

産學協同 시리즈
INDUSTRY
&
UNIVERSITY

來日の 에너지-水素-

—技術開發 現況과 問題(I)—

尹 景 錫

韓國科學技術研究所

Energy of Tomorrow-Hydrogen-

Kyung-Suk Yun

Korea Institute of Science and Technology,

Seoul 132, Korea

1. 서 론

지난 70년대 초반에 일어난 석유 파동 이래
에 석유 자원의 고갈과 石油 危機에 대한 염려
가 表面化되면서 부터 선진 각국은 대체 에너지
연구 개발에 박차를 가하고 있다. 現代生活에
石油과 天然가스 등 燃料로서 뿐 아니라 原料로
서도 化石 에너지가 차지하는 비중은 막중한 것
이어서 이의 점진적 枯渴에 의한 가격 상승은
각국의 경제성장을 둔화시킬 뿐 아니라 개개인
의 생활 안정을 위협하고 있다. 이러한 상황하
에 化石燃料의 有力한 候補로 登場한 것이 바로
水素이다.

水素는 잘 알려진 바와 같이 無色, 無臭의 氣
體이며 元素의 제 1번으로서 지금까지 알려진
物質중에서 가장 가벼워서 공기에 비하면 그 比
重이 약 7% 정도에 지나지 않는다.

水素는 지금까지 암모니아, 메탄올 제조용 원
료로 대부분 사용되어 왔으나 최근에 이르러서
는 重油의 脫磺用으로 또 石油化學工業의 合成
原料로 大量으로 소비되고 있다. 현재의 사용도
를 나열하여 보면 암모니아 合成에 약 46% 石

油 精製에 약 28% 메탄올 製造에 약 14%로 총
水素 生産量의 88%를 化學用 水素로 소비되고
있고 그 나머지는 대부분 合成用 基礎原料나 金
屬 製鍊用으로 소규모 사용되고 있다. 水素를
에너지로 사용하는 商用化한 시스템은 아직 개
발되어 있지 않으나 石炭을 原料로 하는 都市가
스의 성분중 약 50%가 水素이며 최근에는 천연
가스와 LPG의 熱量 調整用으로 소규모 사용되
고 있다. 순수한 연료로는 NASA에서 로켓트
추진용 연료로 사용한 예를 들 수 있겠다. 그러
나 水素가 일차적 에너지가 아니라 에너지 媒擔
體(energy carrier)로서 본격적 注目을 끌기 시
작한 것은 1970년대 부터라고 할 수 있어서 본
해설에서는 수소에너지가 주목되게된 背景, 水
素燃料의 特徵, 關連技術, 研究開發의 現況 및
問題點 등을 기술하고자 한다.

2. 素水 에너지 시스템

現在の 에너지 시스템은 1차적 에너지源으로
서 化石類 에너지를 주축으로 하고 있으며 이를
電力으로 變換하거나 또는 직접 정제하여 最終

需要者에게 공급하고 있다. 따라서 현대의 에너지 시스템은 2차 에너지로서 燃料과 電力이 병용되는 複合에너지 시스템이라 할 수 있다. 燃料과 電力의 특징을 비교하여 본다면 다음과 같다.

(1) 燃料

- (1) 貯藏性이 좋고 長期的이다
- (2) 燃燒가 容易하며 熱을 使用한다
- (3) 化石類 燃料는 比較的 低廉하다

(2) 電力

- (1) 다른 形態의 에너지로 變換이 容易하다
- (2) 制御가 쉽다
- (3) 利用에 汚染物 生成이 없다

그러나 미래의 에너지 시스템은 核分裂, 核融合 등 原子力과 太陽, 風, 地熱 등이 주요한 1차 에너지가 될 것이므로 이를 電力으로 變換하는 것은 물론 또 다른 形態의 2차 에너지로 變換하여 최종 수요자에게 공급되어야 한다.

현대의 사회생활은 석유, 가스, 석탄등 소규모 저장과 수송에 편리한 에너지 사용에 익숙해져 있기 때문에 어떠한 형태이던 이와 흡사한 2차 에너지(energy carrier)의 개발은 필수적 조건이 된다.

수소가 2차 에너지로서 주목을 받게 된 이유는 다음과 같다.

- (1) 물을 원료로 하는 수소는 자원이 無限하며 연소후에 물로 재순환 된다.
- (2) 연소시에 오염물 배출이 없다.
- (3) 液化, 金屬 水素化合物等 대규모 및 소규모 저장이 가능하다.
- (4) 電力 \leftrightarrow 水素의 상호 變換이 가능하다.
- (5) 電力에 비해 수송 손실이 적다.

이상과 같이 수소는 1차 에너지 및 電力의 輸送, 貯藏, 利用에 있어서 지금까지 고려되고 있는 다른 어떤 시스템보다 가장 합리적인 방법임을 나타낸다.

Fig. 1의 a) b)는 현재와 미래의 에너지 시스템을 비교한 것이다.

