

# 공동주택 단지 적용 수소연료전지 시스템의 에너지 및 환경 성능 평가

김용희\*, 김혜정\*\*, 고명진\*\*\*, 김용식\*\*\*\*

\*인천대학교 대학원 건축공학과(kimyh82@naver.com), \*\*인천대학교 건축공학과(ertsd1@naver.com)  
\*\*\*인천대학교 대학원 건축공학과(whistlejm@nate.com),  
\*\*\*\*인천대학교 건축공학과 부교수(newkim@incheon.ac.kr)

## The Energy and Environmental Performance of Hydrogen Fuel Cell System in Apartment Complex

Kim, Yong-Hee\*, Kim, Hae-Jung\*\*, Ko, Myeong-Jin\*\*\*, Kim, Yong-Shik\*\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Incheon University(kimyh82@naver.com),  
\*\*Dept. of Architecture, Incheon University(ertsd1@naver.com),  
\*\*\*Dept. of Architecture, Graduate School, Incheon University(whistlejm@nate.com)  
\*\*\*\*Dept. of Architecture, Incheon University(newkim@incheon.ac.kr)

### Abstract

This study analyzed the central heating system and the cogeneration system among the methods of supplying energy which have application to the Hydrogen Fuel Cell system and apartment complexes for performance evaluations. Therefore, a feasibility study on the first application of this system in an apartment complexes was considered to evaluate the energy performance by the amount of fuel consumed by the system using Hydrogen Fuel Cell energy and environmental performance by the amount of greenhouse gas emissions. As a result, the Hydrogen Fuel Cell system consumes 83% of fuel while the cogeneration system consumes 81% of fuel comparison to conventional central heating system. The Hydrogen Fuel Cell and the cogeneration system produce 73% and 70% of greenhouse gas emissions in comparison to conventional central heating system.

Keywords : 수소연료전지 시스템(Hydrogen Fuel Cell System), 에너지 및 환경 성능(Energy and Environmental Performance), 공동주택 단지(Apartment Complex)

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

근년, 화석연료 에너지자원의 고갈 및 범지구적 차원의 기후변화 문제 등에 대한 대응책

마련이 범세계적 차원의 해결과제로 대두되어 세계 각국은 에너지 절약 및 친환경 에너지 기술개발 등을 통한 이산화탄소 배출 저감에 커다란 노력을 기울이고 있다. 그 일환으로 다양한 친환경에너지 이용기술개발 및 적용이

추진되고 있으며 수소에너지이용 기술 또한 그 중의 하나이다.

수소에너지 이용기술 중 수소연료전지는 친환경적이며 열과 전력을 동시에 생산할 수 있는 이유에서 건물 열원시스템으로의 적용성이 매우 높을 것으로 판단되나 수소연료전지 시스템에 관련된 기존의 연구를 살펴보면 주로 부품 및 기기 개발에 관한 것이 대부분이며 실제 건물에의 적용성에 관한 연구는 매우 드문 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수소연료전지 시스템의 건물에의 적용 성능 평가의 관점에서, 우리나라 주거 건물 유형에서 차지하는 비중이 매우 높고 에너지이용 밀집도가 큰 공동주택을 대상으로 하여, 수소연료전지 시스템의 에너지성능 및 환경성능에 대한 검토 및 분석을 실시하고자 하였다.

### 1.2 연구방법 및 범위

수소연료전지 시스템은 다양한 용도와 규모의 건물에 적용이 가능하나 본 연구에서는 국내의 대표적 주거 유형으로 높은 보급률을 보이고 에너지소비 비중이 높은 공동주택을 검토대상으로 하였다. 시스템의 적용 성능에 대하여는 시스템 적용에 따른 에너지성능 및 환경성능에 대하여 평가를 실시하였다.

먼저, 수소연료전지 시스템의 종류 및 특성에 대한 검토를 바탕으로 공동주택 단지에 적용 가능한 시스템을 선정하고 시스템의 성능에 대한 비교 평가를 위해 기존의 일반적 에너지 공급 방식인 단지중앙방식과 점차 설치 사례가 증가하고 있는 열병합발전방식을 비교 대상으로 선정하였다. 선정된 3가지 시스템 모두 단지 내 공용기계실을 통해 세대로 열원을 공급하는 중앙공급방식을 설정하였다. 시스템의 에너지성능은 신재생에너지의 건물 적용 타당성 분석에 이용되는 RETScreen 프로그램을 사용하였 연료소비량 등을 분석하였으며, 환경성능은 IPCC 온실가스 배출계수법을 이용하여 분석하였다.

