

에너지節約을 위한

# 磷酸型燃料電池의 開發現況 및 展望

## A Present Status and Prospects for Development of Phosphatic Type Fuel Cell

林 希 天

韓電 技術研究院 先任 研究員

△인산형 연료전지 발전 기초실험설비

發電分野의 에너지 절약정책에 있어서 電力供給 시스템의 高效率化는 아주 重要한 課題이다. 燃料電池發電은 燃料가 갖는 化學 에너지를 電氣 에너지로 變換시키는 直接發電方式으로, 높은 에너지 變換效率 및 無公害 등 여러가지 長點으로 최근 脚光을 받고 있는 에너지節約型 新發電方式이다.

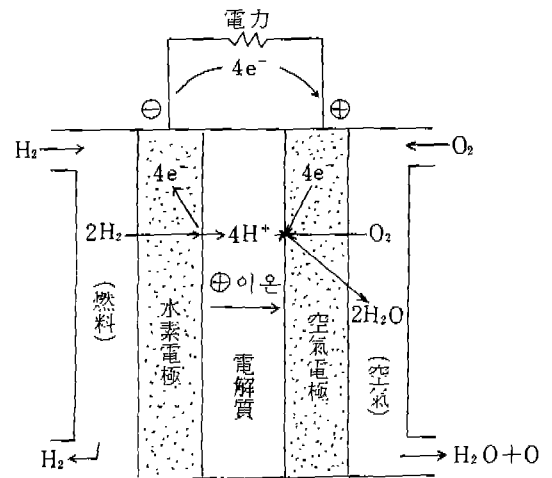
다음은 이러한 연료전지 발전중 실용화가 가장 앞서 있는 磷酸型 燃料電池를 중심으로 하여 원리, 특징 그리고 개발현황 등에 대하여 간략하게 說明하고자 한다.

### 1. 磷酸型 燃料電池 發電의 原理

燃料電池는 앞에서 이야기한 바와 같이 水素 등 燃料과 空氣 등의 酸化劑를 電氣化學的으로 反應시켜 연료가 갖는 化學 에너지를 直接 電氣 에너지로 變換시키는 發電方式이다. 이에 대한 原理를 그림을 통하여 살펴 보면 다음과 같다 (그림 1 참조).

磷酸을 전해질로 사용하는 인산형 연료전지의 單電池 기본구성은 電極(연료극, 산소극)과 전해질, 그리고 가스 통로로 이루어져 있다.

外部에서 供給된 수소(H<sub>2</sub>)는 電極의 触媒層에서 活性化되어 2개의 H<sup>+</sup>ion과 2e<sup>-</sup>(電子)로



