

신에너지 관련 기술개발 동향

오 정 무

한국에너지기술연구소

1. 서 론

두번에 걸친 1970년대의 오일쇼크 이후 세계 각국 특히 주요 석유소비국인 선진공업국들을 중심으로 석유소비를 줄이거나 대체에너지를 개발하기 위한 기술개발에 많은 노력을 경주해오고 있다. 현대 산업사회의 견인차 역할을 담당해온 주에너지원인 석유자원의 유한성을 고려해볼 때 또 다른 오일쇼크의 도래는 쉽게 예견될 수 있는 일이고 또한 석유자원의 고갈에 따라 이를 대체할 수 있는 새로운 에너지를 확보하는 것이 급박한 현실로 다가오고 있다.

현재 널리 사용되고 있는 화석에너지로는 석유와 석탄을 들 수 있다. 지구에 매장되어 있는 석유는 약 2조 배럴로 추정되고 있으나 확인매장량은 73억 배럴로 향후 30~40년이 지나면 바닥이 날 것으로 예상되고 있다. 이에 비해 석탄의 매장량은 13조톤으로 앞으로 약 230년 정도는 충분히 사용될 수 있으나 편리한 석유를 사용하는데 익숙해진 시대에 석탄의 이용을 확대시키기 위해서는 석탄의 액화나 가스화를 통해 사용하기 편리한 형태로 전환시켜야 한다.

신에너지의 용어에 대한 정의가 정립되어 있는 것은 아니지만 본고에서는 전통적인 기술에 의거하지 않고 새로운 기술에 의해 생산 이용될 수 있는 에너지중 원자력에너지를 제외한 모든 에너지를 일컫는데 사용하였다. 이는 크게 화석에너지와 재생에너지의 두 부문으로 분류될 수 있는데 화석에너지로 석유, 석탄 및 천연가스를 들 수 있으며 재생에너지로 태양, 해양, 풍력, 지열, 수소, 바이오매스 및 소수력에너지를 들 수 있다. 신에너지 관련기술로는 새로운 에너지를 생산하는 에너지 공급기술과 개발된 에너지의 효율적 이용을 위한 에너지 이용기술 및 에너지관련 환경기술의 세 분야를 고

려해 볼 수 있는데 특히 발전, 수송, 저장 및 절약 기술을 포함하는 신에너지 이용기술과 차세대기술로 알려져 있는 에너지관련 환경기술에 많은 연구가 진행되고 있다.

본고에서는 최근 국내에서 많은 관심을 모으고 있고 동자부 및 과기처의 꾸준한 연구비지원으로 산업계, 학계 및 연구소에서 활발히 연구가 진행되고 있는 신에너지공급기술과 이용기술 및 에너지환경 기술에 대해 알아보고 이와 아울러 신에너지관련기술의 연구개발과제를 소개하고자 한다.

2. 신에너지 공급기술

2.1 화석 에너지

2.1.1 석유

석유자원은 양적으로 제한되어 있어 장기적인 측면에서 수송, 화학원료 및 다른 에너지에 의해 대체되기 어려운 용도에 한정하여 사용하는 것이 바람직한데, 석유자원의 중요성에 비추어 원유의 회수기술, 타르샌드나 오일셀로부터의 원유회수, 원유정제기술의 고도화 등에 의한 기술개발이 진행되고 있다.

원유의 회수기술은 1차 및 2차 오일회수에서 회수되지 않은 50%에 해당하는 원유를 회수하는 3차 회수기술을 말한다. 원유의 점도 또는 표면장력을 낮추어 원유의 유동성과 물리효율(Sweeping efficiency)을 증가시켜 원유를 회수하는데, 유전에 수증기를 투입하는 열적방법, 고압의 이산화탄소를 투입하는 혼합법, 계면활성제 또는 고분자물질을 고압으로 투입하는 화학적방법 등이 있다. 지금까지 개발된 유전에서 원유회수율을 1% 증가시킬 수 있다면 회수가 가능한 원유의 양이 340억 배럴로 늘게 된다. 따라서 새로운 유전을 개발하는 것보다 기존 유전

에서 회수율을 높여 원유를 회수하는 것이 더 경제적인 수도 있다.

타르샌드는 모래와 물과 비튜멘(Bitumen)의 혼합물로 전세계에 확인매장량이 2,264조 배럴이며 경제적인 회수방법이 개발되면 이로부터 얻는 원유의량이 막대할 것이다. 타르샌드에 포함되어 있는 비튜멘은 수증기를 타르샌드층에 투입하여 회수되고 있는데 생산비를 낮추기 위해서는 매장상태, 매장층의 특성에 따른 회수방법의 개발이 필요하다. 오일셀은 케로진(Kerogen)을 포함하는 퇴적암으로 1톤의 오일셀로부터 42갤론 이상의 기름 생산이 가능한 오일셀의 확인매장량만도 3,145조 배럴로 추정되고 있다. 오일셀은 통상의 용매를 사용하여서는 유기물질의 회수가 어려운데 상압 500~550°C에서 열분해를 시키면 케로진이 분해되어 기름이 생성된다. 오일셀에 함유되어 있는 기름의 양이 8~15%이므로 기름을 회수한 후에 남는 많은 양의 오일셀 처리가 오일셀의 효율적 이용을 위해 해결해야 할 가장 큰 문제이다.

석유제품간의 소비구조 변화에 효율적으로 대처하기 위해서는 석유제품별 생산수율에서의 유연성 향상 및 생산비용의 절감을 위한 원유 정제기술의 정제화가 필요하다. 이를 위해 인공기능 등을 이용한 첨단 공장제어기술, 분리막을 이용한 분리기술, 선택도 및 활성도가 우수한 촉매기술 등의 새로운 기술에 대한 연구개발이 요구된다.

2.1.2 석탄

취급이 불편한 고체형태인 석탄을 공해물질이 적고 사용하기 편리한 액체 또는 기체연료형태로 전환시키는 기술로는 크게 석탄액화기술과 석탄가스화기술을 들 수 있다. 석탄액화기술의 장점은 원료의 안정적인 공급이 가능하고 전환단계에서 황과 질소를 제거할 수 있다는 점이다. 대표적인 액화방법으로는 석탄을 고온고압 반응기에 주입하여 액화시키는 직접액화법과 석탄을 먼저 가스화한 후 이 가스를 수소와 함께 촉매가 있는 고온고압 반응기에서 반응시켜 메탄올과 같은 액체연료를 제조하는 간접액화법이 있다.

