

Energy 變換 特輯

南 宗 祐*

燃料電池의 現況과 展望

—차 레—

1. 概 要
2. 燃料電池의 電極觸媒
3. 燃料電池에 관한 美國의 Target program

4. 燃料電池에 依한 發電裝置
5. 展 望

1. 概 要

電氣化學의 發展과정을 살펴보면, 燃料電池(Fuel cell)의 가능성이 보인 것은 약 100년쯤 되었으나, 本格的인 研究開發이 진행 된 것은 약 20년정도 밖에 않되어, 근래에 와서 상당한 進展을 보게 되었으며, 최근에는 美國에서 數萬 kW 出力의 大型燃料電池도 試製可動하고 있다.

더욱이 에너지資源의 고갈과 火力發電所의 환경오염, 또는 原子力發電所의 增設과 더부러 深夜의 剩餘電力의 利用方策의 일환으로서 燃料電池의 開發이 매우 필요하게 되었다.

數年前 최초로 아폴로宇宙船에 酸水素系燃料電池를 탑재하여 달탐색에 성공한 경우를 비롯해서, 美國에서는燃料電池의 研究開發의 目標가 宇宙用 또는 軍事用이 주였으나, 1967년경 부터 一般民需用燃料電池로 開發하려는 美國의 有名한 Target program이 設定된 것이다. 즉 이는 美國의 약 30個에 가까운 天然ガス 관련會社가 共同出資하여 Team to Advances Research for Gas Energy Transformation Inc.(Texas州 Dallas市에 設立)의 略字로서 Target라고 名稱하여 工場, 學校, 病院 또는 一般家庭用等의 燃料電池를 共同開發 한 것으로서, 天然ガス를 末端需要場所에 配管供給하여 거기서 燃料電池에 의해서 電池에너지로 變換 시키는 12.5kW의 모델하우스가 전설되었다. 그 후 스웨덴이나 일본등지에서 潛水艦用 動力으로서 數kW 내지 100kW 出力燃料電池 등 各種燃料電池가 研究開發되고 있으며, 더욱이 地球上에 限定了된 에너지資源의 더욱 効率의인 利用方策으로서도 燃料電池의 開發이 시급하게 되었다. 예컨대 현재 사용되고 있는 여러 가지 에너지變換裝置로서 가장 에너지變換効率이 좋은 水蒸氣 터빈 發電機의 경우, 겨우 25~35% 정도

밖에 않되어 나머지 65~75%의 燃料는 헛되이 浪費하고 있지만, 万一燃料電池를 사용할 경우 現在 試製品으로서 에너지變換効率이 50~70%의 것이製作되고 있으며, 장차는 70~80%의 것이 出現할 것으로서豫想된다.

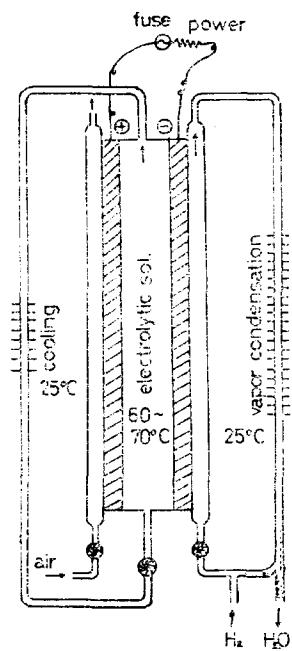
이와같이 燃料電池는 20世紀의 매우 흥미 있는 새로운 에너지變換裝置로 등장하게 되었으며, 이와같은 燃料電池에 依한 發電裝置를製作하는데 있어, 가장 問題가 되는 것은 電極이다. 그리하여 우선 電子授受反應의 觸媒인 燃料電池의 電極觸媒에 관하여 설명하고, 이어 燃料電池 開發에 있어 가장 規模가 큰 團體인 美國의 Target program 및 發電裝置와 끝으로 燃料電池의 展望에 관해서 要約하여 설명하겠다.