〈그림 1〉 인산형 연료전지의 원리



〈표 1〉 燃料電池 種類와 特徵의 比較

		第Ⅰ世代(開發目標 1985~1990)		第Ⅱ世代(1990~95)	第Ⅲ世代(1995)
		알칼리水溶液型	酸水溶液型	熔融碳酸塩型	固體電解質型
電解質部	電解質	水酸化칼륨(KOH)	인산(H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	炭酸리튬(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) 炭酸칼륨(Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	安定화지루코늄 (ZrO <sub>2</sub> +Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
	ion 導電種	OH <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	O <sup>2-</sup>
	比抵抗	~ 1 Ωcm	~ 1 Ωcm	~ 1 Ωcm	~ 10 Ωcm
	作動溫度	50~150℃	190~220℃	600~700℃	~1000℃
電極部	使用法	메트리스 含浸	메트리스 含浸	메트리스 含浸	円筒狀
	觸媒	Ni·銀系	白金系	不必要	不必要
	燃料電極(⊖極)	H <sub>2</sub> + 2 OH <sup>-</sup> → 2 H <sub>2</sub> O + 2 e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> → 2 H <sup>+</sup> + 2 e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> → H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> + 2 e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> + O <sup>2-</sup> → H <sub>2</sub> O + 2 e <sup>-</sup>
	酸化劑電極(⊕極)	$\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O + 2 e <sup>-</sup> → 2 OH <sup>-</sup>	$\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> + 2 H <sup>+</sup> + 2 e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> O	$\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 e <sup>-</sup> → CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	$\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> + 2 e <sup>-</sup> → O <sup>2-</sup>
全反應	H <sub>2</sub> + $\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> + $\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> + $\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> + $\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	
燃料(反應物質)	純水素 (炭酸가스 含有不可)	水素 (炭酸가스 含有可)	水素, 一酸化炭素	水素, 一酸化炭素	
燃料原料	電解工業 副生水素, 水分解 (熱化學法, 電解)	天然가스, 납사 輕 質油, 메탄올	石油, 天然 가스, 石炭	石油, 天然 가스, 石炭	
化石燃料를 이 용할 때 發電시 스템 熱效率	(60%)	40~50%	45~50%	50~60%	
實用化豫測年代	(水素 에너지 時代)	1980年代 後半	1990年代 後半	1995年 以後	
問題點 및 開發 課題	· CO <sub>2</sub> 가 電解質에 溶解하면 劣化한 다. 燃料中 CO <sub>2</sub> 除去技術 · 水·熱收支 制御가 必要 · 燃料電池 本体 效 率	·  값싼 觸媒 開發 또는 白金 使用 · 發電 시스템 全般 長壽命化, 低 cost	· 構成材料 耐蝕, 耐熱性 · CO <sub>2</sub> 循環系等要素 技術開發이 必要 · 熱收支, bottom- ing cycle을 考慮 한 시스템 解析이 必要	· 耐熱材料 · 電解質 安定化 · 電解質 薄膜化	

서 나오는 排熱을 이용할 경우 종합적으로 80% 정도까지도 效率를 기대할 수 있다.

(2) 公害要因이 적다

燃料電池 發電은 연소과정이 없기 때문에 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, 분진 등의 배출물이 아주 적으며 또 大形

回轉部分이 없어 소음도 적고 냉각수의 순환이 없어 온배수의 問題도 적다.

(3) 입지의 제약이 적고 건설공기가 짧다

燃料電池는 모듈 구조(Module)로 제작되기 때문에 제조와 조립이 工場에서 이루어져 건설

〈표 2〉 燃料電池 發電과 火力發電의 比較

區 分	燃料電池 發電	火 力 發 電
發電原理	전기화학반응을 이용	연료의 연소열 이용
大型回轉機	없 음	증기터빈 및 발전기 등
에너지變換過程	화학 에너지 →전기 에너지	화학 에너지 →열 에너지 →운동 에너지 →전기 에너지
效 率	45% 정도 (목표치)	약40%

〈표 3〉 연료전지의 용도

用 途	出 力	備 考
電 氣 事業用	火力發電代替	수10MW이상 대규모 발전소 (중간 및 첨두부하)
	分散配置	수MW~수10kW 도심지, 도시근교 배치
現地設置用 (On-Site)		수10kW~수MW 공장, 호텔, 상가, 병원, 아파트 단지 등
特殊用	獨立電源	수kW~수100kW 벽지, 낙도
	移動用	수kW~수10kW 자동차, 군사용, 우주용

공기의 단축이 기대되고 소요면적도 적어 설비를 수요지 근방에 설치함으로써 送電損失 및 設備費의 부담을 줄일 수 있다.

(4) 負荷 응답성이 좋다

정격출력까지의 出力 變換이 수초 이내에 이루어지며 비교적 단시간내에 起動이 가능한 특징을 지니고 있다. 또한 부분 부하시에도 높은 열효율을 갖는 특징이 있다.

이와 같은 특징으로 연료전지 발전은 熱併用, 落島用 등의 小規模發電으로부터 都心内の 分散電源 등 小型 그리고 火力發電을 代替할 수 있는 大規模發電用까지 多樣한 用途를 지니고 있다.

표 3은 연료전지의 여러가지 용도를 나타낸 것이다.

4. 磷酸型 燃料電池의 開發現況

燃料電池의 歷史는 1802年 이에 대한 可能性을 表示한 후 1839年 英國의 W. R Grove경이 水素 및 酸素를 利用하여 實驗을 실시한 것이 최초이다.

연료전지에 대한 研究開發은 이를 根幹으로

하여 美國에서 宇宙船用 電源으로 技術을 蓄積하여 이를 商業用 電源으로 開發, 그 實用化단계에 이르게 되었다.

