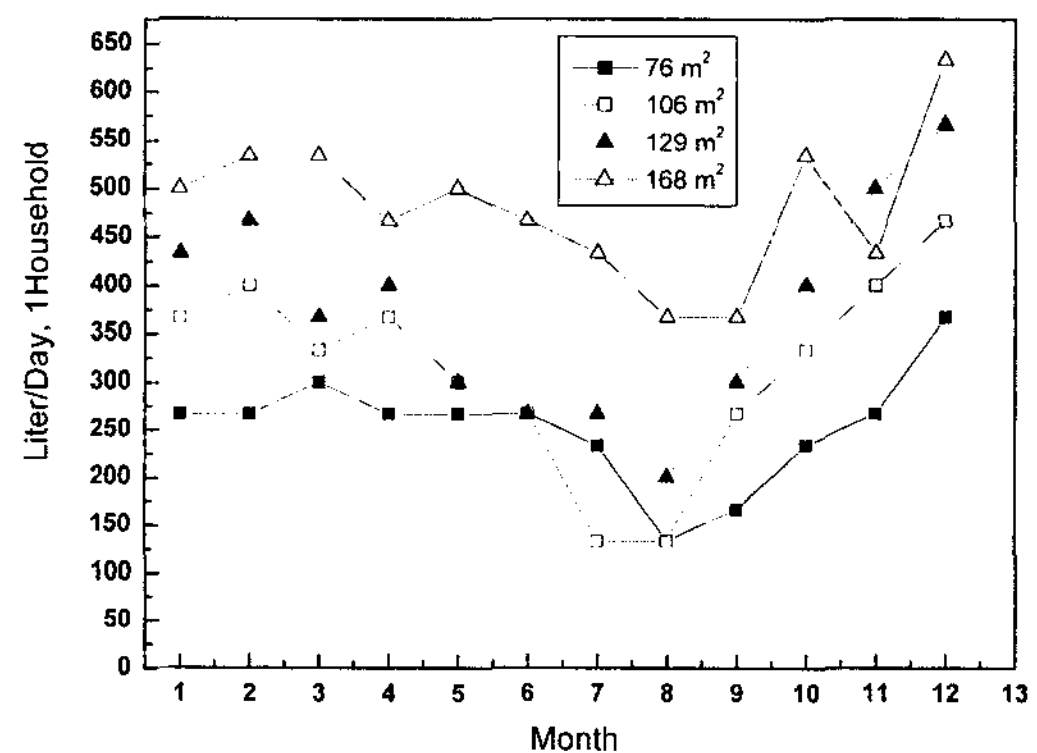


Fig. 2 Maximum amount of hot water consumption in a day.

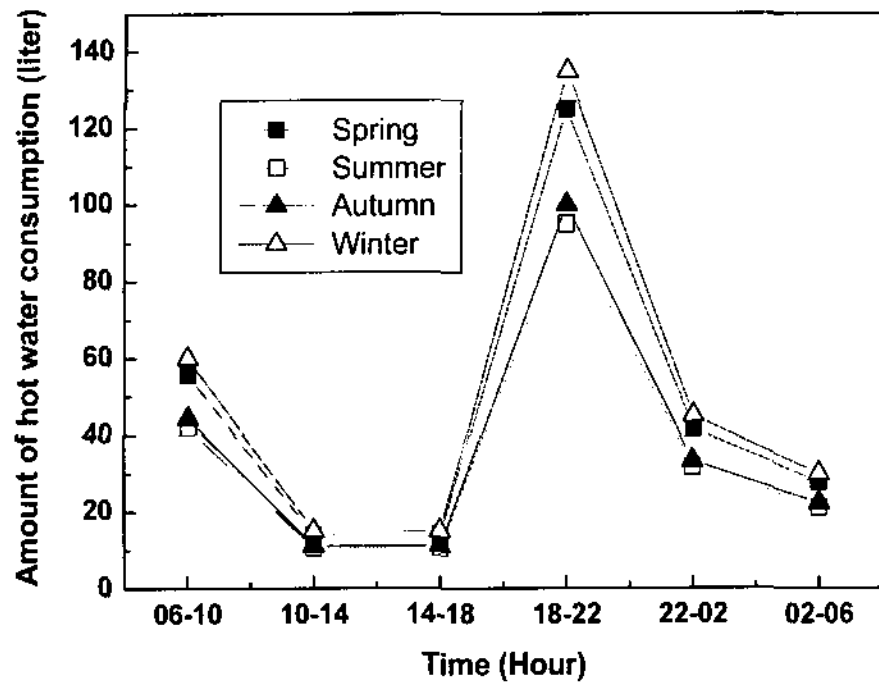
적정한 급탕량을 산정하는 것은 연료전지 시스템의 배열 활용을 위한 온수 저장조의 설계에 있어 중요한 데이터가 되겠다.