2. 燃料電池의 電極觸媒

현재 사용하고 있는 大部分의 電池에 있어서도 空氣電池를 除外하고는 電子傳導體인 固相과 電解質溶液인 液相의 二相만이 接觸하면 發電反應 즉 電池反應이 일어날 수 있지만, 大部分의 燃料電池에서는, 예컨데 Fig. 1과 같은 H₂-O₂系燃料電池의 경우와 같이 電極觸媒 즉 電子傳導體인 固相과 電池活物質인 液相 및 氣相의 三相이 同시에 接觸하여야만이 發電反應이 일어날 수 있으며, 이경우 電池活物質과 電導體間의 電子授受反應의 觸媒役割을 할 수 있는 電極種을 選定하지 않으면 않된다.

燃料電池의 電子授受反應이 正極(positive electrode)과 負極(Negative electrode)에서 일어나는 사이에 電極觸媒로서의 要求되는 特性은 觸媒로서의 有効性, 電觸質溶液인 強酸, 強鹽基性에 대한 耐蝕性, 電導性, 觸媒能의 製壽 및 觸媒被毒을 잘 받지 않아야 하는 등 몇 가지가 있다. 이와같은 要件를 만족 할만한 電極觸媒로서는 아직까지는 pt 및 pd 정도 밖에 없으나 값이 매우 비싸다는 實用的인 면에서 문제점을 지니고

* 仁荷大工大 化工科 教授

Fig. 1. H_2 - O_2 型燃料電池

있다. 그리하여 이와같은 高價의 貴金屬을 電極觸媒로 사용하기 위하여서는, 가능한한 有効하게 또한 소량 사용하는 방법을 모색해야 할것이다. 한편 白金이의의 觸媒能을 갖는 새로운 電極材料의 開發이 필요하다.

實用化라는 견지에서 더욱 可能性이 크다고 생각되는 Target program의 燃酸溶液系의 電池에서는 아직까지는 pt 이외에는 없는 것으로 알고 있다. 즉 테프론粒子를 結合材로 해서 白金黑(platinum black)의 微粒子結晶의 薄膜을 塗布 또는 spray에 의해서 電極構造材網(Tantalum網 또는 多孔性 carbon seat)에 coating하여 電極觸媒로 한다. 이와같은 薄膜電極의 한쪽은 氣體(電池活物質인 O_2 또는 空氣)가 接觸하고 반대쪽은 電解質溶液이 接觸하고 있다(Fig. 1 참조). 이와같이 電極構造材에 coating한 薄膜은 수 μ ~수십 μ 정도로서, 構造材는 동시에 集電用 電導體로서 작용한다. 이와같은 電極을 positive electrode(酸素極)로 한 燃料電池를 製作하여 H_2 -air系를 fuel로 하여 운전한 결과 電流密度 80mA/cm²에서 약 0.6V이었다. 2,000時間 정도는 크게 性能이 떨어지지 않는다는 보고에 따라 實用可能性이 있다고 볼수 있다. 1kw當의 電極面積은 $1,000/(0.08)(0.6)=2.08 \times 10^4 \text{cm}^2$ 가 되어 pt의 必要量은 $(1.5 \times 10^{-3} \text{g}/\text{cm}^2)(2.08 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{kW}) = 30 \text{g}/\text{kW}$ 이며, 따라서 10萬kw 出力分을 이와같은 酸

素極으로 만들어진 燃料電池로 공급한다고 하면, 酸素極만 만드는데 약 32의 白金이 필요하다. 그런데 1970年에 自由진영의 각국에서 產出되는 白金은 45t/yr이므로, 白金을 電極觸媒로 하는 燃料를 電池가 새로운 에너지시스템으로 등장 하기에는 상당히 어렵다고 생각된다.

그리하여 貴金屬을 사용하지 않은 새로운 電極材料의 開發이 중요하다는 것을 이해할 수 있다. 따라서 穀이 싸면서도 安定한 觸媒役割을 할수 있는 것으로서 轉移金屬의 碳化物, 炭火物, 水素化物, 窒化物, 燐化物, 黃化物, 酸化物 기타 金屬間化合物 등을 들수 있으며, 이를중에서도 電解質溶液에 대해서 耐蝕性, 電導性를 갖는것도 많으며, 電極觸媒로서 상당히 有効한 것도 報告되어 있다. 負極으로서 酸性電解質溶液에서 사용할 수 있는 CoP_3 , WC 가 있으며, 알칼리電解質중에서는 Ni_2B 가 알려지고 있으며, 正極으로서는 酸性電解質中에서 有効한 WO_3 -pt系($\text{pt} \sim 0.1 \text{mg}/\text{cm}^2$), 알칼리電解質에서는 10% 정도의 Li_2O 를 固溶시켜서 電導度를 증가시키고, 觸媒能을 증가 시킨 NiO 및 酸化物混合系($\text{MgCuAl}_4\text{O}_8$, $\text{CuCoAl}_4\text{O}_8$, $\text{LaSrCO}_2\text{O}_6$ 등)가 있다.

