

재생가능 에너지의 개발과 활용 : 21세기의 새로운 의제

한기주 (현대환경연구원 환경경영기획팀장)

- I. 서론
- II. 재생가능 자원의 정의 및 특성
- III. 재생가능 에너지 개발 촉진 요인
- IV. 재생가능 에너지의 순환과정과 기술 발전
- V. 재생가능 에너지에 대한 최근 연구
- VI. 개발 장애 요인
- VII. 결론

I. 서론

90년대 들어 석탄, 석유 등 기존 에너지원의 환경오염에 대한 우려가 높아지고 있는 가운데 이를 대체할 수단으로 재생가능(Renewable) 에너지에 대한 관심이 빠른 속도로 확대되고 있다. 더욱이 국제유가가 80년대의 하락 추세에서 다시 상승세로 전환하는 양상을 보이고 있으며 이러한 추세가 앞으로도 지속될 것으로 전망됨에 따라 관련 기술의 발전과 더불어 생산비가 낮아지고 있는 재생가능 에너지에 대한 수요가 선진국을 중심으로 크게 증대되고 있는 것으로 분석되고 있다. 이에 따라 21세기에는 재생가능 에너지의 비중이 크게 높아 질 것으로 기대되고 있는데, 일찍이 환경과 개발에 관한 세계위원회(World Committee on Environment and Development:

WCED)¹⁾는 21세기에는 재생 가능한 에너지 자원이 지구 에너지 구조의 근간을 이루게 될 것으로 예측 한 바 있다.²⁾

인간이 필요로 하는 에너지를 자연으로부터 새로 발굴한다는 것은 대단히 매력적인 일이 아닐 수 없다. 이로 인해 많은 에너지 전문가들은 그동안 재생가능 에너지의 가능성 개발에 상당한 노력을 기울여 왔고 일부에서 그 결과에 대한 낙관적인 전망이 강력히 제기되고 있다. 그러나 이와 반대로 재생가능 자원의 실제적 가치와 현실적인 전망에 대해 신중한 견해를 펼치는 전문가들도 또한 다수이다. World Energy Council(WEC)은 비록 재생가능 자원 개발에 대한 정부차원의 정책적 뒷받침이 있다 하더라도 새로운 재생가능 자원이 개발되어 화석연료를 상당부분 대체하기까지는 수십 년이 걸릴 것이며, 완전한 대체는 2100년에 가서도 요원할 것으로 내다보았다. WEC는 또한 재생가능 에너지 개발을 촉진하는 과정에서 부정적인 환경영향에 기인한 문제들이 절대로 발생하지 않도록 상당한 주의가 요구된다는 점을 들어 재생가능 에너지의 상용화가 용이하지 않음을 지적하고 있다.

재생가능 에너지는 최근에 개발된 것이 아니며, 오래 전부터 인류에 의해 사용되어 왔다. 그러나 그 가치에 대한 평가는 최근 20-30여년 간 여러 차례 변화를 나타내었다. 18세기까지는 재생가능 에너지가 인간이 사용하는 주 에너지원이었었다. 예를 들면, 열을 위해 태양 에너지와 목재가 사용되었고 배와 기계를 움직이기 위한 동력으로 풍력 또는 수력이 이용되었다. 그러나 수력을 제외한 재생가능 에너지는 석탄이 주 연료로 사용된 산업혁명이 일어나면서 편리함과 에너지 강도 면에 있어서 훨씬 뛰어난 화석연료에 의해 대체될 수밖에 없었다. 물론 많은 개도국의 경우 아직까지도 전체 에너지 공급의 14% 정도가 나무 연료에 의해 충당되고 있지만, 수력 이외의 기타 재생가능 에너지는 상업적으로 이용되는 에너지 공급의 극히 일부분만을 차지하고 있을 뿐이다. 최근까지의 거의 모든 에너지 전망은 이러한 상황이 향후 적어도 수십 년은 더 지속할 것으로 예측하고 있다.

재생가능 에너지에 대한 관심은 석유파동에 따른 유가 급등과 화석연료 매장량이

1) WCED는 2000년까지 지속 가능한 개발 달성을 위한 장기전략 제시와 국제적 환경문제 대처를 위한 효율적인 방법 검토 등을 목적으로 지난 1983년 제38차 UN 총회 결의에 의거하여 설립된 위원회로 위원장 이룸을 따 일명 브룬트란트 위원회로 불리 운다. 동 위원회는 1987년에 *Our Common Future* 제하의 보고서를 발표하였다.

2) World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford, 1987, p. 15.

곧 고갈될 것이라는 우려로 인해 1970년대 들어 다시 급속히 높아지기 시작하였다. 많은 국가가 재생가능 에너지 기술에 대한 연구개발을 적극 추진하기 시작했다. 예를 들면, 미국의 경우 카터 행정부 시절에 수립된 에너지 프로그램은 2000년까지 필요한 총 에너지의 20%를 재생가능 에너지로 공급한다는 계획을 세웠었다.