### 2.1 급탕량 수요 조사 방법

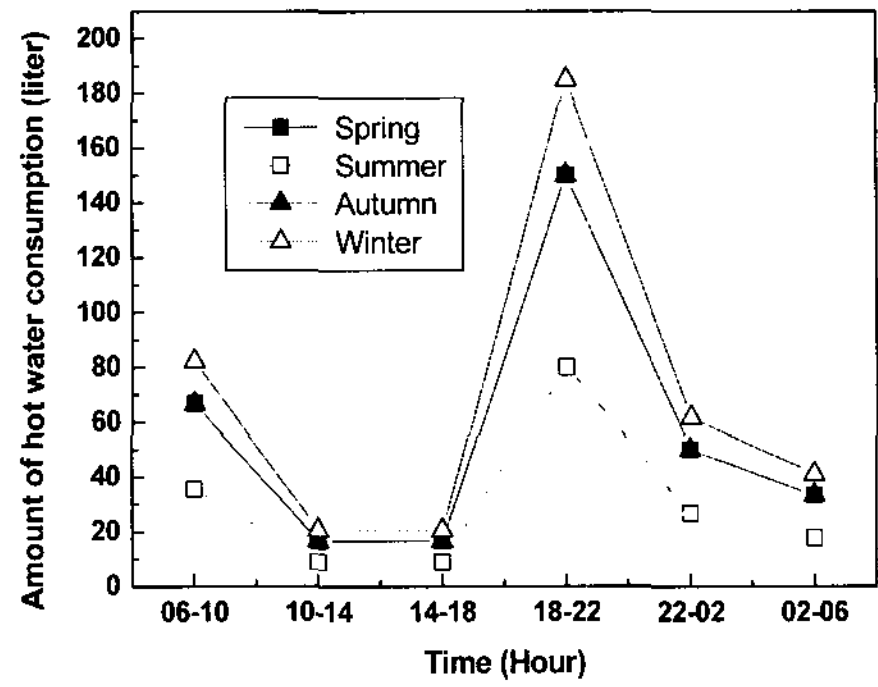
급탕량 산정을 위한 급탕량 수요 조사는 부산의 대표적인 아파트 지역인 해운대 신시가지의 아파트를 부산시와 한국도시가스공사(주)의 도움을 받아 2004년 1월에서 12월까지 1년간의 실제 급탕 사용량을 조사하였다. 아파트 평수를 선정함에 있어서 중산층이 가장 많이 거주하고 있는 76 m², 106 m², 129 m², 168 m²으로 각각 40세대, 32세대, 44세대, 42세대, 총 158세대의 급탕 사용량에 대하여 조사를 실시하였다.

### 2.2 급탕량 수요 조사 결과 분석

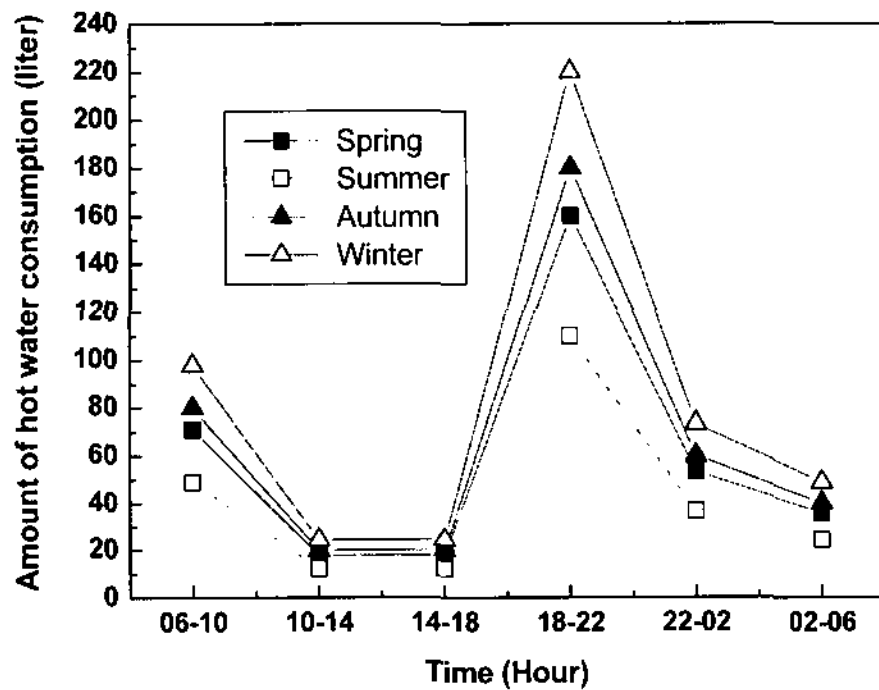
Fig. 2는 월별 급탕 사용량을 각 평형별로 비교하여 나타내었는데, 본격적으로 무더위가 시작되는 7월부터 일반적인 휴가철이 집중된 8월에



