



건물용 연료전지 기술 및 시장동향



박석희 책임연구원 (한국에너지기술연구원 수소연료전지연구단)

1. 연료전지란?

연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 전기화학반응에 의해 전기에너지로 직접 변환하는 발전장치로서 연료전지 스택, BOP, 연료변환장치 및 제어기술을 통합하는 융복합기술로서 전해질의 종류에 따라서 인산형 연료전지 (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC), 알칼리 연료전지 (Alkaline Fuel Cell, AFC), 고분자 전해질 연료전지 (Polymer Electrolyte Fuel Cell, PEFC 또는 PEMFC), 용융탄산염 연료전지 (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) 및 고체산화물 연료전지 (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)로 나눌 수 있다. 또한, 응용 분야별로 분류할 수 있는데 발전용 연료전지, 가정/상업용 연료전지를 포함하는 정지형 연료전지, 자동차, 우주선, 선박 등을 포함하는 수송용 연료전지, IT기기용, 이동전원용 등을 포함하는 휴대용 연료전지로 크게 나눌 수도 있다.

발전용 연료전지는 기존에 주로 보급된 바닷가의 화력발전소나 원자력 발전소와 같은 대형 발전소 개념이 아니고 전력을 필요로 하는 곳 바로 주변에 설치하는 분산전원형으로 송배전을 위한 설치비, 효율 감소 등을 없앨 수 있는 매우 효과적인 발전 방식이다. 이것보다 작은 규모의 정지형 연료전지로는 일반 가정이나 상업용 건물, 빌딩, 병원 등에 적용할 수 있

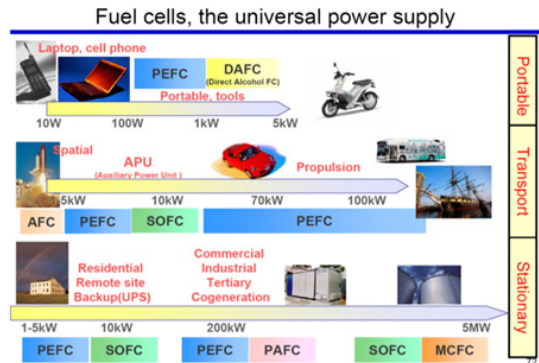


그림 1. 연료전지의 응용 분야별 분류.

는 건물용 연료전지가 있는데 사용 용량에 따라 다양한 크기의 시스템 제작이 가능하고 이는 스택의 설계에 따라 쉽게 용량을 바꿀 수 있는 연료전지의 큰 장점이라고 할 수 있다. 수송용 연료전지의 경우, 연료전지가 처음 적용된 것이 우주선이었고 현재 연료전지 자동차와 선박, 기차, 잠수함, 지게차 등 다양한 수송용 연료전지가 개발 중인데 수소인프라 구축과 밀접한 관련이 있어 당장 적용하는 것은 쉽지가 않은 상황이다. 휴대용 연료전지는 대부분 배터리와 경쟁하는 기술로서 휴대폰, 노트북 등 IT 제품 및 휴대용 전원 등에 사용가능한 것으로 산업적인 의미가 높다. 이 중 건물용 연료전지는 최근 그린홈 100만호 보급이라는 정부사업으로 인해 다시금 주목을 받고 있으며 다음에서 건물용 연료전지의 국외 및 국내 기술개발



표 1. 가정용 연료전지 시스템 모니터링 사업 내역.

기간	1차년도	2차년도	3차년도	계	
구분	2006.08~2009.07	2007.12~2010.11	2008.12~2011.11		
총사업비 (억원)	정부	70	80	205	
	민간 (현금)	55 (18)	73.66 (22.86)	84.1 (26.1)	215.76
	계	113	143.66	164.1	420.76
보급규모 (기)	40	70	100	210	
기준가격 (억원)	1.3	1	0.8	-	
국산화 비율 (%)	55	70	80	-	
의무 국산화 부품	스택, 열공급모듈	연료개질기, 센서 및 모드	전력변환기, 필터	-	
참여기관	도시가스사	지자체	에너지사 및 일반가정	-	
효율	전기효율 30% 이상 총효율 70% 이상	전기효율 32% 이상 총효율 75% 이상	전기효율 33% 이상 총효율 78% 이상	-	
운전목표 (kWh)	3,000	5,000	10,000	-	
설치장소	실내설치	실외설치	2차년도와 동일	-	
운전방식	1 kWh 정격운전	500 W, 750 W, 1,000 W 부분부하 운전	2차년도와 동일	-	

및 시장동향을 살펴보고자 한다.