原子爐는 人口가 密集되어 있는 地帶에 建設

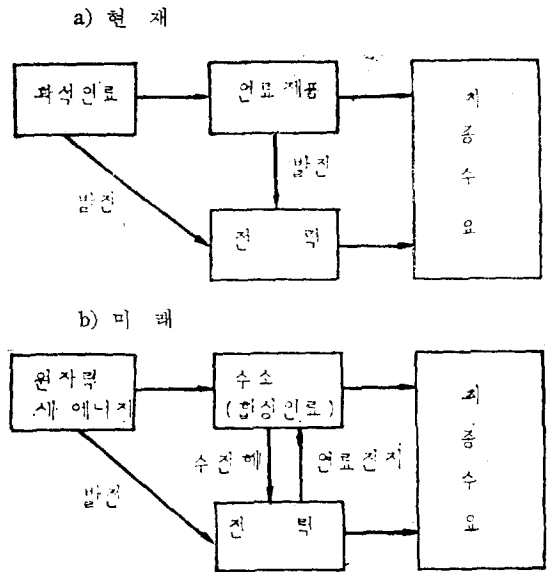


Fig. 1. 現在와 未來의 에너지 시스템 比較

하기는 困難하며 태양에너지도 그 密度가 낮으므로 에너지 捕集에 大規模의 시설과 용지가 필요하므로 에너지 消費地에서 數千 km 떨어져 建設될 것이다. 따라서 에너지 輸送問題가 대두되는데 遠隔地의 送電은 에너지 損失이 무시 못할 정도로 크기 때문에 이러한 경우에 다른 形態로 에너지 輸送이 더욱 바람직하다.

遠隔地 에너지 수송에 損失을 줄이는 方法으로 「水素經濟」는 다음과 같은 方法을 제시한다. 즉 태양과 原子力에서 얻은 電力을 水素로 變換하여 파이프라인으로 輸送 또는 저장하고 消費

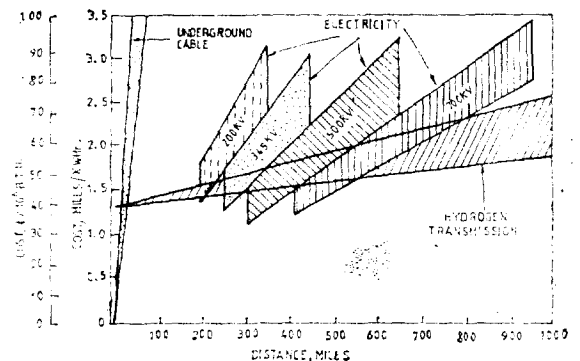


Fig. 2. Relative costs of energy transmission by electricity cables and by hydrogen pipeline⁶³⁾

者는 이것을 燃料電池에 의해 電力으로 다시 바꾸어 쓰던가 아니면 직접 燃料로 사용하여 送電에 의한 에너지 損失을 최소한으로 減할 수 있다는 것이다.

電力과 水素의 輸送費를 距離와 送電電力과의 關係로 본 것이 Fig. 2이다. 일반적으로 이 그림은 에너지의 遠隔地 輸送에는 pipeline에 의한 水素 輸送이 有利하다는 것을 나타낸다.

3. 水素燃料의 特徵

水素가 갖는 燃料로서의 基本的 特性은 이미

Table 1. 水素와 메탄의 特性比較

項目	種類	水	素	메	탄
分子量[g/mol]		2.016		16.04	
比重[空氣:1]				0.555	
水 點[OK]		13.8		90.6	
融解熱[cal/g]		13.9		14	
沸 點[OK]		20.3		111.7	
蒸發熱[cal/g]		106.5		121.9	
密 度[g/l]	液体	71		425	
	氣體	0.082		0.717	
粘性(0°C, 1기압) [10 ⁻⁶ poise]		84.2		100	
分子運動速度(0°C)[m/s]		1692		600	
氣化膨脹率[倍]		865		650	
燃燒熱(25°C)[kcal/mol]		57.8		191.8	
發熱量[kcal/Nm ³]		305		9520	
燃燒速度[m/s]		2.92		0.374	
可燃混合率[%]	空氣中	4-75		5-15	
	酸素中	4-95		5-61	
爆發範圍(空氣中)低[%]		18.3		18.3	
	高[%]	59.0		59.0	
自動點火溫度[°C]		571		632	
最小點火에너지[mJ]		0.6 (4% H ₂)		—	
	(空氣中)	0.02 (30% H ₂)		0.3	
炎最高溫度(18°C 空氣中) [°C]		2200		1980	
炎 色		無 色		靑黃色	
溶解度(100g-물)[cm ³]		2.1(0°C)		3.3(20°C)	
燃燒量	[l]	87		28	
空氣量	[l]	207		263	
生成物	H ₂ O	87.8		55.2	
	CO ₂	0		27.8	
	N ₂	164.2		206.7	

前章에서 記述되었으나 이를 보다 구체화 하기 위하여 Table 1에서는 天然가스의 主成分인 메탄(CH₄)의 特性과 比較하였다.

燃料로서의 水素나 메탄가스는 그 利用技術에 있어서 여러가지로 類似性이 있으나 에너지 密度, 點火, 可燃性 등 燃料 特性은 큰 差異를 갖고 있다.

따라서 水素 에너지 시스템의 開發研究는 燃料 特性뿐 아니라 環境과 安全的 측면에서도 고려되어야 한다.

3-1)

化石燃料의 燃燒에는 SO_x, NO_x, CO_x, 粉塵 등이 放出되어 大氣汚染의 큰 原因이 되고 있으나 水素를 燃燒시킬때는 물이 生成되어 다시 資源이 된다. 이러한 에너지 資源의 完全 閉사이 클은 自然의 物質循環에 아무런 影響을 주지 않으며 燃燒時에 약간 生成되는 NO_x도 燃燒條件의 選定에 따라 最小限으로 抑制할 수 있으므로 大氣汚染의 原因도 전혀 없다고 할 수 있다.

Fig. 3은 수소 에너지 시스템의 物質循環을 도식적으로 표시한 것이다.