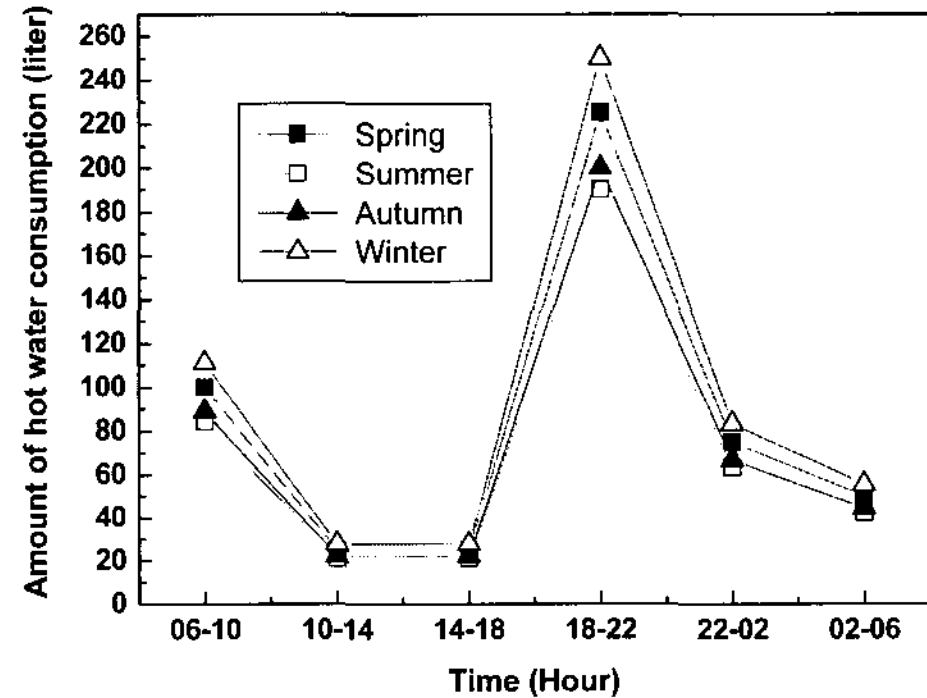
(a) 76 m<sup>2</sup>



(b) 106 m<sup>2</sup>



(c) 129 m<sup>2</sup>



(d) 168 m<sup>2</sup>

Fig. 3 Hourly pattern of hot water consumption according to the acreages.

급탕사용량이 줄어들고 다시 동절기로 접어들면서 급탕 사용량이 증가하고 있다. 그리고 단위 세대의 면적별 급탕 사용량을 비교해 보면 아파트의 면적에 급탕 사용량이 비례하지는 않는 것으로 분석되었다. 이는 거주공간의 크기에 따른 재실인원의 관계에서 서로 비례관계가 아님을 나타낸다.

Fig. 3에는 급탕 사용량에 대하여 계절별, 일별 시간대에 따른 각 평형별 수요 패턴을 정리하여 나타내었다. 급탕 사용량을 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 구별하였으며 하루 평균 사용량에 대하여 시간대별로 구분하였을 경우 06~10시에 20%, 10~14시에 5%, 14~18시에 5%, 18~22시에 45%, 22~02시에 15%, 02~06시에 10%로 나타나고 있다. 그리고 원활한 급탕 공급을 위하여 Fig. 3에서는 급탕 수요량에 대한 평균치가 아닌 각각 평형에 대해 최대치를 적용하여 나타내었으며, 최대 급탕량은 168 m<sup>2</sup> 평형의 겨울철 18~22시의 시간당 60 liter이다. 따라서 PEMFC 열병합 시스템을 연계한 급탕 시스

템에서는 원활한 급탕 공급을 위하여 일정 온도의 온수를 공급하되 시간당 60ℓ의 공급량을 만족해야 한다.

### 3. 실험 장치 및 실험 방법

#### 3.1 실험 장치

Fig. 4는 PEMFC 열병합발전시스템의 폐열을 회수하여 저장조에 저장하고 저장된 온수를 급탕으로 사용하는 실험장치의 구성도를 나타낸다. 본 연구에서는 1.4 kW 용량의 연료전지에 대하여 배열량을 0.5, 2 kW로 적용하여 실험 하였다. 일반적으로 연료전지에서 발생하는 열량은 발전량과 비례하게 된다. 이는 발전량을 증가시키기 위해서는 전류 밀도를 높여야하므로 Cell 자체의 저항 등에 의해 발열량이 증가하게 된다. 따라서 발전량이 적은 경우에 대하여 0.5 kW, 발전량이 높은 경우에 대하여 2 kW의 배열량을 적용하여 실험하였으며, 냉각수 입구 온도(T2)에 따른 냉

Table 1 Experimental conditions to supply hot water

No.	Water tank volume(ℓ)	Heat source	Hot water demand (ℓ/min)
1	200	2 kW	2
2			5
3			8
4		0.5 kW	2
5			5
6			8
7	400	2 kW	2
8			5
9			8
10		0.5 kW	2
11			5
12			8