그러나 낙관적 전망에 입각한 이 같은 계획들은 대부분이 실패로 돌아갔다. 대부분의 연구개발 프로그램은 80년대 들어오면서 축소되기 시작하였다. 80년대에 지속된 유가하락이 대체 에너지에 대한 관심을 위축시키는 요인으로 작용하였던 것이다. 미국의 수력 이외의 재생가능 에너지에 대한 의존도는 카터 행정부 시절 수립되었던 목표 수준의 절반 이하 수준으로 수정되었고, 70년대 후반기에 재생가능 에너지 개발에 대규모 투자를 했던 대기업들은 대부분 이를 포기하였다.³⁾

재생가능 에너지에 대한 관심은 그러나 90년대 들어 다음과 같은 요인으로 인해 다시 높아지기 시작하였다. 첫째, 환경오염을 이유로 화석연료의 사용을 억제해야 한다는 국제적 움직임이 강화되고 있고, 둘째, 바람직한 주요 대체 에너지로서의 핵에너지에 대한 신뢰가 환경오염, 불안전성 등으로 인해 저하되고 있으며, 셋째, 재생가능 에너지 기술 자체가 빠른 속도로 발전하고 있어 이러한 에너지의 생산비용과 잠재력에 대해 재평가가 이루어지고 있다는 점 등이다.

본 고의 구성은 다음과 같다.⁴⁾ 제2장에서는 재생가능 자원의 정의와 종류를 설명하여 재생가능 에너지에 대한 이해를 돕도록 하였고, 제3장에서는 재생가능 에너지 개발을 촉진하는 요인들을 구체적으로 살펴보았다. 제4장은 재생가능 에너지의 순환과정과 기술발전 현황을 고찰하였고, 제5장에서는 재생가능 에너지에 대한 최근 연구결과의 평가를 소개하였다. 제6장에서는 재생가능 에너지의 개발과 이용을 저해하는 장애요인을 살펴보고, 마지막 제7장은 결론으로 구성되어있다.

II. 재생가능 자원의 정의 및 특성

자원은 크게 나누어 고갈성(depletable) 자원과 재생가능(renewable) 자원으로 구

3) US Department of Energy, *Long Range Energy Projections to 2010*, DoE/PE-0082, Washington DC, 1991.

4) 본 고는 "Michael Grubb, *Renewable Energy Strategies for Europe, Volume I: Foundations and Context*, The Royal Institute of International Affairs, London, 1995"의 내용을 상당 부분 참고하여 작성되었다.

분된다. 고갈성 자원은 광물, 석유 등과 같이 부존량이 유한하며 자연에 의한 보충 또는 재생이 거의 이루어지지 않는 자원으로서 재생불가능(nonrenewable) 자원으로 불리 우기도 한다. 반면, 재생가능 자원은 자연에 의해 상당한 속도로 재생이 이루어지는 자원으로서, 태양 에너지, 물, 곡물, 물고기, 산림, 동물 등이 이에 해당된다. 따라서 재생가능 자원은 자연계 내의 흐름(flow)이 어느 정도 영속적으로 유지될 수 있다는 특징을 지닌다.⁵⁾

일부 재생가능 자원의 경우에는 그 흐름의 지속성과 수량이 전적으로 인간에게 달려있다. 토지의 부식과 영양 고갈은 식량의 흐름을 감소시킨다. 과도한 어획은 물고기의 스톡을 감소시키고 이는 다시 물고기 개체수의 자연 증가율을 떨어뜨리게 된다. 반면 태양 에너지와 같은 재생가능 자원은 흐름이 인간으로부터 영향을 받지 않는다. 즉 한 세대가 소비하는 양이 후 세대가 소비할 수 있는 양을 감소시키지 않는다.

한편, 일부 재생가능 자원은 저장이 될 수 있는 반면, 그렇지 않은 것들도 있다. 저장 가능한 자원은 저장이 상이한 시점 사이에 자원을 적절히 배분하는 중요한 수단이 된다. 예를 들면, 식품의 경우 그대로 둘 경우 금방 썩어버리지만 저장을 통해 식품 생산이 부족할 경우 소비될 수 있다. 저장되지 않은 태양 에너지는 지구표면에 반사되어 대기중의 기체에 흡수되어 버리지만 여러 형태로 저장이 가능한데, 특히 광합성 작용에 의한 生物量(biomass)으로의 전환이 가장 일반적인 자연적인 저장형태이다.

재생가능 자원의 저장은 고갈성 자원의 저장과 역할이 다르다. 고갈성 자원의 저장은 그 경제적 수명을 연장시키는 데 반해, 재생가능 자원의 저장은 공급과 수요의 순환적 불균형을 완화시키는, 즉 공급이 부족할 경우에 사용을 가능케 하는 기능을 한다. 식품 저장과 댐에 의한 수력 저장이 그 대표적인 예다.

재생 가능한 에너지의 특징을 주요 에너지 별로 살펴보면 다음과 같다.⁶⁾

① 태양에너지

태양은 수소의 핵융합반응에 의해 열과 빛 에너지를 발산하는데 지구가 태양으로부터 받아들이는 방사에너지를 석유로 환산하면 매년 약 140조 톤, 또는 $8.7 \times$

5) 재생가능 자원의 경우에도 종국적으로는 유한하다고 볼 수 있다. 왜냐 하면 이들 자원의 재생가능성이 태양으로부터의 에너지에 의존하고 있는데 태양은 단지 50억년 60억 년만 에너지원으로 활동할 수 있을 것으로 예상되기 때문이다.

