

고정식 고분자 전해질형 연료전지 발전시스템의 평가 및 시험 기법

이승현, 박교식, 권부길, 김영규, 이국진, 이승림, 황현철, 김수종*

한국가스안전공사, *한국항공대학교

Method for Evaluation and Test of Stationary Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Power System

Seung-Hyun Lee, Kyo-Shik Park, Bu-Gil Kweon, Young-Gyu Kim, Kuk-Jin Lee,

Seung-Lim Lee, Hyun-Cheol Hwang, Soo-Jong Kim*

Korea Gas Safety Corporation, *Hankuk Aviation University

1. 서론

석유에너지를 대체할만한 차세대 에너지원에 대한 요구가 급증하는 가운데 이를 주도할 것으로 예상되는 연료전지 시스템에 대한 연구, 개발이 국내외적으로 활발히 이루어지고 있으며 실증연구를 통해 실용화 또한 급진전 되고 있다. 이러한 연료전지 발전시스템의 최종 목표인 실용화는 단지 국내의 대체에너지 이용이라는 면 외에도 연료전지 선진국과의 기술 경쟁이나 시장 확보 면에서도 시급히 이루어야 할 과제이다. 실용화를 위해서는 연료전지의 핵심기술을 확보하고 제품을 개발하여 실증연구를 거치는 것이 타당한 순서이나 무엇보다 중요한 것이 이러한 과정 중에 있을 수 있는 연료전지 시스템의 잠재적 위험성을 제거하여 안전성을 확보하는 것이다. 이 때문에 미국, 일본 등 연료전지 선진국에서는 각종 규격과 규정을 통해 이를 제도화 하고 있고 연료전지 발전시스템의 안전성 확보를 위한 평가 및 시험 기법을 만들어 이를 적용하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 연료전지 시스템 중 현재 실용화에 가장 근접해 있는 고정식 고분자 전해질형 연료전지(PEMFC) 발전시스템을 중심으로 국내외의 실용화 현황 및 전망을 살펴보고 국외의 연료전지 시스템 평가 및 시험 기법을 비교분석하여 국내 연료전지 시스템의 연구, 개발, 제작 및 실증 시의 적용 가능성을 검토하고자 한다. 국내 적용을 위한 검토시에는 실용화에 근접한 1kW급의 가정용 고정식 PEMFC 발전시스템을 대상으로 하였다.

2. 국내외의 실용화 현황 및 전망

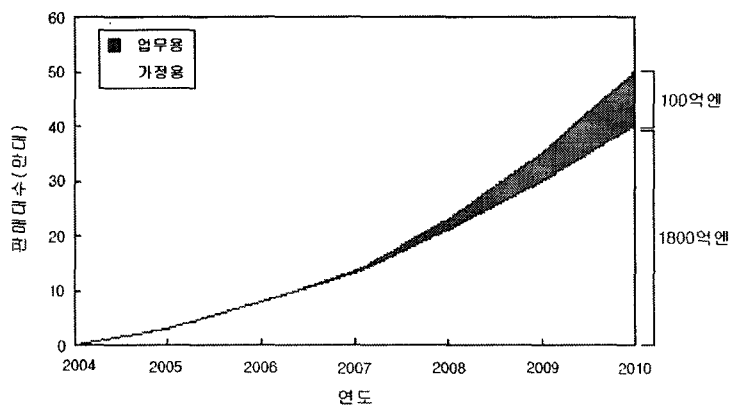


Fig. 1. PEMFC 발전시스템의 시장 전망

일본은 자동차용 연료전지 시스템을 중심으로 기술개발이 본격화된 이후 2000년대에 들어서 전력시장 자유화에 따른 가정용 연료전지 개발보급이 활성화 되었으며 관련 예산도 2001년 119억엔에서 2005년 355억엔으로 점차 증가하고 있다. 가정용 PEMFC의 경우 2002년 실증사업이 시작된 이래 2005년부터 시판

이 개시되었고 400대 규모의 모니터사업이 실시되는 등 상용화에 근접해 있다. 최근에는 동경가스에서 2008년까지 100만엔, 2010년까지 50만엔에 1kW급 연료전지 시스템을 공급하겠다는 발표를 했고 현재 일본내 TV CF를 방영하고 있다.

