

## 石油에 代替될 에너지개발의 방향(II) (태양-수소에너지 시스템을 중심으로)

김 길 환

한국수소에너지학회 회장

## The Path Toward Solar-Hydrogen Energy System as the Best Alternative in Future (II)

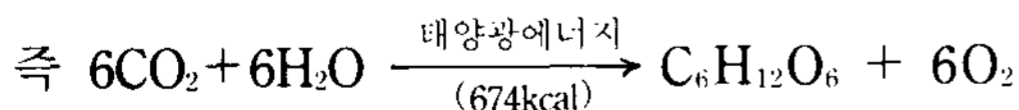
Kim, Kil Hwan

President, Korean Hydrogen Energy Society

### 4. 고찰 및 평론

#### 4.1 에너지원 변천과 환경

인류는 불을 발견한 이래 19세기중엽에 이르기까지 에너지원의 90%를 마른나무가지 장작, 목탄 등 목질연료로 충당해 왔다. 이들 식물성연료는 식물이 자연환경에서의 이산화탄소와 물을 원료로 태양에너지를 받아 영위한 광합성의 산물로서 Fig4에서 보듯이 이 연료의 연소(산화)를 포함한 전과정이 하나의 순환시스템을 이루고 있다.



와 같은 반응식에 따라 생성된 탄수화물은 부패나 연소에 의한 산화로 물과 이산화탄소가 생겨 다시 태양광을 받아 위의 반응이 되풀이된다. 이리하여 태양에너지만이 일방적으로