수소 에너지 시스템은 環境에 影響을 주는 要因은 없으나 一次에너지로서 原子力을 利用할 경우에는 氣體, 液體, 固體의 放射性 物質 또는 廢棄物이 排出된다. 이러한 것들은 地球上의 生物界에 새로운 環境問題를 惹起시킬 可能性이 있지만 수소 에너지 시스템 자체의 結算은 아니며 또 수소 경제를 떠나서도 化石에너지, 원자력 등이 끼치는 環境問題를 解決하고 더 나아가서는 公害要因이 없는 새로운 一次 에너지源의

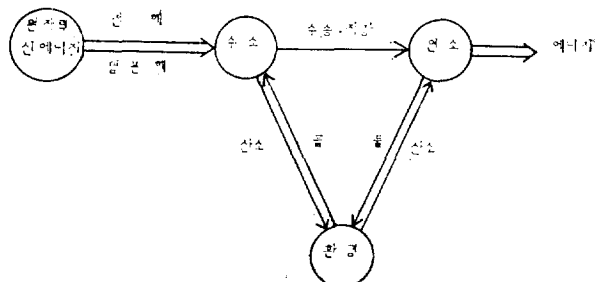


Fig. 3. 水素에너지 시스템의 物質循環

開發은 앞으로 人類가 當面한 필수적 課題이다.

3-2) 安全¹⁻⁵⁾

일반적으로 수소는 폭발성이 강한 위험 가스로 알려져 있으나 연료의 안정성 문제는 상대적인 것으로 우수한 연료일수록 위험성이 높다. 메탄가스에 비해 위험성이 높은 사항은 다음과 같다.

- (1) 可燃範圍가 넓다
- (2) 點火 에너지가 낮다
- (3) 漏洩 危險性이 높다
- (4) 燃燒速度가 높다
- (5) 炎色이 無色이다
- (6) 常溫에서 氣體膨脹時에 Joule-Thompson 效果가 없어서 漏洩時에 自動點火의 危險이 있다.

그러나 반면에 水素가 天然가스에 비해 危險性이 적다고 지적되는 사항은

- (1) 單位 體積當 發熱量이 적다
- (2) 最小 可燃 混合率이 낮다
- (3) 分子 運動 速度가 높으므로 漏洩時에 공기 중에 희석이 빠르다
- (4) 比重이 적어 空氣中에 상승 확산된다

더욱이 현재 使用中에 있는 프로판가스와 비교한다면 가스의 누출시에 프로판가스는 공기보

다 비중이 크므로 누출 장소에 집결되어 폭발 위험이 크지만 수소는 이러한 경우 消散速度가 빨라서 그만큼 위험이 減少된다 하겠다. 液化水素는 이미 여러 나라에서 貯藏탱크와 輸送탱크를 개발하여 陸路, 海上을 通하여 商去來되고 있으며 그취급에 대한 安全守則도 나와 있다. 그러나 液化水素의 沸點은 LPG에 비해 매우 낮아서 (20.3°K) 壓出(purge)가스로 헬륨 이외에는 使用할 수 없는 것이 큰 短點이라 하겠다.

4. 水素의 製造技術 現況과 問題點

現在의 水素製造는 대부분 化石燃料의 熱分解로 行하고 있다. 資源의인 면에서 장래에 이 방법은 바람직하지 못하다. 石炭의 埋藏量은 石油에 비해 豊富하여 石炭의 가스化에 의한 水素製造는 本格的 水素經濟에 앞서 過渡的 方法으로 考慮되고 있다. 따라서 現在 技術開發에 박차를 가하고 있는 一次 에너지로서의 原子力과 太陽에너지를 비롯한 새 에너지源의 開發은 水素經濟의 전제조건이 된다. 물을 原料로 하는 水素製造方法으로 現在 研究開發되고 있는 분야를 대별하면 電氣分解法, 熱化學法, 直接分解法, 光分解法, 放射線分解法, 生物學法, 石炭가스法 또는 以上の 諸方法을 混合한 複合法 등이

Table 2. 水素製造法の 比較

製 解 法	原 理	特 徵	問 題 點
電 解 法	水溶液의 電氣의 分解	高純度の 水素, 酸素 有害物이 없음. 裝置의 高信賴性	電流密度가 높을수록 電力效率이 低下됨
熱 化 學 法	數段階의 化學反應을 通한 間接的 熱分解	比較的 低溫反應, 大量生産 可能, 反應媒体 再利用	裝置의 腐蝕, 廢棄物 汚染源, 效率低調
直接熱分解法	高溫熱源에 의한 直接熱分解	最小 2000°C 以上の 熱源必要, 高溫에서 熱效率이 높음	耐熱材料, 水素, 酸素의 分離
光 分 解 法	光化學的·光電氣化學的 原理	太陽, 에너지 利用 半導體 電極, 開發初期의 技術	低變換率 電極의 腐蝕
放射線分解法	放射線에 의한 直接 또는 間接的 分解	放射線 에너지 利用, 比較的 低溫分解	低效率 核分裂生成物
生 物 學 法	微生物 또는 植物의 光合成 作用	太陽에너지 利用, 副產物 利用	物質代謝의 適定, 低變換率
石 炭 가 스 法	高溫, 高壓에서의	石炭利用, 開發되어 있는 技術, 環境汚染	熱效率이 낮음 CO ₂ 의 生成抑制 및 除去

있다. Table 2는 以上の 諸方法의 原理, 特徵, 問題點 등을 간략하여 比較 나열하였다. 그러나 본 解説에서는 電氣分解法과 熱化學法만 論하고자 한다.