석탄액화기술로 생산되는 원유가격은 공정에 따라 배럴당 \$30~40이어서 현재는 경제성이 없다. 석탄 1톤당 4.5 배럴 정도의 원유를 생산할 수 있는데, 미국에서는 이미 실증용으로 EDS공정, SRC-II공정

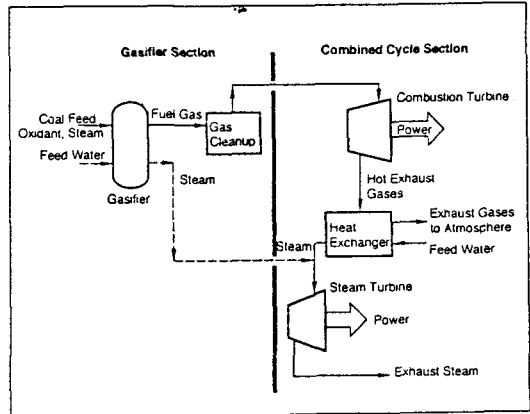


그림 1. 석탄가스화복합발전의 개념도

및 H-Coal 공정에 관한 연구가 완결된 단계이고 CC-ITSL공정을 수행하여 경제성향상에 관한 연구를 계속중에 있다. 이 밖에도 일본의 실증용 NEDOL공정과 호주의 Brown Coal Liquefaction공정 그리고 독일의 new-IG공정이 있다. 국내에서도 1985년부터 에너지기술연구소에서 관련연구를 수행해 오고 있으며 1990년부터는 동력자원부 주관의 대체에너지 개발사업의 일환으로 향후 상업화에 대비한 기술습득 및 기술축적연구가 진행되고 있다.

석탄가스화의 경우 석탄을 우선 물과 반응시켜 일산화탄소 및 수소가스를 생성시키고 생성된 이산화탄소를 다시 수증기와 반응시켜 수소와 일산화탄소를 만든 후 고온 고압하에서 메탄가스를 생성한다. 세계적으로 석탄가스화를 대표할 만한 공정은 약 37개에 이르며 이중 약 180여개의 상이한 석탄가스화기술이 알려져 있는데, 석탄과 가스화제의 접촉방법에 따라 크게 4가지로 분류된다. 즉, 석탄을 일정한 Bed에 충전시킨 후 여기에 수증기와 가스화제의 혼합물을 투입하여 가스화시키는 고정층방법, 유동층연소와 같은 방식에 의한 가스화 방법, 석탄과 가스화제를 동시에 병립시켜 가스화시키는 분류층방법, 그리고 용융철 또는 용융 탄산염 등을 이용하는 용융층 가스화방법이 그것이다.

석탄가스화기술의 공통개발과제로는 반응장치설계, 전환율 증대, 회제의 용융, 고온고압의 조작방법 및 재료선정, 탄종의 다양화, 생성가스정제, 폐기물 처리 및 환경개선방법, 그리고 장치의 scale-up 방법 등이 있다. 석탄가스화기술의 경제성이 확보되면

다른 대체에너지와 복합기술의 개발이 예상되는데 이중 그림 1에 나타난 석탄가스화 복합발전기술 등의 이용이 활발해질 것으로 기대되고 있다.

2.1.3 천연가스

천연가스는 연소시 다른 화석연료에 비해 질소산화물과 같은 극히 제한적인 대기오염물질만을 배출하기 때문에 청정연료로 불리고 있다. 지구심층부에는 향후 수백년에서 수천년동안 사용할 수 있는 막대한 양의 가스가 산재해 있는 것으로 알려져 있다. 기존의 화석연료는 생물들이 수백만년동안 퇴적되어 탄화수소물로 변형 생성된 것에 반해 지구심층부에 산재되어 있는 가스층은 지구 생성중 고온반응 과정에서 생성되어 지구표면에서 2만피트 내지는 3만피트 정도의 깊이에 위치하고 있다. 현재 유전시추 작업에서도 2만피트이상 굴착하고 있어 지구심층부에 산재한 가스층의 고압처리 및 지역에 따라 높은 유황성분 처리 등의 문제점이 해결된다면 실용화가 가능할 것으로 기대된다.

천연가스는 가스상태로 파이프를 통하여 직접 공급되거나 또는 액화천연가스(LNG) 상태로서 tanker를 이용, 육로나 해상을 통해 수송되고 있는데, 내륙의 파이프망 건설기술은 상당한 수준이나 건설비의 절감을 위한 도로 비굴착공법 등의 부수적인 기술개발이 필요한 상태이며 해저 파이프망 건설기술도 근해에서 생산되는 천연가스의 수송을 위한 기술이 발전되고 있다.

2.2 재생에너지

2.2.1 태양에너지

우리가 살고 있는 지구는 태양으로부터 매시간마다 전 인류가 1년동안 소비하는 총에너지의 두배만큼 막대한 양의 에너지를 받아 들이고 있다. 태양에너지를 직접 실생활 또는 산업체 동력원으로 사용하기에는 에너지 밀도가 너무 낮고 기상조건에 민감한 문제들이 있긴 하지만 공해가 전혀 발생하지 않고 영속적이며 우리나라와 같이 에너지 부존자원이 빈약한 나라에서도 용이하게 이용할 수 있는 미래의 유력한 에너지이다. 최근 태양에너지 관련 기술은 급속도로 발전하여 몇몇 분야에서는 이미 실용화가 이루어졌으며 표 1에 나타난 바와 같이 태양광을 이용한 태양전지발전, 태양열을 이용한 발전 혹은 냉난방기술 등 그 분야가 매우 다양하다.