2. 기술개발 및 정책동향

2.1 국내

PEMFC용 촉매 및 전해질은 KIST, 에너지 기술연구원 등의 연구소와 KAIST, 서울대학교 등 대학에서 기초 연구가 활발히 진행되고 있으며 동진세미켐, 한화, 삼성전자, LG 화학, 코오롱, 쉘텍 등의 기업에서도 상용화를 위한 연구개발이 진행되고 있다. 기체화산층은 JNTG (구 협진)에서 개발 중이나 기존에 상용화되어 있는 수입 소재를 대체하기 위해서는 집중적인 투자를 통한 혁신적인 기술 개발이 필요하다.

건물용 PEMFC는 2001년부터 진행된 1~3 kW급 가정용 연료전지 시스템 개발과제 및 2006년부터 시행된 ‘가정용 연료전지 모니터링 사업’으로 2009년까지 3년 동안 200여대의 연료전지 시스템 실증연구가 진행되었고 모니터링 사업을 통하여 시스템 안정성 및 내구성 확보를 통한 상용화 기반이 조성되었다. PEMFC 건물용 연료전지 제조사인 GS퓨얼셀은 2010년 10월 국내 최초 누적 발전량 기준

20,000 시간을 돌파, 가정용 연료전지 분야의 선진주자인 일본의 실증 수준에 도달함으로써 신뢰성, 내구성, 안정성 등을 검증하였다. 3년간의 모니터링 사업 결과 가정용 PEMFC의 국산화율은 80% 이상 (가격기준)을 달성하였고 시스템 설계, 제작, 운영기술의 경우 선진국 수준의 기술력을 확보하고 있다.

5 kW급 이상의 건물용 PEMFC의 경우 퓨얼셀파워가 국책과제를 통해 10 kW급 연료전지 시스템 개발연구를 진행하였다. GS퓨얼셀의 경우 핵심부품인 연료변환장치, 스택, 인버터의 국산화를 통해 5 kW급 건물용 연료전지 시스템을 개발하였으며 주간에너지 소비형과 야간에너지소비형 사이트를 선정하여 실증 연구를 진행하고 있다. 2010년 GS퓨얼셀은 스마트그리드 사업에 참여하여 1 kW급 LPG 시스템을 개발하여 제주도에 설치하였으며 2011년 1 kW급/5 kW급 LPG 시스템을 제주실증단지에서 설치하여 태양전지, 풍력발전과 같은 기타 신재생에너지와 연계하여 운영하고 있다. 퓨얼셀파워는 군사용 APU 시스템 개발 사업의 일환으로 가솔린/디젤 연료가 사용가능하고 이동이 가능한 소형 발전용 연료전지 개발을 2010년부터 진행하고 있다. LS산전은 2010년 개발된 1 kW급 LNG



시스템의 개질기 교체를 통해 2011년 LPG용 시스템의 출시를 목표로 개발을 진행하였으며, 대책과제를 통해 5 kW급 이상의 건물용 고온 PEMFC 시스템도 개발에 착수하였다.

SOFC의 경우에는 발전용 연료전지를 목표로 주로 개발이 되고 있지만 최근 일본을 중심으로 1 kW급 가정용 연료전지의 개발 및 보급도 활발히 진행되고 있다. 국내의 SOFC 관련 산업은 아직 초보적인 단계이며 상용화된 제품은 없다. 전력연구원에서는 2006년 1 kW급 건물용 SOFC 시스템을 개발한 이후, 2010년 천연가스 개질기와 함께 5 kW급 건물용 시스템 개발하였다. 삼성은 2008년부터 2013년까지 100 kW급 분산발전용 SOFC 시스템을 개발할 계획이다. 포스코에서는 2007년부터 2012년까지 180 kW급 SOFC 스택 및 발전시스템 개발을 수행하였으며, 2008년 12월 5 kW급 스택 및 시스템 개발에 성공하였고, 최근 고신뢰성 단위스택 개발에 집중하고 있다. 2011년부터 건물용 시장에 대응하기 위해 10 kW급 시스템을 개발 중에 있다.