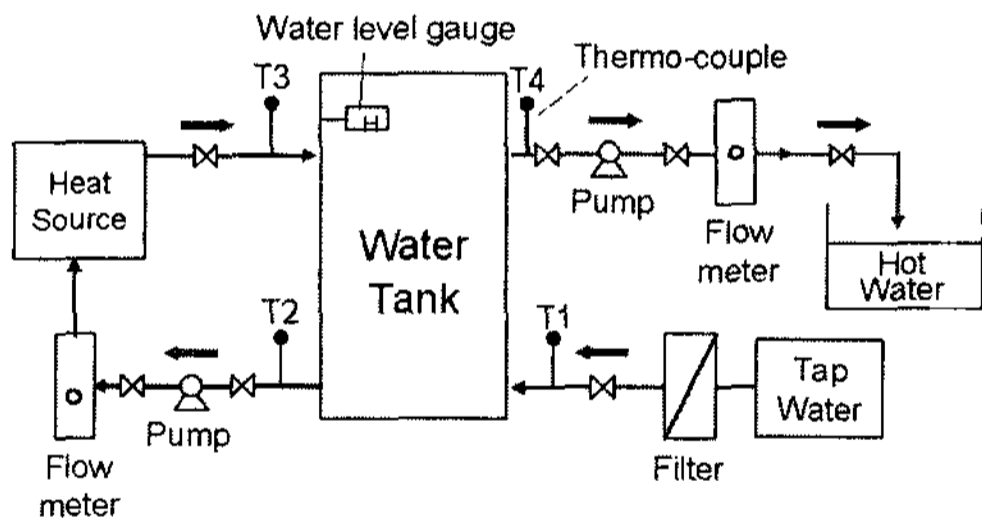


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental system.

각수 유량을 조절하여 회수되는 열량에 따라 0.4, 1.6 ℓ/min으로 조절하였다. 그리고 냉각수가 배열을 회수한 뒤 빠져나오는 출구 온도(T3)는 60 ℃로 항상 일정하게 배출되도록 하였다. 또한, 냉각수 공급 온도(T2)가 40 ℃를 초과하게 되면 실제 시스템에서는 냉각수의 예냉을 위한 열교환기가 설치가 되며 냉각수의 온도를 40 ℃ 이하로 낮추어 공급을 하게 된다. 저장조 내에 저장된 온수는 급탕 부하에 따라 T4의 온도를 가지는 온수를 공급하게 되며, 급탕 부하에 의해 소모된 온수는 다시 동일 용량으로 T1의 온도를 가지는 상수도로써 저장조 내로 공급되게 된다. 그리고 저장조의 최적 형상 도출을 위해 입·출구 노즐 위치 및 직경과 높이 비율에 등은 선행연구(5~7)을 통하여 설계하였다.

### 3.2 실험 조건 및 방법

Table 1에서는 배열 회수 열량과 저장조 용량, 그리고 급탕 사용 유량에 대한 실험 조건을 나타내었다. 본 실험에서는 냉각수의 배열 회수 열량이 0.5, 2 kW일 때 저장조 용량을 200, 400 ℓ로 변화하였으며 급탕 부하에 대한 급탕 사용 유량은 실제 샤워와 같은 순간적 공급량을 고려하여 2, 5, 8 ℓ/min으로 배수시켰다. 실제 온수의 사용에서 샤워와 같은 순간적인 공급량은 매우 높을 것으로 판단되나, 샤워가 끝나고 나면 물의 사용이 멈춘다. 따라서 이러한 패턴의 사용은 급탕량 수요 조사의 결과인 한 시간에 60 liter의 사용량이 넘지 않을 것으로 판단되며 따라서 순간 사용량이 60 ℓ/h 이상인 경우에도 온수 온도가 감소하지 않는다면 만족하는 것으로 분석하였다.

Fig. 3의 급탕 사용 패턴을 근거로 하여 연료전지 발전 부하에 따라 0.5 kW일 때 0.4 ℓ/min, 2 kW일 때 1.6 ℓ/min의 유량으로 냉각수가 순환하고 있는 상태에서 저장조가 충분히 60 ℃의 온수로 포화되었을 때 급탕 사용 유량에 따라 급탕 공급을 실시하였다.