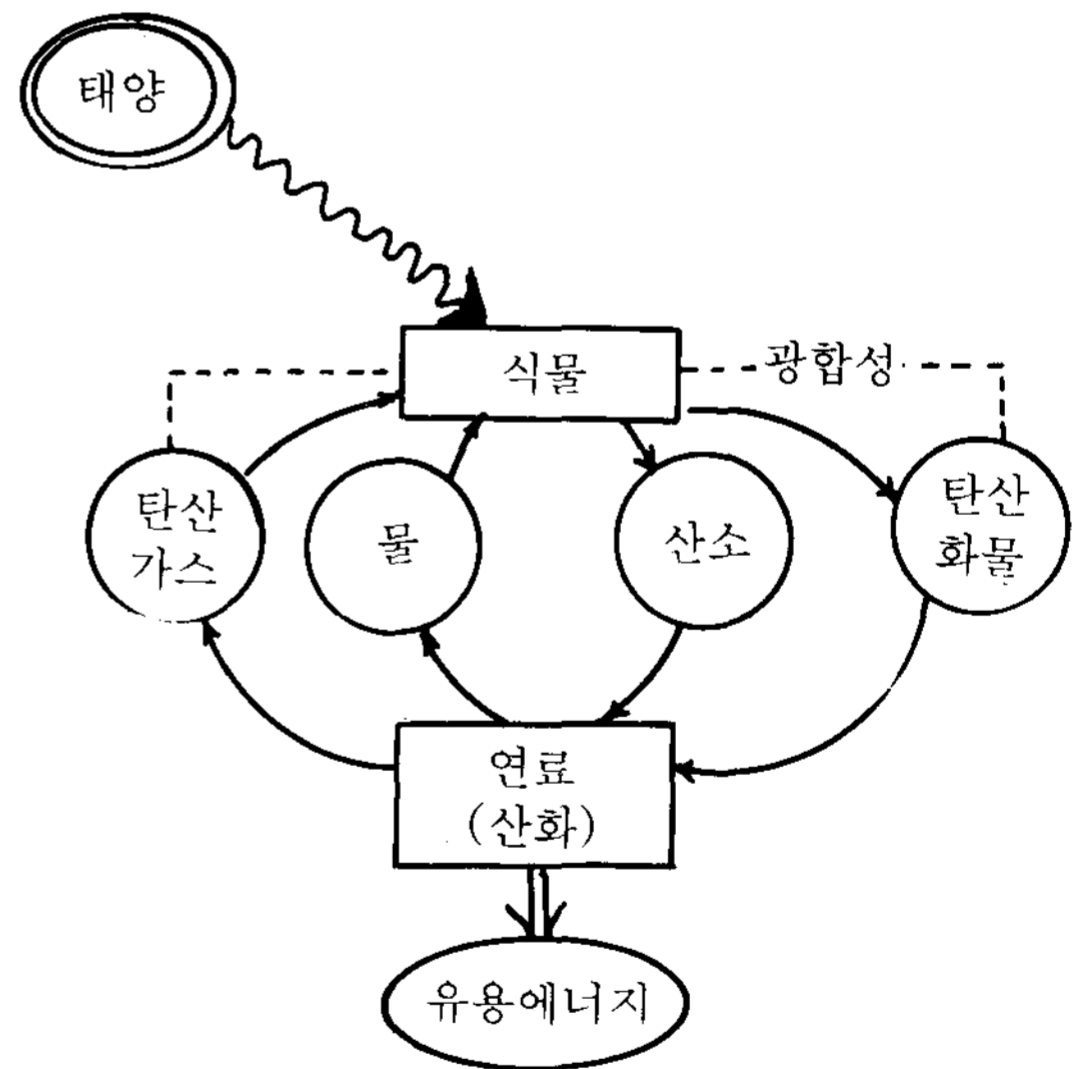


그림 4 木質燃料의 생산 소비로 형성되는 자연계의 싸이클

공급되어 전반응계가 자연계의 폐쇄된 순환계 (closed cycle)를 형성하므로써 이系内에서 생성된 모든 물질은 이 순환과정에 따라 알뜰히 이용되어 공해가 발생하지 않고 연료의 안정

적인 재생산이 이루어진다.

인류가 먹거리(food)를 찾아 오랜 세월을 걸친 채취·수렵의 원시생활끝에 B.C 5000년 경부터 농경을 시작하여 산업혁명전까지 수천 년동안 連綿히 농경문명을 지속해올 수 있었던 것도 근본적으로 바로 이와같은 에너지 생산·소비의 폐쇄된 순환 시스템이 유지돼 왔었기 때문이라고 믿어진다.

태양은 인간을 비롯한 이 지구상의 모든 생명체의 에너지의 원천이며 물은 이것을 에너지원으로 하여 식물계를 통한 자연사이클을 驅動하는 에너지매체이다. 식물이 엽록체 chloroplast의 존재하에서 태양에너지를 전환·고정하는 광합성작용이 상온·상압에서 이루어진다는 사실은 특히 생태학적으로 그 의의가 甚大하다 하겠다.

木質연료는 화학식으로는 일반적으로  $(CH_2O)_n$ 로 표시되는데 산소를 함유하기때문에 저칼로리이므로 산업혁명을 고비로 고칼로리인 석탄으로 점차 대체되게된다. 이리하여 산업혁명이래로 인류가 소비하는 에너지는 지수함수적으로 증대하였고 인류의 생업도 농업에서 공업으로 급격히 전환하게되어 산업혁명에서 일차대전까지는 석탄, 그 이후는 석유에의 의존이 두드러졌고 특히 이차대전후 중동을 중

심으로한 새로운 유전의 잇따른 발견과 기술의 진보는 값싼 석유의 대량공급을 가능케하여 세계적인 경제의 확대·성장이 이룩되었음은 주지의 사실이다.

화석연료는 먼 태고때의 식물이 광합성으로 태양에너지를 고정·축적하는데서 비롯되며 이 태양에너지의 변신이 오랜세월에 걸쳐 지질층에 묻혀 생성되고 매장되어온 태양에너지의 귀중한 「預金」 내지는 「遺産」이며 한번쓰면 소모되어 재생이 불가능할뿐더러 Fig.5에서 보는 바와같이 심한 공해가 발생한다.