미국 내 연료전지 산업은 정부의 관심이 커 DOE의 지속적인 지원을 바탕으로 꾸준히 성장하고 있다. 현재 IdaTech, UTC, Caterpillar 등의 회사를 중심으로 실용화가 진행되고 있으며 2010년까지 수명 40,000시간, 효율 40%의 가정용 연료전지를 보급하는 것을 목표로 연구개발이 진행 중이다.

독일의 Vaillant는 유럽연합이 지원하는 버추얼 연료전지 플랜트 프로젝트를 진행하고 있으며 개별난방, 냉방, 전원 공급용으로 다가구 주택, 공공시설 등에 약 40기의 PEMFC를 설치하고 있다.

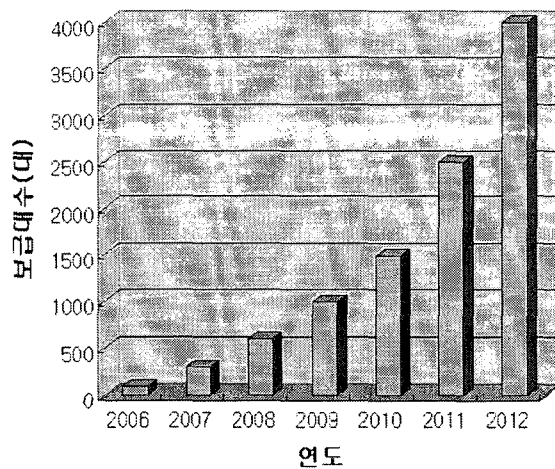


Fig. 2. 국내 가정용 연료전지 보급 계획

국내에는 연구기관과 일부 업체에서 PEMFC 시스템 개발에 성공하여 현재는 실증 연구 중에 있으며 최종적으로 가정용 PEMFC 발전시스템은 kW당 5백만원~6백만원을 목표 가격으로 2012년까지 10,000대를 보급할 계획이다.

이처럼 국내외적으로 가정용 PEMFC 발전시스템에 대한 연구는 실증연구 단계에 이르렀으며 실용화에 근접해 있다. 따라서 이후 연료전지 시스템의 실용화를 위해 필수적인 평가 및 시험 기법을 확보하여 인증 및 검사 시 이를 적용하고자 국외의 관련 규격 및 규정을 비교분석하였다.

3. 국외의 평가 및 시험 기법

3.1 국외의 규격 및 규정

국외의 경우 IEC, 미국, 일본 및 유럽을 중심으로 고정식 PEMFC 발전시스템에 관한 규격과 규정이 제정 및 개정 중에 있으며 그 현황은 Table 1과 같다.

Table 1. 고정식 연료전지 발전시스템에 관한 규격 및 규정

	제목	규격 및 규정
IEC	Stationary Fuel Cell Power Systems - Safety	IEC 62282-3-1
	Stationary Fuel Cell Power Systems - Performance test methods	IEC 62282-3-2
	Stationary Fuel Cell Power Systems - Installation	IEC 62282-3-3
미국	American National Standard for Stationary Fuel Cell Power Systems	CSA FC 1
일본	고체고분자형 연료전지 검사규정	JIA F 035-04

각 규격 및 규정에서는 연료전지 발전시스템의 구성품, 기능, 특성에 따라 평가 및 시험

항목들을 나누어 다루고 있으며 항목의 많은 부분이 공통적으로 적용되고 있으나 각 국가의 상황에 따라 상이한 세부항목들이 포함되어 있다. Table 2에서는 이러한 시험항목들을 정리하여 나타내었다.

