

# 現代文明의 에너지問題와 그 方向

— 水素에너지時代를 展望하며 —

When future historians look back at our epoch and try to arrive at some answer to the perplexing question "what went wrong?", maybe one answer will be along the following lines: arrogant Western Man thought he could do better than Nature, even to the point of working against Nature rather than with Her. — J. Galtung

金 吉 煥

現代工業文明을 지탱하는 化石燃料의 消費는 經濟規模의 世界的인 擴大로 말미암아 指數函數的으로 增大하고 있으며 人口增加의 重壓과 높은 生活水準의 끝없는 追求는 이와같은 趨勢에 拍車를 加하고 있다.

이리하여 이 地球上의 有限한 資源인 化石燃料은 머지않은 將來에 枯渴되고 말것은 疑心할 餘地가 없을 뿐더러 그의 大量消費로 因하여 發生되고 累積되는 엄청난 公害는 날로 深刻해 지고 있어 이대로가다가는 우리들의 生存과 生活의 터인 이 地球上의 生物圈自體의 全面的인 荒廢마저 憂慮되지 않을 수 없다. 現代工業文明은 마침내 資源과 環境兩面에서 重大한 危機에 逢着돼 있으며 化石燃料爲主의 오늘날의 에너지시스템에 우리가 언제까지나 依存하고 安住할 수 없음은 明白하다고 하겠다.

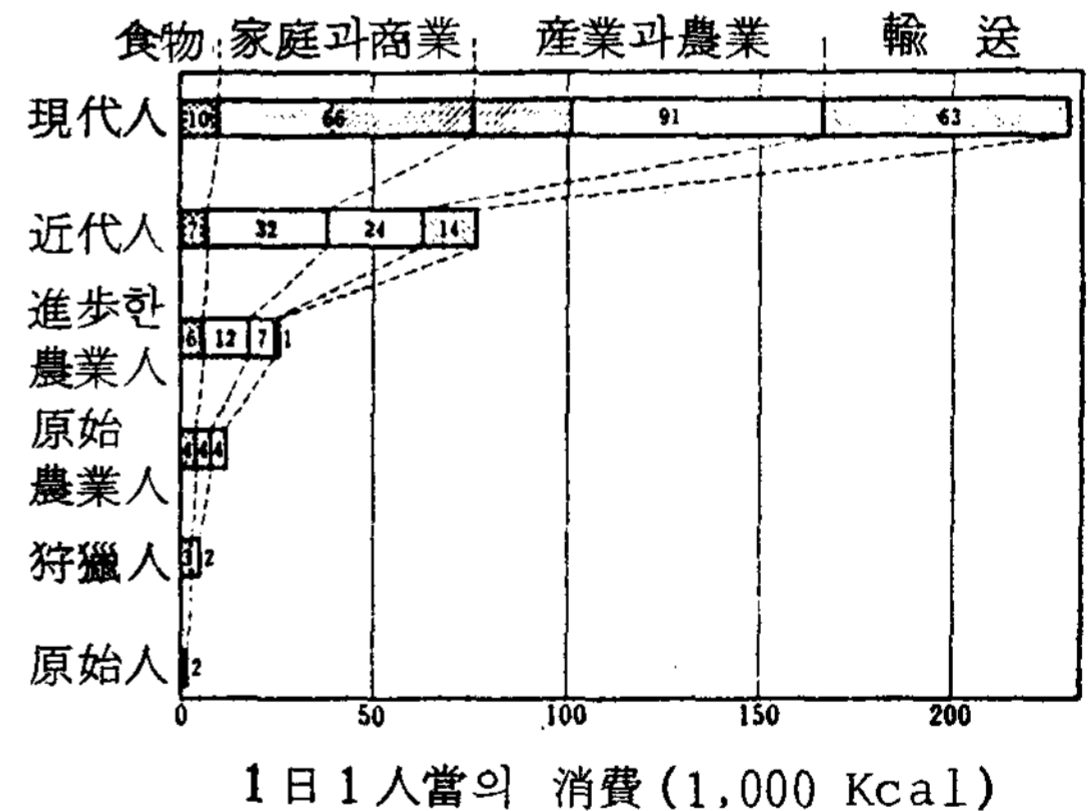
따라서 이와같은 隘路를 打開하여 우리가 이 地球上에서 健全하고 安定된 삶을 繼續 營爲할 수 있는 唯一한 方途는 枯渴되지 않는 에너지源과 公害없고 깨끗한 에너지媒體를 바탕으로 한 새로운 에너지시스템을 模索하고 開發하여 이를 우리社會, 우리生活에 確固하게 定着시키는 수밖에 없을 것이다.

以下에서 우리가 當面해 있는 에너지問題의 어제와 오늘을 그 沿革과 背景을 바탕으로 多角的으로 檢討·分析하여 앞날의 歸趨를 展望해 본다.

## 1. 文明의 發達과 에너지

우리人間은 먹거리(food)에서 攝取하는 에너지로 움직이고 살고 있다.

그림 1에서 보다시피 人類文明의 發達は 그 背景에 반드시 어떤 새로운 에너지의 利用이 發見되거나 새로운 技術이 開發되므로써 에너지 消費와 密接한 關係에 있다. 100 萬年前 불을



〈그림 1〉 人間 1人當 하루에 消費하는 에너지量 ( E. Cook, 1971 )

使用하지 않는 原始人의 段階에 있어서는 人間이 먹는 먹거리가 바로 에너지消費였으며 1人當 하루消費量이 2000 Kcal를 넘지 않았을 것으로 믿어지며 10 萬年前 狩獵人의 境遇는 먹거리와 調理 및 暖房用의 木이 消費에너지였다. B.C.5000年頃의 原始農業人은 作物의

栽培·收穫에 畜力을 利用하였고 A.D.1400 年頃의 進歩된 農業人은 畜力以外에 水力·風力과 같은 自然에너지를 利用하기 始作하여 에너지消費가 더욱 늘어나게 되었다.

18 世紀中葉 英國에서 비롯된 産業革命을 고비로 한 近代人은 蒸氣機關을 發明하여 石炭의 大量消費로 工業化를 推進하였으며 現代人은 內燃機關의 登場으로 에너지의 主役이 石炭에서 石油로 바뀌고 大規模 集中化에 依한 工業生産의 高度成長은 에너지消費의 爆發的增大를 招來하였다. 이리하여 오늘날 美國의 境遇 1人當 하루 230,000 Kcal 란 原始人의 消費量의 100 倍를 上廻하는 엄청난 量의 에너지를 消費하고 있다 (Cook, E. 1971)

人類의 悠久한 歷史의 흐름속에서 現代文明이 지니는 가장 두드러진 特徵은 尙大한 量의 에너지消費라고 말할 수 있으며 앞으로는 人口의 增加, 工業의 擴大와 高度化, 生活水準의 向上과 더불어 天井不知로 急増할 趨勢에 있다. 그러나 우리가 오늘날 直面해 있는 에너지問題에 있어서는 이와같은 消費의 量的增大 뿐만 아니라 消費되는 에너지의 內譯, 需要構造 供給 pattern, 消費形態等 質的問題와 아울러 우리들이 몸담아 살고있는 環境에 對한 影響도 決코 看過할 수 없다.

文明發達의 발자취는 바로 人間의 自然에 對한 干涉 다시말해서 人間과 自然과의 相互作用의 歷史이기도 하다.