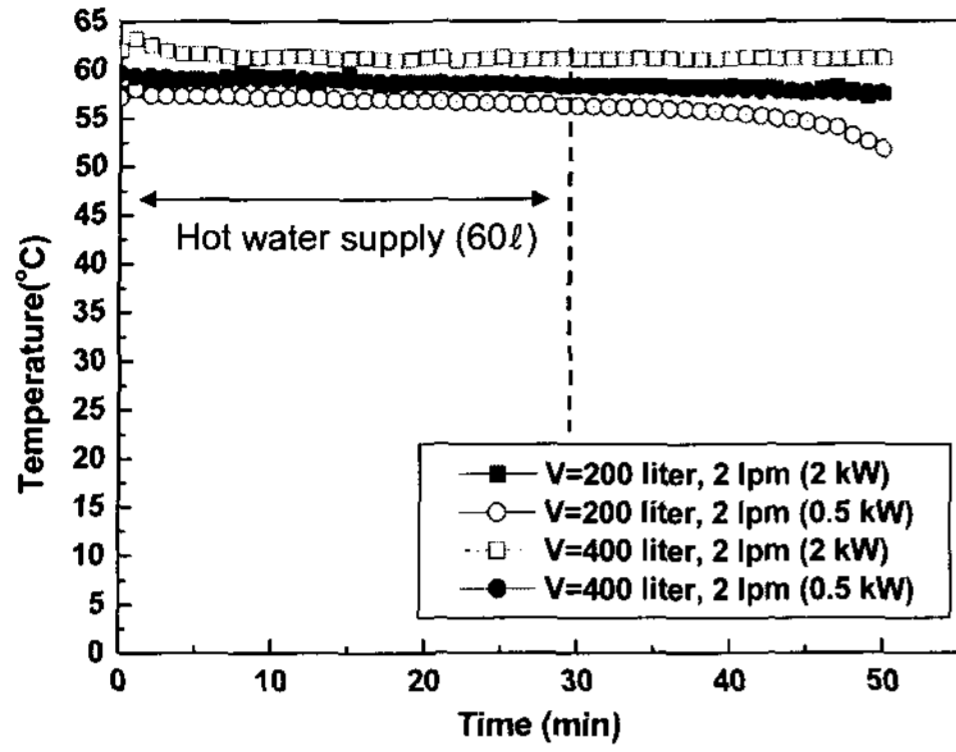
각 변수별 실험을 통하여 T1~T4의 온도 변화를 분석하여 급탕 사용 특성에 대한 실험을 실시하였으며 급탕 사용량과 동일하게 공급되는 상수도에 의해 차가워진 저장조 하부에서 공급되는 냉각수 공급 온도(T2)가 예냉 부하가 발생하기 시작하는 40 ℃가 될 때까지 관찰함으로써 냉각수 예냉을 위한 냉각 소비 특성 실험을 실시하였다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

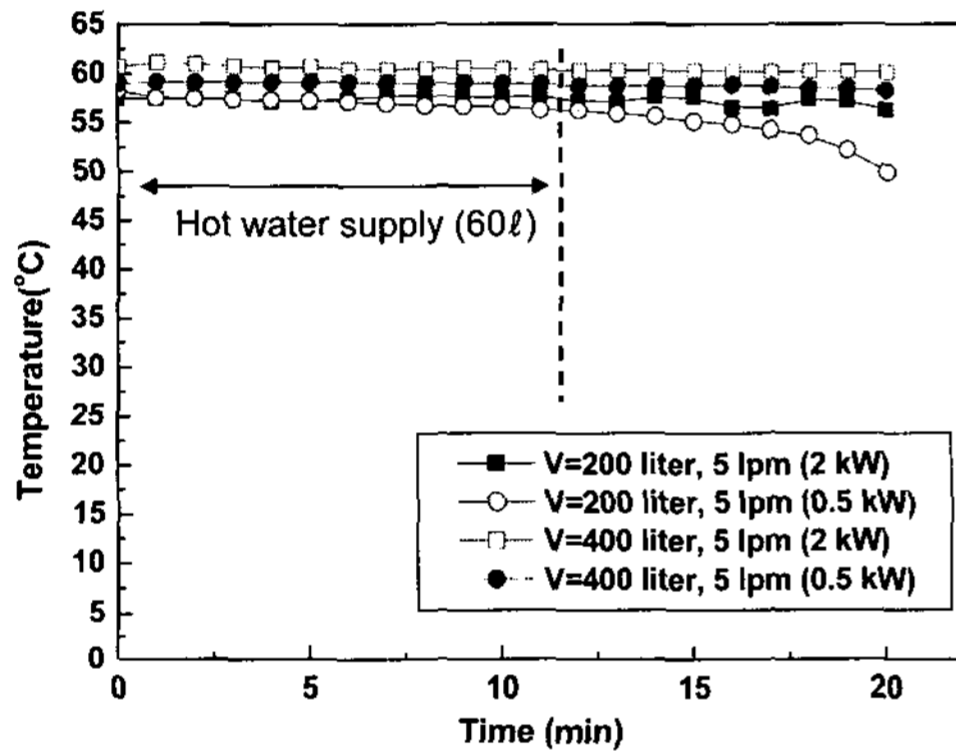
#### 4.1 급탕 사용 특성 결과

Fig. 5에서는 각 실험 조건에서의 시간에 따른 급탕 공급 온도 T4의 변화를 나타내고 있다. 총 급탕 공급량 100 ℓ일 때 각 Water Tank의 용량에 관계없이 급탕 기준 온도인 60 ℃를 만족하여 원활한 급탕 공급이 가능하였고, 200 ℓ의 용량에서는 시스템의 배열 회수 열량이 0.5 kW일 때는 급탕 사용 온도가 떨어지는 현상이 나타났다.

