

가정용 고분자 전해질 연료전지 시스템의 적용에 관한 연구

A study on the application of Residential Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell

이철기* 김주영** 홍원화**
Lee, Cheol-Ki Kim, Ju-Young Hong, Won-Hwa

Abstract

One of the problems in using renewable energy sources is great difficulty of stable and sustainable supply. Because the fuel cell can provide stable and sustainable supply of energy sources without regard to external conditions, however, it will become one of the most useful renewable energy sources for buildings that need stable energy supply. For practical application of PEMFC system to common household, the data of household energy consumption are analyzed by electricity, cooking and heating. From the result of the data analysis, practical application methods of PEMFC system to household are designed to several models. The aim of this study is to establish a plan of practical application for applying Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell(PEMFC) system to the households.

키워드 : 신재생에너지, 고분자 전해질 연료전지, 계통연계, 부족, 잉여

Keywords : Renewable Energy, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell(PEMFC), Grid Parallel System, Shortage, Surplus

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

우리나라는 부존자원이 부족하여 전체 사용 에너지의 97%를 수입에 의존하고 있으며, 지금까지 석유나 석탄 등 화석 에너지를 무분별하게 사용하며 경제 성장을 이루어왔다. 경제 성장과 인구 급증은 에너지 사용의 급증을 야기하였고, 이로 인해 환경문제는 날로 악화되어 왔으며, 화석 연료를 계속 사용한다면 환경 문제는 더욱 심각해질 것이다. 그리고 1997년 12월에 채택된 기후변화협약에 따른 온실가스 감축에 관한 교토의정서가 2005년 2월에 발효됨에 따라 CO₂ 배출량에 대한 규제가 강화되고 있다. 이러한 시점에서 우리나라는 물론 전 세계적으로 신재생에너지의 개발·보급·확대를 위해 노력하고 있다. 신재생에너지는 환경에 미치는 영향이 적고 재생 가능하다는 장점이 있으나 이를 이용하기에는 많은 어려움이 있다. 예를 들면, 풍력 발전은 간헐적으로만 에너지를 얻을 수 있고, 태양광 발전은 청명도가 좋은날의 낮에만 이용할 수 있다는 단점이 있다.

신재생에너지 중에서 연료전지는 외부조건에 관계없이 지속적이고 안정적인 에너지 공급이 가능하다. 이러한 장점을 가진 연료전지를 건축물에 적용함으로써 건축물에 필요한 에너지를 안정적으로 공급함과 동시에 환경에 미치는 영향을 줄일 수 있다. 그러나 아직 연료전지의 기술 수준이 상용화 할 만큼 되지 않으므로 연료전지의 적용 방안에 대한 연구가 미미한 실정이다. 특히 시장 잠재력

이 가장 크다고 평가되는 가정용 연료전지의 다양한 적용 방안이 모색되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 가정에서 사용하는 에너지원 중에서 연료전지로 대체 가능한 에너지원을 파악하여, 가정에 연료전지를 효율적으로 적용할 수 있는 방안을 제시하는데 목적이 있다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 문헌고찰 및 관련 자료를 통하여 가정의 에너지 사용량을 조사 및 분석하고 연료전지로 대체 가능한 에너지원을 파악하고, 각 에너지원의 사용량에 따른 연료전지의 적용 방안을 설계하였다. 그리고 연료전지 중에서 가정용으로 가장 적합하다고 평가되는 고분자 전해질 연료전지(이하 PEMFC) 시스템에 한정하여 다음과 같은 단계로 진행되었다.

- ① 연구의 방향 설정
- ② 문헌고찰 및 관련 자료 수집
- ③ 국내 가정의 에너지 소비 현황 조사 및 분석
- ④ PEMFC로 대체 가능한 에너지원 분석
- ⑤ PEMFC 적용 방안 설계

2. 연료전지의 개요 및 사례 분석

2.1 연료전지의 개념 및 종류

연료전지는 수소와 산소가 결합할 때 발생하는 화학에너지를 기계적인 운동에너지로 변환하지 않고 직접적으로 전기, 열, 물을 만들어 내는 화학적인 장치로서(그림 1) 연료전지의 주요 특징은 다음과 같다.