6) 박석환, 「환경생태학」, 신광문화사, 1997, 152-154쪽.

10²⁰Kcal로 인류가 소비하는 총 에너지의 12,000배에 해당한다.

태양에너지는 다음과 같은 두 가지 장점이 있다. 첫째, 그 에너지가 최소한 수십억 년 이상 계속해서 공급될 수 있고, 둘째, 화석연료나 원자력에 비해 공해 염려가 전혀 없다는 점이다. 그러나 태양에너지는 에너지의 밀도가 낮고 낮과 밤, 기후 및 계절의 변화에 크게 영향을 받는 단점이 있어 효과적으로 에너지를 모으고 저장하는 장치가 필요하다. 태양열 집적장치를 이용하여 난방이나 냉각장치의 동력원으로 사용하거나 태양열 전지를 이용하여 태양에너지를 전기에너지로 변환시켜 각종 목적에 사용할 수 있으나 아직까지 광범위하게 실용화되지는 못하고 있다.

② 지열

지구 표면에서 지구 중심부로 가까이 갈 때 매 30m마다 온도가 약 1℃씩 상승하여 지구중심부의 온도는 약 5,000℃에 이르는 것으로 추정되는데, 이 같은 지구내부의 높은 열로 인해 뜨거워진 지하수의 고압수증기와 고열을 이용하여 전기에너지로 전환시킬 수 있다. 실제로 1904년 이탈리아에 세워진 지열발전소는 아직도 약 400 메가와트 용량의 발전을 하고 있다.

그러나 지열의 개발은 다음과 같은 문제를 야기하기도 한다. 첫째, 熱水와 증기가 분출될 때 황화합물 등의 유해가스로 인한 대기오염과 열폐수에 의한 수질오염 가능성이 있고, 둘째, 열수의 과다한 채취로 지반이 약화될 우려가 있으며, 셋째, 열수에 함유된 광물질과 부식성 물질에 의해 발전소의 터빈이 쉽게 부식된다는 문제 등이다.

③ 풍력

풍력은 오래 전부터 널리 이용되어 왔는데, 풍차가 그 좋은 예로 바람의 운동에너지를 프로펠러를 통한 기계에너지로 변환시킨 다음 전기에너지로 바꿀 수 있다. 풍력 발전소 1기가 발전할 수 있는 전력은 최대 3,200kw 정도이다.

풍차의 단점은 가동가능성 여부를 미리 예측하기 어렵고 때로는 며칠씩 이용할 수 없다는 점이다. 따라서 태양에너지의 경우와 마찬가지로 바람이 불 때 생성된 에너지를 효율적으로 저장했다가 필요할 때 쓸 수 있도록 건전지를 이용하는 방법이 연구되고 있다.

④ 조력

밀물과 썰물의 차이가 큰 해안에 댐을 건설하여 터빈을 돌리거나 일정한 방향으로 흘러가는 해류나 파도를 이용하여 전기를 얻을 수 있는데, 이에 대해서는 상당한 연구가 이루어 졌을 뿐 아니라 일부는 실용화 단계에 접어들었다. 현재 프랑스, 북미, 러시아 등지에서는 실제로 조력을 이용하는 발전소가 성공적으로 가동되고 있다.

Ⅲ. 재생가능 에너지 개발 촉진 요인

지난 1973년과 1979년의 두 차례에 걸친 석유파동으로의 경제에 상당한 타격을 받은 석유수입국들이 석유자원의 탐사와 개발, 그리고 석유시추기술의 개발에 박차를 가한 결과 80년대 들어 석유 공급이 급격히 증대된 반면, 석유소비는 석유파동에 따른 경기침체, 고유가로 인한 석유소비 감소로 인해 큰 폭으로 감소함에 따라 80년대 중 국제유가는 빠른 속도로 하락하였다. 그러나 여전히 세계 원유 매장량의 2/3는 중동 및 구 소련 남부지역에 위치하고 있어 석유파동이 재연될 가능성이 상존하고 있는데다 전세계적인 수송량의 확대로 석유수요가 계속 증가함에 따라 석유 과잉공급 상태가 점차 축소되는 추세를 보임에 따라 재생가능 에너지의 중요성이 다시 부각되고 있는 것이다.⁷⁾ 非OPEC 국가들의 석유 매장량 고갈은 세계 에너지 시장에 있어 OPEC 등 주요 석유공급 국가들의 세력이 다시 부상하는 요인이 될 것이며, 이러한 지역에 대한 석유공급 의존은 21세기 세계 에너지 구조의 기본 틀을 이룰 것으로 예상되고 있다.⁸⁾

가스자원은 현재와 같은 생산규모로는 60년 이상 쓸 수 있는 매장량이 확인되었다. 그러나 부존 지역은 석유보다는 광범위하지만 러시아, 러시아 남부지역 국가, 중동, 북아프리카 국가 등 일부 지역에 편중되어 있어 역시 카르텔의 문제가 존재한다. 또한 가스소비가 빠른 속도로 증가하고 있어 세계는 향후 수십 년 내에 지난 70년대 석유파동 당시와 같은 공급 불안정 사태가 발생할 가능성이 우려되고 있어 재생가능 에너지 개발의 필요성을 더해주고 있다. 이 밖에도 향후 화석에너지 가격을 상승시킬

7) 최근 국제유가가 배럴당 25달러에 이르고 있는 것이 이를 반영하는 것이라고 볼 수 있다.