## 2. 기본적 고찰

### 2.1 수소연료전지 시스템의 정의 및 특징

수소연료전지는 연료변환장치를 통해 얻은 수소와 공기공급장치에 의해 공급된 공기 중의 산소가 전기 화학적 반응을 일으켜 화학 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 시스템으로 수소에너지 제조 및 이용체계는 그림1과 같다. 수소연료전지는 발전효율이 높고 환경오염 영향 요소들이 적으며 다양한 연료를 통하여 수소를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다.

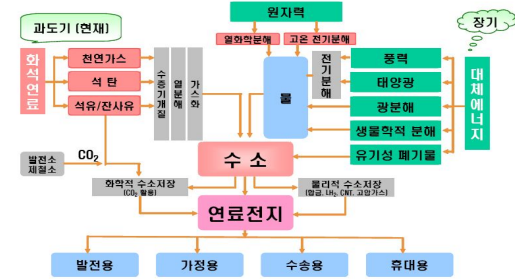


그림 1. 수소 에너지 및 이용체계도

### 2.2 수소연료전지 시스템의 요소기술

수소연료전지는 크게 전해질, 연료, 작동온도, 산화제 등에 따라 구분할 수 있으며 표1과 같이 저온형(PEMFC, DMFC, AFC)과 고온형(PAFC, MCFC, SOFC)로 분류할 수 있다.

이 중 고온형 연료전지가 공동주택 단지 규모에 적용 가능하다. PAFC의 경우 백금을 전극재료로 사용하여 경제적인 문제가 있으며 SOFC의 경우 고온으로 인하여 재료선택 및 제작과정의 어려움으로 현재 연구 진행 중에 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 국내에 적용된 사례가 있는 MCFC를 선정하였다. MCFC는 전극재료로 백금 대신 저렴한 니켈을 사용하며 열병합발전을 통해 시스템의 효율을 추가적으로 높일 수 있는 장점이 있다.

표 1. 수소연료전지 이용 시스템의 종류

구 분	DMFC	AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
전해질	수소 이온 교환막	수산화 칼륨	수소 이온 교환막	인산	탄산칼륨 / 탄산리튬	지르코 니아
연료	H, CH <sub>3</sub> OH	H	H	H	H, CO	H, CO
작동온도 (°C)	< 100	< 100	< 100	150~200	600~700	500~1000
주요용도	휴대용 전원	우주선 용전원	수송용 동력원	분산 발전형	대규모 발전	대규모 발전

### 3. 공동주택 수소연료전지 시스템 성능평가 모델 구축

#### 3.1 대상 공동주택

본 연구의 대상 공동주택은 인천광역시 동구 송림동에 위치한 대상 공동주택은 표2와 같으며 지하층을 제외한 지상층을 대상으로 분석을 실시하였다.

표 2. 대상 공동주택 개요

대지면적	113,936,006 m <sup>2</sup>
건축면적(아파트)	6,546,046 m <sup>2</sup>
연면적	113,129 m <sup>2</sup>
건폐율	14.663 %
용적율	239.851 %
건물규모	지하 3층, 지상 15 ~ 35층
구조	철근 콘크리트 벽식 구조

#### 3.2 공동주택 부하분석

##### (1) 부하분석 조건

건물의 부하는 크게 열부하와 전력부하로 구분되며 본 연구에서는 RETScreen 프로그램을 이용하여 분석하였다. RETScreen은 도일법을 이용하여 열부하를 산정하며, 이때 기상 데이터의 외기온도와 외기기준온도에 의해 부하분석에 차이가 발생한다. 표3은 RETScreen 제공 기상데이터를 통한 냉난방도일과 대한민국 표준기상데이터를 통한 냉난방도일을 비교한 것이다. 비교결과 외기난방 기준온도는 18°C로 동일하였으나, 외기온도 및 외기냉방기준온도는 대한민국 표준기상데이터의 값이 각각 0.2°C, 8°C 높게 나

타났다. 이에 따른 도일산정결과 난방도일은 거의 유사하나 냉방도일에 있어 1,347도일 정도의 큰 차이가 발생하여 냉방부하 산정결과에 큰 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 이에 1991년부터 2007년까지의 17년간 국내 냉난방도일의 평균값을 조사한 결과 난방도일은 2,617도일, 냉방도일은 749도일로 RETScreen과 상이한 반면 표준기상데이터를 통한 산출결과와 유사하여 대상 공동주택의 부하분석의 외기온도는 12.2°C, 외기냉방 기준온도는 18°C로 수정하여 산정하였다.