## 2. 에너지 消費와 環境

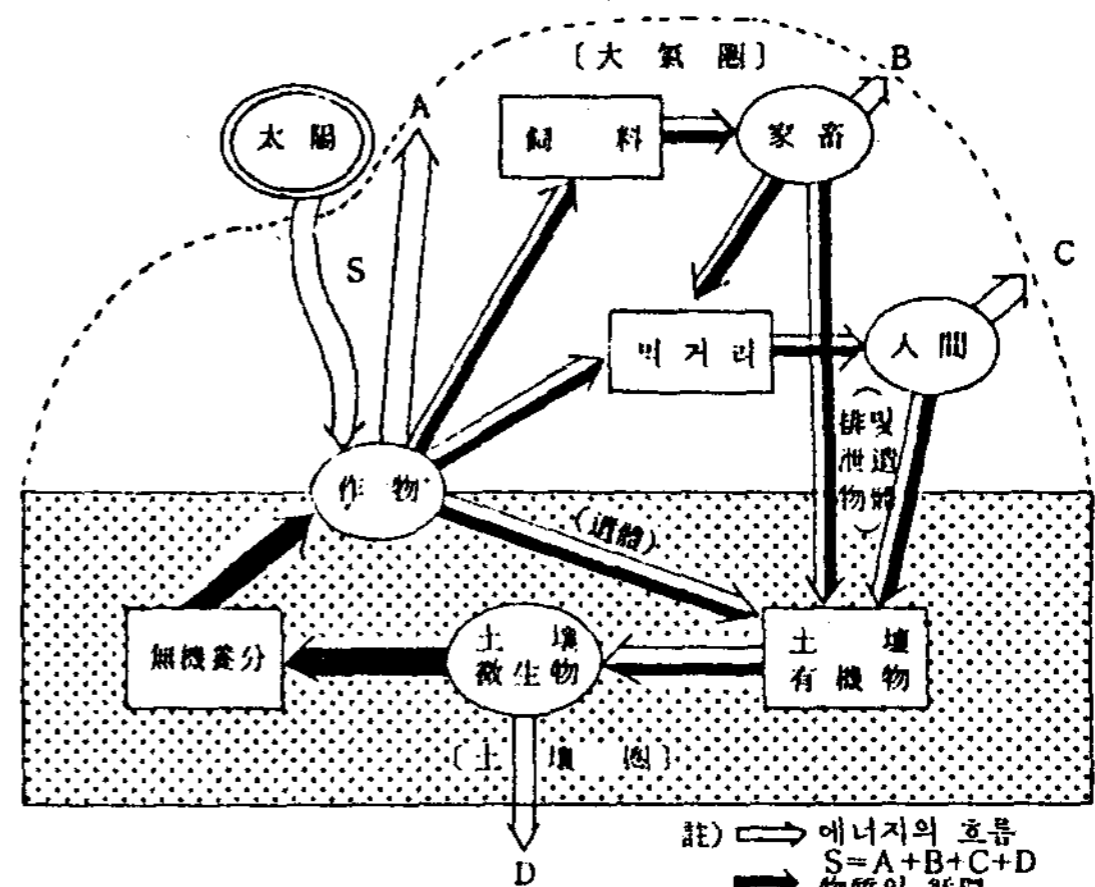
우리 人類는 다른生物과 마찬가지로 地質史에서 그 起源을 追跡할 수 있다시피 自然에서 發生했고 오랜 進化過程을 거쳐 오늘날에 이르렀으며 自然속에서 自然과 더불어 生存하고 繁殖하고 生活해 왔으므로 自然의 一部를 이룬다. 다시 말해서 이 地球上의 生物圈(biosphere) 속의 주어진 生態系(ecosystem)의 한 構成

멤버로서 環境(自然)과 調和하고 이에 適應하여 生活하므로서 根本的으로 自然과의 共生體制(man-nature-symbiosis)를 이루고 있다.

原始人은 먹거리와 맬 나무를 찾아 이리저리 移動하면서 採取하거나 狩獵하였으므로 이段階를 에너지狩獵型文明이라고 할 수 있으며 에너지의 獲得이 不安定하였다. 人口의 增加에 따라 狩獵對象이 되는 野生動物의 數가 相對的으로 줄어들면 더욱 그렇다.

이와같이 에너지資源의 自然的 再生産에 限界가 있음에 비추어 물, 土壤 氣候等 環境要因이 人間生活과 作物生育에 適合한 地域에 定着하여 農耕을 始作하게 되며 이른바 에너지 耕作型文明으로 轉換하게 된다.

이리하여 그림 2 에서 볼 수 있는 바와 같이 自然生態系內에 있어서 生産과 消費過程이 하나의 有機的인 物質 循環시스템을 形成한다. 即



<그림 2> 自然生態系를 바탕으로 한 원래의 농업에 있어서 物質의 循環과 에너지의 흐름

太陽에너지를 받아 作物의 光合成作用으로 生産된 有機質은 家畜, 人間에 攝取되고 그들의 排泄物이나 作物의 殘滓는 土壤속에서 微生物에

의하여 간단한 無機質로 分解되어 作物의 養分으로 供給된다. 이와같은 循環系 乃至는 閉鎖 시스템內에서 生産된 모든 物質은 이 循環過程에 따라 알뜰히 利用되어 廢棄物이 系內에 累積되거나 系밖으로 排出되는 일이 없고 耕地의 肥沃度도 꾸준히 維持될 수 있으므로 우리들의 삶의 터인 自然環境을 保全해 가면서 먹거리를 비롯한 에너지의 安定的인 擴大 再生産이 可能하다. 이와같이 農耕文明에 있어서 消費되는 에너지는 人力, 畜力を 비롯하여 風力 水力 水力等 環境에 對한 impact가 穩和한 깨끗한 에너지이므로 消費量의 緩慢한 增加趨勢에도 不拘하고 根本的으로 物質의 循環 cycle이 維持되었다.

그러나 産業革命을 고비로 一大變革期를 맞이하게 된다. 蒸氣機關이 人間을 고된 肉體勞動에서 解放하여 이것을 動力으로 稼動되는 機械와 原料와 人力을 工場에 集中하여 木質燃料 대신 高칼로리인 石炭을 燃料로 能率的인 大規模·大量生産시스템의 普及으로 工業은 農業과는 比較가 안될 程度로 急tempo로 發達하여 經濟成長을 主導하게 되어 마침내 오늘날과 같은 高度의 工業文明이 構築된 것이다.

이리하여 農業마저도 元來의 그 特性인 有機物質의 循環시스템이 崩壞되어 太陽에너지의 固定·轉換産業에서 化學肥料 農藥, 農機械, 비닐等 化石에너지의 投入으로 生産되는 工業製品에 依存하는 工業화된 農業 即 에너지消費産業으로 轉落되고 말았다.

農業과는 달리 工業은 原料에서 製品에 이르는 無機的인 生産過程에서 消費에 이르는 全徑路에서 原料→加工→製品→利用 乃至는 消費→廢棄物과 같은 한 方向으로만 物質이 流轉하는 直線型(linear) 乃至는 一方通行型 産業이며 에너지의 消費産業으로서 廢棄物을 그대로 우리生活環境에 남기는 端的으로 말해서 反自然的 反生態的인 性格을 지닌다. 따라서 工

業이 發達하면 할수록 그 廢棄物이 우리 環境에 累積되게 마련이며 또 그 生産過程에서의 化石燃料의 消費增大로 環境汚染의 深化란 惡循環이 거듭되게 된다.

化石燃料은 그 賦存量의 物理的限界뿐만 아니라 地球上의 分布도 고르지 못하여 特定地域에만 偏在돼있으므로 供給面의 不安定을 모면할 수 없으며 狩獵型供給에 依存하지 않을 수 없게 된다.

産業革命以來 人類가 이 地球上에서 石炭, 石油 天然가스 등 化石에너지資源을 찾아 그 開發, 利用을 둘러싸고 熾烈한 競爭, 爭奪, 紛爭等이 그칠 줄 모르는 事態는 바로 이와같은 狩獵型에너지 供給 pattern이 如實히 反映된 것이며 그 必然的結果라고도 볼 수 있을 것이다.