이중에서 아폴로宇宙船에서 사용된 Bacon型燃料電池에서 有効性이 實證된 $\text{Li}_2\text{O}-\text{NiO}$ 系를 제외 한다면 實用性 및 信賴性인 경에서 여러가지 문제점이 있다. CoP_3 를 테프론을 結合制로 사용하여 製作된 多孔性電極에서는 70°C, 2.5M H_2SO_4 중에서 80mA/cm²의 電流密度에서 過電壓이 60mV라고 하는 性能에서 800時間의 試驗前後에서 差가 나타나지 않았다는 報告도 있다. 이외에 他電極觸媒物質에서는 觸媒能과 耐蝕性에 대해서는 상당히 만족 하지만 대부분이 數日정도에서 性能이 떨어져 實用性이 없다.

3. 燃料電池에 관한 美國의 Target program

全世界의으로 電力需要가 비약적으로 증가함에 따라 積極으로 電力を 大量 供給하는 것이 금후의 과제라고 생각된다. 현재 사용되고 있는 電力質중 送配電費가 차지하는 비율이 매우 커, 가령 美國의 경우 가정用電力費의 77~78%가 送配電費인 경우가 많다. 이에 반해서 가스를 燃料로 하는 에너지輸送은 매우 경제적인 것으로서, 같은 量의 에너지를 輸送하는 電力系統의 輸送費의 數分의 一 정도로서, 가령 90cm經의 天然gas管은 50萬V 送電의 경우와 비교하면 同一한 經費로 6倍以上的 에너지를 輸送할 수 있다.

이와같은 사실에서 현재의 電力輸送方法을 바꾸어

末端電力需要場所에서 가스를 사용하여 發電시키는 소위 On-site Power Generation 方式을 채택하기 위한 방법으로서 몇가지 發電法을 생각할 수 있으나, 驚音 또는 環境汚染등을 고려할 때 현재와 같은 發電方式은 매우 부적합하며, 특히 比較的 小規模裝置에 의한 發電이 可能하고, 단기간에 건설이 가능하고, 負荷應動能力이 크고, 電壓 및 周波數의 變動이 적고, 供給信賴度가 크고, 運轉上 無人自動化가 가능하고, 補修가 간단하고, 長期間 安全한 發電을 할 수 있는 發電裝置로서는 오직 燃料電池뿐이라고 생각 된다. 그리하여 上記 여러가지 條件을 만족할 수 있는 電力需要處에서의 燃料電池라고 하는 發電裝置를 開發하기 위해서 設立 된것이 美國의 Target program이다.

그리하여 Target社에서는 이미 3000萬世帶이상의 家庭에 가스配管이 되어 있어, 이것을 利用하는 方策으로서 前記 On-site Power Generation의 最小單位로서 12.5kW 规格의 燃料電池를 定格화 시키고, 더욱 큰 容量의 電力を 要할때는 이와같은 12.5kW의 單位 發電裝置를 並列 또는 直列로 연결하는 방식을 취하여 최고 2萬數千kW 出力까지를 고려하여 家庭, 아파트, 地盤, 痘院, 學校, 事務所 또는 輕工業等에 亂간으로 電力を 供給 하는것이 Target program의 원래의 目的이다.

Target program의 초기에는 酸性 또는 鹽基性電解液을 사용하는 低溫用電池, KOH 또는 炭酸鹽을 電解質으로 熔融鹽電池 또는 固體電解質高溫型 등이 고려되었지만, 결국 PWA社(아폴로宇宙船의 電源用燃料電池製作所)의 燃酸電解質燃料電池, I.G.T (Institute of Gas Technology, Illinois州)의 熔融鹽電解質電池 등이 有望한 電池型으로서 인정을 받게 되었다.