8) International Energy Agency, *World Energy Outlook 1994*, Paris: IEA/OECD, 1994.

요인은 다수 존재하는데, 이를 정리하면 다음과 같다.⁹⁾

- ① 21세기에는 석유 및 천연가스 등 화석연료 자원의 유한함이 보다 뚜렷이 대두 될 것이며,
- ② 석유 및 천연가스 공급국가가 줄어들면서 이들 자원의 수입을 위한 공급라인의 길이가 더욱 길어지게 되고,
- ③ 불확실한 지정학적 요인은 공급측면의 투자 여건을 악화시키거나 비용상승 요인으로 작용하게 되고,
- ④ 기존의 채굴 가능한 양의 감소에 따른 탐사 및 생산 여건 악화가 탐사 및 생산 비용 증가요인을 작용할 것이며,
- ⑤ 환경 및 기타 外部性(externality)으로 인해 수요 및 공급 측면의 비용이 증가할 것이라는 점 등이다.

화석연료는 이상과 같은 가격상승 외에 심각한 환경오염의 요인이 되어 생산 및 소비감소의 요인을 안고 있다. 화석연료 중 가장 풍부한 석탄은 장기적으로 안정적인 에너지 공급원이 되어 왔으나 연소과정에서 아황산가스, 이산화탄소 등 대기오염물질이 다량 배출됨으로써 심각한 대기오염 문제를 야기하고 있다. 지난 1950년대에 런던 등 대도시의 스모그는 수천 명의 인명 손실을 가져왔으며, 그 이후에도 이로 인한 대기오염 문제는 전세계적으로 심각한 사회문제가 되어 왔다. 그 결과 석탄 사용에 대한 정책적 규제가 강화되어 왔지만, 차량 증가로 규제효과는 충분치 않아 많은 국가에 있어서 규제는 지속적으로 강화되는 추세를 보이고 있다. 예를 들면, 미국 로스앤젤레스 시당국은 로스앤젤레스 지역 내에 판매되는 모든 차량의 10%에 대해서는 오는 2003년까지 오염물질을 전혀 배출하지 않는 非석유 연료를 사용하도록 의무화하고 있다. 유럽의 스칸디나비아도 강과 호수가 다른 국가의 발전소로부터 날아 들어온 오염물질(특히 아황산가스)에 의해 상당한 정도로 산성화되는 피해를 입고 있으며, 서독의 산림도 비슷한 피해를 받고 있다. 이에 따라 유럽도 아황산가스와 질소산화물 등 화석연료의 오염물질에 대한 규제를 계속 강화해나가고 있다. 더욱이 80년대 후반부터는 석탄연소 시 발생하는 이산화탄소의 대기중 농도 증가로 인한 지구온난화 현상에 대한 우려로 각국의 석탄소비는 제약을 받지 않을 수 없게 되었다.¹⁰⁾

9) World Energy Council, *Energy for Tomorrow's World*, London: WEC, 1992, pp. 94-95.

한편, 원자력에 대한 인식 변화도 재생가능 에너지 전망에 영향을 미치고 있다. 지난 1950, 60년대에는 원자력이 종국적인 에너지원으로서 오는 21세기에는 원자력이 세계 전체에 값싼 전력공급원이 될 것으로 예상되었었다.

(표 1) 주요 국의 전력 원자력 의존도 추이(1999. 4 말 현재)

(단위: %)

	1995	1996	1997	1998
캐나다	17.3	16.0	14.1	12.4
미 국	22.5	21.9	20.1	18.7
일 본	33.4	33.4	36.0	35.9
프랑스	76.1	77.4	78.2	75.8
벨기에	55.5	57.2	60.0	55.2
독 일	29.1	30.3	30.6	28.3
영 국	25.0	26.0	27.5	27.1
스웨덴	46.6	52.4	46.2	45.7
러시아	11.8	13.1	13.6	13.1
헝가리	42.3	40.8	40.8	35.6
슬로바키아	44.1	44.5	44.0	43.8
중 국	1.2	1.3	0.8	1.2
대 만	26.8	29.0	26.4	24.8
한 국	36.1	36.3	34.1	41.4

자료 : The Uranium Institute, Core Issues, 1999. 9(<http://www.uilondon.org/coreissues>)

그러나 기술적인 문제, 비용상승, 여론의 반대 강화 등으로 원자력 기술개발은 부진을 면치 못하고 있는 실정이다. OECD 국가의 경우 원자력 발전이 총 전기 공급에서 차지하는 비중은 현재 24% 정도인데, 대다수 국가의 경우 이 비중이 90년대 후반 들어 하락하는 추세를 보이고 있다. 이는 대부분의 선진국들이 새로운 원자력 발전소 건설을 거의 중단시켰고 아울러 안전과 정치적 공약을 이유로 기존의 낡은 원자로의 가동을 중단하거나 발전소 자체를 폐쇄한 데 따른 것이다. 예를 들면, 선진국 중 원자력 발전에 대한 의존도가 높은 프랑스와 벨기에의 경우 동 비중이 1997년에 각각

10) 1998년 12월 교토에서 개최되었던 기후변화협약 제3차 당사국총회(COP-3)에서 채택된 교토의정서에 따라 일단 선진국들과 동구권 국가들만 온실가스 배출 감축의무를 지게 되었으나, 미국 등 선진국들은 개도국들도 온실가스 배출 감축 노력에 동참할 것을 강력히 주장하고 있어 개도국들도 이를 완전히 무시하기는 어려운 실정이다.