에너지원별 단위부하는 지역 및 주거형태, 면적에 따라 서로 다르게 나타나며, 본 연구의 대상 건물의 열부하 산정 입력조건은 표 4와 같다. 일반적으로 공동주택의 부하 산정시 냉방부하는 산정 하지 않으나, 본 연구에 검토대상 시스템을 통한 중앙냉방 방식을 채택하였으므로 단위냉방부하를 단위세대의 크기별로 주동의 위치 및 방위, 창면적비, 확장형 발코니 유무 등과 같은 특성을 고려한 기존 연구인 이의 연구결과를 토대로 62.6W/m<sup>2</sup>로 산정하였다.

표 3. 부하 산정 기준

구 분	RETScreen	국 내	비 고
외기온도(°C)	12.0	12.2	표준기상 데이터
난방설계 외기온도(°C)	-9.1	-10.4	지식 경제부
냉방설계 외기온도(°C)	29.8	30.1	
외기난방 기준온도(°C)	18	18	기상청
외기냉방 기준온도(°C)	10	18	
난방도일(°C-d)	2,767	2,721	
냉방도일(°C-d)	1,936	589	

표 4. 에너지원별 단위부하

	단위부하 (W/m <sup>2</sup> ·h)	유효면적(m <sup>2</sup> )
난 방	57	90,503
급 탕	17.4	
냉 방	62.6	
전 력	4	

(2) 부하분석 결과

부하분석 조건을 바탕으로 대상 공동주택의 단지의 부하를 분석한 결과 연간 난방부하는 9,616MWh, 급탕부하는 3,814MWh, 냉방부하는 4,712MWh, 전력부하는 3,213MWh로 나타났다. 대상 건물의 난방과 급탕부하의 합은 13.430MWh로 2005년 에너지 총조사 보고서의 사용면적별 가구당 에너지 소비량을 이용하여 산정한 결과 12,942MWh와 유사한 값을 보여 타당한 것으로 판단된다.

현재 우리나라 공동주택의 냉방은 개별적으로 이루어지고 있지만 본 연구에서는 냉방수요에 따른 전력 사용량 증가를 방지하기 위해 가스냉방을 장려하는 국가적 상황 및 환경변화를 고려하여 전력이 아닌 냉열원을 통한 중앙냉방방식으로 냉방부하를 산정하였다

3.4 에너지 이용 시스템 모델링

본 연구에서는 열과 전기를 생산하며 환경적 측면에서도 발전 가능성이 있는 수소연료전지 시스템을 적용하였으며 비교 대상 시스템으로 기존 공동주택의 대표 시스템인 단지 중앙방식과 최근 설치가 증가하고 있는 소형열병합발전방식으로 선정하였다.

그림3은 건물 열원시스템으로써 분석 대상 시스템의 개괄적 계통도를 나타낸다. 수소연료전지 시스템과 소형열병합발전방식은 유사한 구성을 가지며 전력을 생산하고 그 과정에서 발생하는 배열을 열에너지로 활용한다. 부족분의 전력은 계통전기와 연계하여 사용한다. 단지중앙방식의 경우 보일러에서 생산된 열에너지가 열원으로 활용되고 전력은 계통전기를 이용하도록 한다. 에너지 공급 방식별 시스템 구성의 구성은 표5와 같으며 시간최대부하를 바탕으로 용량을 산정하였다. 계통전기의 효율은 일반화력발전소의 효율인 38%를 적용하였다.