4-1. 水電解法

水電解法은 장치의 조작 制御가 간단하고 信賴性이 높은 것을 특징으로 한다. 특히 陽極과 陰極에서 高純度의 酸素, 水素가 격리되어 발생하므로 生成氣體의 별도분리가 必要없고 또 高壓電解槽의 경우 pipeline에 의한 直接輸送이 가능한 點등 長點이 많다. 高價인 電力이 아직도 큰 問題로 남아있다. 歷史적으로 가장 오래된 技術이지만 아직 大型 plant 建設이 없는 點이나 技術적으로 아직도 未解決 問題가 많은 것은 바로 이러한 理由에서이다. 현재 商用 電解槽의 效率(消耗電力: 發生水素熱量)은 대략 75~80%이지만 電解質, 電極, 隔膜 등의 改造로 100% 이상의 效率를 目標로 研究開發중에 있다.

(1) 電氣分解의 에너지 效率

물의 電氣分解는 水素는 水素燃焼의 逆反應과 같으므로 理論적으로는 電氣分解의 소요 에너지와 水素의 燃焼熱량과 같다. 定溫, 定壓에서 電極反應은 自由에너지의 變化(ΔG)로 표시되지만 이 反應은 吸熱反應이므로 總 에너지의 變化(ΔH)는 다음 식과 같이 표시된다.

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S$$

$$= -nFE + nFT\left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_P \quad (1)$$

여기서 T 는 온도($^{\circ}\text{K}$), S 는 entropy, n 은 交換 電子數, F 는 Faraday 常數, E 는 電極電壓(volt)을 각각 나타낸다.

따라서 25°C 에서 電壓 1.23V(平衡電壓)이면 理論적으로 電解가 일어나겠지만 吸熱反應에 의한 電解槽의 冷却 현상이 일어나 等溫을 維持하기 위해서는 entropy 분에 해당하는 電壓 0.24 V가 追加된다. 즉 電壓 1.47V(等溫電壓)는 水素의 燃焼熱량과 같아서 에너지 效率 100%가 된다. 常溫에서의 電氣分解는 여러 종류의 에너지 損失로 인하여 에너지 效率도 이에 따라 減少되겠지만 Fig. 4에 제시한 바와 같이 온도

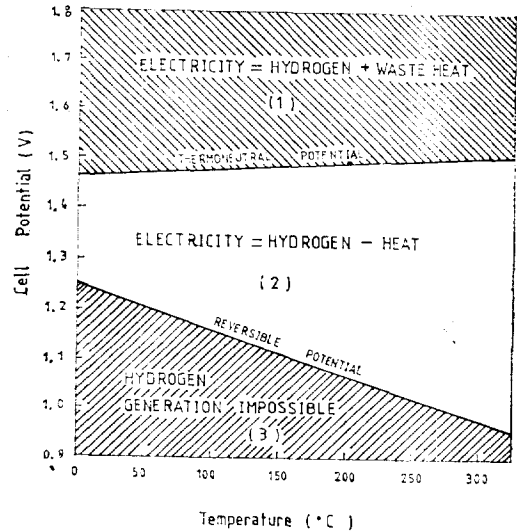


Fig. 4. Idealized operating conditions for electrolyzer⁶⁾

가 높아지면 電極의 反應速度도 빨라지고 平衡電壓(reversible potential)이 等溫電壓(thermoneutral potential)의 增加率에 비해 급격히 감소되므로 高溫에서의 電氣分解는 熱力學 法則을 위배함이 없이 에너지 效率 100%의 달성은 技術적으로 가능한 것으로 보고 있다. 그림에서 電解槽의 作業條件(1)의 범위에서는 소요 電力이 熱損失 에너지 效率이 100% 이상이 되며 (3)에서는 水素 發生이 不可能하다.

電壓과 電力(P)과의 관계는 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$E = E_0 + \frac{3RT}{4F} \log P \quad (2)$$

여기서 E_0 는 表準平衡電壓을 뜻하며 25°C 에서 $3RT/4F$ 의 43mV로 電解槽의 壓力이 10 배 增加하면 電解電壓이 43mV 높아진다는 것을 뜻한다.

高壓電解槽의 長點은 發生 氣體의 氣泡가 작아서 電解質의 電導度에 미치는 영향이 적으며 또 pumping 효과가 높아 전체적으로 에너지 效率이 增加한다.

電解槽에서 에너지 效率을 減少시키는 要因들은 電解質의 電氣抵抗, 濃度 變化에 의한 過電

壓, 電極과 電解質 사이의 二重층 형성 등을 들 수 있고 그의 導線의 電抵抗에 의한 약간의 損失이 있다. 또다른 要因은 水溶液에 溶解되어 있는 水素와 酸素의 再結合을 들 수 있는데 이는 高壓電解槽의 경우 더욱 현저히 나타난다.

(2) 電解槽의 構造

現在 알려져 있는 모든 電解槽의 形態는 Fig. 5에 표시한 대로 單極型(unipolar)-Tank型和 雙極型(bipolar)-Filter Press型的 二重으로 區分된다. 그 대표적인 長·短點은 다음과 같다.

