

연료전지발전

이 창 우*

(*한전기술연구원 책임연구원)

1. 머릿말

연료전지는 연료가 가진 화학에너지를 전기화학반응에 의해 직접 전기에너지로 변환시키는 발전방식으로 에너지변환효율이 높고, 환경공해가 적어 도시부근이나 도심지 건물내 설치할 수 있으므로 전력계통운용이 용이하여 장래 화력발전 대체용이나 열병합발전용으로 유효하게 사용될 수 있는 등의 장점이 많아 국내외 개발이 활발히 진행되고 있다.

연료전지는 반응물질을 전지내에 저장해 두는 1차전지(건전지등)나 2차전지(축전지)와는 달리 반응물질이 외부로부터 공급되는한 발전할 수 있으며 단위전지의 내부구조는 일반전지와 유사하나 에너지저장능력이 없는 발전장치이다.

다음은 연료전지발전의 원리, 특징 및 개발현황등에 관하여 설명하고자 한다.

2. 연료전지의 발전원리

연료전지의 발전원리는 물의 전기분해 역을 이용한 것으로 연료중의 수소와 공기중의 산소를 전기화학적으로 반응시켜 전기에너지를 얻는 발전방식이다.

그림1은 연료전지의 한 종류인 인산형의 발전원리를 나타낸 것으로 연료전극(Anode)으로 공급된 수

소(H₂)는 전극의 촉매층에서 활성화되어 2개의 H⁺ 이온과 2e⁻(전자)로 분리된다. 전해질인 인산은 수소이온은 통과시키나 전자는 통과시키지 않는 특성을 지니고 있어 수소이온은 전해질을 통하여 산소극으로 이동하고 전자는 외부회로를 통하여서 전력을 발생하게 된다.

산소극(Cathode)에서는 외부에서 공급된 공기중의 산소(O₂)가 연료전극에서 온 2H⁺, 2e⁻와 결합하여 수증기가 되며 이 수증기는 산소전극외부의 가스통로를 통하여 전지외부로 방출된다.

이를 화학반응식으로 나타내면 다음과 같다.

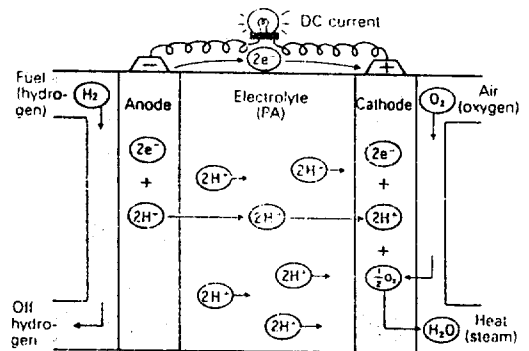
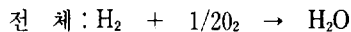
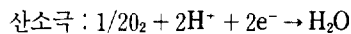
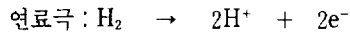


그림 1 연료전지 발전원리

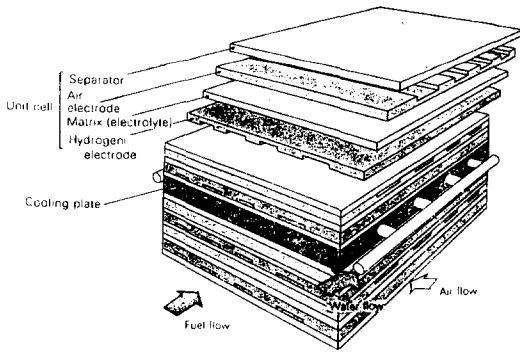


그림 2 단위전지 내부구조 및 스택(Stack)

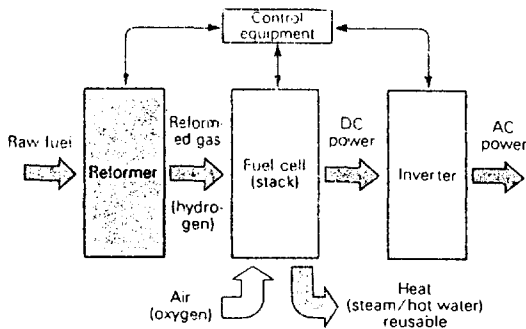


그림 3 연료전지발전시스템의 기본구성

즉, 수소와 산소를 공급하여 전기와 물을 얻을 수 있으며 반응열을 회수하므로서 고품탕 혹은 난방용 열원으로 사용할 수 있다.