78% 및 60%이었으나 1998년에는 76%와 55%로 낮아졌으며, 미국은 90년대 중반부터 계속적으로 하락하는 추세를 보이고 있다.

이러한 추세를 반영하여 원자력 발전에 대한 장기전망도 매우 불투명하며, 원자력 비중을 높이려는 국가는 아주 소수에 불과하다.¹¹⁾ World Energy Council(WEC)은 원자력 붐이 다시 일어난다 해도 전세계의 평균 원자력 에너지 의존도는 2020년에도 지금과 비슷한 6% 수준을 넘기 어려운 것으로 전망하고 있는데, 이는 지난 80년대 이루어졌던 전망치에 비해 크게 낮은 수준이다.¹²⁾ WEC는 또한 원자력 부흥의 가능성은 일부 소수 국가에만 국한될 것이며, 대부분의 국가는 재생가능 에너지 등 원자력 이외의 대체 에너지로 눈을 돌릴 것으로 내다보았다.

Ⅳ. 재생가능 에너지의 순환 과정과 기술 발전

그림1은 지구의 재생가능 에너지 흐름을 보여주고 있다. 태양으로부터 지구로 투입되는 에너지의 총량은 인간이 현재 필요로 하는 양의 12,000배에 이르는 178,000TWh이다. 이 중 30%인 53,000TWh는 대기에 의해 다시 우주공간으로 반사되고, 50% 가량인 82,000TWh는 빛 에너지로 지구 표면에 도달하여 육지와 물에 흡수되었다가 열로서 우주 공간에 다시 복사되는데, 이 50%의 빛 에너지가 막대한 양의 일을 해낸다. 나머지의 대부분인 40,000 TWh는 물 순환(hydrologic cycle)¹³⁾에 흡수

〈그림 1〉 지구의 재생가능 에너지 흐름 (TWh)



자료 : Ged R. Davis, "Energy for Planet Earth," *Scientific American*, September 1990.

11) 그러나 일본과 한국 등 일부 개도국은 원자력 의존도를 더욱 높일 계획으로 있다.

12) World Energy Council, 전제서.

되며, 이 중 아주 작은 부분은 고지대에 비나 눈으로 떨어져 흘러내려 지구 전체 에너지 소비의 약 20%를 차지하는 수력자원이 된다. 한편 대기중의 열에너지는 바람을 만들고 이 중 1%는 파도를 생성하며, 투입되는 태양 에너지 중 지구 에너지 소비량의 8배에 달하는 3,500EJ/년(약 110TWh)은 광합성작용에 사용된다. 앞서 살펴 본 바와 같이 태양으로부터 지구로 투입되는 에너지는 인류가 소비하는 에너지 양의 1만 배 이상 되기 때문에 사실상 거의 무한하다고 볼 수 있으며, 지열 에너지도 파도에 의한 마찰력, 자연 방사능 원소 붕괴 등으로 자연에서 계속 보충되므로 이들 두 에너지는 인류가 필요로 하는 양을 충족시키고도 남는다고 할 수 있다.

문제는 과도한 비용을 들이지 않고 환경을 파괴하지 않으면서 이들 자원을 개발·이용한다는 것이 용이하지 않다는 점이다. 재생가능 에너지 기술은 아직 구상단계에 있는 것부터 개발이 이미 상당부분 이루어진 것에 이르기까지, 소규모 지역 시스템 연료로부터 대규모 수력 또는 조력 발전 프로젝트에 이르기까지 발전단계 및 범위가 매우 다양하다는 특성을 보이고 있다. 따라서 재생가능 에너지 개발 가능성에 대한 평가를 정확히 내리기는 매우 어렵다.

이러한 다양성에도 불구하고 재생가능 에너지의 가치가 90년대 들어 재인식되기 시작한 이유는 재생가능 에너지의 잠재적 활용가능성에 대한 이해가 높아지고 있는데다 여러 가지 전환(conversion) 기술이 80년대 이후 현저하게 발전되어 왔기 때문이다. 주요 재생가능 에너지 별로 기술 발전 상황을 살펴보면 다음과 같다.

1. 풍력 에너지

지난 70년대에 각국 정부는 바람 에너지에 대한 연구를 거대한 바람 터빈을 개발하는 데 주력했으나 곧 심각한 기술적 난관과 막대한 비용부담에 봉착했었다. 이에 따라 영국의 경우 정부가 바람 에너지를 가장 전망이 없는 재생가능 에너지로 간주하기에 이르렀다.