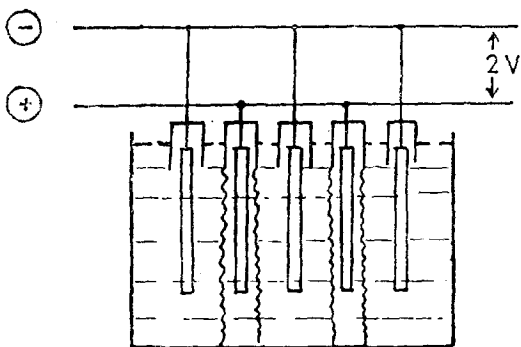
單極型

- 長點 1. 電解槽의 單純
2. 電解槽의 個別隔離可能
短點 1. 高溫 高壓 電解가 難함
2. 場所 점유율이 높다

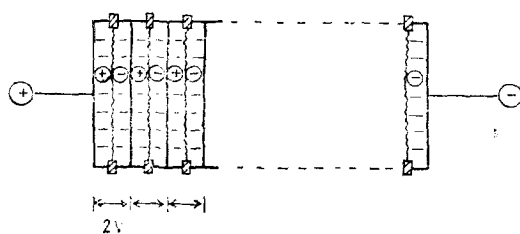
雙極型

- 長點 1. 裝置의 小型化
2. 高溫 高壓 電解可能
短點 1. Sealing 問題
2. 電解槽의 個別 隔離不能

一般적으로 單極型은 에너지 效率이 낮아서



(a) Unipolar (Tank-Type)



(b) Bipolar (Filter-Press Type)

Fig. 5. Schematic diagram of electrolyzer types

電力費가 적은 나라에서 使用되며 雙極型은 效率이 높은 點 이외에 高溫 高壓電解가 可能하며 生成된 水素, 酸素의 輸送, 貯藏등이 有利한 것으로 알려져 있다.

電解槽에서 가장 重要한 部分인 電極의 材料는 Pt가 가장 過電壓이 적어서 이상적이지만 高價이므로 大部分 商用의 電解槽에서는 Ni를 使用한다. 一般적으로 電極이 平板型보다 多孔性 電極이 過電壓이 낮으며 Ni-觸媒電極은 電解溫度 100°C에서 電解電壓이 1.5V이하로 低下된다(3% KOH, 20A/dm²). 그러나 高溫 高壓下에서의 電極의 耐久性 向上은 아직도 技術의 解決하여야 할 問題이다.

隔膜은 흔히 아스베스트를 使用하지만 高溫 電解槽에서는 부적당하며 高溫 알칼리성 水溶液에서 耐蝕性和 耐熱性이 강한 Teflon의 使用이 有望하다.

그의 高用電解槽는 直流電源 및 電力負荷變動器, 均壓裝置, 冷却器 氣液分離器 등이 부착되어 있다.

(3) 工業用 電解槽의 現況

工業用 電解槽의 技術現況과 開發分野에 대해서는 많은 報告書와 解説이 나와있다. 여기서는 現在 商用化 되어 있는 그리고 앞으로 商用化 電解槽를 製作會社別로 그 特性 및 長短點을 比較해 보고자 한다.

(1) Electrolyser Corporation Ltd.⁷⁾

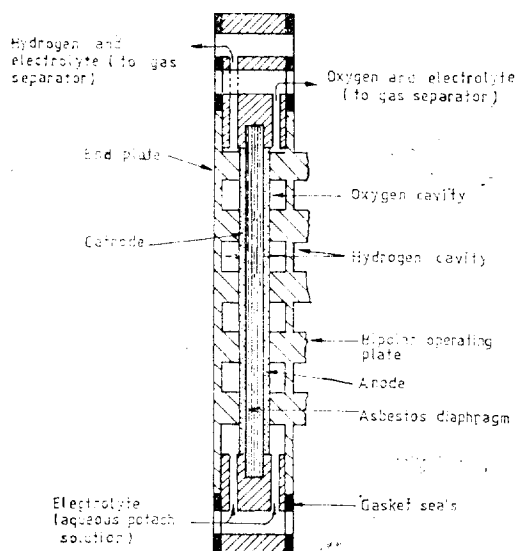
一名 Stuart Cell이라 하며 單極型 電解槽로서 그 一般의 特性은 Table. 3에 수록된 바와 같다. 第一電解槽의 크기는 4,000A (63.6ft³H₂/hr)에서 22,000A (349.8ft³H₂/hr)의 여러 종류를 製作하며 한편 20~1,000 ft³H₂/hr 용량의 水素發生器를 판매하고 있다.

電解槽의 낮은 에너지 效率이 가장 큰 短點으로 지적되고 있으므로 作業溫度를 70°C에서 80°C로 올려서 電解電壓을 現在の 2.04V에 1.9V로 低下시켜 에너지 效率을 77%까지 올리는 것이 이 會社의 短期的 開發目標이다.

(2) Teledyne Isotopes, Inc.⁸⁻¹¹⁾

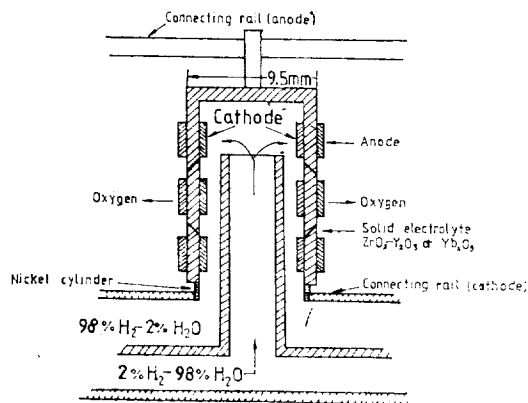
Table 3. Summary of electrolysis cell performance⁶⁰⁾