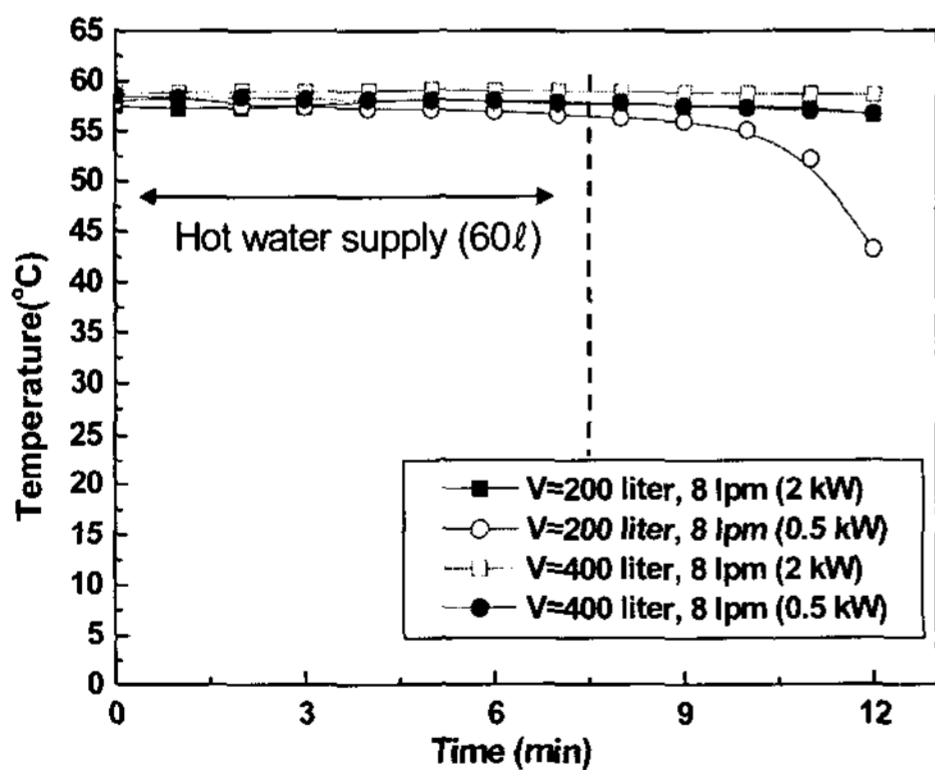
Fig. 5의 (a)에서는 약 90 ℓ, (b)에서는 약 80 ℓ, (c)에서는 약 75 ℓ를 공급한 후 급탕 온도가 감소하기 시작하였다. 급탕량 수요 조사에