Table 2. 고정식 연료전지 발전시스템의 시험항목

시험항목	세부항목	시험항목	세부항목		
1. 재료 및 구조	일반재료	5. 보호기능시험	교류과전류시험		
	일반구조		직류과전압 및 부족전압시험		
	연료개질계 배관의 구조		직류분 검출시험		
	버너 및 점화버너의 구조		교류과전압 및 부족전압시험		
	전기장치 및 배선 - 전기제어장치를 사용하는 기기 - 진동기를 가지고 있는 기기 - 전기장치 - 전기배선 - 충전부 - 접지 - 전기부품 및 부속품 - 전력계의 보호		주파수 상승 및 저하시험		
	역변환장치		역전력방지시험		
	물 배관계의 구조		역충전방지시험		
	안전장치		단독운전방지시험 - 역조류있는 것 - 역조류없는것 및 역조류없는방식으로 부하추종형		
			목전후의 일정시간 투입저지시험		
			순간(불평형)과전압시험		
2. 성능 시험	기밀시험	6. 정상특성시험	교류전압추종시험		
	가스소비량		주파수추종시험		
	전기출력시험		운전역율시험		
	점화성능 및 연소상태시험 - 점화성능시험 - 연소상태시험		출력고주파전류시험		
	내풍시험 - 옥외식 및 FF식의 점화연소시험 - FE식의 연소시험		누설전류시험		
	내우시험 - 옥외식 및 FF식의 점화연소시험		전압상승억제기능시험		
	온도상승시험 - 정상시 온도상승 - 이상시 온도상승	7. 과도응답특성시험	온도상승시험		
	절연저항시험		소프트스타트기능시험		
	절연내력시험		부합급변시험		
	안전장치시험		계통전압급변시험		
	직류저락시험	8. 외부사고시험	계통전압위상급변시험 - 위상차 10도 - 위상차 120도		
	정전시험		계통전압불평형급변시험		
	3. 표시 및 취급설명서	표시 - 제품표시 - 조작표시 - 상태표시 - 취급주의표시 - 부품교환시기 표시	9. 환경적합성시험	교류단락시험	
		취급설명서		순간전압저하시험	
4. 절연성능시험		절연저항시험		10. 내전기환경시험	부하차단시험
		상용주파내전압시험			전과장해시험
					전도장해시험
		계통전압 왜내량시험			
		계통전압 불평형시험			
		서지시험			
		노이즈내량시험			
		정전기방전 면책(immunity)시험			
		방사무선주파전자계 면책시험			
		전기적 Fast Transient/Burst 면책시험			
		방사무선주파전자계에 따른 유도된 전도 성방해에 대한 면책시험			
		전원주파수자계 면책시험			
		11. 내주위	습도시험		

	낙뢰 펄스시험	환경시험	온습도 사이클시험 주수시험
		12. 내구성 시험	내구성시험
		13. 부품고장시험	부품고장시험
		14. 자립운전시험	자립운전시험

Table 2에서 알 수 있듯이 고정식 연료전지 발전시스템의 평가 및 시험 항목은 크게 14개의 항목으로 구분할 수 있으며 각 항의 중요도와 특성에 따라 다수의 세부항목을 규정할 수 있다. 시험 항목 중 본 논문에서는 연료전지 발전시스템의 연구, 개발, 실증의 최종 목표인 실용화를 위해 가장 핵심적인 항목인 성능 평가와 시험 부분을 중심으로 다루고자 한다.

3.2 성능 평가 및 시험

3.2.1 기밀시험

기밀시험에서는 가스입구 닫힘밸브까지는 4.2 kPa, 내압 닫힘구간은 최고사용압력의 1.1배의 압력 하에서 누설량은 70 mL/h 이하이어야 한다. 따라서 가스입구 닫힘밸브까지의 통로 닫힘밸브를 닫은 상태에서 입구부에 정밀가스 유량계를 연결하고, 입구측에서 공기 또는 질소를 4.2 kPa의 압력을 가해 누설량을 측정한다. 또한, 그 외의 닫힌구간에 관해서 공기 또는 질소로 최고사용압력의 1.1배의 압력을 가했을 때 누설량을, 측정가스를 내포한 부분에 있어서는 가스를 통한 상태에서 발포액 또는 가스검지기 등으로 각부에서 외부 누설이 없는 것을 확인한다.

3.2.2 가스소비량

연료가스소비량이 표시가스 소비량에 대하여 $\pm 10\%$ 이내이어야 하며 시험은 기기를 기동 후 정격운전으로 운전하여 정격발전해서 30분 이상 경과하여 안정한 상태에 도달하였을 때 연료가스소비량의 표시가스소비량에 대한 정도를 확인하여야 한다.

3.2.3 전기출력시험

정격송전 단출력이 표시정격출력에 대하여 $\pm 10\%$ 이내 이어야 하며 기기를 기동 후 정격운전으로 이행하여 정격출력에서 발전하면서 30분 이상 경과하여도 안정한 상태(출력변동폭이 대략 $\pm 2\%$ 이내가 된 상태)가 되었을 때 정격송전단출력 표시정격출력에 대한 정도를 확인한다.

3.2.4 점화성능 및 연소상태시험

3.2.4.1 점화성능시험

3회중 3회 모두 점화 되어야 한다. 다만, 3회중 1회라도 점화되지 않은 경우는 추가로 2회 점화를 실시하여 2회 모두 점화(5회중4회 점화) 되어야 하며 폭발적으로 점화하지 않아야 한다.