Manufacturer	P (atm)	T (°C)	i (A/cm ²)	Conc, KOH (%)	E (V)	efficiency (%)	Size (t/day)	cell Type
Electrolyser	1	70	0.16	28	2.04	74	—	unipolar
Teledyne	6.8	82	0.43	25	1.84	82	25	bipolar
Lurgi	30	95	0.19	25	1.84	82	35.7	"
Bamag	1	80	0.25	26	1.92	78	7.85	"
Norsk Hydro	1	80	0.15	25	1.87	81	95	"
Life Systems	1	93	0.65	35	1.84	82	—	"
G.E.	200	82	1.08	5PE	1.85	81	—	"

Fig. 6. Schematic diagram of a modified water Electrolysis cell with porous electrodes⁹⁾

雙極型 電解槽로서 용량이 10.6~21.2ft³H₂/hr, 10.6~423.6ft³ H₂/hr, 數ton/day 등 使用者의 要求에 따라 製作 판매 한다. 적임 온도는 38°C ~93°C이며 小型 電解槽의 경우 100V 交流 電源에 水素發生 壓力은 0~35psig 이다.

作業溫도와 電壓상승을 위한 大型電解槽의 모 형(Allis-Chalmers)이 Fig. 6에 표시되었다. 電極은 多孔性 Ni를 사용하며 陽極과 陰極은 0.75mm 두께의 石棉隔膜(asbestos diaphragm)으로 隔離되어 있다. 이 電解槽의 作業溫도는

Fig. 7. Subunit in accordance with modified solid-electrolyte vapor-phase high-temperature method¹²⁾

11°C, 壓力 20bar, 電流密度 8,500~17,000A/m², 電壓1.78~1.99V, 效率 73%의 特性을 나타낸다.

短期의 開發계획은 電解電壓 1.6~1.8V에 에너지 效率 82%~92%이고 장기적 목표는 1.24V에 에너지 效率 118%를 目標로 한다.

Fig. 7을 보다른 固體電解質이 電解法으로 이 電解質은 ZrO₂를 主成分으로 하여 Y₂O₃ 및 Yb₂O₃를 添加한 것이다. 약 20개 정도의 環 모 형의 陰·陽極 원통 모 형의 固體 電解質 內外에 부착되어 있다. 陰極은 純 Ni, 陽極은 Ni—Co₂O₃로 되어 있으며 給水는 480°C, 大氣壓에서 水蒸氣나 水素(98% H₂O, 2% H₂)의 混合氣體로 보내진다. 固體 電解質의 電導度는 酸素이온에

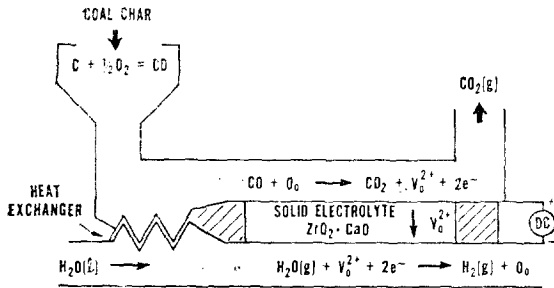


Fig. 8. Water electrolysis system using calcia stabilized zirconia as an electrolyte¹³⁾

의해 이루어진다.

따라서 作業溫度가 높을수록 電導度가 높아지므로 電極材料의 開發과 더불어 G.E. 에서도 1,100°C에서 電解할 수 있는 電解槽를 製備하였다.

Fig. 8은 G.E.에서 開發중인 또다른 高溫의 固體電解質 電解槽로의 電解質은 上述된 바와 같고(그림에서는 $ZrO_2 \cdot CaO$ 로 표시되어 있음)¹³⁾ 水電解에 기존의 石炭가스화 시스템을 병용하는 방법이 특징이다. 이러한 구성은 대형 plant에 副產物로 生産되는 酸素를 石炭을 가스화하는데 利用하려는 의도에서 출발하였다.

추정에 의하면 作業溫度 1,000°C, 電流密度 35,000 A/m², 石炭消費量 0.8 k/Nm³ H₂에서 에너지 消費가 0.7 kwh/Nm³ H₂에 불과한 可能性이 많은 방법으로 되어 있다.

(3) General Electric Co.¹⁴⁻¹⁸⁾

이 會社에서 開發된 電解槽는 燃料電池技術에서 비롯된 高分子 固體 電解質(solide-nolynier electrolgtc 이하 SPE라 칭함)을 特徵으로 한다.

SPE는 얇은 종이 형태의 perfluorinated sulfonic acid polymer로서 物理的 性質은 Teflon과 흡사하지만 물에 젖었을때는 電氣 抵抗이 아주 낮은 훌륭한 이온 電導體이어서 酸이나 알칼리의 補助電解質이 必要없다. 그 化學構造式과 전해조 형태는 Fig. 9에 표시하였다.

SPE의 電導體 性質은 水化水素이온($H^+ \times H_2O$)이 설펜산구를 정점다리 형식으로 이동

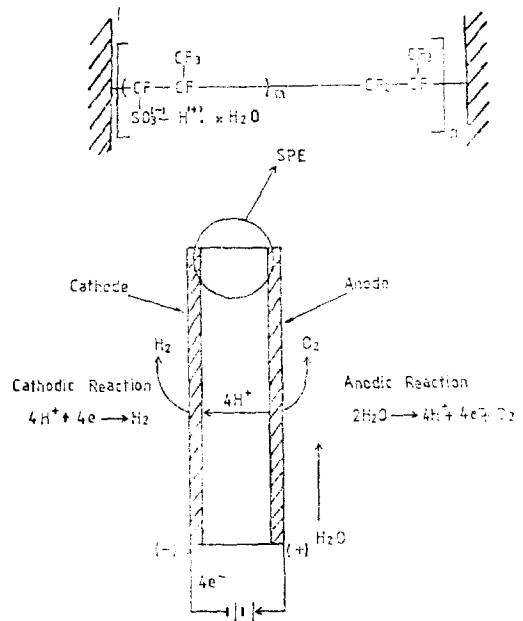


Fig. 9. Chemical structure of SPE and schematic diagram of an SPE electrolysis cell^{5,6)}