PWA社의 燃料電池 시스템은 대부분 PC(powercell)라고 하는 商品名으로 統一되어, PC 2, 8, 11, 12 등 여러가지가 있으나, Target program用으로서 채택될 것은 PC 11로서, 1971年 이후 매우 많은 臺數의 裝置가 家庭, 아파트, 商店, 食堂, 事務所등에 設置되어 3個月 이상의 運轉試驗이 행하여졌다.

4. 燃料電池에 依한 發電裝置

PC-11型 燃料電池에 依한 發電裝置는 天然gas를 水蒸氣改質에 의해 H₂가 풍부한 가스를 얻는 Reformer Section, H₂와 空氣에 의해 燃料電池에서 直流電力を 얻는 Power Section 및 直流電力を 交流電力を 通过する Inverter Section으로 이루어졌으며, Reformer Section과 Power Section을 한 파케이지

로, Inverter를 별도로 한것으로서 그 系統을 Fig. 2에 圖示하였다.

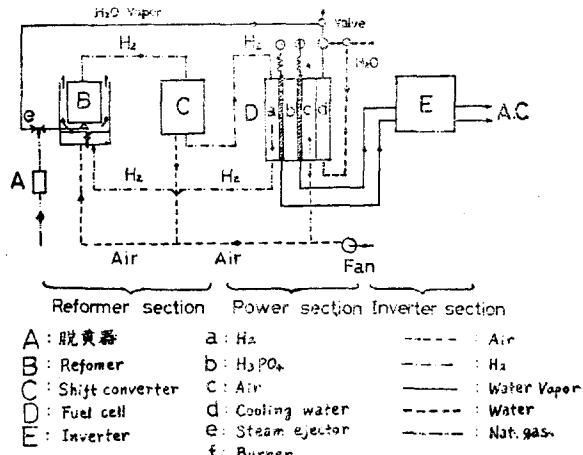
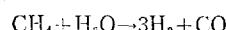
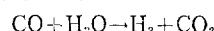


Fig. 2. PC-11型 燃料電池發電裝置

天然gas는 우선 脫質되어, Steam ejector에서 燃料電池의 冷却水로부터 水蒸氣와 같이 Reformer로 들어가 과정水蒸氣存在下에서, 또한 800°C 정도의 溫度에서

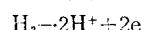


와 같은 反應에 의해 改質된다. 이 反應은 吸熱反應이므로 燃料電池로부터 배출되는 未反應水素의 燃燒에 의해 溫度가 유지된다. 이 改質gas는 Shift Converter로 들어가 殘存水蒸氣에 의해, 다음과 같은 轉化反應을 하여 氣體中에 H₂量을 增加시킨다. 이 反應은 發熱反應이므로

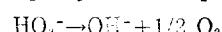
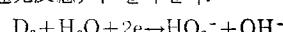


Shift Converter는 空氣에 의해 冷却되고 있다. 이와 같이 해서 생성된 H₂가 갖고 있는 热量과 原料인 天然gas가 갖는 热量과의 比較에서부터 얻어지는 改質效率은 85%를 넘는 값이 된다. 改質部에서부터 나오는 氣體는 冷却되어 Power Section으로 送入된다.

Power Section에 있는 燃料電池의 負極에서는 改質部에서 들어온 H₂가 다음과 같은 電子授受反應(即 發電反應)이 일어나며,



한편 正極에서는 空氣중의 O₂와 負極에서 생성된 電子가 外部回路를 通過하여 전달되어 다음과 같은 發電反應(即 還元反應)이 일어난다.



이상의 電極反應에서 生成된 H⁺와 OH⁻은 中和反應에 의해 H₂O가 生成되어 發然反應으로 因해서 水蒸

氣가 發生하게 된다.

이와같은 單位體의 燃料電池를 直列로 200個를 連結 한것이 Power Section이다. 燃料電池는 水冷되어 溫度가 120°C 정도로 유지함과 동시에 改質部에서 諸요한 水蒸氣를 全部 供給할 수 있게 된다. 電池液은 磷酸(96% 이상)으로서 靜止型이다. 空氣는 送風機에 의해서 酸化劑로서의 燃料電池로, 한편 converter로 負荷變動에 따라 自動的으로 조절되면서 送入된다. 또한 비상시에는 系의 流動을 自動的으로 정지 시키는 安全裝置가 붙어 있다. 이들 補助裝置에 諸요한 電力은 定格出力의 1% 이하이며, Power Section에서의 熱效率에相當하는 값은 55% 정도이다.