- 화학에너지를 직접 전기에너지로 전환시키기 때문에 발전효율이 높고, 열병합발전시 80%이상 가능
- 천연가스, 메탄올, 석탄가스등 다양한 연료사용 가능

* 정희원, 경북대 대학원 석사과정
** 정희원, 경북대 대학원 박사과정
*** 정희원, 경북대 건축공학과 부교수, 공학박사

- 회전부위가 없어 소음이 없으며, 인접지에 건설 가능
- 환경공해 감소 : 배기가스 중 NOx, SOx 및 분진이 거의 없으며, CO₂ 발생량에 있어서도 미분탄 화력발전에 비해 20-40% 감소

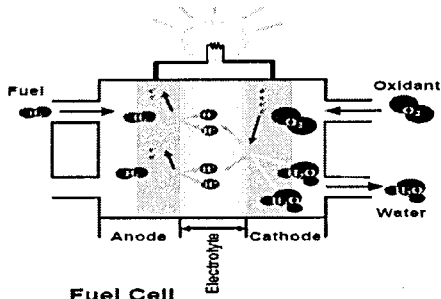


그림 1. 연료전지의 기본 작동 원리

연료전지는 사용되는 전해질의 종류에 따라 PAFC(Phosphoric Acid Fuel Cell), SOFC(Solid Oxide Fuel Cell), MCFC(Molten Carbonate Fuel Cell), PEMFC(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)등으로 구분된다. 연료 전지의 종류와 특징은 (표 1)과 같다.

표 1. 연료전지의 종류와 특징

구분	PAFC	SOFC	MCFC	PEMFC	
전해질	Phosphoric acid	Solid metal oxide	Molten carbonate salt	Ion exchange membrane	
운전온도	200℃	1000℃	650℃	80℃	
연료	천연가스 메탄올	천연가스 석탄가스	천연가스 석탄가스	천연가스 메탄올 석탄가스	
효율	전기	40%	45-60%	45-60%	30-40%
	CO-Gen	60-80%	90-95%	85%	60%
전력생산	>50kW	>200kW	>1MW	<250kW	
적용대상	power stations	power stations	power stations	소형전원 자동차용	

2.2 PEMFC의 특징

PEMFC는 Ion Exchange membrane을 전해질로 사용하는 형태의 연료전지를 지칭한다. 다른 연료전지와 비교하였을 때 다음과 같은 특징이 있다.

- 전해질에 의한 부식의 염려가 없다.
- 상대적으로 낮은 온도에서 작동한다.(약80℃)
- 낮은 온도에서 작동하므로 warm-up 시간이 짧아서 부하변동이 많은 곳에 적합하고, 열에 의한 시스템 손상이 적다.
- 소형으로 만들기 적합한 특징이 있다.

2.3 PEMFC 연구 개발 동향

(1) 국외 현황

전 세계적으로 PEMFC에 대한 많은 연구가 진행되고 있으나, 일본과 미국 두 나라를 위주로 살펴보았다. 두 나라의 PEMFC 출력 범위를 보면 일본, 미국 각각 1-2kW, 3-5kW로 이는 자국의 일반가정에서 사용하는 전력소모량과 유사하며, 일반적으로 PEMFC에 요구되는 출력 범위는 0.5~10KW 정도이다. (그림 2)²⁾는 국외

PEMFC 연구 개발 동향을 나타낸 것이다.

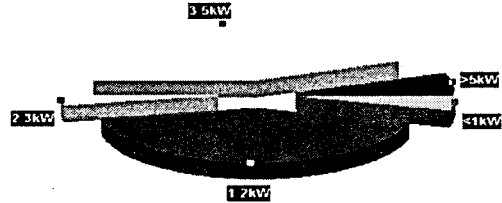


그림 2. 국외 PEMFC 개발 현황

(2) 국내 현황

국내의 PEMFC 개발 현황을 살펴보면, 3kW급 배터리 하이브리드 시스템, 1kW급 열병합발전 방식의 PEMFC 등이 개발되었다. 현재 3kW급 연료전지는 실증사업이 완료되었고, 2kW급 연료전지는 실증 사업을 진행 중이다. (표 2)

표2. 국내 PEMFC 개발 현황

개발제품	특징	부피	전기 효율	열효율
1kW prototype FC System	국내 최초	702ℓ	<25%	-
1kW FC Cogen. System	Cogeneration type	227ℓ	<32%	~44%
3kW Battery-Hybrid FC Cogen.System	Battery-Hybrid type	330ℓ	~30%	~47%
1kW FC Cogen. System	Pre-commercial	219ℓ	~32%	~47%