### 3. 太陽과 물

太陽이 지니고 있는 에너지는 實로 想像하기 어려울만큼 龐大한 것이며 太陽에서 約 1 億 5 千萬 km나 떨어져 있는 地球에 到着되는 에너지의 量은 僅僅 30 分으로 全人類가 年間 使用하는 에너지總量과 맞먹는다고 表現될 程度이다.

우리들이 現在 利用할 수 있는 에너지의 起源을 거슬러 올라가면 表1에서 보듯이 地熱이나 核燃料과 같은 少數의 例外를 除外하고는 그 大部分이 太陽에서 由來된다는 것을 알 수 있다.

우리가 現在 大量으로 쓰고 있는 石炭이나 石油와 같은 化石燃料은 먼 太古때의 植物이 光合成作用으로 太陽에너지를 固定·蓄積한데서 비롯되며 이 太陽에너지의 變身이 오랜歲月에 걸쳐 地質層에 묻혀 生成되고 埋藏되어온 太陽에너지의 貴重한 「遺産」이며 한번 쓰면 消耗되어 再生이 不可能할뿐더러 燃燒하면 甚한 公害가 發生하며 既述한 바와 같이 地球上의 一

<表1> 에너지源의 區分과 에너지의 形態

에너지源		에너지의形態
資(非循環에너지)	化石燃料	石炭 石油 天然가스 oil shale tar sand 化學에너지
	原子核燃料	uranium plutonium 重水素 核에너지
環(循環再生에너지)	太陽에너지의 흐름(flow)	太陽光 光에너지
		太陽熱 熱에너지
		風力 運動에너지
		水力 位置에너지
		波力 運動에너지
太陽과 달의引力 地球에너지	biomass 化學에너지	
	海水溫度差 熱에너지	
	海流 運動에너지	
	潮汐 運動에너지	
	地熱 熱에너지	

部地域에만 偏在돼 있는 地下資源으로서 一名 資源에너지라고도 부른다.

한편 太陽의 光과 熱에너지는 地球表面에 永久히 繼續해서 輻射되는 太陽에너지의 흐름(flow)이며 地球上 어디에서나 —비록 地域에 따라 多少의 差異는 있지만— 흔히 獲得할 수 다.

資源과 環境의 區別은 相對的인 概念이며 比較的 稀少한 것을 資源 어디에나 豊富하게 있어 거저라고 看做될 수 있는 것을 環境이라고 부를 수 있겠다.

이런 意味에서 太陽에너지의 흐름은 環境에너지라고도 한다. 風力, 水力, 波力, biomass 등은 바로 이 흐름에서 派生된 太陽에너지의 變身이며 自然界의 循環의 原理에 따라 再生되므

로 循環에너지 또는 再生에너지라고도 한다. 이 그룹에 속하는 에너지는 모두 公害가 없는 깨끗한 에너지이며 또 更新性(renewable)이기 때문에 枯渴될 念慮가 전혀 없다.

資源에너지는 J이나 cal 또는 石炭換算 몇 t, 石油換算 몇 l와 같은 單位로 測定되는데 反하여 環境에너지乃至는 再生에너지는 에너지의 흐름이므로 W/m<sup>2</sup>, cal/m<sup>2</sup>·h 등의 單位로 計測된다. 따라서 兩者는 異質的인 것이며 서로 그 大小가 比較될 수 없는 性質의 것이다.

地球에 到達한 이 太陽에너지의 흐름은 平均해서 1 m<sup>2</sup>當 每時 上空에서 1.4 KW 地表面에서는 1 KW란 至極히 稀薄한 密度이고 또 夜間, 雨天, 曇天等에 따라 定常性이 없다.

太陽ener지를 效果的으로 利用하자면 이 稀薄性과 間歇性을 克服하는 技術을 開發해야 하며 原則的으로는 이 에너지의 흐름을 空間的으로든 時間的으로든 集積해야 된다.

가장 오래됐고 效果的인 集積方法은 植物의 光合成過程을 經由하는 化學的 方法이며 太陽에너지와 물과 大氣中の 炭酸개로 生育한 植物(作物)은 먹거리, 펄나무 등의 形態로 太陽에너지가 時間的及 化學的으로 濃縮된 것이다. 化石燃料도 오랜歲月에 걸친 太陽에너지의 自然的集積形態이긴 하지만 貯藏期間이 너무 지나치게 길기 때문에 再生에너지로 볼 수 없음은 前述한 바와 같다.

한편 風力이나 波力은 너무 짧은 期間의 集積밖에 되지 않았기 때문에 元來의 太陽에너지의 흐름과 比較해서 그 稀薄性, 間歇性이 그다지 改善되지 못한 狀態이다.

그러면 水力은 어떠한가?

太陽에너지로 海水가 蒸發하여 구름이 생기고 또 空氣를 데워서 바람이나 물결로 變身한다. 구름은 바람을 타고 移動하여 비가 되어 河川으로 흘러 바다에 流入된다. 이 물의 自然循環에 따른 雨水는 數日에서 數十日동안의 太陽에

너지의 自然的인 集積의 結果이며 댐에 貯蓄되면 至極히 質이 좋은 에너지源이 된다. 卽 이 물을 落下라는 簡單한 手段으로 容易하게 機械的에너지로 轉換할 수 있다.

結局 太陽에너지가 變身해서 움직이는 물이 되는 것이며 太陽에너지의 媒體(media)乃至는 擔體(carrier)로서 물以上の 것은 없다고 할 수 있다.

에너지利用에는 에너지源(一次에너지)과 에너지의 carrier(二次에너지)가 있는데 이 一次系에서 二次系로의 變換이 科學技術面에서는 勿論 環境, 生態的次元에 있어서도 가장 重要的 것이다. 變換過程은 大部分이 流體인 作業物質을 媒體로 使用하여 이루어진다. 댐에 依한 水力發電, 水車, 蒸氣터빈 등은 作業流體로서 물을 使用하고 揮發油엔진에는 空氣가 使用된다. 그런데 물以外的 作業流體를 利用하면 에너지變換系에 있어서 生態系와 調和되지 않아 이것을 破壞하는 것이 많다는 事實이 알려져 있다. 그러나 물의 境遇는 太陽에너지로 驅動되어 움직이는 大自然의 潤滑劑로서 人間이 이것을 作業流體로 아무리 利用해도 結局은 自然의 順理, 自然의 cycle에 따르는 것이므로 生態적으로 健全하다. 에너지의 媒體乃至는 擔體로서 물을 使用한다는 意義는 이와같이 深奧하고 重要的 것이다.

그러면 물을 에너지媒體로서 使用하는 方法에는 어떤 것이 있을까?