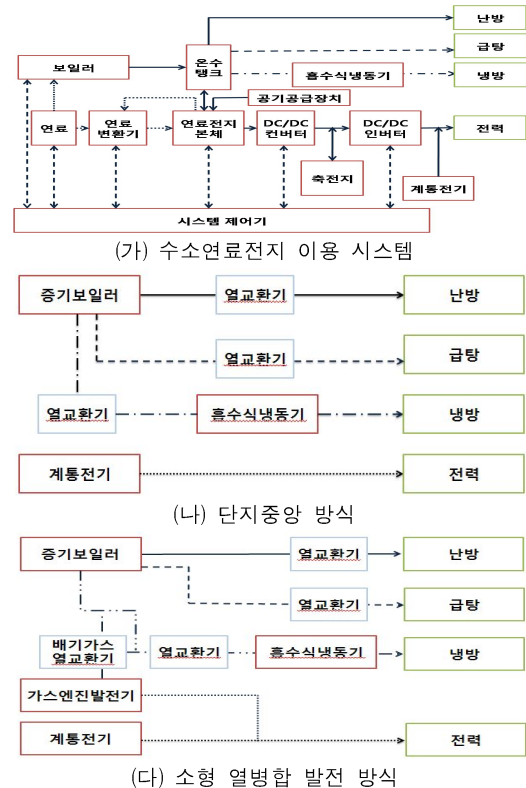


그림 3. 에너지 공급 방식별 계통도

표 5. 에너지 공급 방식별 시스템 구성

	기기	용량	효율(%)
수소연료전지 이용 시스템	수소연료전지	300kW×1대	E : 47 TH : 25
	중기보일러	2,500kg×5대	88
	흡수식냉동기	400RT×5대	112
	계통전기	475kW	38
단지중앙방식	중기보일러	2,500kg×5대	88
	흡수식냉동기	400RT×5대	112
	계통전기	475kW	38
소형열병합 발전시스템	가스엔진발전기	306kW×1대	E : 34 TH : 46
	중기보일러	2,500kg×5대	88
	흡수식냉동기	400RT×5대	112
	계통전기	475kW	38

4. 수소연료전지 시스템의 에너지 및 환경성능 평가

4.1 에너지 성능평가

(1) 평가방법

공동주택 단지에 적용된 에너지 공급 시스템의 에너지 성능을 평가한 주요 연구를 살

해보면 각 방식별 연료소비량을 통해 에너지 성능을 평가하였다. 이에 본 연구에서는 선행연구결과를 바탕으로 에너지 공급 시스템별 연료소비량을 산출하여 표6의 에너지 성능을 평가 방법으로 계산하였다. 에너지 공급 방식별 생산된 열에너지가 배관을 통해 각 세대에 공급되며 이때의 배관 손실률을 11%로 동일하게 적용하였으며 계통전기의 경우 한국전력공사에서 송전 받는 것으로 가정하여 손실률 4.5%로 적용하였다.

표 6. 에너지 성능평가 방법

①	부하	각 에너지원별 산출된 결과
②	손실량	열 단지 내 배관 손실률 : 11%
		전력 송배전 손실 : 4.5%
③	발열량	LNG 9550kcal/m <sup>3</sup> (LHV)
④	기기효율	수소연료전지 이용 시스템
		단지 중앙 방식
		소형 열병합발전 방식
⑤	연료사용량	①×(1+②)÷(③×④)

(2) 에너지 성능 평가

대상 공동주택 단지의 부하를 담당하기 위해 소비된 연료량은 표7과 같으며 비교를 위하여 석유환산톤(TOE)으로 환산하였다. 각 방식별 연료소비량을 비교하면 소형열병합발전방식, 수소연료전지 이용 시스템, 단지중앙방식 순으로 연료소비량이 낮게 나타났다. 소형열병합발전방식은 수소연료전지 시스템

표 7. 에너지 공급 방식별 연료 소비량

구분	단지중앙 방식		
	천연가스(m <sup>3</sup> )	전력(MWh)	TOE
열에너지	2,003,732	0	1,914
전력	0	8,836	760
합계	2,003,732	8,836	2,673
구분	수소연료전지 이용 시스템		
	천연가스(m <sup>3</sup> )	전력(MWh)	TOE
열에너지	1,860,804	0	1,777
전력	452,936	2,332	433
합계	2,313,740	2,332	2,210
구분	소형 열병합발전 방식		
	천연가스(m <sup>3</sup> )	전력(MWh)	TOE
열에너지	1,633,381	0	1,560
전력	638,266	2,205	610
합계	2,271,646	2,205	2,170

시스템에 비해 전력부하를 담당하기 위해 177TOE만큼 더 많은 연료를 소비했지만 열부를 담당하기 위해 217TOE를 적게 소비하여 최종 연료 소비량에 있어 약 2% 낮게 나타났다. 이는 가스엔진발전기가 수소연료전지에 비해 전력효율은 낮으나 배열이용률이 높아 전체적으로 연료소비량이 적은 것으로 판단된다.

4.2 환경성능 평가

(1) 평가 방법

환경성능 평가는 식(1)과 계산되며 연료별 배출인자는 표8과 같다.