하기 때문에 생기는 것으로 이 구멍이 고정되어 있으므로 固體 電解質 전역에 酸度도 一定하게 유지된다. 물은 陽極으로 공급되며 水素이온은 陽極쪽에서 陰極으로 移動되어 還元된다. 陰極 電極은 觸媒活性도가 높은 Pt-black을 SPE. 表面에 얇은 膜으로 입혀서 使用하며 陽極도 같은 방법으로 적합한 觸媒合金膜을 입힌다. 單位 電解槽의 集電極 및 隔膜은 Nb, W, Ti을 使用한다.

이 電解槽의 長點은 高溫(150°C까지) 高壓(3,000psi) 電解가 可能하며 電解質에 의한 藏置의 腐蝕이 없고 電解電壓도 비교적 낮은 것을 들 수 있다. 그러나 電解槽의 材料가 高價인 것이 큰 단점으로 되어 있어서 G.E.에서는 安價材料의 開發과 固體電解質을 더욱 얇게 製作하여 에너지 效率도 現在의 81%에서 短期的으로는 91%, 長期的으로는 118%까지의 상승을 計劃하고 있다.

4. Life Systems Inc.¹⁹⁻²⁰⁾

이 회사는 NASA의 지원을 받아 靜的 給水式의 電解槽(static feedwater electrolysis)를 開發하였는데 特徵은 電解質(KOH)을 石綿隔膜에 含침시켜 固體電解質과 類似한 方法을 쓰며 給水를 水蒸氣 形態로 隔膜을 通해 電解槽 内部로 보낸다. 各 cell은 給水槽, 水素槽, 酸素槽의 三槽로 構成되며 給水槽와 水素槽은 water feed memberane, 水素槽과 酸素槽로 電解質이 含침된 石綿에 의해 各各 隔離된다. 이 電解槽의 基本的 構造는 Fig. 10에 도식적으로 표시했다.

이 電解槽의 큰 長點으로 지적되는 것은 生成 가스를 電解液과 分離할 必要가 없으며 또 순수한 물을 쓰지 않아도 전극과 전해질에 不純物이 침투되지 않는다. 短點은 陽極의 效率가 低調하며 電解槽구성 材料가 高價인 點이다.

현재 이 電解槽는 壓力 600psi, 온도 104°C, 電流密度 6,640A/m², 電壓 1.84V의 作業特性을 나타내며 短期的 開發目標은 壓力 2,000psi, 온도 150°C, 電解密度 16,200A/m²이나 電解電壓은 2.02V로 상승하게 된다.

5. Lurgi GmbH²¹⁻²⁴⁾

現在 Zdansky-Lonza로 알려진 이 電解槽는

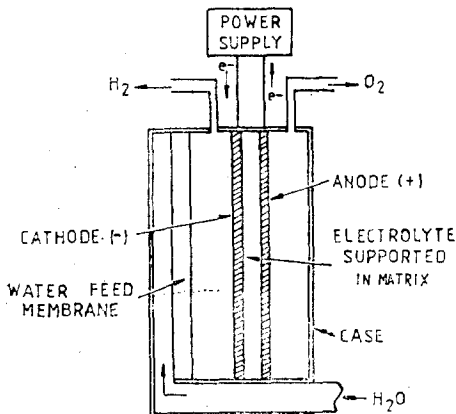


Fig. 10. Life Systems cell configuration¹⁹⁾

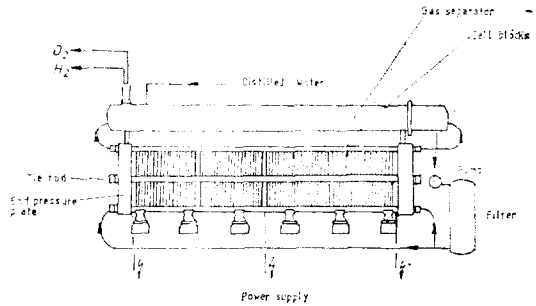


Fig. 11. Schematic Diagram of a water pressure electrolysis system²⁴⁾

作業壓力 30atm에서 매우 經濟的이며 簡潔하고 信賴性이 높은 것으로 명성이 있다. 各 cell은 Ni鍍金한 圓板型의 電極과 이 사이에 성형된 石綿隔膜을 두고 있어서 構造가 매우 얇으며 수백개의 cell을 연결할 수 있는 것이 큰 장점이다. 電解質은 펌프로 순환시키며 氣液分離器에서 冷却시키게 되어 있다.

cell의 크기는 $\phi = 5\text{ft}$ 의 一種만 製作되며 1組는 70에서 139개의 單位 cell로 組립된다. 전해질은 25%KOH를 사용하며 에너지 消費量은 4.3~4.6kwh/m²H₂이다. 이러한 商用電解 시스템은 Fig. 11에 도식적으로 나타냈다. 이 시스템에서는 壓力을 30atm으로 올림으로서 電解電壓이 0.33V 低下되어 에너지 소비량의 20%를 減少시킬 수 있었다. 技術開發 계획은 觸媒開發과 作業溫度상승인데 온도상승이 큰 문제로 대두되는 것은 石綿隔膜이다.