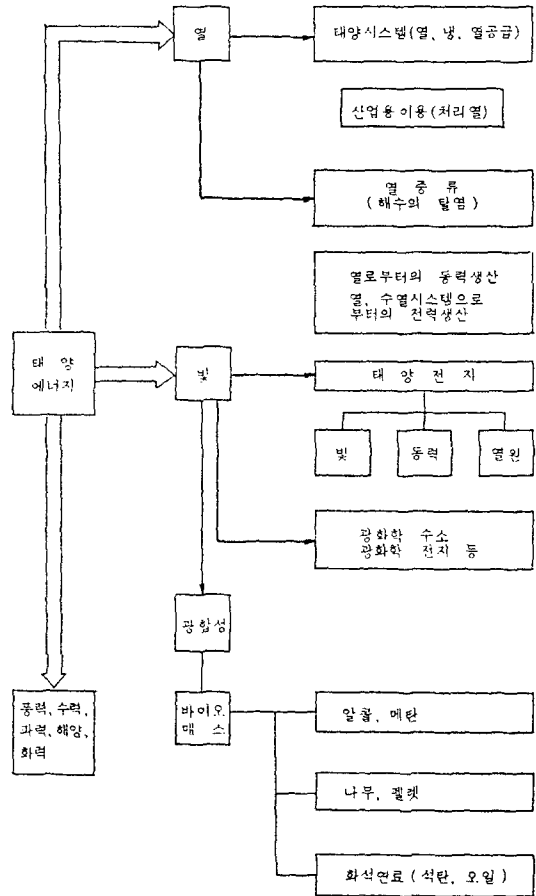


표 1. 태양에너지 이용분야

태양에너지이용의 대표적인 태양광발전은 태양의 복사에너지를 전기에너지로 변환시키는 기술로 일반적으로 수 와트로부터 수 킬로와트를 단위화하여 용도에 따라 수 메가와트까지의 전력시스템을 쉽게 설치할 수 있는 특성을 가지고 있다. 또한 기존 시설의 교체나 증설이 쉬워 이에 많은 시간이 소요되는 화력발전이나 원자력발전과 크게 대조를 이룬다. 발전용으로 사용하는 태양전지는 아직까지 결정질 규소를 소재로 한 것이 주류를 이루고 있으나 비정질 규소를 비롯한 화합물 반도체 소재의 태양전지도 점차 활용영역이 넓어지고 있다.

현재 국내 태양광발전 이용은 등대, 해상표지, 통신용 및 도서전원 등의 공공분야에 편중되어 있지만, 지속적인 기술개발로 2000년대에는 발전단가가 화력발전과 충분한 경쟁이 가능하여 일반 가정용 전원예의 많은 수요가 기대된다.

2.2.2 해양에너지

해양에너지는 부존형태에 따라서 조력, 파력, 해수온도차, 해류에너지 등으로 존재하는데 대부분 첨단기술을 필요로 하고 엄청난 개발비용이 들어 현재로서는 경제성이 취약하며 몇몇 선진국에서 실험적 연구개발이 진행되고 있을 정도이다. 해양에너지는 크게 조력발전, 해양온도차발전 및 파력발전으로 이용될 수 있다. 조력발전기술은 주로 저낙차용 수차의 개발에 중점을 두고 있으며 Rance발전소의 Bulb형 수차, 캐나다 Annapolis발전소의 Straflow 수차 등이 개발되고 있는데, 조력에너지는 간만의 차가 5 m 이상되어야 개발가치가 있어 우리나라의 서해안을 비롯한 유럽, 북미 등의 몇몇 해안지역에서만 가용조력원이 편재되어 있다.

해양 500~700 m 깊이의 온도가 4~6°C 이고 해양 표층온도가 높은(열대: 28~30°C; 아열대: 22~26°C) 점을 이용하여 발전을 할 수 있으나 아직까지는 시험단계이다. 1980년대에 들어와 미국과 일본에서 각각 1000 KW급, 120 KW급 파이롯트 플랜트를 건설하고 시험발전에 성공한 바 있으며 현재는 수십 MW급 플랜트의 개발에 목표를 두고 연구를 추진하고 있다. 파력энер지를 이용한 발전기술연구는 약 100년전부터 시작되어 파력전원이 풍부한 일본과 영국 및 노르웨이 등에서 활발하게 수행되고 있어 90년대 전반에 실용화될 가능성이 매우 높다.

2.2.3 풍력에너지

지구에서 부는 바람은 세계 에너지소비량의 100 배나 많은 에너지를 가지고 있다. 풍력에너지는 풍력의 3승에 비례하고 풍차의 지름의 4승에 비례한다. 따라서 풍속이 크고 풍차의 크기가 크면 클수록 그만큼 더 많은 풍력에너지 생산할 수 있게 된다. 서독연구기술성의 연구에 따르면 풍력발전이 경제성을 갖자면 용량은 적어도 3천KW급이 되어야 하고 그러기 위해서는 풍차의 지름이 100 m는 되어야 한다.

미국에서는 풍력발전에 대한 관심이 널리 번져나가 1980년대초 불과 100여대였던 풍력발전기는 1987년에는 15,660대로 크게 늘어났고 1,390 MW의 전기를 발전하게 되었다. 덴마크는 1986년까지 총 1,200대 (발전용량 총 73 MW)의 풍력발전기를 보급했으며 1987년에는 2 MW급의 것도 개발했다. 풍차의 나라 네덜란드에는 25대의 300 MW급 풍력발

전기를 갖춘 유럽 최대의 풍력발전단지가 있다. 스웨덴도 1982년에는 2,000 kw급과 3,000 kw급 풍력발전기의 개발을 끝내고 현재 가동중이다. 일본은 100 KW급 풍력발전기 개발에 이어 MW급 개발에 착수했다. 100여대의 풍력발전기를 가동하고 있는 인도는 1995년까지 약 1만대를 보급하여 모두 1천 MW의 전력을 생산할 계획이다. 중국도 1990년~1996년간 1백~2백KW의 풍력발전을 계획하고 있다. 우리나라를 포함 전세계에는 2만여대의 풍력발전기가 보급되어 있다.

최근 풍력발전기의 안전성과 신뢰도는 크게 향상되었고 건설단가는 1981년의 KW당 3천달러에서 1986년에는 1천달러로 떨어졌으며 이런 하락추세는 계속되고 있어 미국의 경우 2000년까지 년간 1조 KWh의 풍력전력을 생산하여 전력수요의 13.6%를 공급할 것으로 예상하고 있다.

2.2.4 지열에너지

오늘날 세계에는 총 3,800 MW 규모의 지열발전장치가 가동중에 있다. 이중에서도 발전용량 1,400 MW급인 미국 캘리포니아 Geysers 지역발전소가 가장 큰 규모인 것으로 알려져 있다. 일본에서도 총 215 MW 용량의 지열 발전설비가 가동되고 있으며, 이 밖에 이탈리아, 아이슬랜드, 뉴질랜드 등도 소규모 발전설비를 보유하고 있다.

그러나 이들 대부분은 지표면 가까이 있는 고온 증기를 이용한 것으로 장차 지열에너지 자원을 획기적으로 활용하기 위해서는 보다 깊은 지층에 존재하는 막대한 열수에너지의 추출기술과 이를 이용한 발전기술 및 지역난방용 열수공급시스템의 개발이 필요하다. 선진국의 경우 그동안 축적된 실용화 기술을 바탕으로 2000년대 초반에는 고온암체 발전 기술 분야까지 실용화할 계획을 가지고 있다.