2.2 국외

PEMFC의 경우 몇몇의 주요 소재 기업들이 촉매, 전해질, 기체확산층 등 핵심 소재 시장을 독점하고 있으며, 지속적인 기술개발을 통해 기술적 우위를 유지하고 있다.

- (1) 전해질 : Dupont, Gore, 3M (미국), Solvay (이태리), Asahi glass (일본), BASF (독일)
- (2) 촉매 : Johnson-Matthey (영국), Tanaka (일본)
- (3) 기체확산층 : SGL (독일), Toray (일본)
- (4) MEA : Gore, 3M (미국), BASF (독일), Johnson-Matthey (영국)

가정용 PEMFC 분야의 선진국가인 일본은 정부지원과 지속적인 연구개발로 2011년 기준 시스템 전기효율 35~45% (LHV), 종합효율



그림 2. 국내 건물용 1 kW 연료전지 시스템.

77~87% (LHV)까지 도달하였고 시스템 가격은 약 3백만 엔 이하 수준이다. 보급 활성화를 통해 2015년까지 대량생산 공정을 구축하여 시스템 가격을 500,000~700,000엔까지 저감하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, 2020~2030년까지 약 400,000엔을 목표로 자립시장 형성을 위한 장기적인 연구개발을 진행 중에 있다. 독일의 경우 효율 및 내구성 등의 기술적인 측면에서 다른 경쟁국가에 비해 우위에 있지 못하지만 2020년까지의 중장기 로드맵과 정부 주도의 프로젝트 (Callux Lighthouse Project) 통하여 2012년까지 2,250대의 실증평가를 목표로 건물용 연료전지 보급과 기술개발을 적극적으로 추진하였다.

유럽은 2012년 건물용 연료전지 시스템 양산을 진행 중에 있으며 2015년에는 연간 20만대의 시장 판매로 보일러 대체를 목표로 하고 있다. 호주의 Ceramic Fuel Cell社는 2 kW급 건물용 SOFC 시스템을 개발하였으며 전기 효율 60%의 고효율 달성을 목표로 유럽 시장 진입 노력을 기울이고 있다. 건물용 연료전지에 있어 도시가스 (LNG) 이외의 LPG



를 기반으로 한 연료전지 시스템은 Ballard power systems, Nuvera Fuel Cells, Tokyo gas, Osaka gas 등 세계 유수의 기업에서 PEMFC, SOFC 모두 저용량부터 대용량까지 다양한 연료전지 시스템을 개발하였으며, PEMFC는 실증 및 보급 단계를 SOFC는 실증 단계를 진행 중이다. 가솔린, 디젤, 등유, 바이오가스 등을 기반으로 한 연료전지 시스템은 General motors, Delphi, Nordic Power system, Eaton, Fuel Cell Energy 등에서 연구 개발을 진행하고 있다. 2008년 Idemitsu는 멀티 연료 처리시스템 기술을 개발, 현재 건물용 연료전지 시스템 개발을 통한 시범보급에 주력하고 있다.

건물용 연료전지의 개발에 있어 미국은 대도시를 제외하고는 도시가스 요금 대비 전기 요금이 저렴하여 가정용보다는 수소를 이용한 UPS 대체용 또는 Back-up power 용으로 많이 개발되고 있다. Acumentrics社, Cummins와 Versa Power社, Delphi社, Altery Freedom, Fuel Cell Technologies, Idatech, Plug Power, ReliOn (구 Avista Labs) 등의 기업들이 있다. 또한, 현재 Webasto (독일)와 Powercell (스웨덴) 두 회사가 트럭용 APU (Auxiliary power unit) 시장에서 가장 큰 회사이며, Powercell社は 대형 중장비들과 기타 하이테크 시장들을 위해서 5~10 kW 규모의 연료전지 보조동력 설비의 개발을 목표로 하고 있다. Webasto (독일)社は 연료전지를 이용하는 APU를 연구하고 있으며 1 kW급 시제품을 안정적으로 운전하고 있고, 자동 운전 및 주기적인 시동/정지가 가능하며 앞으로 500 W에서 5 kW까지 제품 개발을 목표로 하고 있다.