(a) 2 l/min



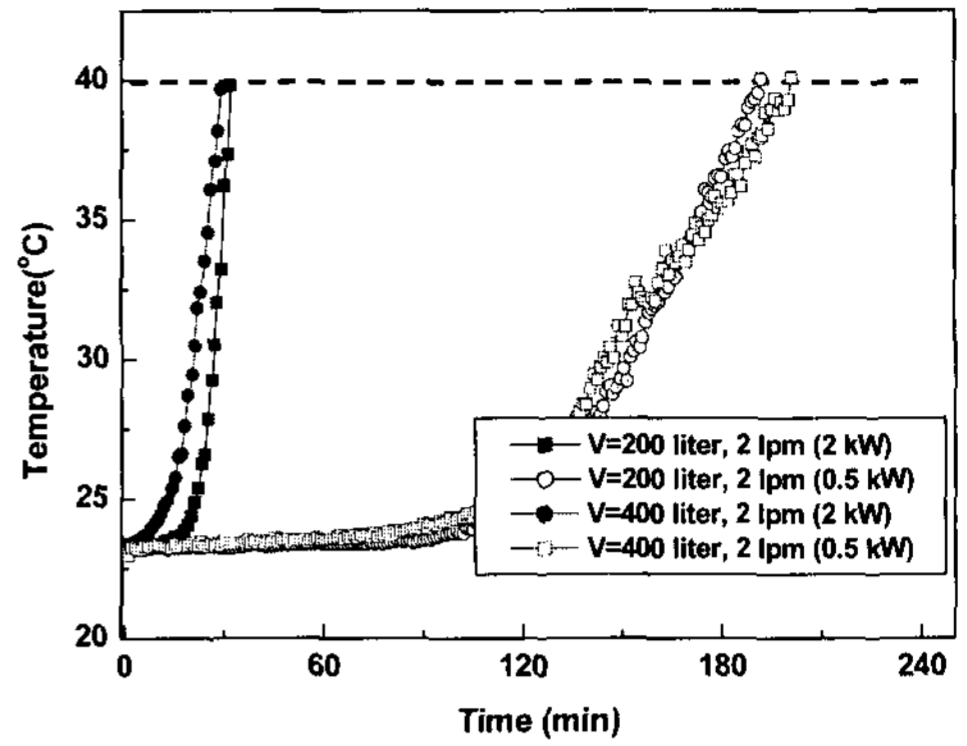
(b) 5 l/min



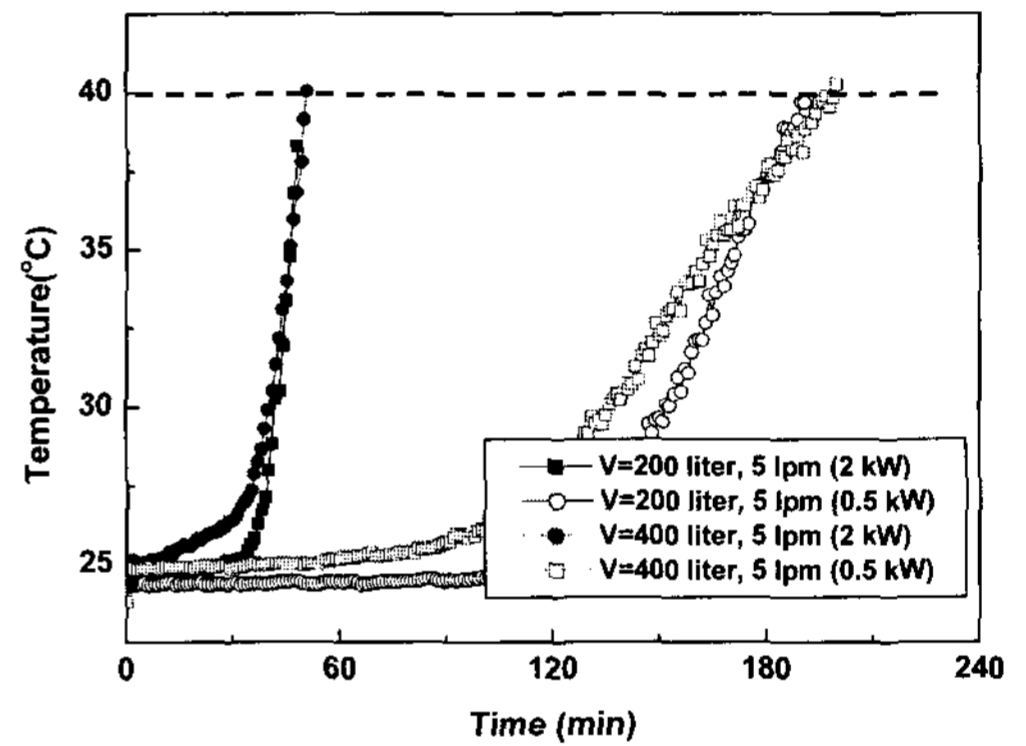
(c) 8 l/min

Fig. 5 Temperature variations of T<sub>4</sub> for hot water supply as a function of flow rate.

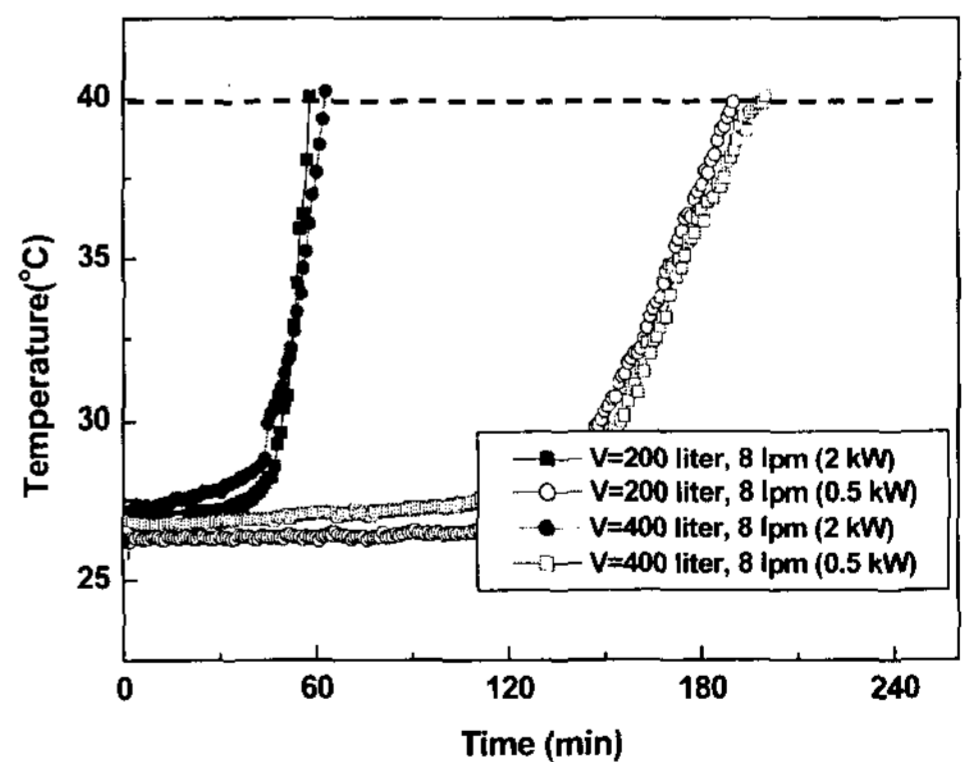
의한 시간당 최대 급탕량이 60 l임을 고려하였을 때 저장조 용량이 200 l인 경우에도 원활한 급탕 사용이 가능함을 알 수 있다. 400 l의 저장조인 경우 급탕 사용량이 100 l 이상이 되어도 T<sub>4</sub>



(a) 2 l/min



(b) 5 l/min



(c) 8 l/min

Fig. 6 Temperature variations of T<sub>2</sub> for cooling of heat source as a function of flow rate.