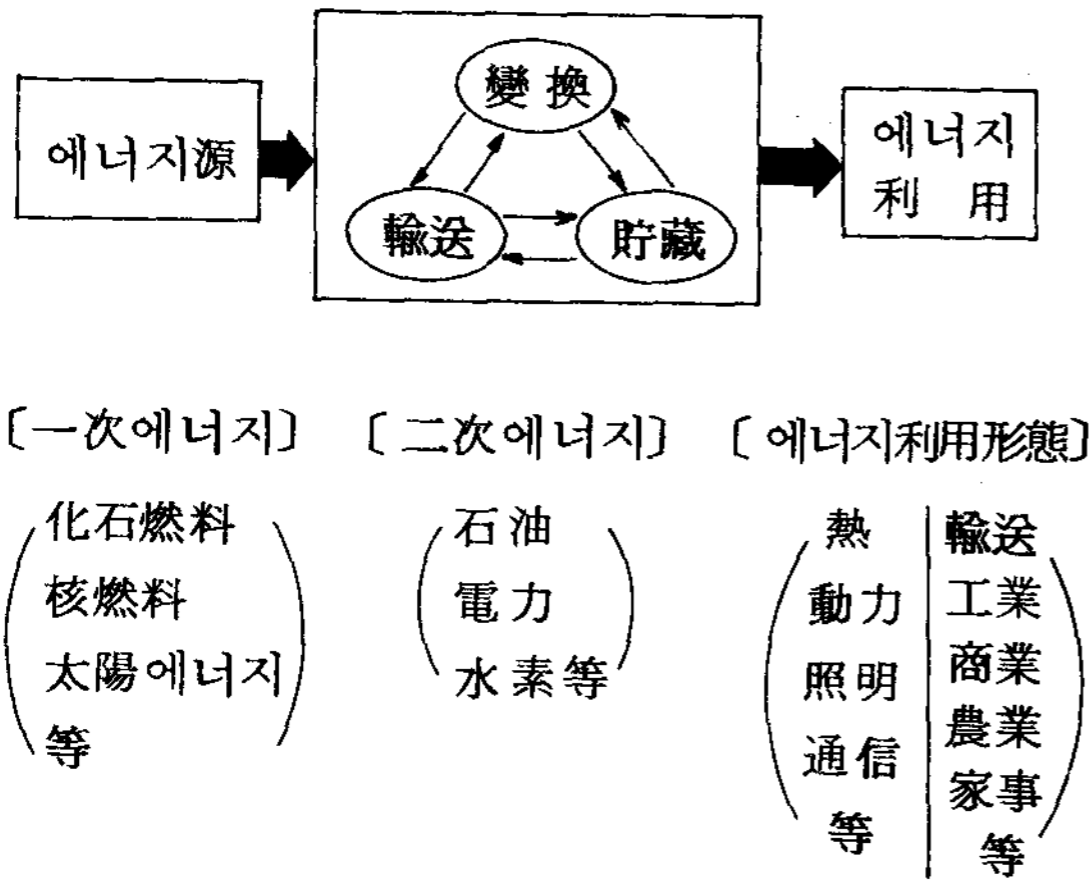
爲先 댐의 水力을 생각해 보자. 常溫의 물을 높은 곳에 모아 놓고 그 落差를 利用해서 運動에너지로 變換하여 이것으로 水車나 터빈을 돌리므로 물自身의 狀態는 조금도 變함이 없다. 이것은 가장 幼稚한 물의 使用方法이다. 蒸氣터빈의 境遇는 常溫에서 液體였던 물이 氣體인 水蒸氣가 되어 터빈을 돌려 물自身이 狀態가 變化하여 液體에서 氣體로 돼 있어 좀 高度인 물의 利用法이다. 댐의 水力이건 蒸氣터빈

의 물이건 作業過程에서는 물은 끝까지 물 그대로인데 더욱 高度의 물의 에너지媒體로서의 使用法은 없을까? 이것은 人類가 20世紀 後半이 지나도록 값싸고 高칼로리이고 使用이 便利하고 흔하고 손쉽게 얻을 수 있는 걸보기로는 石炭에 비해 깨끗한 石油에 眩惑되어 等閑視해 왔기 때문에 깨닫지 못한 일이었다. 이제 와서 뒤늦게나마 發見한 解答이 바로 물의 分解로 水素와 酸素를 만들어 酸素는 大氣中에 放出하고 水素를 에너지媒體로 쓴다는 아이디어다. 水素는 燃燒하면 空氣中の 酸素와 化合해서 물이 되므로 公害가 없어 깨끗하고 生態的이며 또 更新性이어서 無限한 再生産이 可能하다. 卽 水素는 高度의 물의 變身이며 슬기로운 人類의 最高의 에너지媒體인 것이다.

地球上에는 大略 15億 km<sup>3</sup>의 물이 存在한다. 이것을 一邊의 길이가 1 km인 되에 담아 한 줄로 늘어놓면 地球와 太陽사이를 5往復할만큼의 길이가 되며 實로 無盡藏하다고 할 수 있다. 地球上의 모든 生物系 無生物系는 이 大量의 물에 依하여 움직이고 있다. 地表水의 大部分은 海水이지만 우리가 살고있는 곳에는 어디에나 물이 골고루 分布돼 있다. 물이 없는 곳에는 生命이 있을 수 없고 물은 우리 人類는 勿論 모든 生物이 삶을 營爲하는데 必須不可缺한 環境要因이며 太陽과 더불어 모든 生命體의 어버이라고 할 수 있다.

#### 4. 水素에너지시스템의 開發

에너지源에는 既述한 바와 같이 石炭, 石油와 같은 化石燃料, 核燃料, 太陽에너지, 地熱等 여러가지가 있는데 普通 우리 周邊에는 動力, 熱等 우리用途에 適合하고 使用에 便利한 形態로는 存在하지 않는다. 따라서 이와같은 에너지源(一次에너지)의 變換과 그 貯藏 輸送等의 流通構造가 必要하며 이를 二次에너지라고 한다(그림 3). 이리하여 에너지의 發生에서



〈그림 3〉 에너지시스템의 構成

利用에 이르는 全過程, 全徑路를 에너지 시스템이라고 부른다.

에너지源으로서의 化石燃料의 消費가 資源 및 環境兩面에서 이미 壁에 부닥쳐 있음은 屢述한 바 있거니와 核燃料도 特히 壽命이 긴 放射能의 汚染에 對한 根本對策이 서 있지 않고 앞으로 그 安全性에 對한 不安과 憂慮가 拂拭되기 힘든 展望이므로 에너지源으로서 바람직하지 않다는 意見이 優勢하다.

그러므로 우리 人類가 將次 마음놓고 依支할 수 있는 에너지源은 太陽에너지의 흐름을 爲 주로 한 公害없고 更新性인 따라서 枯渴되지 않는 環境에너지 밖에 없음을 알 수 있다.

모든 에너지源은 大自然의 所産이며 우리 人間이 마음대로 創造하고 發生케할 수는 없다. 여기에 바로 우리 人間の 能力의 限界가 있는 것이며 이 點에 對해서는 如何한 錯覺도 過信도 있어서는 안된다. 우리 人間이 할 수 있는 것은 이 에너지源을 變換하는 能力밖에 없으며 우리가 直面한 에너지問題도 이 테두리안에서 處理하는 것이 順理이며 科學技術의 窮極의 限界라 하겠다.

한편 에너지媒體로는 이 地球上에 人間이 사는 곳이라면 어디에나 골고루 分布돼 있는 無

盡藏한 물을 分解해서 얻어지는 水素를 앞으로 利用하게 될 것이라는 點은 既述한 바와 같다. 이리하여 우리 人類는 有限하고 一部地域에만 偏在돼 있는 化石에너지 資源을 찾아 헤메던 에너지狩獵型文明에서 先·後進地域을 莫論하고 現在 살고있는 곳에서 누구나 흔하게 入手할수 있는 太陽에너지의 흐름과 물을 바탕으로 平和指向的인 에너지耕作型文明으로의 轉換點에 와 있다는 것이 우리가 當面한 歷史的 現實인 듯 싶다.

### A. 燃料로서의 水素의 特徵

宇宙에 存在하는 元素의 90%는 水素라고도 하지만 石炭이나 石油와 같이 地球上에 天然資源으로 賦存돼 있지않고 거의 無盡藏이라고 생각되는 물을 分解하므로서 얻을 수 있다. 水素의 에너지 乃至는 燃料로서의 長點을 모아 간추려 보면 아래와 같다.

a. 물을 原料로 하므로 資源的制約이 없고 따라서 枯渴되지 않는다.

b. 燃燒하면 다시 물이 되므로 公害가 없고 깨끗하며 地球上의 物質循環시스템을 攪亂하지 않는다.

c. 貯藏이나 輸送이 容易하다.(電力에 比해서)

d. 發電用燃料, 自動車나 航空機用 燃料는 勿論 都市개스等 分野에서도 化石에너지에 代替되므로 燃料로서의 適應範圍가 多岐하다.

e. 後述하는 燃料電池로 電力으로의 變換이 容易하고 效率이 높다.

f. 1g當 發熱量으로 比較하면 燈油나 揮發油가 10,000 Cal程度인데 比해 液體水素는 約 29,000 Cal로 越等하게 크다.