한편 공업은 농업과는 달리 원료에서 제품에 이르는 무기적인 생산에서 소비에 이르는 전경로에서 물질이 원료 → 가공 → 제품 → 이용 내지는 소비 → 폐기물과 같은 한 방향으로만 유전하는 직선형(linear) 산업이며 에너지소비 산업으로서 폐기물이 그대로 우리 생활환경에 배출, 잔류되는 단적으로말해서 자연적인 물질순환시스템을 벗어난 반자연적, 반생태적인 성격을 지닌다. 따라서 공업이 발달하면 할수록 그 폐기물이 우리환경에 누적되게 마련이다. 날로 심화일로에 있는 환경오염과 에너지를 비롯한 자연자원고갈에 대한 우리들의 심각한 우려 내지는 위기의식은 근원적으로 현대공업 문명이 내포하고 있는 사회·경제적 제반요인

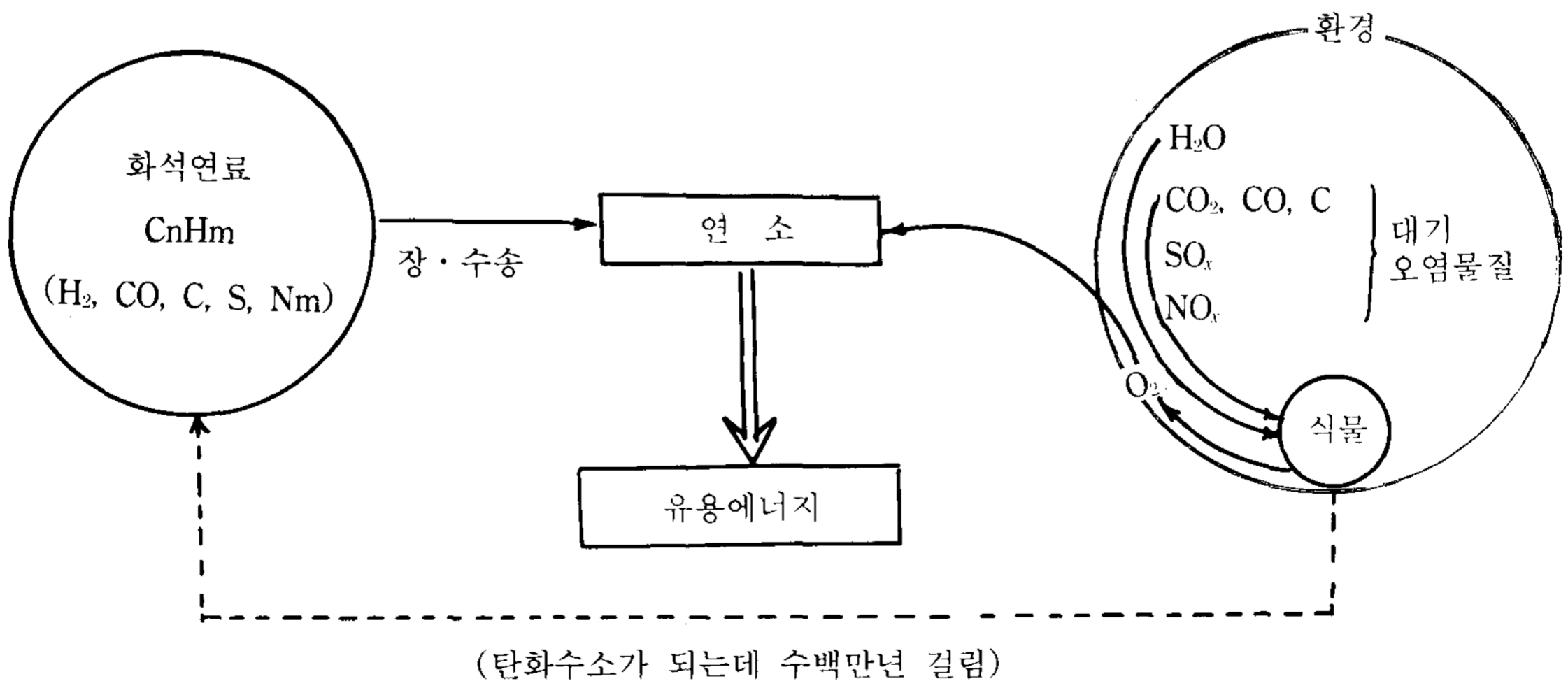


그림 5 화석연료사용에 따른 물질 사이클

과 아울러 상술한 바와같이 자연생태계에 있어서의 순리에 어긋나는 물질과 에너지의 유전의 메커니즘에 기인될 것으로 믿어진다.