3. 가정용 PEMFC 시스템의 적용 방안 연구

3.1 가정부문 에너지 소비 현황

PEMFC에서 발생하는 전기는 직류로써 인버터를 통하여 교류로 전환 가능하고, 공급되는 전기가 안정적이므로 가정에서 사용가능하다. 또 열은 약 80℃정도로써 난방, 온수, 급탕용으로 사용가능하다. 따라서 가정에서 사용되는 에너지 중에서 전기, 난방, 온수, 급탕을 PEMFC로 대체할 수 있다. (그림 3)는 가정에서 사용되고 있는 에너지원들 중에서 계절별 일일 열·전기 부하량을 나타낸 것이다. 전기부하의 경우는 계절에 관계없이 일정한 소비패턴을 보이고 있다. 난방, 급탕, 온수 등의 열부하는 겨울철이 여름철의 6배 정도로 높게 나타났다. 전기와 열부하의 비율은 대략 봄, 가을철의 경우가 1:2, 여름철이 1:1, 겨울철이 1:4 정도로 나타났다.

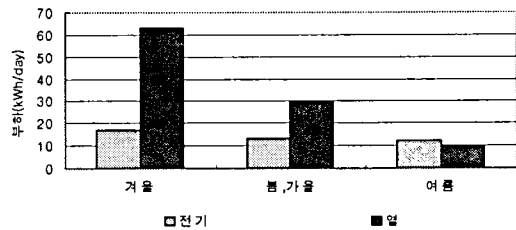


그림 3. 가정의 계절별 일일 전기 및 열부하량

(그림 4, 5, 6)³⁾은 가정부문의 계절별 일일 에너지 소

2) Fuel Cell Today-Small Stationary Application

비 형태를 시간별로 나타낸 것이며, 이를 PEMFC 적용 방안을 설계하기 위한 기준으로 사용하였다.

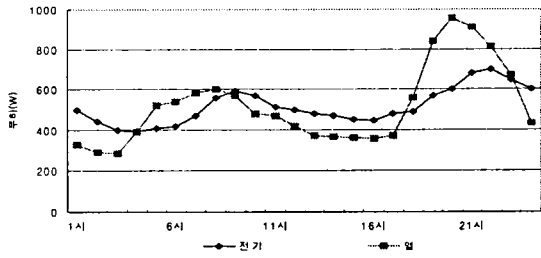


그림 4. 봄, 가을철 가정에서의 열과 전기 부하

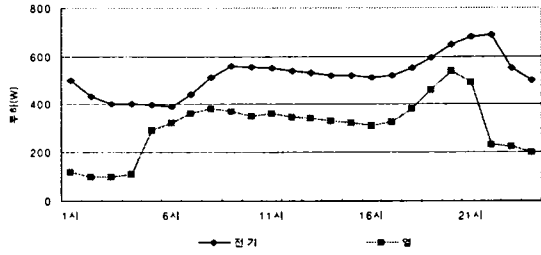


그림 5. 여름철 가정에서의 열과 전기 부하

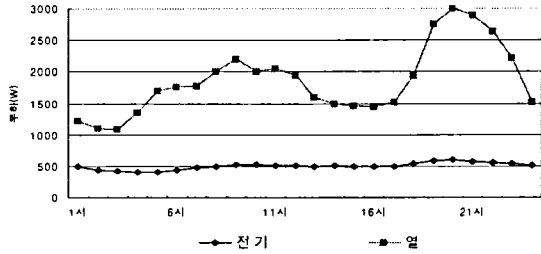


그림 6. 겨울철 가정에서의 열과 전기 부하

3.2 PEMFC 시스템 적용방안 연구 (I)

PEMFC 시스템 적용방안으로 전력소비량을 기준으로 전력소비 피크치에 맞춘 PEMFC 적용방안(case1), 전력소비 평균치에 맞춘 PEMFC 적용방안(case2), 전력소비 기저치에 맞춘 PEMFC 적용방안(case3)으로 구분하여 적용방안을 모색하였다. 또한 연료전지의 운전시간을 100%로 가정하여 설계하였다. PEMFC에서 생산되는 전기와 열은 PEMFC 용량이나 기술정도에 따라 조금씩 차이가 있으나 여기에서는 전기와 열생산 비율을 1:1.4정도로 가정하였다.