이와같이 에너지로서 有利하고 바람직한 水素를 앞으로 大量으로 값싸게 生産하게 된다면 우리 人類가 直面하고 있는 深刻한 에너지問題가 圓滿히 解決될 수 있을 것이다. 그러면 이것을 어떻게 生産해야 할 것인가?

**B. 水素의 製造**

從來의 水素製造方法으로는

a. 石炭, 코크스 등에 의한 水成가스法

b. 石油 (주로 나프타) 天然가스 등의 部分酸化法이나 水蒸氣改質法

c. 물의 電氣分解法이 있는데 이중 a, b, 는 石炭, 石油 등 化石燃料資源을 利用하는 方法이므로 우리가 目標로 하는 水素에너지시스템과는 동떨어진 것으로 適當치 않다.

물의 電氣分解는 原理적으로 簡單한 것이지만 現在는 電氣에너지가 高價이므로 工業적으로 是 값싼 水力이 發電에 利用될 수 있는 地域 (例컨대, 캐나다, 노르웨이 등) 以外에서는 널리 施行되지 않고 있다.

앞으로 우리가 서둘러 開發하고 實用化 해야 할 새로운 製法은 原則적으로 太陽을 에너지源으로 하고 물을 原料로 하는 方法으로서 Solar-Hydrogen-Energy-System의 必須不可缺한 構成要素를 이루는 것이라야 할 것이다.

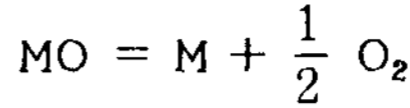
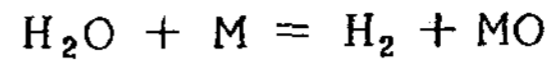
**C. 水素의 새로운 製法**

물을 原料로 水素를 값싸게 大量으로 만들어 낼 수 있는 方法이 現在 先進各國에서 여러모로 研究되고 있다.

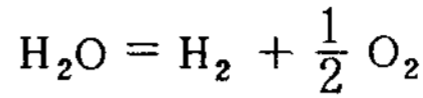
**a. 熱化學法**

물을 直接 水素와 酸素로 分解하자면 溫度를 3000°C 以上까지 높여줄 必要가 있다. 이것을 몇段階의 化學反應으로 나눠 比較的 低溫으로 分解할 수 있게한 것이 熱化學法이다. 이것은 가파른 비탈길을 단숨에 直線的으로 오르자면 힘들지만 지그자그로 올라가면 行程은 길어지지만 勾配가 緩慢해져 힘이 덜드는 것과 같은 原理이다.

가장 簡單한 方式의 例로는 물 (H<sub>2</sub>O)에 金屬 (M)을 넣고 酸化金屬 (MO)과 水素 (H<sub>2</sub>)를 만든 다음 酸化金屬을 當初의 金屬으로 되돌리면 全體로서 물이 水素와 酸素로 나눠질 따름이다. 이것을 化學式으로 쓰면

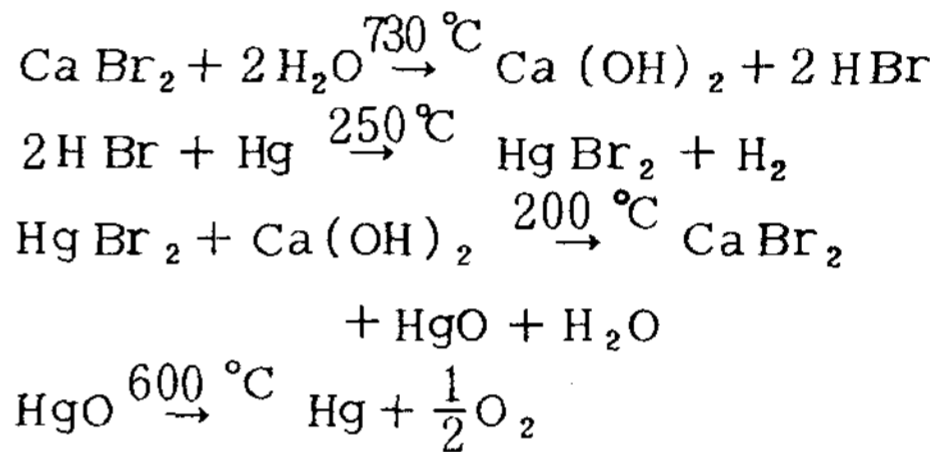


이 두反應을 合치면

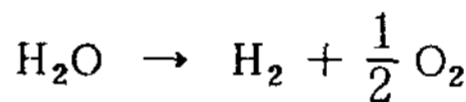


가 되어 金屬은 永久히 消耗하지 않게 된다.

이것은 一類의 金屬밖에 使用하지 않은 境遇지만 몇가지 類의 金屬이나 化學物質을 使用하여 몇段階의 化學反應을 組合해서 全體로는 물이 水素와 酸素로 나눠지는 Cycle도 많다. 例를 들면 Marchetti(1969)가 最初로 發表한 Mark I 이라고 불리는 反應은



의 4段階의 化學反應을 거쳐 結局은



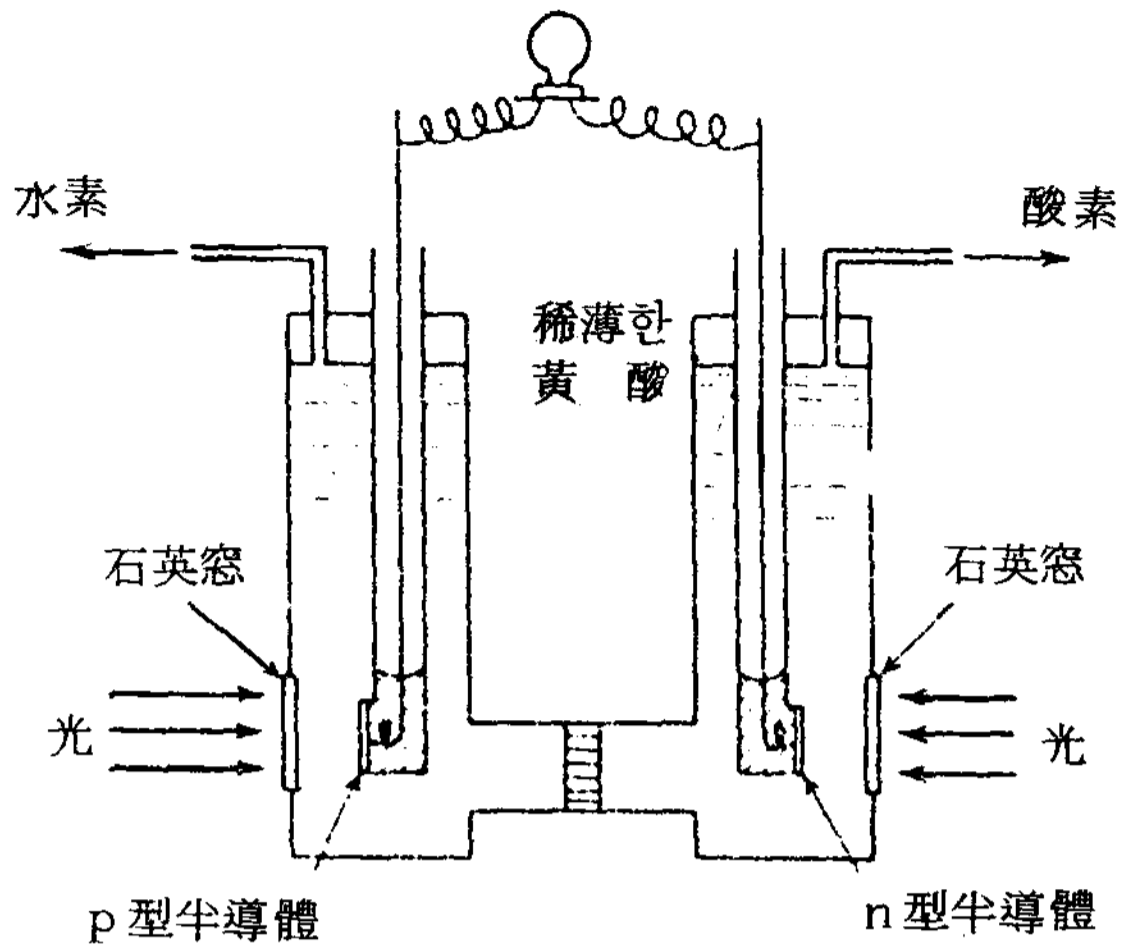
가 되어 물의 分解가 730°C 以下에서 이루어질 수 있다는 것이다. 이밖에도 沃素系, 硫黃系 鐵系 등의 cycle이 알려져 있다.