#### 4.2 생태학적 차원에서 본 에너지 시스템

에너지 시스템을 廣義로 인간과 자연과의 관계를 바탕으로 한 사회 경제적 시점이나 문명의 차원에서 근원적으로 분석하면 생태학자 오담 등(Odum, H. T. et al, 1976)이 지적했듯이 에너지 energy, 경제 economy 및 환경 environment의 E를 머리글자로 하는 세가지 빠뜨릴수 없는 구성요소가 상호의존적이고 상호보완적인 하나의 조화되고 잘 균형잡힌 시스템으로 파악할 수 있을 것이다.(Fig.6)

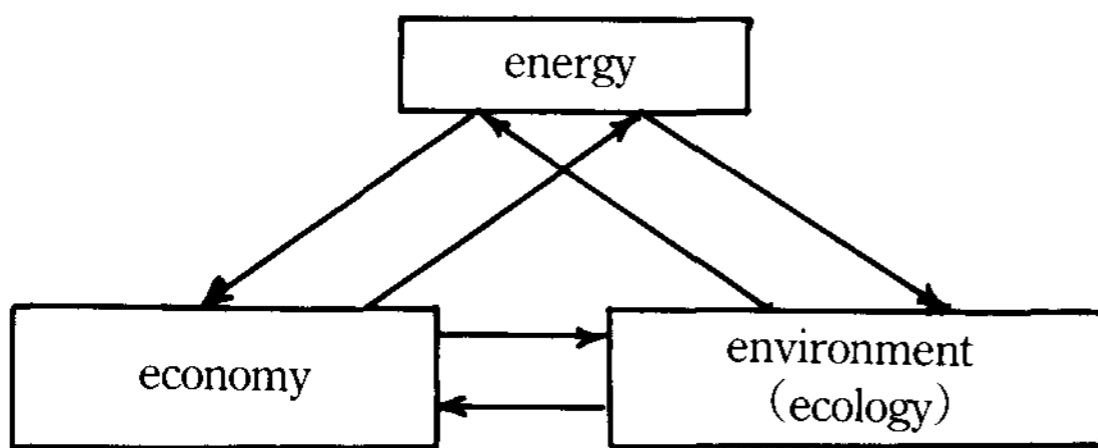


그림 6 에너지 시스템을 구성하는 요소간의 상호관계

산업혁명전 농경문명 시대까지만 하더라도 기술한 바와 같이 이와같은 시스템이 곧잘 유지되었고 오늘날과 같은 에너지자원이나 공해 문제가 거의 거론된 바 없었던 것이 사실이었다.

그러나 지난 100여년동안—悠久한 인류의 역사에서 보면 한 瞬間과도 같은 짧은 시간—에 屢述한 바와 같이 석탄, 석유, 천연가스등 화석연료를 비롯하여 우라늄, 플루토늄과 같은 핵연료등 재생이 불가능하고 공해를 발생할뿐더러 부존양이 한정돼 있는 이른바 자원에너지에 지나치게 의존하여 한결같이 경제성우선, 효율위주, 반생태적인 공업의 논리에 따라 자연자원의 대량개발—대량생산—대량소비—폐기물의 대량누적으로 이어지는 경제성장의 길을 맥진하여왔다. 이리하여 위그림에서 환경

요인과의 연쇄가 경시 내지는 도외시된채 에너지와 경제사이의 사슬만이 지나치게 존중되어 구조적으로 에너지 시스템의 파행상태를 모면할 수 없게 되었다. 오늘날 우리문명사회가 당면한 자원과 환경의 양면에 걸친 어려움은 자연과의 조화를 상실한 현재의 에너지 시스템의 이와같은 불균형의 필연적결과라고 볼 수 있을 것이다.