6. Bamag Verfahrenstechnik GmbH²⁵⁾

電解槽는 雙極型이며 作業溫度 80°C, 電流密度 2,500A/dm², 壓力은 大氣壓, 電解電壓은 1.92V의 特性을 갖는다. 現在의 開發研究計劃은 作業溫度를 올리고 規模를 大型化 하는데 있다.

7. Norsk Hydro Verktstede²⁰⁾

이 電解槽도 雙極型이며 作業溫度 80°C, 電流密度 1,500A/dm², 電解電壓 1.87V의 特性을 갖고 있다. 電解電壓은 電解質과 cell의 構造 등에 따라 차이가 있으나 一般的으로 電極의 電流密度가 커질수록 상승한다. 各社의 電解槽의 이러한 特性을 Fig. 12에 比較表示 하였다.

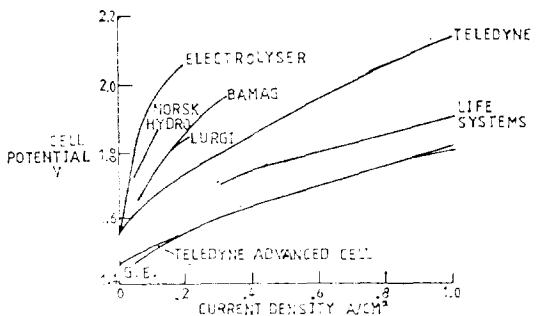


Fig. 12. Effect of current density on electrolysis cell potential⁶⁰⁾

참고 문헌

1. D.P. Gregory, et al., "A Hydrogen-Energy System," prepared for the American Gas Association by the Institute of Gas Technology, Chicago, August 1972, p. III-1.
2. ibid., p. IV-2.
3. R.L. Savage, et al., "A Hydrogen-Energy Carrier," Vol. II. Systems Analysis, NASA-ASEE, 1973, p. 119.
4. "Hydrogen Safety Manual", Report TM-X-52454, 15. Washington, D.C.: NASA, 1968.
5. F.A. Martin, "The Safe Distribution and Handling of Hydrogen for Commercial Application," paper presented at the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, San Diego, September 1972.
6. The Electrolyser Corp., "Electrolytic Hydrogen Plants and Generators," Toronto.

7. A.K. Stuart, "Modern Electrolyser Technology," paper presented at the American Chemical Society Symposium on Nonfossil Fuels, Boston, April 15, 1972.
8. W.C. Kincaide and C.F. Williams, "Storage of Electrical Energy Through Electrolysis," p. 15. Timonium, Md., Teledyne Isotopes, Inc., 1973.
9. Allis-Chalmers Mfg. Co., "Design Study of Hydrogen Production by Electrolysis," Vol. 1. ABSDS-0106643, (TID-23439), 1966.
10. ibid, Research Division, Milwaukee, U.S. A., Subcontract Nr. 2676 (Under Prime Contract Nr. W7505-eng-26), 3Teile, 1966.
11. J.E. Mrochek, "The Economics of Hydrogen and Oxygen Production by Water Electrolysis and Competitive Processes", Abundant Nuclear Energy, Washington 1969.
12. D.P. Gregory, et al., "The Hydrogen Economy," Plenum Press 1972, N.Y.
13. W.W. Aker, D.H. Broun, H.S. Spacil and D.W. White, U.S. Patent No. 3,616,334, Oct. 26, 1971.
14. General Electric Co., Aircraft Equipment Division, "Hydrogen Generator for Gas Chromatographs," publ. DEC-3-74-1, Lynn, Mass., December 1974.
15. L.H. Russell, L.J. Nuttall and A.P. Fickett, "Hydrogen Generation by Solid-Polymer-Electrolyte Water Electrolysis," paper presented to the American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry, Chicago, August 1973.
16. W.A. Titterton, "Status of GE Company SPE Water Electrolysis for Hydrogen-Oxygen Production," paper presented at the World Energy Systems Conference, Hurst, Texas, June 9, 1974.
17. W.A. Titterton and A.P. Fickett, "Electrolytic Hydrogen Fuel Production with Solid Polymer," paper presented at the Eighth Intersociety Energy Conversion Conference, Philadelphia, August 13, 1973.

18. L.J. Nuttall, A.P. Frckett and W.A. Ftterington, "*Hydrogen Generation by Solid Polymer Electrolyte Water Electrolysis*," GEC, Direct Energy Conversion Programs, Lynn, Massachusetts 01910.
19. F.C. Jensen and F.H. Schubert, "*Hydrogen Generation Through Static Feedwater Electrolysis*," paper presented at The Hydrogen Economy Miami Energy (THE-ME) Conference, Miami Beach, March 1820, 1974.
20. F.H. Schubert, status of the Life Systems Static Feedwater Electrolysis System, New York, The American Society of Mechanical Engineers, July 1971.
21. Lurgi GmbH, "*Hydrogen From Water*," Express Inf. T1084/6173, Frankfurt, Germany 1973.
22. H. Wullenweber, Lurgi GmbH, private comm, of February 1975.
23. Fichther, "*Wirtschaftliche Aussichten von mit Nuklearer Prozess Wärme Ezeugteus Technischem Wasserstoff*," short dapper for BMBW, 1971.
24. Lurgi-Handbuch (Lurgi Manual) 1970, Lurgi-Gesellschaften, Frankfurt.
25. Bamag Verfahrenstechnik GwH, Butzbach, Germany, Electrolysis Units Production Specification.
26. Norsk Hydro Als, Oslo, Norway, Electrolysis Units Production Specification.