의 감소가 나타나지 않았으므로 이는 200 l 용량 이상에서는 저장조 내에 가용의 온수가 계속적으로 머물러 있을 수 있다는 예측을 할 수 있다.

#### 4.2 냉각 소비 특성 실험 결과

Fig. 6에서는 2, 5, 8ℓ/min의 급탕부하가 발생하면서 지속적으로 배열을 회수하는 경우 저장조에 온수의 축적으로 인해 상승하게 되는 냉각수 공급 온도( $T_2$ )의 변화를 시간에 따라 나타내었다. 냉각수 공급 온도( $T_2$ )가 40℃ 이상이 되면 실제 시스템에서의 냉각 역할이 어려워 예냉이 필요하게 되는데, 실험 결과를 통한 온도 변화에서는 급탕 사용 유량에 따라 다소 시간적 차이는 발생하지만 저장조의 용량과는 무관하게 거의 동일한 시간에 40℃에 도달하는 것으로 나타났다. 따라서 급탕 사용 특성과 냉각 소비 특성을 고려한 저장조 용량 결정에 있어서는 급탕 사용 특성에 의한 고려가 중요한 것으로 분석되었다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 PEMFC 열병합 시스템에서 발생하는 배열을 회수하여 온수를 저장하고 가정의 급탕을 공급하며 동시에 시스템 내부의 냉각수를 공급하는 저장조의 최적 설계 인자를 도출하기 위하여 실제 급탕 수요 조사를 실시하여 급탕 부하량을 산정하였으며 PEMFC 열병합 발전시스템의 배열 회수 장치를 모사하여 급탕 사용 특성과 냉각 소비 특성을 비교하여 저장조 최적 설계를 위한 방안을 제시하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 부산시의 76 m<sup>2</sup>, 106 m<sup>2</sup>, 129 m<sup>2</sup>, 168 m<sup>2</sup> 아파트의 급탕 사용량에 대한 수요 조사를 실시하여 일일 사용 패턴을 분석하였으며 시간당 최대 급탕 사용량이 60ℓ임을 밝혔다.

(2) 배열 회수 열량이 0.5, 2kW이며 급탕 사용 유량을 2, 5, 8ℓ/min일 때 저장조의 용량에 따른 급탕 공급 특성은 200ℓ 이상의 용량에서는 열저장율은 우수하나 효율적인 열사용과 설치공간의 비경제성이 나타남을 확인 하였다.

(3) 저장조 용량과는 무관하게 냉각수의 냉각 소비율에서는 유사한 결과를 얻었으며 급탕 부하량이 60ℓ이고 급탕 사용 유량이 2, 5, 8ℓ/min일 때 효율적인 급탕 공급을 위한 저장조의 최적 용량은 200ℓ임을 확인하였다.

#### 후 기

본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부

의 출연금으로 수행한 최우수실험실지원사업과 에너지관리공단의 에너지자원기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구결과이며 이에 대해 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Larminie, J. and Dicks, A., 2003, Fuel cell systems explained, 2nd ed., John Wiley and Sons Inc., West Sussex. pp.1-118.
2. Lutz, A. E., Larson, R. S. and Keller, J. O., 2002, Thermodynamic comparison of fuel cells to the Carnot cycle, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 27, No. 10, pp. 1103-1111.
3. Tajima, O., Oda, K., Hatayma R., Yugawa, R. and Ouki, T., 2001, Solid polymer type fuel cell power generating device, Japan Patent, 2001-005782.
4. Tajima, O., Tajima, K., Shindo, K., Yamamoto, S. and Oda, K., 2000, Exhaust heat recovery system of solid polymer type fuel cell, Japan Patent, 2000-014719.
5. Hamada, Y., Nakamura, M., Kubota, H., Ochifuji, K., Murase, M. and Goto, R., 2005, Field performance of a polymer electrolyte fuel cell for a residential energy system, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 9, No. 4, pp. 345-362.
6. Lavan, Z. and Thompson, J., 1977, Experimental study of thermally stratified hot water storage tank, Solar Energy, Vol. 19, pp. 519-524.
7. Shin, M. S., Kim, H. S., Jang, D. S., Lee, S. N., Lee, Y. S. and Yoon, H. G., 2004, Numerical and experimental study on the design of a stratified thermal storage system, Applied Thermal Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 17-27.
8. Eames, P. C. and Norton, B., 1998, The effect of tank geometry on thermally stratified sensible heat storage subject to low Reynolds number flows, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 41, No. 14, pp. 2131-2142.