#### 4.3 에너지원으로서의 핵에너지

화석연료이외의 에너지원으로는 Fig.1에서 볼 수 있는 바와 같이 핵에너지와 태양에너지의 두 그룹이 있다. 이밖에 태양과 달의 인력으로 야기되는 조석에너지와 지각속의 지열에너지도 있다.

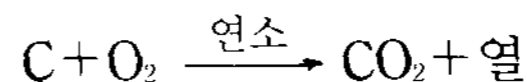
핵에너지는 화석에너지와 마찬가지로 부존량이 제한돼 있고 이 지구상의 분포가 고르지 못한 자연자원으로서 특히 수명이 긴 방사능 오염에 대한 방호대책이 확립돼 있지 않을뿐더러 앞으로 그 안전성에 대한 불안에서 근본적으로 벗어나기힘든 전망이므로 에너지 원으로서 바람직하지않다고 믿어진다.

현재 이용되고 있는 핵에너지는 핵분열연쇄 반응에 따라 발생하는 방대한 열에너지이다.

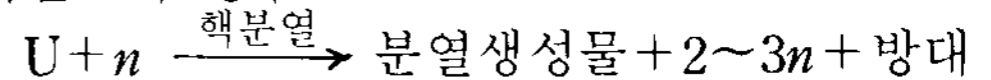
석탄을 연소해서 얻어지는 에너지 즉 탄소와 산소의 반응에 의하여 발생하는 연소열은 탄소 1원자당 약 4 eV, 탄소 1g당으로는 약 8 kcal에 불과하다.

핵연료는 중성자의 매개에 의한 핵반응에 의하여 열을 발생하게 되는데 이것은 석탄이 연소하는 화학반응에 산소의 공급을 필요로 하는 것과 흡사하다.

즉 석탄(화학연료)의 경우는



핵연료의 경우는



한 열과 같은 방정식으로 각각 표시할 수 있다. 우라늄의 핵분열에서는 평균적으로 1원자당

2억eV의 에너지를 방출한다. 즉 1원자당으로 비교하면 탄소의 약 5000만배, 1g당으로는 약 250만배나 된다. 탄소 1g은 약 8kcal이므로 석탄 1kg을 6,000kcal로 잡을 경우 1g의 우라늄에 함유된 원자핵이 완전히 분열하면 석탄 3.33...t에 匹敵하는 열량이 발생한다는 계산이 된다.

핵에너지의 평화적이용의 중추를 이루는 것은 원자로에 의한 발전인데 원리적으로는 화력발전의 보일러대신 원자로를 사용할 따름이며 발전의 메커니즘은 화력발전과 다를바가 없다. 다만 화력발전에 있어서는 상술한 바와 같이 탄소와 산소와의 화학반응으로 얻어지는 열에너지를 이용하는데 반하여 원자로에 있어서는 핵자의 결합에너지가 풀리므로서 발생하는 방대한 핵에너지에 의존한다는 점이 다르다. 그러나 핵분열연쇄반응에 의하여 한꺼번에 에너지의 폭발적인 발생이 일어나지 않도록 노내 밀폐공간과 핵연료가 臨界수준에 머물러 있도록 조절하고 균형을 유지하여 이 연쇄반응을 인공적으로 完璧하고 안전하게 제어하는 것을 결코 용이한 일이 아니다. 무엇보다도 노의 가동중 지나친 반응속도 따라서 지나친 출력으로 爐心을 비롯한 모든 구성부분이 고온·고압상태가 되어 노의 용기의 파손이나 방사능 누출의 위험성이 상존한다. 이와같은 위험을 방지하고 회피하기위해서는 연쇄반응의 과속을 억제해야하므로 반응속도 따라서 출력의 하향 조절이 안전제어의 기초를 이뤄야할 것이다. 이에 반하여 화학연료에 의한 화력발전의 경우는 석탄을 예로들어 풀무를 이용해서 산소공급을 늘리는, 다시말해서 발생하는 연소열을 상향조절하는 것이 상례인것과 좋은 대조를 이루며 핵분열로 얻어지는 에너지가 분자수준의 화학반응으로 생기는 열에너지와는 비교가 안될 정도로 얼마나 거대한가를 단적으로 말해주는 것으로 볼 수 있다.