인산형 연료전지의 경우 美國은 電氣事業用과 가스 事業用의 두가지로 目標를 나누어 開發되고 있는데, 電氣事業用인 경우 1971년부터 開發이 始作되어 4.5MW 出力 테스트를 실시하였고 같은 종류의 Plant를 일본의 동경전력에서도 도입, 1985년에 실증시험에 성공하였다. 미국에서의 개발은 電力會社, EPRI와 美 에너지省(DOE)이 협력하여 PC-23라 불리는 11MW급 플랜트 개발과 상용화를 목표로 하는 것과 미국 自治電力연합(American Public Power Association : APPA)이 W·H와 ERC(Energy Research Corp)가 개발한 7.5MW급 空冷式 인산형 연료전지 플랜트의 건설을 목표로 연구를 진행하고 있다.

가스 사업용 연료전지 플랜트는 GRI(Gas Research Institute)가 中心이 되어 진행하고 있는 On-Site형 연료전지로서 IFC사(International Fuel Cell Co.)의 PC-18(40kW 급)과 PC-25(200kW급)가 中心이 되어 開發되고 있다. 이중 PC-18은 1983년부터 '86년까지 총 46기가 제작되어 Field Test를 完了하였고, 이

結果를 바탕으로 PC-25의 상용화 계획이 구체화되어 1989년에는 4基의 Proto Type이 판매되어 운전되고 있다. 그림 3은 PC-25의 외형을 나타내고 있다.

일본에서의 인산형 연료전지 개발계획은 通商産業省工業技術院의 Moon Light 계획이 중심이 되어 1981년부터 에너지節約技術의 하나로 시작되고 있다. 이에 따라 新 에너지 산업기술 종합개발기구(NEPO)의 관리하에 火力發電代替用인 高温·高压型이 中部電力에서, 都市近郊의 分散配置用인 低温·低壓型이 關西電力에서 1,000 kW급 Pilot Plant에 의한 시험운전을 완료하였다. On-Site Plant 개발은 1986년부터 5個年 계획으로 落島用 및 業務用 200kW급 시스템을 개발하고 있는데, 낙도용인 경우 메탄올을, 업무용인 경우 都市 가스를 燃料로 하는 시스템이 설치 완료되어 현재 운전시험중에 있다.

民間차원에서의 인산형 연료전지의 개발은 東京電力이 11MW급, 200kW급, 그리고 미스비전기의 220kW급 설비를 北海道電力이 水冷式

100kW 시스템, 東北電力이 50kW급 Fuji 시스템을 각각 시험운전중에 있다. 이外 東京가스, 大阪 가스, 東邦 가스 등 일본내 가스 회사들도 독자적으로 시스템을 도입, 운전 시험중에 있거나 운전시험을 계획하고 있다.

기타 유럽 및 아시아 各國에서는 自國에서 개발하는 것보다 일본이나 미국이 이 분야에 선진국이라는 점에서 이들 국가들로부터 플랜트를 導入, 실증시험을 계획하고 있다.

### 5. 國內의 燃料電池 技術開發 現況

國內에서의 燃料電池 發電技術 開發은 1981年 韓國動力資源研究所에서 60mmW급 알칼리형 單電池를 제작, 연료전지 발전의 基礎實驗을 함과 동시에 技術調査를 實施한 것이 체계적인 연구의 처음이라고 할 수 있다.

1985年부터 韓國電力公社 技術研究院은 韓國動力資源研究所와 共同으로 인산형 연료전지 발전에 관한 기초 실험 연구를 시작하여 국내에서는 最初로 磷酸型 燃料電池 發電 시스템 構成을 완료하고 1988년 6월 燃料電池에 의한 發電에 成功하였다. 본 시스템에서는 연료전지 본체만 일본에서 도입하고 개질장치 및 인버터 그리고 제어장치 등을 國內에서 製作 設置하여 綜合 시스템을 구성, 운전시험을 통한 연료전지의 運轉特性을 파악하였다. 운전특성시험은 1988년 6월 13일부터 '89년 2월 21일에 걸쳐 실시되었는데, 총운전시간 119時間에 발전량 359,823kWh를 기록하였고 最長 連續運轉時間은 51時間 21分을 기록하였다.