연료전지의 단위전지 내부구조는 그림 2와 같이 일반 전지와 유사하나 연속적으로 연료가스와 공기를 공급하기 위한 가스통로가 양극외부에 있으며 반응열에 의한 온도상승을 방지하기 위해 냉각설비가 설치되어 있다.

단위전지의 두께는 5mm이내이며, 단위전지전압 0.7V, 면적 cm^2 당 300mA 전류가 발생하여 3,600 cm^2 (60×60cm)면적의 단위전지 경우 700W의 출력을 낼수 있다. 이 단위전지를 적층한것을 스택(Stack)이라 하며 적층수를 조정하므로서 소요용량을 얻을 수 있으며 통산 5개의 단위전지사이에 냉각장치가 설치되어 있다.

연료전지 발전시스템은 그림3과 같이 연료로부터 수소를 만드는 연료개질장치(Reformer), 전기화학 반응에 의해 직류전기를 발생시키는 Stack, 직류를

교류로 변환시키는 직교류변환장치(Inverter)등 3주요 요소로 되어 있으며 이외 이 요소를 제어하는 제어장치, 배열을 난방이나 복합발전으로 이용하는 배열이용시스템으로 구성되어 있다.

3. 연료전지발전의 특징

연료전지 발전을 기존의 화력발전과 비교하면 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 에너지의 변환 효율이 높다.

연료전지는 연료의 화학에너지에서 직접 전기에너지로 변환시키므로 화력발전의 Carnot cycle 효율 제약을 받지 않아 전기화학반응에 의한 높은 에너지 변환효율(이론효율 90%이상)을 얻을 수 있다. 또한 반응열을 회수하여 배열로 이용할 수 있으므로 종합효율은 약 80% 정도까지 기대할 수 있다.

(2) 부하응답성이 좋다.

화력발전에서의 출력변화에 따른 열용력 문제가 연료전지에서는 적으므로 최저부하에서 정격부하까지의 출력변화가 수초내에 이루어지며 부분부하에서도 높은 효율을 유지할 수 있다.

(3) 환경에 대한 영향이 적다.

연료전지의 배기가스는 연료개질장치의 연소소에서 배출되는 것으로 연료사용량의 일부만을 연소시키므로 가스배출량이 적으며 배기가스 성분도 대기오염물인 NOx, SOx, 분진등이 극히 적으며, 또한 대형회전기기가 없어 소음이 적고 냉각수의 순환사용이 가능하여 온배수 배출에 따른 환경공해 문제점이 없다.

(4) 입지의 제약이 적고 건설공기가 짧다.

연료전지 발전시스템의 주요 부품을 미리 제작, 공장에서 모듈(Module)화 할 수 있으므로 현장에서의 건설공기가 단축되며, 소요면적도 적어 수유지부근, 도심지등에서의 설치제약이 적다. 그외 도심지부근 설치가 가능함으로써 송전손실이 적어지며 송전설비비등의 부담을 줄일 수 있으며 부하밀집지역의 전압강하문제를 해결할 수 있다.

상기와 같은 특성으로 연료전지는 현재 소형으로는 자동차동력원으로, 중형(100KW이상)의 경우 도심지내 식당, 병원, 체육관, 호텔, 주택단지 등의 열병합용으로, 대형(1MW급 이상)의 경우 노후화력

발전 대체용으로 사용 할 수 있어 장래 유망한 발전 방식으로 인식되어 선진 각국에서의 개발이 활발하다.

4. 연료전지의 종류

연료전지는 사용되는 전해질의 종류에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다. 전해질로 알칼리수용액(KOH)을 사용하는 알칼리형 연료전지, 인산(H₃PO₄)을 사용하는 인산형(磷酸型)연료전지, 용융상태의 Na, K, Li 탄산염을 사용하는 용융탄산염형(熔融碳酸鹽型)연료전지, 고체상태의 산화질코늄 또는 이성 다중산을 사용하는 고체전해질형(固體電解質型) 연료전지로 나눌 수 있으며 종류에 따라 작동온도의 범위가 다르므로 저온형 및 고온형으로 분류하기도 한다.

알칼리형은 100°C 이하의 온도로 운전되며 고가의 순수수소를 사용하므로 우주선, 군사용등의 특수목적으로 개발되고 있고, 인산형은 천연가스나 납사등을 연료로 사용하며 작동온도가 160~200°C 부근이어서 취급이 용이하여 실용화가 가장 가까우나 촉매로서 고가의 백금을 사용하는 문제점이 있다. 용융탄산염형은 운전온도가 650°C 부근으로 석탄가스화장치와의 결합으로 고효율의 복합발전시스템으로서의 실현이 기대되나 고온재료의 내구성등의 문제점으로 아직은 개발의 초기단계에 있다.