그러나 기술발전이 꾸준히 이루어진 결과 80년대 후반에는 자본비용이 1/3로 줄었고 설비의 생산효율도 두 배로 증가했으며, 설비 크기 자체의 증대로 인한 생산량

13) 태양에너지는 지구상에 물을 분배시키는 데 결정적인 역할을 하며, 지구의 기후를 조절하는 열을 재분배한다. 지구상에서 액체와 기체 상태를 오가는 이러한 물의 일정한 변화를 물 순환(hydrologic cycle)이라 한다(박석환, 전계서 22쪽).

증가효과도 세배에 이르게 되었다. 이러한 추세는 앞으로도 지속되어 생산비용은 더욱 낮아지고 풍력의 잠재적 가치는 더 높아질 것으로 예측되고 있다. 그 결과 90년대 들어와 바람 에너지는 상업적으로도 경제성이 있는 재생가능 에너지로 등장하게 되었다.

2. 생물 에너지(bio-energy)

생물량(biomass) 수확물에서 얻어지는 연료인 생물 연료(biofuels)의 경우 사탕수수 또는 옥수수를 수송용 연료인 에타놀로 전환하는 발효과정이 오랫동안 사용되어 왔다. 이 과정은 그러나 석유로부터 생산된 연료보다 생산비용이 훨씬 높았던 데다, 80년대 초 이후의 유가하락으로 인해 생물 연료는 80년대 말까지 경제성을 갖출 수 없었다.

그러나 이러한 전통적 에타놀 과정은 원료로 사용되는 작물의 종류와 공정이 보다 다양해지면서 생산비 하락, 생산성 증가가 이루어지게 되었고 생물 연료의 활용범위도 더욱 다양해지면서 그 가치가 새로 평가받게 되었다. 생물량에 대한 관심은 곡물을 에너지로 전환하는 공정에서 발생하는 부산물과 곡물자체의 활용도가 보다 다양해지면서 더욱 높아지고 있다. 예를 들면, 에타놀 전환과정에서 발생하는 일부 고형생산물은 동물사료로 사용될 수 있게 되었고, 일부 곡물은 질소 또는 토양내의 기타 영양분을 고정화하는 데 사용되어 곡물수확 증대에 기여할 수 있게 되었다.

한편, 유럽과 미국의 경우 농지를 타 용도로 전환하도록 요구하는 압력도 생물량에 대한 관심이 증대되는 요인이 되고 있다. 미국과 유럽에서는 최근 이농 현상으로 농업 생산인구가 줄어들고 있는 가운데에도 농업 생산성의 지속적인 증대로 농산물이 과잉 생산되고 있어 경지 축소 필요성이 높아지게 되었다. 이에 따라 수천만 헥타의 농지를 다른 용도로 전환할 계획으로 있는데, 이러한 토지를 생물연료 생산용으로 활용하는 것이 사회적으로나 정치적으로나 바람직한 것으로 평가되고 있다.

이 밖에 에타놀의 환경친화성도 생물 연료의 가능성을 더욱 높여주고 있다. 최근의 한 연구결과¹⁴⁾ 휘발유를 에타놀로 대체하는 것이 기후변화협약 이행을 위한 이산화탄소 배출 감소에 크게 기여할 수 있음이 증명되어 이를 뒷받침하고 있다.

14) Wang Michael, C. Saricks, and M. Wu, "Fuel Ethanol Produced from Midwest U.S. Corn: Help or Hindrance to the Vision of Kyoto?," *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 49, July 1999, pp. 756-772.

3. 태양 에너지

미국 캘리포니아에 위치한 태양열 발전소들의 경우 규모와 신뢰성이 빠른 속도로 높아진 결과 이 발전소들의 전력 생산비용은 과거 파일롯 플랜트의 1/5 수준으로 감소하기에 이르렀다. 태양전지의 효율도 80년대 초에 비해 두 배 가량 높아졌으며, PV 모듈의 생산비용은 전에 비해 1/3로 줄어들어 태양열 발전의 경제성이 크게 높아지게 되었다.¹⁵⁾

V. 재생가능 에너지에 대한 최근 연구 평가

앞서 살펴 본 기술적 발전과 재생에너지에 대한 이해 증가, 그리고 환경에 대한 관심증가는 재생가능 에너지에 대한 연구 개발을 크게 촉진하고 있다. 특히 다음 두 가지 주요 국제기관에 의한 연구는 재생가능 에너지에 대한 개념을 완전히 바꾸어 놓은 것으로 평가되고 있다.

환경과 개발을 위한 특별 유엔태양에너지그룹(ad hoc UN Solar Energy Group for Environment and Development: UNSEGED)은 유엔환경개발위원회(UNCED)로부터 1990년에 재생가능 에너지 원의 장기적인 잠재력에 관한 연구를 위촉받아 2025년과 2050년의 재생가능 에너지에 대한 시나리오를 작성하였다. 이에 따르면 오는 2025년까지 새로운 수력 이외 재생가능 에너지 원은 지구 전체 전력공급의 40%, 직접적인 상업용 연료의 22%를 각각 차지하게 되고, 2050년에는 동 비중이 각각 50%와 40%로 더욱 높아지게 된다. 이는 새로운 재생가능 에너지가 2025년과 2050년에 1차 에너지의 30%와 40%를 각각 점유하게 됨을 의미한다. 반면 전통적인 재생가능 에너지는 지구 전체 에너지 수요의 10%를 공급할 것으로 예측되었다. 이러한 2050년 시나리오는 지구 전체의 전력 수요가 3배 증가하고 총 1차 에너지 수요가 2배 증가하는 것을 가정하고 있어 2050년에는 재생가능 에너지가 1990년의 세계 에너지 소비량과 거의 비슷한 규모가 됨을 의미한다.