이렇듯 핵에너지는 그이용으로 수반되는 방사능에 의한 심각한 환경오염에 대한 확고한 대책도 아직 미결문제로 남아있으려니와 에너지로서도 우리인류가 길들여서 평화목적으로 이용하기에는 너무 지나치게 크다고 아니할 수

없다.

현재 가동되고 있는 여러형식의 원자로가 그 안전관리를 위한 고도의 기술과 정교한 시스템에도 불구하고 재래식 화력발전장치에 비해 국내외에서 고장이나 사고가 빈발하는 사실은 우리 인간의 건전한 생활과 조화하기어려운 핵에너지의 이와같은 특성에도 그 원인의 일부가 있지않을까 생각된다.

전술한 미국식수소시스템에 있어서 대형 원자로를 에너지원으로 석탄의 가스화까지 곁들인 착상은 아직 매장량이 풍부한 석탄을 편리하게 이용해 보자는 구상과 아울러 수소를 에너지로서뿐만 아니라 공업원료로서의 현재의 수요량을 손쉽게 충족하기위한 과도적인 시스템이라고 믿어지며 장기적인 안목에서의 궁극적인 시스템이라고는 생각되지 않는다.

#### 4.4 Solar Hydrogen-Energy-System으로 가는 길

화석연료를 대체할 에너지원으로서 핵에너지가 기술한 바와 같이 특히 방사능에 의한 심각한 환경오염을 근본적으로 방지할 수 있는 장래의 전망이 밝지 않고 또 내세기중엽이후에나 실현될 것으로 예측되는 핵융합에너지의 에너지원으로서의 이용도 현재까지의 연구개발의 진도나 핵분열에너지보다 월등하게 큰 에너지를 다뤄야할 기술적 어려움 등으로 말미암아 그 성공가능성이 희박할 것이라는 예상이나 의견도 만만히 볼 수 없으므로 우리가 앞으로 마음놓고 의지할 수 있는 에너지원은 태양에너지의 흐름을 위주로한 깨끗하고 갱신성인 에너지군밖에 없을것이며도 궁극적으로는 그렇게 돼야할 것이다.

여기서 태양에너지군이라고 표현한것은 태양에서 방사되는 이 에너지의 흐름에는 태양광이나 태양열뿐만 아니라 기술한 바와 같이 풍력(운동에너지), 수력(위치에너지), 파력(운동에너지) biomass(화학에너지), 해수온도차(열에너지), 조석(운동에너지)등 이 흐름에서 파생된 태양에너지의 변신이라고 볼 수 있는

다양한 에너지원이 있기때문이다(괄호안은 이용되는 에너지형태).

지구에 도달한 태양에너지의 흐름은 평균해서 1m<sup>2</sup>당 매시 상공에서 1.4kW, 지표면에서는 1kW란 대단히 희박한 밀도이고 또 야간, 우천, 담천등에따라 定常性이 없다. 따라서 태양에너지를 효과적으로 인용하자면 이 희박성과 간헐성을 극복하는 기술을 개발해야 하며 원칙적으로는 이 에너지의 흐름을 공간적으로나 시간적으로 集續해야 한다.

이와같은 목표를 향하여 이제까지 연구개발된 기술수준과 아울러 현대공업문명의 방대한 에너지수요량으로 보아 현재 우리가 의존하고 있는 고밀도 고칼로리의 화석에너지를 갑자기 태양에너지로 대체한다는 것은 비현실적이고 또 가능하지도 않다. 이런 의미에서 핵에너지까지도 과도적 에너지원으로서의 제한된 이용이 불가피하다고 하겠으나 이와같은 과도기를 지나가는 시기가 빠르면 빠를수록 바람직할것은 물론이다. 근본적으로는 에너지수급합리화를 토대로 에너지 효율증대와 낭비방지를 위한 기본대책이 태양에너지의 실용적 집적기술의 개발과 병진하여 모색되고 추진되어야 할 것이다.