고체전해질형은 1000°C의 높은 온도에서 작동하기 때문에 높은 효율이 기대되고 있으나 재료의 내구성 등 기술적으로 해결해야 할 문제점이 많아 실용화는 아직 멀 것으로 예상된다.

5. 연료전지개발 현황

5.1 국 외

연료전지의 역사는 1802년 영국의 Davy경이 연료전지발전의 원리를 발견한 후 1839년 영국 W. R Grove경이 수소와 산소를 이용하여 실험을 실시한 것이 최초이다. 이후 유럽에서 개발된 연료전지의 특허를 미국에서 구입하여 우주선용으로 사용하였으며 이를 상업용전원으로 개발, 실용화 단계에 이르게 되었다.

알칼리형 연료전지는 고가의 순수수소를 사용하는 특수성 때문에 유인우주선, 군사용등의 특수용도로 사용되고 있다. 1960년대초 미국의 우주선용으로 개발되어 제미니, 아폴로 유인우주선의 전원 및 식수원으로 사용되었으며 그의 잠수정등의 동력원으로 사용되고 있다.

인산형의 경우 미국은 전기사업용과 가스사업용으로 나누어 개발되고 있는데, 전기사업용은 전력회사와 UT(United Technology)사와 공동으로 1971년부터 개발이 시작되어 1977년에는 1MW급이, 1979년에는 4.5MW급이 개발되었으며 같은 종류의 4.5MW Plant를 1983년 일본 동경전력에서 도입하여 수많은 개량을 거쳐 1985년에 실증시험에 성공하였다. 현재는 전력회사, EPRI와 에너지성(DOE)이 협력하여 IFC(International Fuel Cell)사가 제작한 11MW급 플랜트의 상용화를 목표로 개발중에 있으며 W. H (Westing House)사에서도 375KW 공냉식을 산업용 열병합발전용으로 개발중에 있다.

가스사업용은 가스판매촉진을 위한 것으로 가스사업자의 지원하에 GRI(Gas Research Institute)가 중

(연료전지의 종류)

	알칼리형	인산형	용융탄산염형	고체전해질형
전해질	KOH	H ₃ PO ₄	Li ₂ CO ₃ +K ₂ CO ₃	ZrO ₃ , Y ₂ O ₃
작동온도(°C)	상온-100	160-220	600-700	800-1000
사용연료	순수수소	LNG, 납사 등	LNG, LPG, 석유, 석탄, 메탄올	
실용화 시기	특수용으로 실용화중	1990년대 중반	2000년대 전반	2000년대 후반
효율(%)	45~60	35~45	45~60	50~60

심이 되어 현지설치형(On-Site형)인 열병합용 40KW급을 IFC사에서 개발하여 1983년부터 1986년까지 총 46기를 제작, Field Test를 완료하였고 개량형을 생산한바 있으며 현재는 200KW급의 상용화계획이 구체화 되어 1989년에는 4기의 Proto Type이 판매되어 운전되고 있다.

일본에서의 연료전지개발은 통산산업성 공업기술원의 Moon Light 계획에 포함되어 1981년부터 신에너지산업기술총합개발기구(NEDO)의 주도로 시행되고 있다.

1000KW급 화력발전대체용인 고온, 고압형이 중부전력에서, 도시근교의 분사배치용인 저온, 저압형이 관서전력에서 1987년부터 1년간 각각 운전시험을 완료하고 5MW급의 개발을 1993년부터 추진할 예정이다. On-Site형의 개발은 1986년부터 5개년 계획으로 낙도용 및 업무용 200KW급 시스템을 개발하고 있는데, 낙도용은 메탄올을, 업무용은 도시가스를 연료로 하고 있다.

또한 동경전력에서는 IFC의 11MW급을 도입 1991년부터 시험운전중이며 관서전력에서는 신에너지실험센터에 50KW급 14기, 200KW급 1기를 설치하여 계통연결운전시험중이다. 이외 동경가스, 대판가스 등의 가스회사들도 독자적으로 50KW급 및 200KW급 설비를 도입, 가스판매 촉진용으로 개발하기 위해 대형빌딩, 식당, 호텔등에 운전시험중에 있다.