한편 World Energy Council도 90년대 초에 재생가능 에너지에 대한 보고서를¹⁶⁾

15) Pascal de Laquil III et al., "Solar Thermal Electric Technology," in T.B. Johansson, H. Kelly, A.K. Redy, R.H. Williams, and L. Burnham (eds), *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*, Washington DC: Island Press, 1993.

발간하였는데, 동 보고서는 수력 이외의 재생가능 에너지 원은 2020년 중 전 세계 총 에너지 수요의 4% 정도를 차지할 것으로 전망하였다. 동 보고서는 생태계 보전을 위한 정책이 고려되는 시나리오 하에서는 새로운 재생가능 에너지가 2020년에는 1차 에너지의 13.5%를 차지하고, 수력과 전통적 생물량을 포함한 전체 재생가능 에너지는 지구전체 에너지 공급의 1/3 정도를 점하게 될 것으로 예측하였다.

이 두 연구결과를 종합해 보면 21세기의 중반까지 재생가능 에너지가 전반적으로 지구전체 에너지 수요의 1/3 내지 1/2 정도를 공급하게 될 것이다. 재생가능 에너지 개발에 대해 낙관적인 이러한 연구결과에 대해 다소 의문의 여지가 없는 것은 아니나 계속적인 기술발전과 전통적인 에너지의 간접적 비용을 감안하면 이 같은 재생가능 에너지에 대한 의존도 증가는 비용을 크게 지불하지 않고도 가능한 것을 평가되고 있다.

90년대 초에는 선진국 정부에 의한 연구도 다수가 이루어졌다. 美 에너지부가 발간한 재생가능 에너지에 관한 백서는 재생가능 에너지가 BAU (Business-as-Usual) 시나리오 하에서 2030년 중 미국 에너지 수요의 15%를 차지하게 되고, 재생가능 에너지의 개발에 대한 정부의 지원이 있을 경우 동 비중은 30%로 높아질 것으로 예측하였다.¹⁷⁾ 영국 정부도 Renewable Energy Advisory Group을 설립하여 재생가능 에너지에 대한 연구를 수행토록 하였고, European Commission은 EU 내의 재생가능 에너지의 잠재성에 대한 심도 있는 연구를 대폭 지원하고 있다.

이 밖에 세계 각국에서 재생가능 에너지에 대한 연구가 다수 이루어져 왔는데, 이러한 연구들의 공통적인 연구결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 특정 재생가능 에너지 기술이 다른 재생가능 에너지 기술에 비해 우월하지는 않으며, 따라서 여러 재생가능 에너지 원을 상이한 에너지 시스템에 맞게 어떻게 적절히 혼합하여 사용할 것인가에 관해 초점을 둘 필요가 유엔환경개발위원회(UNCED)로부터 재생가능 에너지 원의 장기적인 잠재력에 관한 연구를 위촉받은 있다.

둘째, 재생가능 에너지에 대한 물리적 및 기술적 장애 요인은 10년 전 예상보다 훨씬 줄어들었다.

16) World Energy Council, *New Renewable Energy Resources: A guide to the future*, London: WEC/Kogan Page, 1994.

17) Solar Energy Research Institute, and US Department of Energy, Office of Policy, Planning and Analysis, *The Potential of Renewable Energy: An Interlaboratory White Paper* SERI/TP-260-3674, Golden Co, and Washington DC, 1990.

셋째, 재생가능 에너지의 생산비용이 지속적으로 감소할 것이기 때문에 재생가능 에너지 의존도가 높아지더라도 사회가 부담해야 할 비용은 추가로 발생하지 않을 것이다.

넷째, 재생가능 에너지 원 자체가 환경에 미치는 부정적 영향에도 크게 유의해야 한다.

다섯째, 현재와 같은 에너지 시장 및 정책 구조가 바뀌지 않는다면 재생가능 에너지의 사용은 앞으로도 크게 높아지기 어려울 것이다. 즉 재생가능 에너지의 사용이 확대되기 위해서는 이에 대한 정부의 정책적 뒷받침이 반드시 요구된다.

Ⅶ. 개발 장애 요인

재생가능 에너지가 앞서 설명한 바와 같이 많은 장점을 갖고 있는 데도 불구하고 에너지 개발 투자가 전통적인 에너지 부문에 주로 집중되고 있을 뿐 재생가능 에너지 부문에 대해서는 활발하지 못하다. 그 이유는 우선 80년대 이후 국제 에너지 가격이 약세를 지속하여 실질기준으로 1972년 수준까지 하락한 상태에서 재생가능 자원의 경제성이 확보될 수 없었다는 점에서 찾아 볼 수 있다. 기술발전과 전통 에너지의 외부비용을 고려할 경우 재생가능 자원의 경제성이 어느 정도 높아질 수 있으나 아직까지는 전통 에너지와 비교할 때 재생가능 에너지 가격이 여전히 높은 수준이다.