로빈스(Lovins, A.B., 1977)는 위에 열거한 바와 같은 깨끗하고 공해를 일으키지 않고 재생이 가능하여 고갈될 염려가 없는 무진장한 각종 에너지를 그 최종소비패턴 내지는 수요구조에 적합하게 분산된 형태로 이용하는 시스템을 제창하여 이것을 「소프트·에너지·패스」(soft energy path)라고 불러 산업혁명 이래 규모의 잇점(scale merit)를 살려 화석연료를 대량으로 소비하는 대형화력발전이나 방사능 오염에 대한 안전대책이 미흡한채 고도의 자본집약적인 원자력발전에 의한 저돌적인 에너지 공급으로 상징되는 「하드·에너지·패스」(hard energy path)와 대비하였다.

오늘날의 선진각국이 채택하고 있는 에너지정책의 기본방향은 바로 이와같은 hard path의 노선이라 하겠으며 장래의 에너지 수요추세는 과거의 소비증대추세의 연장선상에 있다고 보고 한결같이 공급증대에만 치중하여 결과적으로

로 수요증대를 자극하여 에너지의 낭비를 초래한 것이 사실이다.

이리하여 hard path에 있어서는 고도의 전문화된 기술을 집중하여 전력과 같은 질이 높은 에너지를 대규모로 공급하기 때문에 에너지의 수송·분배·변환과정에서 손실이 크고 더욱 에너지의 소비증대를 촉진하게 되는데 soft path에 있어서는 각소비지의 최종수요자의 용도나 규모 및 소요에너지의 질에 적합한 재생가능에너지를 선택하여 개발·공급하므로써 일차에서 이차에너지로의 유통과정에서의 손실을 줄이는 동시에 전체에너지 소비량을 절감할 수 있게되는 것이다.

사실 에너지의 최종 수요구조 내지는 최종 소비형태를 분석해보면 예를 들어 미국의 경우 1977년 한해 동안의 총소비에너지의 58%는 열로서 이용되었는데 그중 35%가 100°C이하이고, 100~600°C가 15%, 600°C 이상의 고열을 필요로 하는 것은 8%에 불과하다. 열수요에 있어서 난방이나 급탕등 100°C이하인 것은 물론이고 300°C까지도 현재기술수준의 태양열 이용으로 충분히 그 대체가 가능한데 이 정도의 열을 이용하는데 효율이 낮고 비싼 화석연료나 질이 높은 에너지인 전력을 굳이 소비한다는 것은 마치 수박을 쪼개는데 전기톱을 사용하는 것과 같은 넌센스이며 엄청난 에너지의 낭비라고 아니할 수 없다.

소프트 에너지의 노선은 이와같이 공해가 없고 재생가능한 상술한 바와 같은 태양에너지의 흐름에서 유래된 다양한 에너지원 내지는 지열까지 포함한 모든 자연에너지의 흐름에 의지하여 마치 생물들이 그들이 처해있는 환경에 적응하여 진화하므로써 적자만이 살아남아 번성해왔듯이 각 지역별로 각각 주어진 환경의 특성에 적합한 에너지원을 선택·組合하고 소규모·분산적으로 그 지역의 최종수요패턴에 맞는 합리적이고 에너지 절약형인 다양하고 개성적인 새로운 에너지 시스템을 개발 확립해 나가겠다는 것이다.

이와같은 에너지 공급전략의 목표는 우리들의 현재의 생활수준을 내려 원시생활로 되돌

아가게하자는 것은 결코 아니며 현재까지의 대량생산시스템의 효율을 앞세운 "the more the better"식의 에너지 낭비를 유발하는 반자연적 반생태적인 에너지공급형인 hard energy의 노선과 그에바탕을 둔 생활양식, 사고방식을 지양하여 공해없고 재생가능한 에너지를 각지역의 특성을 살려 각각 다양하게 최적방식을 創案하고 알맞는 규모로 슬기롭게 개발하여 이를 최종수요패턴에 맞춰 알뜰하게 공급하여 한편으로는 우리들의 생활환경을 건전하게 보전하고 또 한편으로는 검소하고 자족·자제할줄 알며 우리들의 생활의 내실을 기하는 새로운 가치관으로의 전환을 기하는데 있다고 생각된다.