이와같은 水素製造의 cycle方式은 물以外에 使用한 物質을 消耗하지 않으므로 資源적으로도 環境적으로도 理想的인 製法이라 하겠다. 그러나 이것을 工業化하기 爲한 裝置의 開發이나 各反應에 物質을 옮기는 에너지 등에 아직 解決해야 할 問題가 많아 現在로는 實驗段階에 있다고 보아야 할 것이다.

**b. 光分解**

半導體를 使用한 太陽電池로 發電하여 그 電氣에너지로 물을 分解할 수 있는데 여기서 말하는 光分解는 太陽電池發電을 直接 化學反應으로 置換한 方法이라고 할 수 있다.

即 그림 4의 裝置에 있어서 稀黃酸의 水溶液에 n型和 p型の 半導體의 電極을 넣은 다음 그 하나하나에 太陽光을 入射케 하고 外部의



〈그림 4〉 半導體에 의한 光分解槽

회로를 닫으면 n型半導體電極의 表面에서 酸素가 p型半導體電極의 表面에서 水素가 發生하고 外部回路에 電流가 흐르게 된다. 이렇게 해서 빛에 의하여 水素와 酸素를 만들 수 있는 것과 同時에 發電도 할 수 있다. 이 方法이 完成하면 太陽에너지의 有效利用이기도 하고 至極히 興味있는 技術이지만 現在로는 半導體의 材料로서 壽命이 길고 또한 太陽에너지의 利用率이 높은 것을 얻을 수 없다는데 問題가 있다. 世界各國에서 많은 研究者가 이 技術開發에 盡力하고 있으며 이와같은 半導體의 探索은 勿論 分解槽의 構造나 半導體의 使用法, 加工技術等도 研究되고 있으나 아직 劃期的發展이 안되고 있다.

c. 물의 電氣分解

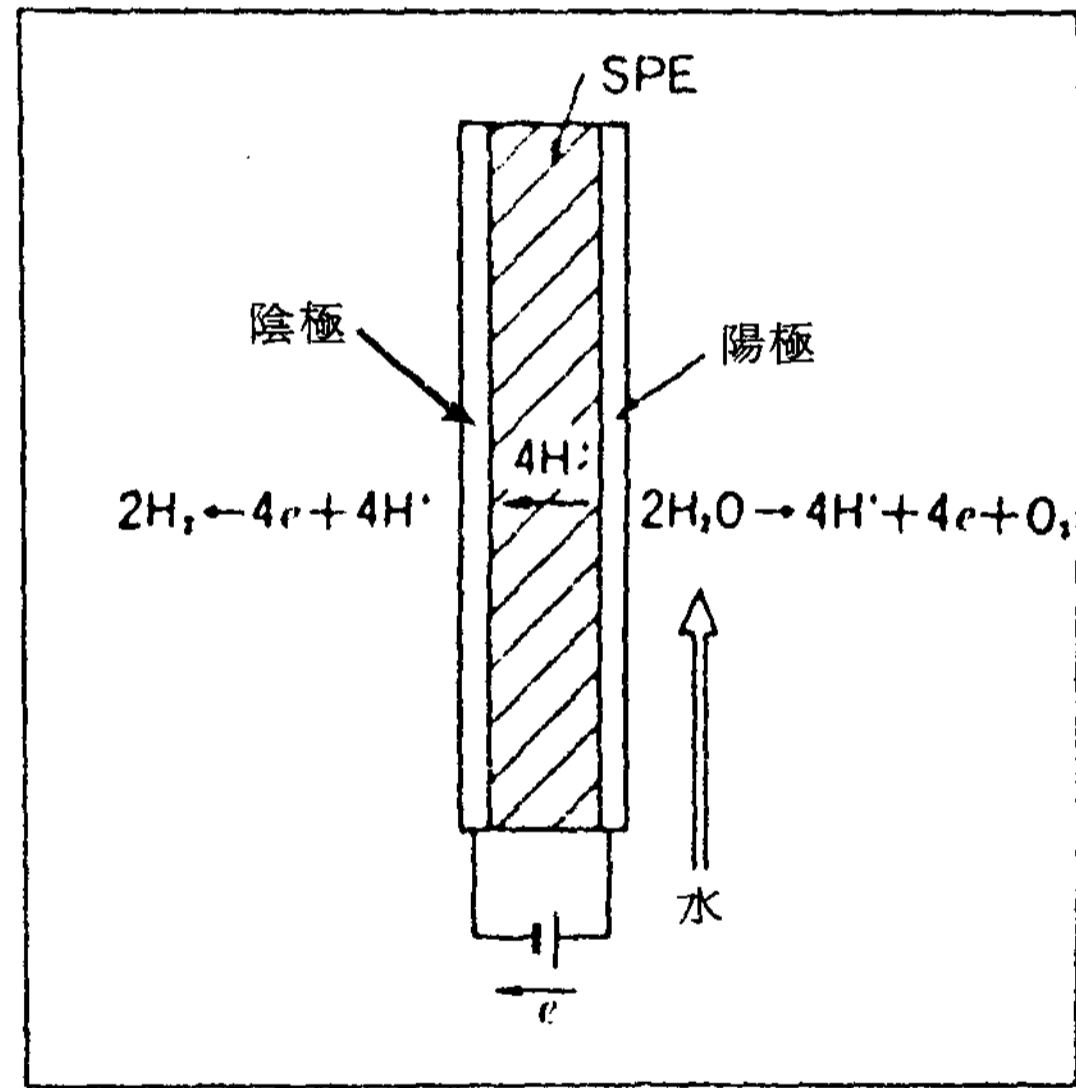
水素의 製造法으로서의 물의 電氣分解는 일찍 부터 開發된 技術로서 基礎적인 事項은 거의 解明돼 있다. 그러나 水素에너지시스템에 있어서의 水素의 製造法으로서 이 물電解法을 採擇하기 위해서는 보다 高能率이고 低코스트의 電解法을 開發할 必要가 있다.

從來의 물電解法의 에너지效率은 50~60%이지만 이 效率을 75%以上으로 높이기 위해서는 보다 高溫·高壓으로 電解할 必要가 있다.

電解液을 高溫으로 하면 分解電壓, 過電壓, 液抵抗이 減少하므로 綜合效率은 좋아지고 高壓으로 하면 電解槽를 小型化할 수 있는 同時에 製造된 水素를 貯藏에 便利한 高壓으로 叩낼수 있다.

그러나 高溫으로 하면 裝置等의 材料의 腐蝕이 甚해지고 高壓의 水素와 酸素와의 混合에 의한 爆發의 危險性이 커지기 때문에 이와같은 隘路의 克服이 앞으로의 研究課題가 될 것이다.