2.2.5 수소에너지

수소의 제조기술은 다양하지만 현재까지는 주로 석유나 천연가스의 열분해에 의해 제조되거나 다른 화학물질 제조의 부산물로서 또는 물의 전기분해에 의해 제조되고 있다. 그러나 미래의 청정에너지 생산시스템으로 활용할 궁극적인 수소제조기술은 화석연료에 의존하지 않은 원자력이나 태양에너지 등을 활용한 물로부터 수소를 제조하는 혁신적인 기술이어야 한다. 현재까지 알려져 있거나 개발중인 기술로는 열화학법에 의한 제조, 열, 광 및 전기분해

혼성사이클에 의한 제조, 반도체 전극을 이용한 광전기화학적 제조, 광촉매에 의한 제조, 고온 직접 열분해에 의한 제조, 그리고 알칼리형 또는 산형 고분자전해질에 의한 전기분해 제조기술 등이 있다.

미국, 일본, 이태리, 서독, 프랑스 등 유럽국가에서는 일찍부터 수소에너지 기술에 대한 상당한 연구가 진행되어 오고 있는데 특히 일본의 Sunshine Project 는 수소에너지 제반분야에 걸쳐서 체계적인 연구를 수행하고 있다. 수소에너지 기술개발은 생산, 수송 및 저장 그리고 이용방법에 이르기까지 많은 분야의 기술이 종합적으로 필요한데 국내에서는 수소에너지 확보의 필요성에 대한 낮은 인식 때문에 수소에너지에 대한 연구개발이 매우 미진한 상태이다.

2.2.6 바이오매스 에너지

바이오매스자원은 크게 농산, 임산, 축산, 수산 및 도시폐기 바이오매스로 분류된다. 바이오매스 이용 기술의 대표적인 선도국인 미국의 경우 미이용 유기폐기물로부터 알콜발효 및 메탄발효를 통해 수송용 알콜연료 및 메탄가스를 얻고 있다. 주요 개발 내용은 알콜발효의 경우 균주개발, 셀룰로스 전처리, 당화 및 알콜발효, 알콜농축 및 리그닌의 복합이용 기술개발이 있고, 메탄발효의 경우 메탄균주의 균주개발 및 확보, 2단발효 및 속성발효 기술개발이 있다. 임산바이오매스의 경우 열화학적 가스화 및 액화에 의한 전환 기술이 개발되고 있고, 농산바이오매스의 경우 연료, 화학원료 및 식량 생산기술이 개발되고 있다. 또한 수산바이오매스의 경우는 해양농장재배에 의한 메탄가스, 사료, 비료, 화학원료 생산 복합시스템이 개발되고 있다. 이밖에도 광합성세균 및 남조류를 이용한 수소생산 등이 있다.

메탄발효에 의한 메탄가스의 생산은 이미 국내에서 실용화된 상태이나 섬유성 바이오매스로부터의 수송용연료알콜 생산은 미국을 중심으로 본격적인 기술개발 단계에 들어서 있으며 2000년까지 기존의 수송용연료를 대체할 수 있는 수준까지 생산단가(겔론당 0.6달러)를 낮출 수 있을 것으로 기대되고 있다. 주요 기술개발 목표는 글루코스와 자일로스의 수율제고, 수요동력 감소, 알콜생산성 향상, 리그닌의 활용, 저렴한 에탄올 농축기술 및 발효시간의 단축 등이다.

2.2.7. 소수력에너지

소수력발전은 초기 시설투자비가 높은 단점이 있지만 수명기간(30년 이상) 동안 유지보수비가 적게 든다는 잇점이 있다. 수력과 소수력에 대한 구분은 나라에 따라 다른데 미국의 경우는 15,000 KW급 이하를 우리나라는 3,000 KW급 이하를 일컫는다.

우리나라의 소수력자원은 비교적 풍부한 편으로 2,605개소에 발전 가능량이 총 94만KW에 달하는 것으로 알려져 있다. 1978년 450 KW급의 안홍 소수력 발전소가 건설된 이래 현재까지 총 25,000 KW의 발전용량에 달하는 12개의 소수력발전소가 개발 가동되고 있다.

2.2.8. 폐기물에너지

유럽의 여러 국가에서는 50년대부터 쓰레기처리 및 소각에 대한 연구가 활발히 진행되어 있으며 1954년 스위스의 Von Roll사에 의해 일산 100톤 규모의 소각장치로서 발생열을 증기와 전력생산에 이용하였고, 증기는 생산 공정용이나 열수로 열교환되어 지역난방에 현재까지 이용되고 있으며 대규모 플랜트의 경우는 발전용으로 활용되고 있다. 특히 일본의 경우 수회회전로, FBC 소각로 등 신기술을 개발 보급단계에 있다.

국내의 폐기물은 주로 매립방법에 의존해 왔으나 최근 매립지 확보가 어려워 에너지를 회수하는 연소방법 또는 폐기물을 자원화하는 방법 등이 연구되고 있다. 국내에서는 서울 목동의 소각로시스템과 난지도의 RDF 시스템 기술을 외국으로부터 도입하여 가동하고 있으나 국내의 쓰레기 성상이 외국과 근본적으로 다르므로 여러 문제가 발생하고 있다. 따라서 국내 폐기물 배출현황과 성상 및 조성을 조사하여 이를 분석하고, 최종적으로 처리할 수 있는 시스템을 개발하는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

3. 신에너지 이용기술

3.1. 발전기술

3.1.1. 열병합 발전시스템

열병합 발전시스템은 전기와 열을 동시에 공급하는 시스템으로 그림 2에 나타낸 바와 같이 엔진, 터빈 또는 연료전지 등의 원동력에 의해 전기가 생산되고 발전시 생기는 폐열은 열로 공급된다. 일