한편 1987年末부터 과기처의 特性研究事業으로 韓國動力資源研究所가 주관이 되어 燃料電池의 Stack 개발이 推進되고 있다. 이 계획에서는 3年 이내에 500W급 Stack을 개발하고 계속하여 2kW급까지 확대할 예정이다. 또한 동력자원부에서도 연료전지 개발계획에 참가, 科

#### 電氣모듈

- 인버터
- 트랜스
- 計測
- 制御 (10.9ton)

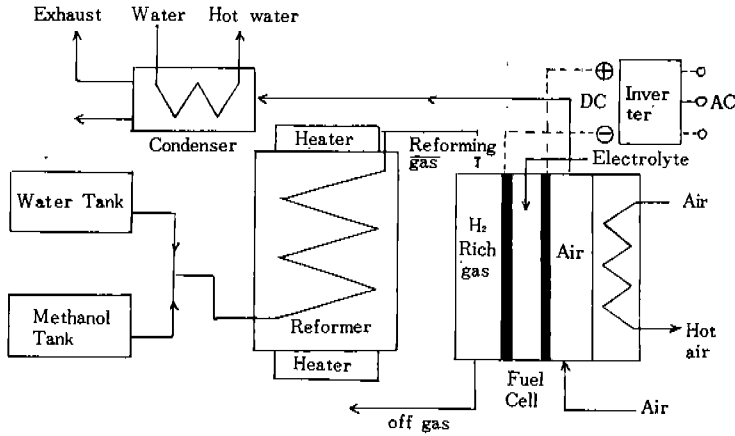
#### 空冷 모듈

- 잉여排熱 放散 (2.3ton)

#### DC 모듈

- 燃料處理
- Cell Stack
- 排熱回收 (22.7ton)
- 總重量 36ton

(그림 3) PC25YX-1 外形



〈그림 4〉 5.9kW 급 인산형 연료전지 시스템 Flow Diagram

學技術處와 함께 凡國家的으로 40kW급 인산형 연료전지 발전 시스템의 實用化를 위한 技術開發을 1989년부터 추진하고 있다.

그림 4 및 표 4는 한전에서 실험되었던 5.9kW 급 인산형 연료전지 시스템의 기본구성을 나타내는 System Flow Diagram과 설비의 개요를 보여주고 있다.

## 6. 磷酸型 燃料電池 問題點과 展望

磷酸型 燃料電池는 장래의 有望한 電源으로 알려져 있지만 아직은 많은 問題點을 가지고 있다.

우선 발전효율이 40% 정도로서 從來의 火力發電效率과 큰 차이가 없어 大規模 發電所用으로는 아직 일러서, On-Site用으로서 Lo-generation을 實行할 필요가 있다. 또한 發電과 동시에 얻어지는 熱은 熱水로서 얻어지기 때문에 이 熱을 有效하게 利用하는 技術과 또 發電部位 외에 周辺技術의 高效率化도 燃料電池의 實用化를 위한 課題이다.

이에 덧붙여 아직은 燃料電池 시스템의 經濟性이 확립되어 있지 않기 때문에 이에 대한 노

〈표 4〉 實驗設備의 概要

용량	전기출력(直流) 5.9kW, (交流) 4.0kW
종류	磷酸 電解質型 燃料電池
사용연료	메탄올
운전온도, 압력	180℃, 常壓
냉각방식	공기냉각

력이 강조되어야만 한다.

磷酸型 燃料電池 시스템은 아직은 해결되어야 할 많은 문제점을 지니고 있지만 商業化를 위한 많은 노력이 着實히 進行되고 있어 여러 종류의 燃料電池 시스템 중에서도 實用化가 가장 빠를 것으로 期待되고 있다.

## 7. 맺음말

燃料電池 發電은 에너지 절약형의 新發電方式으로 아주 많은 長點이 있어 原子力 다음 세대의 發電方式이라고 불리고 있다. 國內에서도 이러한 점에 착안, 燃料電池 發電 시스템의 實用化를 위하여 관련기관 및 연구진의 꾸준한 노력이 필요하다 하겠다.