Inverter에서는 120/240V의 單相交流 또는 120/208V의 三相交流電力이 周波數 60Hz로 連어지게끔 되어 있다.

5. 展 望

前記와 같은 PC-11型 燃料電池發電裝置는 大量生產에 의해서 發電裝置建設單價가 적어질 것으로 기대되며, PWA社가 試算한 결과로서는 年間 10,000臺의 生產數로서는 350弗/kw, 100,000臺인 경우는 200弗/kw가 될것이며, 장차 電池構成材料의 選擇 또는 電池性能의 向上에 의해서 150~120弗/kw 정도로 기대할 수 있다고 한다. 美國의 電力 또는 에너지市場에서의 檢討에 의하면, 燃料電池發展裝置의 最終價格이 100~

300弗/kw 정도가 되지 않으면, 현재의 電力設備와競合할 수 없다고 한다.

熱效率 40%, 負荷率 40%의 경우에 대해서 建設費의 半額을 借入金으로 해서 利子 7%, 稅率을 50%로 하여 試算하고, 發電裝置의 建設費를 200\$/kw로 하여는 美國에서의 天然ガス값과 電力費에서부터 發電裝置의壽命이 5年 이상만 되면은 充分히 현재의 電力費와競合된다고 한다. 그런데 PC-11型의壽命이 1978年까지는 7.5年으로 연장할 수 있다는 것으로서,萬一와같이 되면 美國의 Target program은 成功했다고 할 수 있다.

한편 너무 지나친 大型發電裝置보다는 2~3萬kw 規模로서 分散發電(Dispersed Power Generation)하는 것이 热效率上 有利하므로 發電容量의 上限을 이정도로 하는 것이 적당 하리라 생각된다. 發電裝置의 热效率은 현재로서는 40% 정도로서 현재의 火力發電의 热效率에 비교해서 그다지 높은 값은 아니지만, 裝置改繕에 노력하면 더욱 높은 效率의 燃料電池에 依한 發電裝置가 出現하리라 생각된다.

특히 각종 產業發展에 수반하는 環境污染 또한 都心公害를 고려할 때 燃料電池發電裝置가 廣範圖하게 實用化 될것으로展望된다. 다음 表 1에 기술한바와 같이 各種火力發電所와 燃料電池發電裝置에서의 污染物質의 量의 差에서부터 알 수 있는 바와 같이, 깨끗한 環境을 保存하기 위해서도 매우 有望한 發電裝置라고 생각된다.

表 1. 發電方式과 排氣ガス중의 污染物質量

污 染 物 質	10 ⁶ KWH 出力量當의 污染物質의 kg數			
	Nat. gas 專用 火 力 發 電 所	重 油 專用 火 力 發 電 所	石 殼 專用 火 力 發 電 所	試 驗 用 燃 料 雷 油 發 電 裝 置
SO ₂	2.5~230	4,550~10,900	8,200~14,500	0~0.12
질 소 산 화 물	1,800	3,200	3,200	63~107
炭 化 水 素	20~1,270	135~5,000	30~10,000	14~102
분 진	0~90	45~320	365~680	0~0.014

우리나라에 있어서도, 곧 준공될 60萬kw出力의 경남 古里 原子力發電所가 完成되어 가동할 경우, 深夜의 剩餘電力を 利用하기 위한 方策으로서, 또한 煤炭으로 電力を 供給하기 위해서 燃料電池發電裝置의 導入 또는 開發을 必然的으로 해야 할 것으로 생각된다. 즉 大型電解槽을 原子力發電所 近方에 建設하여 深夜의 剩餘電力에 依해서 電氣分解하여 連어지는 水素

를 貯藏탱크에 貯藏한 후, 末端電力需要處, 예컨대 서울近郊까지 gas pipe line에 依해서 水素를 運搬하여 燃料電池發電裝置에 供給하므로서, 高壓送電法에 依해서 供給하는 電力費보다 월등하게 省略으로 電力を 供給 받을 수 있으며, 또한 深夜의 剩餘電力도 有効하게 利用되면서 環境污染 問題도 解消 될 것으로 생각된다.