日本서도 이와 비슷한 研究를 推進하고 있으며 水溶液 電解質 대신 이온導電性인 弗素樹脂系의 固體 高分子電解質(SPE, Solid polymer electrolyte)의 膜을 使用하는 方法이 注目되고 있다. 그림 5에서 보다시피 이



〈그림 5〉 SPE 水電解法

膜의 兩面에 觸媒電極을 附着하고 陽極側에 純粹한 물을 流入시켜 電極間에 電壓을 걸면 陽極에는 酸素와 水素이온이 생기는데 水素이온은 膜을 通過하여 陰極으로 移動하여 陰極에서 電子와 結合해서 水素가 된다. 이 方法은 電流密度를 높여도 分解電壓이 上昇하지 않으므로 效率이 좋고 裝置의 構造도 單純化할 수



있는 등의 長點이 있어 다음 世代의 電解法으로 期待되고 있다. 다만 膜이 強酸性을 나타내므로 膜에 附着시킨 電極, 觸媒材料의 腐蝕對策이 큰 研究課題라 하겠다.

이밖에 上述한 熱分解, 光分解 및 電氣分解를 둘씩 組合하거나 또는 세가지를 모두 합친 hybrid法도 많이 研究되고 있고 또 어떤 種類의 박테리아나 海藻等은 光合成을 해서 空氣中에 酸素가 아니고 水素를 放出한다는 事實을 바탕으로 이와같은 微生物을 培養增殖해서 水素를 生産하고자 하는 研究도 있다.

無盡藏한 물과 太陽에너지를 바탕으로 한 값싼 水素를 大量生産하는 方途는 이와같이 多岐多樣하며 無限한 可能性을 지니고 있다.

**D. 水素의 輸送과 貯藏**

水素개스는 壓力을 높여 150~200 氣壓程度로 高壓容器에 壓縮充填해서 輸送하는데 大量으로 使用하는 消費先에서는 貯藏槽를 備置하는 것이 普通이다. 또 高壓水素개스工場과 消費地의 距離가 짧을 때에는 都市개스나 天然개스의 境遇와 마찬가지로 pipe line으로 輸送한다. 西獨에서는 1983年 以來 水素製造工場과 化學工場사이를 pipe line方式으로 連

結하여 配管의 길이의 總延長이 208 km, 供給量이 40,000 Nm<sup>3</sup>/h나 되는데도 오늘날까지 아무 支障없이 稼動되고 있다.

水素개스의 液化에는 168 cal/g의 熱을 빼내야 하고 그 沸點이 -252.6 °C란 低溫이기 때문에 그 製造에는 技術的, 經濟的으로 問題가 있다. 그러나 美國의 宇宙開發研究所에서는 이미 1日 60 t의 製造能力을 갖는 裝置와 함께 斷熱性이 좋은 大型貯藏容器도 開發되었으므로 앞으로 大量의 液體水素가 安全하고 經濟的으로 貯藏될 것이 期待된다.

한편 어떤 種類의 金屬이나 合金은 水素를 選擇的으로 大量으로 吸藏하고 熱을 加하면 比較的 容易하게 다시 水素를 放出한다. 이 性質을 利用해서 水素를 金屬水素化物이란 固體의 形態로 貯藏·輸送 할 수 있다.

이 金屬水素化物에 依한 水素貯藏·輸送의 利點으로는 水素貯藏能力이 높고, 高壓容器를 必要로 하지 않으며 長期間의 貯藏이 可能하고 純度가 높은 水素를 얻을 수 있으며 또 安全하다는 諸點을 들 수 있다. 그 反面에 水素의 充填放出速度가 느리고 反覆해서 使用하면 貯藏能力이 低下된다는 등의 問題點이 指摘된다.

〈表 2〉 各種水素貯藏能力的 比較

方 法	水 素 含 有 量		備 考	
	重量當 1)(wt.%)	體積當 (kg/m <sup>3</sup> )		
水 素 單 體	氣 體	100	7.7	27°C 100 氣壓
	液 體	100	70.8	20 K
	固 體	100	86.5	13 K 0.07 氣壓
金 屬 水 素 化 物	LaNi <sub>5</sub> H <sub>6.7</sub>	1.5	85	ΔH <sup>2)</sup> = -7.2
	FeTiH <sub>1.95</sub>	1.7	96	ΔH = -6.7
	Mg <sub>2</sub> NiH <sub>4</sub>	3.6	81	ΔH = -15.4
中 空 有 理 微 小 球	有 理 球	5.3	12	充填壓 240 氣壓
低 溫 吸 着	活 性 炭 素	6.8	26	78 K 42 氣壓

(註) 1) 容器의 重量은 考慮에 넣지 않음 2) ΔH : 反應熱 (Kcal/mol H<sub>2</sub>)

이제까지 알려진 吸藏用合金으로는 Mg-Ni系合金, Zr-Mn系合金, Fe-Ti系合金, Ti-Co系合金 希土類系로는 La-Ni系合金等 많은 有望한 金屬이 있다. 이들 合金의 水素貯藏能力과 餘他 液化法等과의 能力을 比較·表示한 것이 表2이다.

吸藏用合金으로 考慮하지 않으면 안될 것은 吸藏量이 크고 安價일 것이며 實際의 使用에 便利하도록 水素解離壓力이 1에서 數十氣壓일 것이 바람직하다. 또 吸藏合金은 처음부터 水素를 吸收하는 것은 아니고 粉粹한 合金을 高溫으로 眞空脫氣한 後 數十氣壓의 水素속에서 徐徐히 冷却하여 水素를 吸收시키는 操作을 거 듭하면 合金은 微粉化하여 表面積이 增加하여 水素와의 反應이 活性化된다. 이 活性化處理가 容易하고 水素의 充塡·放出速度가 빠르고 金屬水素化物生成熱이 적은것 등이 吸藏合金開發의 要諦이다.

La-Ni 合金은 높은 吸藏能力을 가지고 있어 活性化處理가 不必要하지만 高價이며 Fe-Ti 合金은 安價이지만 吸藏能力이 작고 活性化處理가 까다롭다. Mg系는 吸藏能力이 크고 水素의 吸收放出反應이 빠르지만 250°C 以上の 高溫이 아니면 吸收放出이 일어나지 않는 등 各各 一長一短이 있다.

水素가 새로운 에너지로서 期待되고 있는 理由中的의 하나는 貯藏이 可能하고 容易하다는 點이다. 同體積當 貯藏할 수 있는 水素의 量을 생각해 보면 常壓의 水素개스에 對해서 壓縮狀態에서는 150~200 倍程度이지만 液體水素에 있어서는 約 800 倍, 金屬水素化物은 이 보다도 크며 1000 倍를 넘는것도 있다. 但 이 境遇에 는 重量이 커진다. 이와같이 密度가 크고도 安全한 貯藏과 輸送이 可能해 지면 그 利用分野는 더욱 廣範多岐해질 것이며, 特히 金屬水素化 cycle에 의한 空氣調節, 水素精製, 壓縮機等 水素를 利用하는 多樣한 尖端技術開發도 期待

된다.

## E. 水素에너지의 利用

### a. 水素엔진

水素를 內燃機關의 燃料로 使用하면 排氣개스에 依한 汚染問題가 단숨에 解決된다.

美國에서 水素개스의 直接注入型엔진을 開發하여 單氣筒 4 cycle의 엔진으로 回轉數3,500 rpm (1分間の 回轉數)로 最高 2.7 馬力을 얻고 있으며 排氣개스 中에는 50 ppm 程度의 窒素酸化物이 包有돼 있을뿐 나머지는 水蒸氣뿐이다. 또 NASA (美國航空宇宙局)에서는 水素제트에 依한 超音速機의 開發을 推進하고 있으며 뉴욕-東京間을 3時間에 나를 計劃을 하고 있다.