3.2.4.2 연소상태시험

착화 시 확실히 불 옮김이 이루어지고 폭발적으로 착화하지 않아야 하고 연소 및 운전상태가 안정하여야 하며 정지 시 확실히 소화 하여야 한다. 또한 연소가스 중 CO 농도는 0.28% 이하(개방식 0.14% 이하)이어야 하며 역화가 없어야 한다.

3.2.5 내풍시험

3.2.5.1 옥외식 및 FF식의 점화·연소시험

5 m/s의 유풍상태에서 냉기기동상태로 기동을 한 상태에서 취급설명서 등에 표시한 점화방법에 의해 점화조작을 반복하여 확인하여야 하고 착화동작을 했을 때 착화 시 확실히 불이 옮겨 붙고 폭발적으로 착화하지 않는 것을 확인하여야 한다.

3.2.5.2 FE식의 연소시험

기기의 배기통 길이를 제조사업자가 지정한 최장으로 하여 기동상태에서 부하가 정격부하(최대연료소비량에 의한 운전상태)도달 후 30분이상경과할 때까지의 상태에서 발연제 또는 물을 채운 노점판 등을 사용하여 배기구 이외에서의 연소가스의 유출 유무와 연소상태를 확인한다.

3.2.6 내우시험

3.2.6.1 옥외식 및 FF식의 점화·연소시험

각방향에 5분간 살수한 후에 상기한 점화, 불움김, 연소상태에 대해 노내에 설치한 연소검지수단 등에 따라 사용상 지장 및 이상정지의 유무를 확인한다.

3.2.7 온도상승시험

3.2.7.1 정상시 온도상승

연료전지 발전시스템의 각부온도, 축온판온도, 배기온도를 연료전지 발전시스템의 기동전부터 정지후에 각 온도가 저하될 때까지 측정하여 적정 온도 기준을 만족하여야 한다.

3.2.7.2 이상시 온도상승

정격출력도달 후 30분 이상 경과 후에 개질기 버너의 부하를 서서히 증가시켜 긴급 정지시키고 연료전지 발전설비의 각부온도, 축온판온도, 배기온도를 연료전지 발전설비의 기동전부터 정지 후 각 온도가 저하될 때까지 측정하여 100 ℃ 이하가 되어야 한다.

3.2.8 절연저항시험

절연저항계로서 절연저항을 측정하여 1MΩ 이상이어야 한다. 시험은 개질기, 히터, 저장탱크 등의 주변기기류의 시험회로는 모두 폐회로로서 하고 주변기기류 전부에 시험전류가 인가될 수 있도록 수행한다.

3.2.9 절연내력시험

기기(연료전지 셀스택을 제외)의 입출력단자와 비충전금속부 및 외곽((외곽이 절연물인 경우는 외곽 표면에 밀착시킨 금속박)사이에는 전압30V이하는 500V, 전압30V초과 150V이하는 1000V, 전압150V 초과는 1500V의 교류전압을 1분간연속해서 가하여 견뎌야 한다.

3.2.10 안전장치시험

기기가 정격출력에서 운전하고 있는 상태에서 연료·개질계 내의 연료가스 압력 또는 온도가 현저히 상승한 경우, 개질기 버너의 불이 꺼진 경우, 개질가스의 누설을 검지한 경우, 제어장치에 이상이 생긴 경우, 제어전원전압이 현저하게 저하된 경우, 연료전지 셀스택에 과전류가 발생한 경우, 연료전지 셀스택의 발전전압에 이상이 발생한 경우, 연료전지 셀스택의 온도가 현저하게 상승한 경우, 기기(외곽) 내의 온도가 현저하게 상승한 경우, 기기(외곽)의 환기장치에 이상이 발생한 경우, 불완전연소를 검지한 경우의 이상상태를 설정하여 제조사업자가 지정한 설정값에서 안전장치가 작동하고 소정의 정지동작에 의해서 안전하게 정지하는 것을 확인한다.

3.2.11 직류지락시험

연료전지 셀스택측의 전로가 지락한 경우, 자동적으로 개질기등의 버너 가스통로를 막고 계통에서 해열하면서 안전하게 정지하여야 한다. 시험은 저항, 스위치 및 전류계를 접속하고 정격출력에 발전후 30분 이상 경과하고 안정한 상태에 지락전류를 흘려 오실로스코프로 확인한다.