온실가스배출량(tCO<sub>2</sub>)

$$= \text{연료소비량(MWh)} \times \text{온실가스 배출인자(tCO}_2\text{/MWh)} \dots \dots \dots (1)$$

표 8. 연료별 배출인자

구분	단위: tCO <sub>2</sub> /MWh		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
천연가스	0.19620	0.00030	0.00112
전력	0.46230	0.00012	0.00087

본 연구에서 사용한 RETScreen 프로그램에서는 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Reference Manual에서 제공하는 배출인자를 근거로 각 연료의 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 배출계수를 나타내고 있었다. 하지만 전력의 온실가스 배출계수는 국가마다 발전소의 연료 구성비가 달라 그 값이 상이하게 나오게 된다. 이에 국내 한국전력거래소에서 제공하는 2007년 자료를 인용하여 전력의 온실가스 배출계수를 적용하였다.

(2) 환경성능 평가

각 에너지 공급 시스템별 온실가스 배출량 결과는 표9와 같으며 비교를 위하여 tCO<sub>2</sub>로 바꾸어 분석하였다. 각 방식별 온실가스 배출량을 비교하면 소형열병합발전방식, 수소연료전지 이용 시스템, 단지중앙방식 순으로 온실가스배출량이 적게 나타났다.

온실가스 배출량은 연료소비량을 기초로

계산하므로, 에너지 성능과 같은 결과가 나타났다. 이는 수소연료전지 시스템은 천연가스를 기반으로 수소를 생산하기 때문에 소비된 연료량을 기준으로 평가하여 높게 나타난 것으로 판단된다.

표 9. 에너지 공급방식별 온실가스 배출량

단위: tCO<sub>2</sub>

구분		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	합계
수소연료전지 시스템	열에너지	4,054	6	23	6,158
	전력	2,065	2	8	
	합계	6,119	8	31	
단지중앙방식	열에너지	4,365	7	25	8,491
	전력	4,085	1	8	
	합계	8,450	8	33	
소형열병합 발전방식	열에너지	3,559	6	20	6,007
	전력	2,410	2	10	
	합계	5,969	8	30	

## 5. 결론

본 연구에서는 공동주택 단지 적용 수소연료전지 시스템의 에너지 성능 및 환경 성능 통하여 초기 타당성을 분석하였다. 연구의 주요내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 연료소비량을 바탕으로 에너지 성능평가를 실시한 결과 단지중앙방식 100%를 기준으로 수소연료전지 시스템 83%, 소형열병합발전방식 81%로 연료소비량이 적게 나타났다. 이는 수소연료전지 이용 시스템 및 소형열병합발전방식은 전력 생산과 동시에 배열을 이용하기 때문이라고 판단되며 소형발전방식이 수소연료전지 이용 시스템에 비하여 전력효율은 낮으나 배열이용률이 높아 전체적으로 연료소비량이 적은 것으로 판단된다.

(2) 온실가스 배출량을 바탕으로 환경성능평가를 실시한 결과 온실가스 배출량은 연료소비량을 기초로 계산하므로, 에너지 성능과 같은 결과가 나타났다. 이는 수소연료전지 시스템은 천연가스를 기반으로 수소를 생산하기 때문에 소비된 연료를 기준으로 환경성능 평가

결과가 높게 나타난 것으로 판단된다.

본 연구의 수소연료전지 시스템의 성능을 개선하기 위해 기기 개발과 물을 이용한 수소 생산 및 저장, 운반 기술의 개발이 필요하다. 더 정확한 적용성 분석을 위해 경제성에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년도 첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생B04) 지원 사업으로 이루어진 것으로 이에 감사합니다.

## 참 고 문 헌

1. 산업자원부, 에너지관리공단, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030, 수소연료전지, 2007
2. 심재룡, 수소연료전지 시대로의 발전방향, 건설기술 2009
3. 태양학회등록번호2009-Incheon-R-004, 2009.9.25
4. 이규남, 임재한, 여명석, 김광우, 공동주택 단위세대의 냉방부하 산정에 관한 연구, 대한건축학회 2003
5. 김동우, 이동훈, 주동한, 서기원, 난방방식별 에너지 효율성과 환경오염에 관한 비교 연구, 한국설비기술협회 2003
6. 임용훈, 박화춘, 아파트단지 리모델링에 따른 난방방식별 편익분석, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집 2007
7. 정경구, CDM사업의 전력배출계수 산정 방법
8. 한국전력거래소, 2007
9. 산업자원부, 에너지 총조사 보고서 2005
10. www.RETSscreen.net
11. 김상훈, 변운섭, 지역냉방 공동주택 적정 냉방부하 산정, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집 2008
12. 김정근, 소형열병합 발전방식 도입을 고려한 공동주택의 중앙난방 방식 경제성 비교연구, 한국산업기술대학교 2005