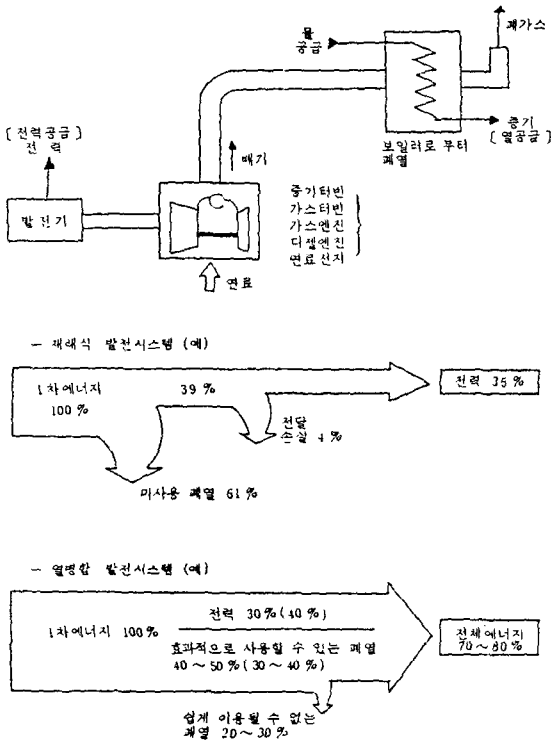


그림 2. 열병합발전의 개념 및 열에너지 효율

반적인 발전시스템은 발전 중에 생기는 폐열과 송전 및 배전 중에 생기는 손실 등으로 인해 에너지 이용율이 35% 정도에 불과하지만 폐열을 효과적으로 사용할 수 있는 열병합 발전시스템은 전기와 열수요의 균형이 맞을 경우 약 70~80%까지 에너지이용률을 올릴 수 있다. 또한 일반적인 집중발전시스템과는 달리 수요가 많은 곳에 분산된 형태의 발전원을 설치할 수 있기 때문에 송전손실을 줄일 수 있다.

미국에서는 1차 오일쇼크 후인 1978년 카터 행정부에 의해 원유가의 급상승과 에너지공급 부족 사태에 대처하기 위하여 에너지절약과 에너지의 효과적인 이용을 위한 5개 에너지관련법이 제정된 바 있다. 이 중 하나인 PURPA(Public Utilities Regulation Policy Act)은 열병합발전의 보급과 소규모 발전소의 확대를 위해 전기사업자로 하여금 정부의 소규모 전기공급자로부터 전기를 구매할 수 있도록 하였다. 이 법이 제정된 후 미국의 경우 열병합 발전시스템이 급속히 보급되어 열병합 발전용량은 미국 전체 발전량의 5%에 해당하는 25,000

MW에 달하게 되었으며, 2001년까지는 전체 발전량의 15%로 증가시킬 예정이다.

열병합 발전시스템의 경제성은 장치가격과 열 및 전기수요의 비에 따라 다르고 설치지역 및 구성방법에 따라 다르지만 전체적으로 높은 경제성과 에너지효율을 예상할 수 있다. 또한 열병합 발전시스템은 발전하는 동시에 폐열을 냉방을 위한 열원으로 사용할 수 있기 때문에 피크 전력부하를 낮추는데 기여할 수 있다.

3.1.2. LNG 냉열발전

LNG는 산지에 따라 그 조성이 조금씩 다르지만 주성분인 메탄의 비점이 영하 162℃로 kg당 약 200 kcal의 냉열을 가지고 있어 액화산소 및 액화질소의 제조, 페타이어 등의 분쇄, 식품의 냉동보존, 식품의 분쇄 및 드라이아이스 또는 액화 탄산가스의 제조 등에 이용된다.

LNG를 가스화시키는 기화기속에서 해수와 열교환을 시키는데 이 때 방출되는 에너지를 이용하여 발전하는 것이 냉열발전으로 화력발전소의 보일러와 증기 응축기 역할을 열매체의 기화기와 LNG기화기가 각각 하고 있는 셈이다. 일본은 1974년 11월 출력 400 KW의 시험발전소를 건설하여 세계 최초의 냉열발전에 성공한데 이어 오사카가스는 발전능력 1,450 KW의 실용발전소를 건설하였다.

3.1.3. MHD발전

MHD발전에서는 전자적으로 미리 자장을 만들어 놓고 이것과 직각을 이루는 방향에 2,000℃ 이상의 플라즈마 형태의 연료를 흐르게 한다. 이 때 플레밍의 왼손법칙에 따라 자장과 플라즈마의 흐름과 직교하는 방향으로 전류가 흐르기 시작한다. 터빈과 같은 회전장치가 필요없기 때문에 에너지 손실이 없고 발전효율이 50%정도로 높다.

MHD발전 개발은 1959년 미국 AVCO사가 처음으로 출력 11.5 KW 발전에 성공한 것을 계기로 소련과 일본이 경쟁대열에 뛰어 들었으며 최근에는 중국, 인도, 호주, 네덜란드가 국가 프로젝트로 선정하고 있다. 기초연구에서 선도국인 미국은 석유연소로 1,000시간 연속운전 기록을 갖고 있는데 1995년에는 석탄연소로 2,000시간 그리고 효율 38%의 반상용기를 제작할 계획이다. 일본은 등유연소형으로 482시간의 연속운전에 성공했고 천연가스형을 중심으로 개발하고 있는 소련은 출력 50만 KW의

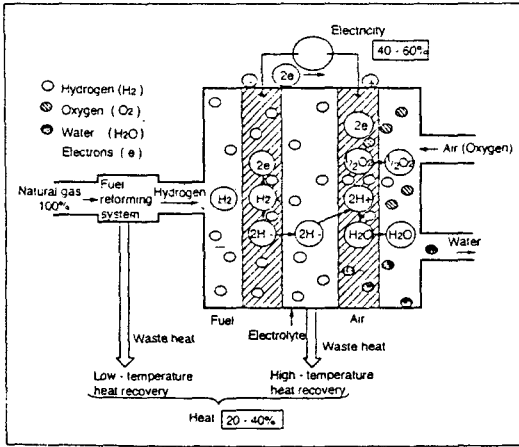


그림 3. 연료전지의 원리

U-500을 건설 중에 있다.

3.1.4 연료전지

물을 전기분해하면 수소와 산소가스로 분해되지만 이와 반대로 촉매를 이용하여 Fig.3에 나타낸 바와 같이 수소와 산소가스를 반응시키면 물을 만들 때 전기가 발생되는데 이러한 장치를 연료전지라 부른다. 최근 선진국에서는 대규모 연료전지 발전장치 개발분이 일고 있는데 21세기에는 수력, 화력 및 원자력에 이어 제4의 발전소로 각광을 받게 될 전망이다. 규모를 마음대로 정해도 효율이 높고 입지 제약이 적으며 자동운전까지 할 수 있는 연료전지 발전은 앞으로 실용기를 맞으면 출력 수만에서 수십만 KW 정도가 될 것이며 이런 규모라면 초고층 빌딩 1채분의 전력 또는 일반가정 약 5천 가구에서 5만 가구의 전력수요를 공급할 수 있게 된다.