(1) case1

피크치 전력 수요는 약 700W 정도로, 이 수요량을 PEMFC 용량에 적용한다고 가정하면, 계절별로 (표 3)와 같이 나타난다.

이 방안은 각 계절별 전기수요는 충족시키나 잉여 전기가 발생한다. 축전지에 전기를 저장하는 방식을 사용하면 PEMFC 운전 시간을 조정함으로써 잉여전기량을 조절하거나, 또는 잉여전기를 판매함으로써 손실을 줄일

수 있다. 난방에너지는 겨울철에는 기존 난방 설비가 필요하며, 봄·가을철에는 열 회수시스템을 이용하여 저장한 후 수요가 많을 때 이용할 수 있다.

표 3. case1

구분	전기(kWh/일)		난방(kWh/일)	
	수요량	생산량	수요량	생산량
겨울철	16.8	16.8	59.0	23.5
봄, 가을철	13.3	16.8	25.6	23.5
여름철	12.1	16.8	6.1	23.5

(2) case2

평균치 전력 수요는 약 500W 정도로, 이 수요량을 PEMFC 용량에 적용한다고 가정하면, 계절별로 (표 4)와 같이 나타난다.

표 4. case2

구분	전기(kWh/일)		난방(kWh/일)	
	수요량	생산량	수요량	생산량
겨울철	16.8	12	59.0	16.8
봄, 가을철	13.3	12	25.6	16.8
여름철	12.1	12	6.1	16.8

이 방안은 전기수요와 열수요 모두 잉여 부분과 부족 부분이 생긴다. 잉여 전기는 축전지에 저장한 후, 필요시에 PEMFC와 축전지에서 동시에 공급하는 방식을 이용함으로써 전기 및 열의 손실을 줄일 수 있고, 부족한 전기는 계통연계를 통하여 공급 받을 수 있다. 또 기존 난방 설비가 필요하다.

(3) case3

기저치 전력 수요는 약 360W 정도로, 이 수요량을 PEMFC 용량에 적용한다고 가정하면, 계절별로 (표 5)와 같이 나타난다.

표 5. case3

구분	전기(kWh/일)		난방(kWh/일)	
	수요량	생산량	수요량	생산량
겨울철	16.8	8.64	59.0	12.1
봄, 가을철	13.3	8.64	25.6	12.1
여름철	12.1	8.64	6.1	12.1

이 방안은 전기 및 열수요 모두 부족하나 전력이나 열 손실은 거의 없고, 피크시 부하저감이 주 목적이 된다. 부족한 전기량은 계통연계를 통하여 공급 받고, 부족한 열수요는 기존의 난방설비를 통하여 충족하여야 한다.

3.3 각 PEMFC 시스템별 에너지 잉여 및 부족량

(그림.7, 8, 9)는 각PEMFC의 output에서 가정의 에너지 수요량을 뺀 것으로 각 case별 각각의 에너지의 잉여와 부족을 나타낸 것이다.

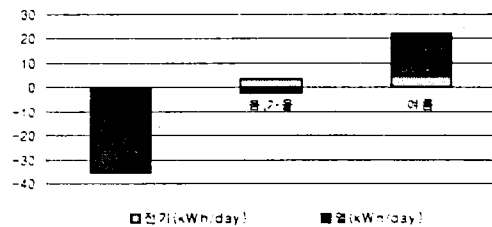


그림 7. case1의 에너지 잉여 및 부족량

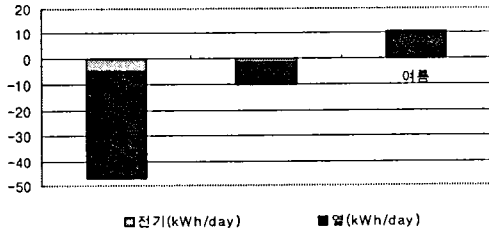


그림 8. case2의 에너지 잉여 및 부족량

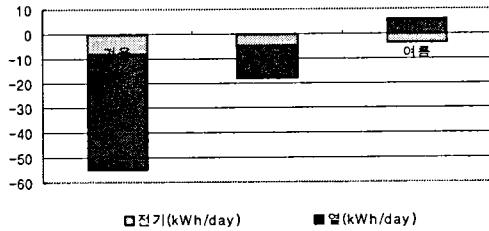


그림 9. case3의 에너지 잉여 및 부족량

3.4 PEMFC 시스템 적용 방안 연구(II)

현재 개발중인 PEMFC의 하루 운전시간을 감안하면, 동일량의 에너지를 생산하기 위해서는 PEMFC 용량이 커질 수밖에 없다. case1,2,3에 사용된 PEMFC의 용량은 (표.6, 7)와 같이 된다.