3. 시장 및 보급현황

3.1 국내

국내 전력시장 중 건물용 연료전지 적용

잠재 가구는 1,640만호이며 2012년까지 1만호 시범보급 사업으로 시장진입이 시작되어, 2020년에는 200만호 이상으로 확대될 것으로 예상된다. 가정용 연료전지는 주택지원사업 (구 그린홈 100만호 보급사업), 건물지원사업 (구 일반보급사업), 지역지원사업 (구 지방보급사업) 등 정부 지원사업 시행으로 연료전지 분야에서는 처음으로 사업화에 진입했다. 일반가정, 건물, 시설물 등에 2010년에 200여 대가 설치완료 되었고 (약 200억 시장형성), 2011년 300여 대, 2012년 300여 대가 설치되었다. 국내 건물용 연료전지 시장은 정부의 지원 아래 기술개발을 통한 초기 경쟁력을 확보 후 자체 시장형성 될 것으로 전망된다.

도시가스 이외에 연료전지의 연료로 사용할 수 있는 것으로 부생수소, LPG, DME 등이 있는데 2004년 기준으로 석유화학 산업에서 발생된 수소 중 자체 소모하지 않고 시중에 유통되는 물량은 약 48,000 톤이고, 제철소의 부생수소량은 약 355,000 톤에 이른다. LPG 사용 가구 수는 2009년 기준 660만 가구로 도시가스 사용가구 (약 1390만 가구) 대비 47%에 해당된다. DME 생산량은 2008년 기준 LG화학에서 3,000톤, 대흥산업에서 4,000톤을 생산하여 연간 7,000톤 규모임을 고려할 때, 부생수소, LPG, DME 등의 연료전지의 연료다변화를 통해 자원의 효율적 이용, 보조전원 및 UPS 용도로의 시장 확대가 가능하다. 연료전지 연료다변화를 통한 사용연료의 다양화는 LNG 인프라가 공급되지 않는 지역에서도 LPG, 가솔린, 등유 등이 이용 가능한 건물용 연료전지의 설치가 가능하여 보급 확대가 기대된다.

3.2 국외

건물용 연료전지 시장은 700 W ~5 kW급의 가정용, 5 kW급 이상 상업용 시장과 보조전원용 (UPS, APU)으로 크게 구분된다. 가정용 연료전지 시장은 일본, 유럽 및 한국을



중심으로 가장 크게 형성되어 있으며 상업용, 보조전원용, 물류용 연료전지 시장은 북미, 유럽을 중심으로 확대되고 있다. 건물용 연료전지 시장은 세계적 증가 추세를 이루고 있으며, 1~10 kW급 건물용 연료전지는 다른 종류의 연료전지 보다 시장형성이 빠르게 진행되고 있으며 2009년까지 세계적으로 11,000대 설치를 돌파하였다고 알려져 있고 그 이후로도 일본, 한국을 중심으로 지속적으로 설치 보급대수가 증가하고 있다.

건물용 연료전지의 최대 시장인 일본의 경우 정부가 가정용 연료전지 시스템을 핵심 기술로 선정하여 기술개발과 보급에 많은 지원을 하고 있다. 2005년부터는 대규모 실증 사업으로 확대하여 실제 주택에 설치, 보급을 진행 중이다. 유럽은 2012년 가정용 보일러를 대체할 목적으로 2015년에 연간 20만대 시장판매를 목표로 산업화를 준비 중에 있다.

고분자 연료전지와는 달리 고체 산화물 연료전지의 경우, 일본에서는 세라믹 업체 (Kyocera, TOTO, NTK 등)가 SOFC 스택을 개발 공급하고 유틸리티 업체 (Osaka gas, Tokyo gas, Toho gas 등)와 공동협력으로 시스템을 개발하고 실증을 진행해 나가고 있으며, 타국가도 비슷한 형태의 개발이 진행되고 있다.

기존의 가스엔진, PEMFC를 이용한 열병합발전 시스템 (CHP)과는 별도로 높은 전력의 수요와 열의 필요성이 대두되는 시장을 공략하는 주요 품목으로 SOFC 시스템을 선정하고 있다. 일본의 경우 2007년부터 시작된 실증 사업을 통해 2007년 29기, 2008년 36기, 2009년 67기, 2010년 78기의 실증을 진행중이거나 완료하여, 누적 대수 210대에 대한 실증 데이터를 누적해 오고 있다. 신재생에너지 및 기존 화석연료를 친환경적이면서도 효율적으로 이용할 수 있어 연료전지 산업형성과 동시에 보조전원, 비상전원 (무정전시스템, UPS), 소형발전 등의 용도 확대를 통하여 시장 확대가 예상된다.