3.2.12 정전시험

기기에 접속된 송수전회로를 동시에 개방하고 개방후 3분경과한 시점에 복전하고 10분간 확인하여 송수전회로의 복전 후에 개질기 등의 버너의 가스통로를 막고 가스의 유입 및 외관이상이 발생하지 않아야 한다.

4. 국내의 평가 및 시험 기법 적용

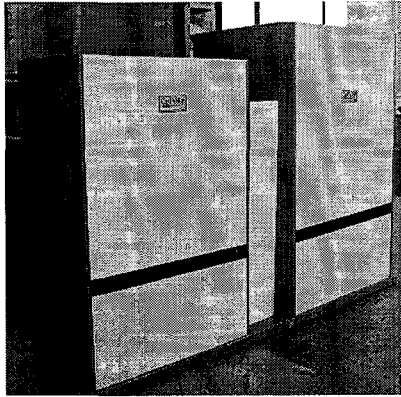


Fig. 3. PEMFC 소형 열병합시스템

국내 적용을 위한 검토 시에는 기 개발된 1kW급의 가정용 고정식 PEMFC 열병합 발전시스템을 대상으로 하였으며 Fig. 1에 그 실제 사진을 나타내었다. 평가 및 시험 기법의 적용 시에는 성능시험 항목의 대부분의 세부시험항목을 적용하였으나 현재 시험 설비를 구비하지 못한 경우에 한해 일부 적용하지 못한 항목도 있다. 적용 부분을 보자면 기밀시험, 가스소비량, 전기출력시험, 점화성능 및 연소상태 시험, 온도상승시험, 절연저항시험, 절연내력시험, 안전장치시험, 직류지락시험, 정전시험 등을 수행중이다. Fig. 4, 5, 6, 7은 시험에 사용한 평가장치와 측정

기 등을 나타내었다. 수행하지 못한 내풍시험 및 내우시험은 외부환경모사 설비가 갖추어진 대형 풍동시험기를 사용하여야 하나 아직 이러한 설비를 구비하는 데에는 설비 제작 기간과 제작 비용상의 문제점을 가지고 있어 부득이 제외하게 되었다. 이후 실제적인 평가와 시험을 위해서는 풍동 설비를 구비하여 후속 연구를 진행하여야 할 것으로 판단된다.

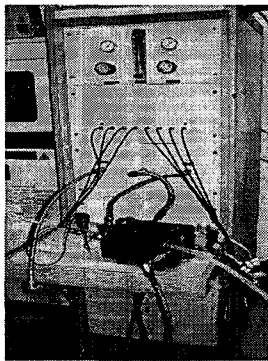


Fig.4. 스택평가장치

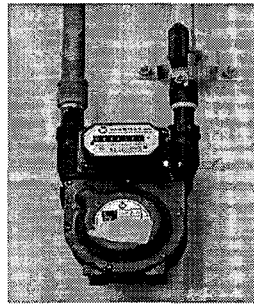


Fig. 5. 연료가스미터기

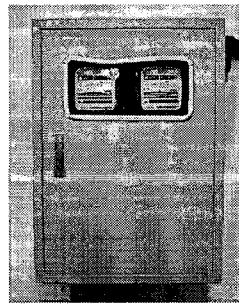


Fig. 6. 전력량계

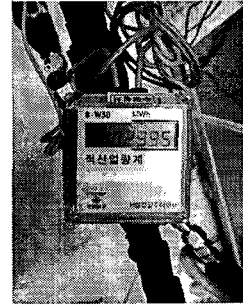


Fig. 7. 적산열량계

5. 결론

본 연구를 통해 가정용 PEMFC 발전시스템의 평가 및 시험 기법을 정립할 수 있었으며 실제 제품에 일부 적용함으로써 그 실효성을 확인할 수 있었다.

후기

본 논문은 산자부의 “1kw급 고분자 연료전지 발전시스템 실증을 위한 안전기준 정립”과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. IEC 62282-3-1, Stationary Fuel Cell Power Systems - Safety
2. IEC 62282-3-2, Stationary Fuel Cell Power Systems - Performance test methods
3. IEC 62282-3-3, Stationary Fuel Cell Power Systems - Installation
4. CSA FC 1, American National Standard for Stationary Fuel Cell Power Systems

5. JIA F 035-04, 고체고분자형 연료전지 검사규정