표6. 운전시간에 따른 연료전지의 용량 변화(I)

	case1	case2	case3
연료전지 용량	1.68kWh	1.2kWh	0.864kWh
전기생산량	16.8kWh/일	12kWh/일	8.64kWh/일
열생산량	23.5kWh/일	16.8kWh/일	12.1kWh/일
운전시간	10시간	10시간	10시간

표7. 운전시간에 따른 연료전지의 용량 변화(II)

	case1	case2	case3
연료전지 용량	2.1kWh	1.5kW	1.08kW
전기생산량	16.8kWh/일	12kWh/일	8.64kWh/일
열생산량	23.5kWh/일	16.8kWh/일	12.1kWh/일
운전시간	8시간	8시간	8시간

PEMFC의 운전시간이 24시간 동안 사용할 수 있는 것이 아니라 특정 시간으로 제한됨에 따라, PEMFC의 용도는 피크시 부하를 담당하거나 피크 저감을 목적으로 사용될 수 있다. 또한 잉여 전기나 열을 저장하였다가 필요시에 사용할 수 있다. (그림10, 11, 12)는 봄, 가을철의 PEMFC 운전시간을 모식화한 것이다.

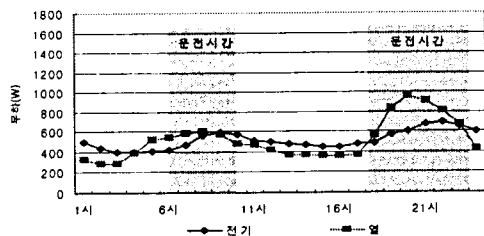


그림 10. 봄,가을철 10시간 운전시 운전시간 모식도(I)

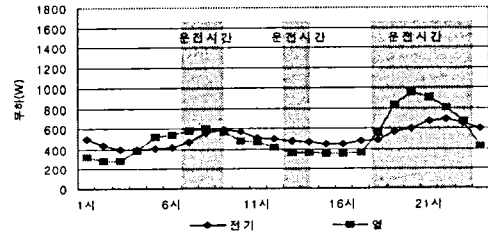


그림 11. 봄,가을철 10시간 운전시 운전시간 모식도(II)

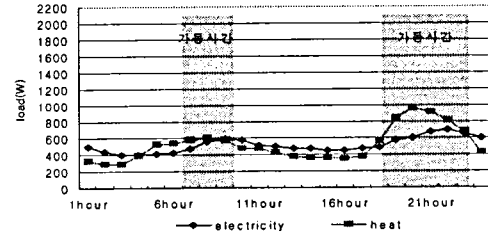


그림 12. 봄,가을철 8시간 운전시 운전시간 모식도(III)

4. 결론

(1) 24시간 운전하는 경우 case1, case2는 가정에서 필요로 하는 에너지의 상당부분을 공급할 수 있으나 손실이 불가피하고, case3은 필요로 하는 전기와 열의 요구치를 공급하지 못하지만, 에너지의 손실이 적고 피크시 부하를 줄일 수 있다.

(2) 24시간 운전할 수 없는 경우에는 전기와 열수요 발생시점과 PEMFC 운전시간이 일치하지 않기 때문에 에너지가 손실될 가능성이 크다.

향후과제로는 PEMFC에서 생산되는 전기와 열 중에서 손실부분을 뺀 실질적인 효율을 계산하고 이를 수치화하여 가정용 연료전지의 보급에 필요한 기본 자료로 제시하고자 한다.

참고문헌

1. 산업자원부, the Development of 3kW Residential PEMFC Cogeneration System, 2005
2. 수소·연료전지 사업단 Workshop 및 패널 토론, 2005
3. Fuel Cell Handbook, Sevventh Edition
4. 에너지경제연구원, 가정부문 에너지소비행태 분석 및 건물부문 DB 구축, 2004
5. 조만, Ballard Power Systems사의 특허를 통해 본 연료전지 시스템 기술, 2004
6. Ken-ichiro, Hydrogen Energy and Fuel Cells For Sustainable Growth
7. 윤영기, 연료전지 시장 조사 : 소형정지형분야
8. www.plugpower.com
9. www.fuelcelltoday.com