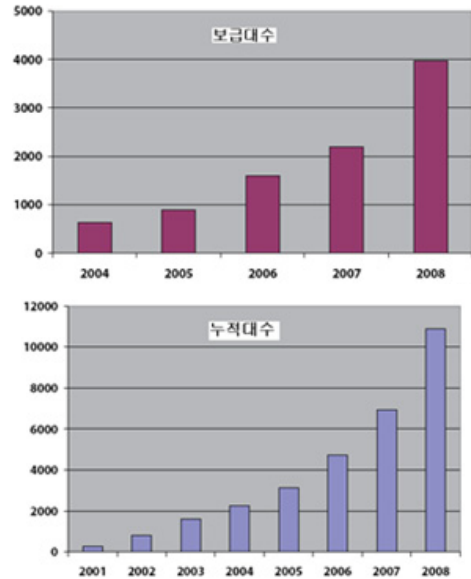


그림 3. 세계 건물용 연료전지 시장 현황, Fuel cell today (2009).








그림 4. 일본 PEMFC 가정용 연료전지 시스템.

연료전지는 빠른 시동과 응답성으로 인해 비상전원 (UPS) 등에 사용이 가능한데 전 세계 비상전원용 연료전지 시스템 시장은 2008년 기준 2억 6천만 달러 규모로 35%의



표 2. 일본 회사별 가정용 SOFC 제품 사양.

구분	ENEOS	GASTAR/Rinnal	KYOCERA	TOTO	TOYOTA/AISIN
시스템					
출력	700 W	700 W	700 W	700 W	700 W
정격 발전 효율	45% (LHV)	42% (LHV)	45% (LHV)	45% (LHV)	45% (LHV)
정격 종합 효율	85% (LHV)	77% (LHV)	85% (LHV)	85% (LHV)	85% (LHV)
발전부 크기	580×930×300	650×1,040×350	540×960×350	650×939×360	540×960×350
연료	LPG	도시가스	도시가스	도시가스 (13 A)	도시가스
온수용량	70L	80L	70L	70L	70L
온수 탱크 크기	700×1,700×300	890×1,620×350	700×1,700×300	750×1,400×360	700×1,700×300
온수 온도	70도	75도	80도	75도	80도

성장률을 보였으며 IT산업의 발전 및 단전비용 증대, 고품질 전력 요구에 따라 UPS시장이 지속적인 성장을 하고 있어 단기 기술개발을 통한 시장진입 시 30%의 저가형 UPS 시장을 제외한 상당부분의 신규시장 진출이 가능할 것으로 예상된다.

and Hydrogen in Japan, 2010.11.
 [11] 지식경제부, 그린에너지전략로드맵, 2011.
 [12] 후지경제보고서 2011.
 [13] 지식경제부, 에관공, 2010 신재생에너지백서.
 [14] The Fuel Cell Today Industry Review 2011(FuelCellToday, 2011.9).

참고 문헌

[1] 지식경제부, 그린에너지 전략로드맵, 2009.
 [2] The Department of Energy Hydrogen and Fuel Cells Program Plan, 2010.
 [3] NEDO 燃料電池・水素技術開発 로드맵 2010, 2010.6.
 [4] IPHE_2010 Hydrogen and Fuel Cell Global Commercialization & Development Update, 2010.
 [5] 지식경제부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030, 2007.
 [6] 2010년 수소·연료전지 산업실태와 전망(일본 에코노믹 센터), 2010.
 [7] The Fuel Cell Today Industry Review 2010.
 [8] PEFC 기술개발 현황과 과제, NEDO 2009.4.
 [9] Hydrogen and Fuel Cell technologies Update, DOE 2010.11.
 [10] Research and Development of Fuel Cells

저자약력



성명 : 박석희
 ◆ 학력
 • 1993년 서울대학교 공과대학 화학공학과 공학사
 • 1995년 서울대학교 대학원 화학공학과 공학석사
 • 2013년 한국과학기술원 생명화학공학과 공학박사
 ◆ 경력
 • 1995년 - 1999년 삼성중공업 중앙연구소 주임연구원
 • 2000년 - 2001년 두산중공업 중앙연구소 주임연구원
 • 2001년 - 2002년 (주)세티 과장
 • 2002년 - 2003년 한국에너지기술연구원 위촉연구원
 • 2004년 - 2005년 산자부 수소연료전지사업단 사무국장
 • 2005년 - 현재 한국에너지기술연구원 수소연료전지연구단 책임연구원