1971년에는 9개의 미국 전력회사가 출력 26,000 KW의 연료전지발전소 개발계획인 FGG-1 계획을 추진하기 시작했는데 미에너지성의 지원으로 교류 4,500 KW의 발전장치를 완성하였다. 일본의 동경전력도 1984년 UT사에서 이 발전시스템 기술을 도입하여 저비용 고이발전소내에 출력 4,500 KW의 발전에 성공했다. 그러나 비싼 백금촉매의 사용으로 건설단가가 원자력발전소의 3배나 되어 연료전지발전 기술의 확산에 걸림돌이 되고 있다. 그런데 제2세대의 연료전지로 기대를 모으고 있는 용융탄산염형은 인산형에서와 같은 백금촉매가 필요없게 된다. 또 제3세대인 고체전해질형 연료전지에 관한 연구도

활발히 진행 중에 있다.

3.2. 수송기술

3.2.1. 수송수단

기존 내연기관의 열효율은 25~35% 정도로 열사이클의 에너지를 유효하게 이용하는 방법으로 연소의 개선(희박연소, DOHC, 층상급기 등) 및 압축기의 향상 등을 통한 열효율 제고, 펌핑손실의 저감, 가변배기량, 운전영역제어형 무단자동변속 등을 통한 마찰손실의 저감 및 운전조건의 최적화를 도모하고 있다. 또한 콤플렉스 압력과과급, 배기터빈과과급, 랭킨보토밍 등으로 배기에너지 회수에 의한 열효율 향상 연구도 진행하고 있다. 자동차연료의 탈석유화를 위하여 알콜, 수소, 연료전지 및 천연가스 등을 채용하고 있는데 수소를 제외하고는 상당수준까지 실용화 단계에 이르고 있다.

철도차량 역시 자동차 경우와 거의 동일한 기술개발이 추진되고 있는데 특히 역행성능, 제동성능, 자기부상차량, 주행저항의 감소 등을 통한 주행성능의 개선과 차량의 경량화, 기기의 효율화, 기기의 표준화를 통한 차량 및 기기의 개선에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 향후 철도차량은 자기부상열차 및 고속전동기를 이용한 초고속화 및 전인력증대에 주안점을 두고 개발되어 공로수송에 크게 이바지할 것으로 보인다.

기타 선박의 경우에는 에너지절약형 성형개발, 에너지절약을 위한 구조설계기법개발, 박용 주기관 에너지유효 이용기술개발 및 운항효율 고도화를 위한 기술개발로 요약된다.

3.2.2. 수송시스템

수송시스템에서 가장 큰 몫을 차지하는 화물수송체계는 수송수단간의 합리화와 운행효율 및 적재효율을 증대시키게 되며 주요도시에 복합터미널을 설치하는 거점 수송체제와 복합터미널에 의한 체계적 배송시스템이 구축되어 진다. 최적 수송망을 위하여 주요 도시에 집하, 보관, 수송, 배송 및 정보기능을 가지는 복합화물터미널을 설치하고 주변지역과의 연결을 강화하기 위하여 주변도시의 단순터미널이 설치되어지며, 철도수송의 수송분담을 확대, 공로연계수송의 극대화 및 고속화가 추진되어질 것이다. 도심권내에서는 개인교통수단 및 대중교통수단의 효율적 이용을 위하여 교통의 수요와 공급을 보다

더 과학적이고 합리적으로 운영개발되어 시간적, 공간적 측면에서의 접근성과 이동성을 보유하게 될 것이다.

3.3. 저장기술

우리가 현재 직면하고 있는 에너지위기는 에너지 저장기술의 발달과 함께 슬기롭게 대처해 나갈 수 있을 것이다. 100년 이상의 역사를 가진 납전지는 기술적으로는 완벽에 가깝지만 성능이 한계에 달하여 미국의 경우 1974년 이래 전력저장용 축전지시험계획(BEST계획)을 발족시켜 신형전지시스템의 실용화를 모색하고 있다. 또 일본의 전력업계와 건설업계는 야간에 생산한 전력으로 만든 압축공기를 지하에 저장하여 두었다가 이것을 발전에 이용하는 이른바 고압 공기 저장발전시스템을 구상하고 있다.

이밖에도 열을 저장하는 방법에는 이스라엘에서 실용화되고 있는 솔라폰드(잔물 호수에 태양열을 저장하는 것)나 태양열을 열탕으로 바꾸어 지하에 저장하는 것 등이 있다. 또 화합물의 가역반응을 이용해서 에너지를 저장하는 방법도 있으나 이것을 효율을 높일수록 폭발의 위험도 그만큼 크다.

최근 초전도기술의 비약적인 발전에 따라 이 기술을 이용하여 전력을 대량으로 저장하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이른바 스메스(Super-conductive Magnetic Energy Storage의 약자 : SMES)라고 불리는 이 기술은 초전도 재료로 만든 거대한 코일을 헬륨의 액화온도(영하 269°C)까지 냉각시킨 뒤 여기에 전력을 저장하면 저항이 없어지기 때문에 전류는 줄어들지 않고 영원히 코일속을 흐르게 된다.

미국은 본체발전력청(BPA)이 30메가줄(8.4 KWh)의 전기에너지를 저장하는 스메스를 만들어 모델시험에 성공한데 이어 최근에는 2만 KWh급의 스메스 건설에 착수하려 하고 있다. 일본은 1987년에 발족한 초전도에너지저장연구회가 중심이 되어 13.9 KWh급의 시험플랜트 설계나 5,000메가줄급의 대형 스메스의 개념설계를 하고 있다.

3.4. 절약기술

3.4.1. 초에너지절약형 건물기술

일반적으로 건물에너지 절약기술은 부하경감기술, 에너지이용 효율증대기술 및 에너지해석기술 등으로 대별된다. 건물에 이 기술들을 종합적으로 적용하여 100 Mcal/m²/년 이하의 재래에너지를 소비하는 건

물을 건축하는데 적용되는 기술을 총체적으로 초에너지 절약형 건물기술이라고 한다. 이것은 회임기간이 긴 기술로서 에너지자원 부족현상이 심화될 21세기에는 절약형건물의 보편화가 필연적으로 요구될 것으로 예상된다. 이러한 기술개발은 에너지절약에 기여도가 매우 크기 때문에 현재 세계 각국에서 많은 연구가 진행되고 있다.