Solar-Hydrogen-Energy-System의 기본구상과 개발방향은 본질적으로 상술한 Soft energy의 노선과 맥락을 같이한다고 할 수 있을것이다.

## 5. 맺는말

Solar Hydrogen Energy system의 기술체계는 비단 상술한 수소의 대량생산기술뿐만 아니라 수소의 수송·저장 특히 수소의 특성을 살린 금속수소화물에 관한 기술을 비롯하여 수소의 안전관리, 수소의 이용기술을 광범多岐한 분야에 걸쳐 있어 그 연구개발에 있어서 국내외에 걸친 긴밀한 學際的협조가 긴요하다. 또 이와 같은 에너지문제에 관한한 기술적차원이나 테두리안에서만 만족하게 해결될 수 없으며 관·민·산·학이 모두 동참해야할 것은 물론 우리 개개인이 모두 소비자로서 우리 공동의 과제로

진지하게 받아들여 안락과 편익만을 위한 지나친 소비, 낭비를 삼가는 마음가짐이 필요할 것이다. 이리하여 우리들의 오랜 삶의 체험으로 터득한 過猶不及의 전래의 교훈을 되살려 상실돼 가는 인간과 자연간의 균형, 조화를 다시 찾는 방향으로 꾸준한 노력이 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

- Anderson, R.(1979) : Biological Path to Self-reliance, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Bachris, g. O' u & gusti, E.W.(1980), Wasserstrff, die Energir bñs alle Leiter, Udo Priener Verlag, München.
- 金吉煥(1987) : 農業과 에너지, FAO 韓國協會, 서울.
- Lovius, A.B.著 室田素弘·植屋沿紀 日譯(1979). soft Energy Path, 時事通信社, 東京.
- 宮嶋信夫編(1980) : エネルギー浪 構造 亞紀書店, 東京.
- 太田時男著(1987) : 金吉煥譯(1988) : 水素 에너지 森北出版, 東京, 水素에너지, 21世紀文化社, 서울.
- Ohta, T, deitid(1979) : Solar thydroyen Energy System, Pergamon Press, Qxford.
- 高巧秀俊, 太田時男共著(1984) \$現代 エネルギー基礎論, 才ム社, 東京.
- Trihutsch, H. (1979) : Rñchhehr eun soune, Cafanl-Verlay Berlin.
- Winter, C-g & Nitsch, L.(1986) : Wanersto als Energiatnäger, springer-Verlag, Berlin.
- 吉田宏, 井手學共著(1986) : 新エネルギー技術 森化出版, 東京.

gas heating. The FBR was improved in carrying over of SiC powder and thermosiphon effect. The maximum outlet air temperature of 1140K and the maximum thermal efficiency of 64% were obtained. The present FBR's operated efficiently at extremely high temperatures in comparison with conventional solar receivers, composed of flat or tubular solid surfaces.

## **High Temperature Solar Gas Heating by a Compact Fluidized-Bed Receiver of Open-Type**

**Choi, Jun-Seop**

*Korea Institute of Machinery & Metals*

A small scale solar collector system composed of a Fresnel lens of 0.5m<sup>2</sup> area as a solar concentrator and a compact fluidized-bed solar receiver was developed. Performance and temperature distribution in the fluidized bed receiver were measured using SiC for particles and air for working fluid. The maximum gas temperature was attained up to 1250K at this moment. In this study, energy efficiency achieved by the present experiment was high for the small scale solar collector system and compact receiver.

## **The Path Toward Solar-Hydrogen Energy System as the Best Alternative in Future(t)**

**Kim, Kil Hwan**

*President, Korean Hydrogen Energy Society*