### b. 水素에 依한 發電

水素에 의한 發電에서 特히 注目할만한 것은 水素-酸素燃料電池이다. 이것은 宇宙 開發에서 이미 實用化되고 있으며 水素와 酸素를 電氣化學的으로 反應시켜 電氣에너지로서 利用하는 境遇보다 훨씬 效率이 높고 理論的으로는 水素가 가지고 있는 에너지의 約 95%가 利用되는 셈이 되어 實用할 때 여러가지 雜損失을 감안하더라도 80%內외의 效率을 얻을 수 있을 뿐더러 排出개스에 의한 汚染도 없으며 騒音도 나지 않고 操作도 簡單하다는 등의 長點을 가지고 있다.

Apollo 宇宙船에 使用됐던 水素-酸素 燃料電池는 內壓 3~4 氣壓, 溫度 250°C 內외로 作動하고 31個의 單電池를 1組로 하여 平均出力 600 W程度이다.

이제까지 여러모로 論해온 Solar-hydrogen-Energy System을 綜合해서 圖示하면 그림 6과 같다.

## F. 將來의 展望

水素가 깨끗한 燃料라는 것은 누구나 認定하겠지만 그 將來에 對한 視角은 多樣하다. 特

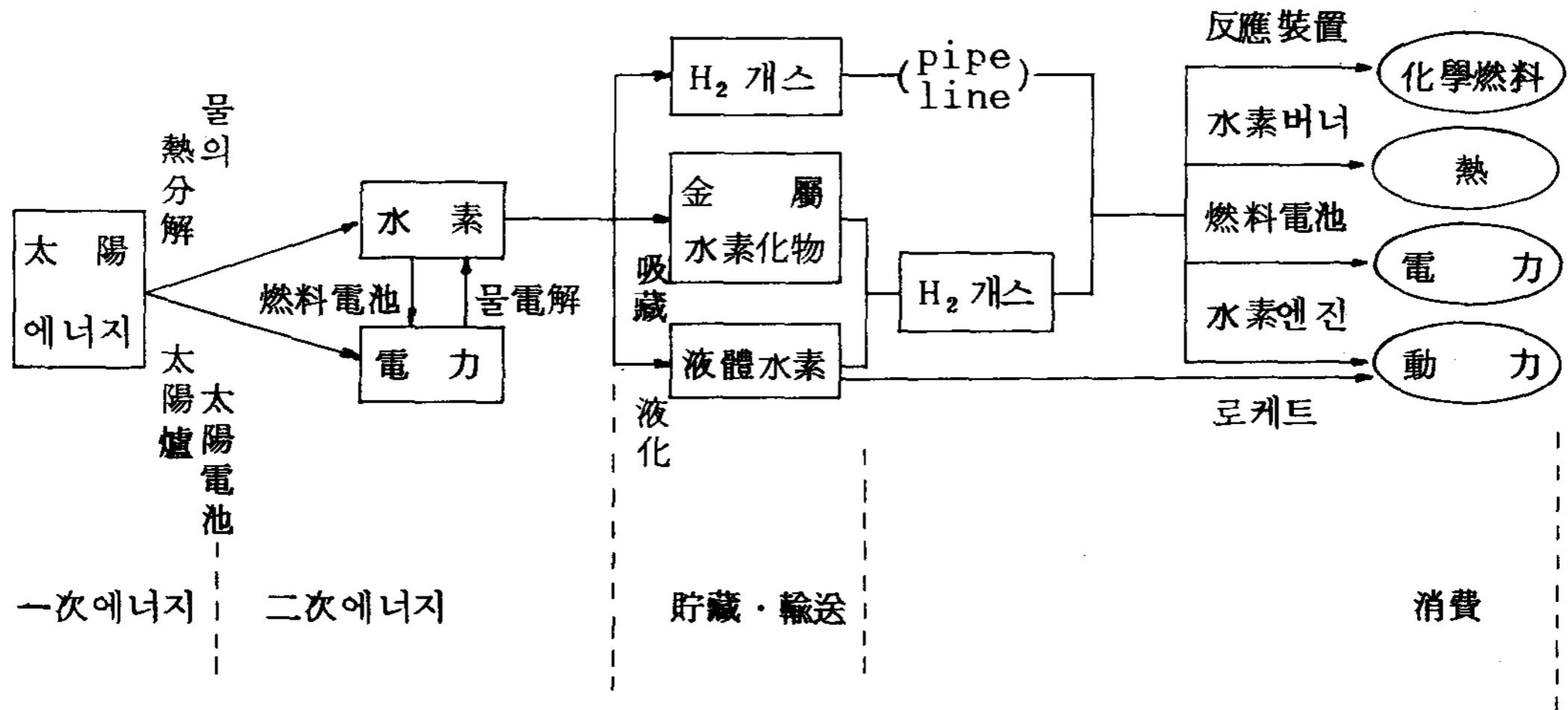


그림 6 理想的인 水素에너지의 未來像

히 水素는 空氣와의 混合으로 爆發하기 쉽기 때문에 至極히 危險한 燃料가스라고 생각하는이도 많다. 또 한편으로 石油資源에 關해서 若干 樂觀的인 見解도 있어 에너지 危機感이 深刻하지않기 때문에 水素를 研究하는 것을 輕視하는 傾向조차 있다. 그러나 長期的인 眼目에서 볼때 石油資源의 枯渴은 時間問題일 뿐더러 汚染없는 燃料의 選擇은 地球上의 우리들의 삶의 터를 守護하기 위하여 必須不可避한 것이며 水素에 對한 危懼感도 管理方法을 完全하게 하므로써 拂拭할 수 있는 것이다. 石油資源은 더욱 重要한 物質原料로의 活用이 바람직하며 單純히 便利하다던가 經濟的인 面에서만 判斷해서 燃料로 浪費하는 것은 우리 人類의 將來를 危殆롭게 하는 것이다.

한편 水素의 生産코스트는 끊임없는 研究開發로 앞으로 더욱 低下될 것이 期待되며 貯藏輸送, 利用, 安全管理等의 技術도 日進月步하는 趨勢에 있음에 비추어 水素에너지時代는 머지않은 將來에 꼭 到來할 것으로 믿어지며 特히 全地球的인 規模로 우리모두가 直面하고 있는 資源과 環境兩面의 重大한 危機에서 슬기롭게 벗어나 公害없고 枯渴되지 않는 에너지를 安定

的으로 確保하기 위하여 恒久的이고 根本的인 對策을 冷徹하고 眞摯하게 摸索한다면 太陽에너지와 물을 基軸으로 하는 Solar-Hydrogen-Energy-System으로 가는길 밖에는 代案이 없을 것이다. 이런 意味에서 이 새로운 에너지 시스템의 實現은 論理的歸結이며 歷史的必然이라고도 할 수 있으며 이 地球上에서 함께 生을 누리고 있는 우리모두가 이 目標의 達成을 위하여 힘을 모아 꾸준한 努力을 傾注해야 할 것이다.

[ 參考文獻 ]

Anderson, R. (1979): Biological Path to Self-reliance, Van Nostrand Reinhold, New York.  
 Bockris, J. O'M & Justi, E.W. (1980): Wasserstoff, die Energie für alle Zeiten, Udo Pfriemer Verlag, München.  
 Cook, E. (1971): "The flow of Energy in an Industrial Society," Scientific American, vol. 224, pp. 135-44.  
 金吉煥 (1987) : 農業과 에너지, FAO 韓國協會 서울,

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J.,  
Behrens III, W.W. (1972): The Limits to  
Growth, Pan Books, London & Sydney.

太田時男著(1987)・金吉煥譯(1988): 水素エ  
ネルギー, 森北出版, 東京, 水素에너지, 21 世

紀文化社, 서울

水素エネルギーシステム研究會編(1982): 水素  
エネルギー讀本, オーム社, 東京

槌屋治紀(1980): エネルギー耕作型文明, 東洋  
經濟新報社, 東京