3.4.2. 산업체에서의 에너지절약기술

70년대에 있었던 석유파동을 거치면서 에너지절약시책이 전세계적으로 이루어져 산업체에서는 에너지손실의 방지, 폐열의 회수이용, 연료의 대체 또는 간단한 시설의 개수 등으로 에너지소비 절약이 진행되어 왔다. 산업공정에서 에너지를 가장 많이 소비하고 있는 부분은 분리공정이나 고온공정이라고 볼 수 있다. 따라서 이러한 부분의 기술혁신이 많이 진행되고 있는데, 고온반응의 저온화, 반응 및 분리공정의 결합, 또는 선택성 향상으로 분리공정의 삭감효과를 가져올 수 있다.

기존의 분리공정에서의 기술혁신은 꾸준히 진행되고 있는데, 기존의 증류나 증발공정은 접촉효율의 향상, 열전달방식의 개선 등으로 장치규모가 축소되고 에너지소비가 줄어들게 될 것이며, 나아가서는 근본적으로 이러한 공정 대신 새로운 막분리기술 또는 흡착기술 등이 사용될 것으로 전망된다.

여러 가지 단계를 거쳐 가공처리되는 철강공업이나 석유화학공업에서는 공정의 연속화 또는 몇 가지 단계의 결합으로 중간에 요구되던 에너지 사용을 줄이는 효과적인 기술이 보급될 것이다. 전자산업, 정보산업이 발달되면서 산업체의 공정제어나 생산조업의 자동화기술이 진보되어 적정운전을 통한 에너지 사용의 합리화가 가능하게 될 것이다.

4. 환경관리 기술

4.1. 외국의 대기오염 저감기술

4.1.1. SO_x 저감기술

유황산화물의 제거를 위해 대규모의 보일러나 발전설비 등에 상업적으로 가장 많이 이용되고 있는 공정은 배가스탈황 공정이다. 석탄의 물리적 세정에 의한 유황분의 제거방법은 무기황만을 제거할 수 있다는 한계성과 경제성의 문제 등으로 상용화에 문제가 있다. 연소로에 흡착제를 주입해서 아황산

표 2. 국내외 환경관련기술의 수준비교

구 분	한 국	일 본	미 국
환경과학 기초연구	<ul style="list-style-type: none"> • 오염현황 파악중심 • 오염으로 인한 급성 피해 및 영향연구중심 • 2차오염, 복합오염에 대한 연구 미흡 • 선진환경계측 기술의 모방 	<ul style="list-style-type: none"> • 오염의 장기적, 만성적 영향 및 종합영향연구활발 • 2차오염, 복합오염기구 해명을 위한 연구중심 • 계측기술개발 및 계측기기의 생산수출 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경과학연구의 최선진국으로 기초자료 풍부
환경오염 방지기술	<ul style="list-style-type: none"> • 선진방지 기술도입 모방 단계 • 방지시설의 효율 및 보급 부진 	<ul style="list-style-type: none"> • 방지기술의 최선진국으로 방지시설의 효율제고와 수출에 역점 • 첨단과학을 이용한 방지 기술개발에 주력 • 무공해공정 및 엔진개발연구 활발 	<ul style="list-style-type: none"> • 일본과 거의 동일
폐 자 원 활용기술	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 처리는 대부분 매립에 의존 • 재활용 기술개발 부진 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물의 소각이용 기술개발에 주력 • 폐기물의 감량화 및 재활용 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 재생연료(RFD)제조 및 비료화기술개발에 주력 • 폐기물의 분류 및 회수기술개발연구 • 무공해 공정개발연구

가스를 제거하는 기술은 아직 개발단계에 있으며 배가스탈황공정인 습식석회석공정이 전체의 79~90% 정도를 점유하고 있다.

미국의 경우 총석탄연소 설비용량 308,432 MW 중 운전중이거나 계획중인 배가스탈황설비는 1986년 11월 현재 100,208 MW로 전체의 33% 정도를 차지하고 있는데 이중 습식석회석공정이 전체 배가스탈황공정의 79% 가량을 차지하고 있다. 일본은 1987년 현재 1,500개, 50,000 MW 정도의 배가스탈황설비가 가동중에 있고 이중 65%가 발전설비와 관련이 있다. 일본의 50개 석탄연소 발전소중 일본산 저유황탄을 사용하는 10여개의 소규모 발전소를 제외하고는 모두 배연탈황설비를 구비하고 있다. 유럽에서 가장 빨리 환경오염 방지법안을 도입한 독일은 1,500개 보일러중 60%가 석탄을 사용하고 있는데 1982년 이후 배가스탈황설비가 시작되어 1988년 현재 130개 정도가 설비를 갖추고 있다.

4.1.2. NO_x 저감기술

질소산화물은 운전방법의 개선에 의해 5~30%,

연소방법 개선 및 선택적 촉매공정에 의해 50~70%, 선택적 촉매공정에 의해 60~90%가 제거될 수 있다. 질소산화물 저감기술에서 가장 앞선 나라는 일본으로 대부분의 대형연소설비에 선택적 촉매공정을 갖추고 있는데, 1987년 현재 50개의 석탄연소 화력발전소 중 27개 설비에 이 공정을 도입하고 있다. 미국에서는 산업용 질소산화물 발생의 70%를 차지하고 있는 석탄연소 보일러에 질소산화물 저감을 위한 실증연구가 진행중이거나 계획중에 있으며 이에 대한 연구비도 8,500만불에 달하고 있다.

독일의 경우 110 MW 이상의 기존 또는 신규 발전소에 대해서는 100 ppm의 질소산화물 배출기준을 만족해야 하는데 일차적으로는 연소개선법이 적용되고 있으나 실제적으로 100 MW 이상의 규모에 대해서는 선택적 촉매환원공정의 적용이 요구되고 있다. 현재 10개 정도의 선택적 촉매공정이 설치되고 있는데 이중 6개는 일본 특허기술이며 나머지는 독일과 미국의 기술이다.

그간의 신에너지에 관련된 연구계획이나 선진 각국에서 실행된 연구과제들을 근거로 또한 앞으로의 에너지 상황을 고려하여 주요한 개발과제를 정리해 보면 Table 3~6과 같다. 이 과제들을 수행하는데 있어서 화석연료 사용시 배출되는 SO_x, NO_x, 분진 등은 기존기술로도 별 문제가 없으나 탄산가스 배출로 인한 지구오염관련기술은 장기적인 관점에서 정부에 의한 대책수립과 관과 학교를 중심으로 연구개발체제를 수립하는 것이 필요하다. 이와 같은 연구개발과제는 단기, 중기, 장기별 과제로 구분하는 것이 필요하고 이에 상응하는 개발조직을 조성해야 할 것이다.