유럽에서는 인산형의 경우 자국에서 개발하는 것보다 일본이나 미국으로부터 플랜트를 도입, 실증시험을 수행하고 있으며 주로 용융탄산염형이나 고체 전해질형 개발에 주력하고 있다.

용융탄산염형의 경우 미국은 ERC사가 에너지성(DOE)이 지원을 받아 내부개질형 20KW Stack을 개발한바 있으며 이어 70KW를 개발 계획이며 MC Power사에서는 외부개질형 250KW Plant를 개발목표로 하고 있으며 현재 20KW Stack을 시험중에 있다. 일본에서는 50KW실험을 완료하고 1993년 100KW급개발을 목표로 개발사업을 추진중에 있다.

고체전해질형은 미국의 경우 DOE 지원으로 Westing House사에서 100KW급 원통형 Stack을 개발중이며 연간 1만본의 단위전지를 생산할 수 있는 생산시설을 건설하고 있다. 일본의 경우 Moonlight 계획에 의하여 '92년까지 수백와트급 Stack개발을 목표로 하고 있으며 Moonlight계획외에도 전력회사,

중전기기자재회사, 가스회사 등에서 미국과의 공동연구를 시행하고 있다.

그외 고체고분자(Solid Polymer) 연료전지의 개발이 활발한데 메탄올등의 액체연료를 사용할 수 있으며 저온운전가능하여 수송용 동력으로 개발되고 있다.

5.2 국 내

국내에서의 연료전지개발은 1981년 한국동력자원연구소에서 600mmW급 알카리형 단전지를 제작, 연료전지발전의 기초실험을 실시한 것이 체계적인 연구의 처음이라 할 수 있으며 이후 한국전력공사 기술연구원에서 동력자원연구소(현 에너지기술연구소)와 공동으로 5KW급 인산형 연료전지발전 기초실험설비 개발연구를 1985년부터 1989년까지 수행하여 총운전시간 119시간, 발전량 360 KWh를 기록하였으며, 현재는 기초실험설비의 성능개선연구를 수행중에 있다.

한편 1988년부터 과학기술처의 특정연구사업으로 에너지기술연구소가 주관이 되어 소출력 인산형연료전지발전시스템 개발이 추진되고 있는데 이 계획에서는 1992년까지 500W급 Stack을 개발하고 1993년 2KW급 발전시스템을 구성할 계획이다. 또한 동력자원부에서도 대체에너지 개발사업의 연료전지분야 중 인산형의 개발을 국내 산, 학, 연이 참석하는 범국가적개발사업으로 선정하고 40KW급 발전시스템을 1989년부터 1993년까지 5개년계획으로 개발 예정이다.

용융탄산염 및 고체전해질형의 경우는 동력자원부의 대체에너지개발사업으로 대책 및 산업체 연구소에서 수행중에 있으며 단위전지 개발단계에 있다.

최근 우리나라 과학기술을 선진국 수준으로 높여려는 정부의 의지에 따라 수립된 HAN(Highly Advanced National) Project의 연료전지 장기개발 계획에 의하면 2001년을 목표로 인산형은 200KW급 발전시스템을, 용융탄산염형은 내부개질형 20KW, 외부개질형 100KW 발전시스템을, 고체전해질은 2KW급 소형적층전지를 개발토록 되어 있다.

6. 맺음말

연료전지는 저공해성, 에너지절약형 발전방식으로

장래의 유망한 전원으로 알려져 있지만 실용화에는 아직 많은 문제점을 가지고 있다.

현재 기술개발이 활발한 인산형의 경우 건설비가 현재 5000\$/KW 수준으로 높고, Stack수명도 10,000시간 정도로서 목표인 40,000시간에 미치지 못하고 있으며, 전해액의 증발, 성능열화가속, 신뢰성향상 등 해결하여야 할 요소가 많다.

그러나 장래의 에너지수요증대 및 지구환경문제등으로 고효율, 저공해발전기기의 개발이 요구되고 있으므로 선진각국에서 연료전지 상업화를 위한 많은 투자와 연구가 진행되고 있으며 국내에서도 연료전지개발에 관한 정부의 의지가 강하고 산, 학, 연의 관심이 집중되고 있으므로 가까운 시일내 실용화가 가능할 것으로 예상된다.



이창우(李昌雨)

1947년 7월 12일생. 1968년 한전입사. 1977년 동아대 공대 전기제어학과 졸업. 1979년 한전기술개발부 기술총괄과장. 1981년 한전기술연구원 선임연구원. 현재 한전기술연구원 책임연구원.