단기개발과제로는 에너지절약기술, 열병합발전 및 연료전지를 들 수 있고 중장기개발과제로는 공동이용 combinat, 용융환원제철법, chemical heat pump, 전력저장기술, IGCC 및 메탄올 자동차개발 등이 있으며, 초장기 개발과제로는 온실효과대책, 수소에너지시스템의 확립, 통합형 에너지시스템의 개발 및 국제협력추진 등을 들 수 있다.

5.2. 외국의 연구개발

5.2.1. 일본의 Sunshine과 Moonlight 계획

Sunshine 계획은 1974년부터 시작되어 태양, 지열, 석탄, 수소의 4개 에너지원이 선정되었다. 1974년부터 1988년 사이에 지출된 총예산액을 항목별로 누계한 결과를 Table 7에 나타내었다. 지출된 총예

산의 50.9%가 석탄에너지로 가장 비율이 높고 1983년부터 1987년까지 5년간 석탄에너지 기술개발에 투입된 비용이 전체의 60.8%를 넘고 있는데 이는 석탄액화나 가스화의 각 project가 플랜트 건설단계에 들어가 많은 자금이 소요되었기 때문이었다. 개발중인 액화 project에 대해서는 2000년경에 원유가격이 배럴당 30~40불이 아니면 경제성이 없다고 보여지는데 과제선정시 project의 경제성 장래성을 엄격히 평가할 필요가 있다.

1978년도에 시작된 에너지절약 기술개발을 위한 Moonlight 계획예산은 당초 약 20억엔부터 출발되어 1986년에는 123억엔으로 절정에 달한 후 점점 감소하는 경향을 나타내고 있다. Table 8에 Moonlight 계획과 관련된 예산의 추이를 나타냈다. 계획의 전반부에 폐열이용기술시스템, MHD발전, 고효율 가스터빈의 개발에 대부분의 자금이 투입되었으나 차

표 7. Sunshine계획과 관련된 과제의 예산(1974~1988)

과 제	지출예산(억엔)	%
태 양 에 너 지	871.0	22.2
지 열 에 너 지	782.3	20.0
석 탄 에 너 지	1,993.6	50.9
수 소 에 너 지	74.8	1.9
기 타	197.6	5.0
합 계	3,919.3	100.0

표 8. Moonlight 계획 관련예산의 추이

(단위 : 백만엔)

사 항	연 도											합 계	
	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88		
대 형 에 너 지 절 약 기 술	폐열이용기술시스템	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	3,415
	MHD 발전	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	3,790
	고효율 가스터어빈	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←	27,701
	신형전지전력저장시스템			←	←	←	←	←	←	←	←	←	13,832
	연료전지발전기술				←	←	←	←	←	←	←	←	21,282
	범용 sterling 엔진					←	←	←	←	←	←	←	8,399
	Super Heat 펌프						←	←	←	←	←	←	5,966
	초전도 전력응용기술										←	←	1,481
	세라믹 가스터빈										←	←	384
기 타												9,263	
합 계	1,978	2,976	7,777	9,163	9,490	9,590	9,629	11,146	12,326	11,470	9,957	95,512	

표 9. Clean Coal Technology Demonstration Program의 소요예산 (Million \$)

	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	계
CCT-I	99.4	149.1	149.1					397.6
CCT-II			50	190	135	200		575
CCT-III					575			575
CCT-IV						600		600
CCT-V							600	600
	99.4	149.1	199.1	190	710	800	600	2747.6

차 신형전지전력 저장시스템과 같은 한층 고도화된 에너지 절약기술에 중점이 주어지고 있다. 1988년부터는 초전도 전력용융기술과 신소재를 이용한 세라믹 가스터빈의 개발도 시작되었다.

5.2.2. 미국의 Clean Coal Technology Program

미국에서는 1985년 캐나다와 조인한 북미지역 국경선 부근의 산성비에 의한 피해절감 실천방안으로 50억불의 자금을 비축하고 1987년 3월 이중 25억불을 공해물질 저감을 위해 혁신적인 석탄이용 기술개발에 투자하기로 하였다. 1986년부터 5단계 사업으로 나뉘어 추진중인 미국의 CCT계획은 석탄이용기술의 개념정립 단계에서 2010년대 상업화를 위한 실증실험 단계까지 상업화에 따른 위험부담을 정부가 일부 맡기로 한 것이다. 이 계획으로 미국 산성비정책의 정립, 장기전력수급계획, 안정된 에너지공급원의 확보와 국제시장에 석탄관련 플랜트수출 및 석탄수출의 경쟁력강화에 의한 석탄활용의 증대를 기대하고 있다. 이 계획의 연도별 투자계획은 Table 9에 나타낸 바와 같으며 재원은 미정부와 참여기업체가 공동으로 부담하는데 정부의 지원금은 50%를 넘을 수 없다.

6. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 석유파동 이후 세계각국은 신에너지의 개발에 총력을 경주해 왔으며 이 결과 많은 기술개발이 이루어졌다. 특히 에너지절

약기술의 발전은 산업계 전반에 새로운 바람을 일으켰으며 지구환경보존운동이 범세계적으로 퍼지면서 에너지환경기술의 혁신적인 발전이 진행되고 있다. 그러나 이러한 주요기술의 개발은 주로 미국과 일본을 비롯한 선진공업국에 의해 이루어지고 있으며 이들 국가의 기술보호주의가 우리나라와 같은 개도국에의 기술이전을 어렵게 하고 있는 상황이다.

석유자원을 대체할 수 있는 자원은 기술의 개발과 더불어 거의 무한정으로 개발이 가능하다고 볼 수 있으며 석유자원을 전적으로 수입에 의존하고 있는 우리나라로서는 장기적인 안목에서 정부주도의 과감한 연구개발 투자가 이루어져야만 급속히 진행되고 있는 신에너지관련 기술개발에서 낙오되지 않을 것이다. 신에너지관련 기술개발의 방향설정에 있어 에너지자원 상황이 우리와 비슷한 일본의 경우를 모델로 삼아 충분한 검토가 있어야 할 것으로 판단되며 산학연을 중심으로 연구조합을 결성 국내의 유요 연구인력을 효율적으로 활용하는 것이 필요하다.

앞으로 30~40년후면 닥칠 석유자원의 고갈은 국제질서를 크게 바꿀 것이며 이 새로운 질서에 우리의 목소리를 높이기 위해서는 차세대기술로 평가되고 있는 환경오염방지기술을 비롯한 태양광발전기술, 바이오매스이용기술, 수소에너지의 개발 및 연료전지의 개발이 이루어져야 하며 아직까지 지구상에 풍부한 석탄자원의 활용기술을 확립하여야 할 것이다.