또한 재생가능 에너지의 개발을 위한 투자에는 아직 많은 실제적 또는 잠재적인 위험이 존재하며, 또 재생가능 자원의 경제성이 높아지더라도 그 차이는 투자에 따른 위험을 감수할 만큼 크지 못하다. 더욱이 에너지는 개발의 리드타임이 긴 대규모 산업으로, 전통적인 에너지 공급을 새로운 재생가능 에너지로 대체하기 위해서는 수십 년에 걸쳐 재생가능 에너지 생산기반을 구축해야 하는데, 이는 엄청난 규모의 투자를 요구한다. 따라서 투자자들이 쉽게 접할 수 있는 기술을 포기하고 새로운 기술에 투자하는데 따른 위험을 감수하기가 쉽지 않아 대규모 산업에서 재생가능 에너지에 대한 투자가 아직 부진한 실정이다.

이러한 점들은 적극적인 정부지원 하에서만 새로운 재생가능 자원의 개발이 가능함을 시사하고 있다. 그러나 제한적인 정부예산과 기존 에너지 부문의 압력 등 정치적 이유 등으로 인해 대규모의 정부지원이 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

두 번째 장애 요인은 에너지 시장은 아직까지 여러 측면에서 재생가능 자원에 불리하게 되어 있거나 또는 재생가능 자원의 장점이 실현되기 어렵게 되어 있다는 점이다. 예를 들면, 기존 에너지가 환경에 미치는 부정적 영향이 실제보다 낮게 평가되고 있어 재생가능 에너지의 가치가 제대로 반영되지 않고 있다.

이러한 경제적 요인 외에 재생가능 에너지의 발전을 억제하는 제도적, 심리적 장애 요인에서도 재생가능 에너지의 개발을 방해하는 요인을 찾아 볼 수 있다. 많은 국가의 경우 충분한 분석 없이 수력 이외의 재생가능 에너지 원의 가능성을 크게 낮게 평가하는 등 최근까지 에너지 정책에 있어 재생가능 에너지에 별다른 관심을 표명하지 않아 왔다. 선진국들의 경우에도 어느 정도 변화의 움직임이 일고 있지만 아직 정부나 산업계나 모두 주된 시각은 재생가능 에너지가 중요한 에너지가 아니라는 점이다.

Ⅶ. 결 론

재생가능 에너지는 자연에 의한 지속적 보충과 환경적으로 청정하다는 장점에도 불구하고 그 개발 및 이용은 기술적, 경제적 측면에서 아직까지 많은 제약 요인이 따르고 있다. 그러나 정책적인 뒷받침만 충분히 제공된다면 이러한 장애 요인들은 앞으로 충분히 극복될 수 있을 것으로 전망되고 있다. 더욱이 기존의 화석 연료는 앞서 살펴 본 바와 같이 가격 및 공급안정성 등의 측면에서 점차 한계에 부딪칠 것이며 더욱이 환경오염이라는 외부성 문제가 갈수록 크게 부각됨에 따라 지속적인 사용이 어려워지게 될 것이다. 따라서 재생가능 에너지는 기술개발이 향후 더욱 촉진될 것이며 이에 따른 생산비용 감소로 전망을 밝은 것으로 평가되고 있다.

우리 나라의 경우 97년에 '대체에너지 기술개발 및 이용보급 촉진법'을 제정하고 대체에너지의 비중을 오는 2006년까지 전체 에너지 사용량의 2% 수준으로 올린다는 계획을 세워놓고 있다. 그러나 아직 기술수준이 선진국 수준에 크게 못 미치는 것으로 평가되고 있다. 예를 들면, 태양전지의 효율이 우리 나라의 경우 선진국 수준에 절반 정도에 불과하다. 선진국들의 경우 이미 70년대부터 재생가능 에너지에 대한 연구개발을 시작하였고 90년대 초부터 다시 박차를 가하고 있어 기술면에서 상당한 진보가 예상되고 있다는 점을 감안할 때 우리도 이에 대한 노력을 더욱 경주해야 할 것으로 보인다. ■

■ 참고문헌

박석환, 「환경생태학」, 신광문화사, 1997.

Davis, Gred R., "Energy for Planet Earth," *Scientific American*, September 1990.

Grubb, Michael, *Renewable Energy Strategies for Europe, Vol. I: Foundations and Context*, The Royal Institute of International Affairs, London, 1995.

International Energy Agency, *World Energy Outlook 1994*, Paris: IEA/OECD, 1994.

Pascal de Laquil III et al., "Solar Thermal Electric Technology," in Johansson, T.B., H. Kelly, A.K. Reddy, R.H. Williams, and L. Burnham (eds), *Renewable Energy. Sources for Fuels and Electricity*, Washington DC: Island Press, 1993.

Solar Energy Research Institute, and US Department of Energy, Office of Policy, *Planning and Analysis, The Potential of Renewable Energy: An Interlaboratory White Paper SERI/TP-260-3674*, Golden CO, and Washington DC, 1990.

Wang, Michael, C. Saricks, and M. Wu, "Fuel Ethanol Produced from Midwest US. Corn: Help or Hindrance to the Vision of Kyoto?," *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 49, July 1999, pp. 756-772.

World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford, 1987.

World Energy Council, *New Renewable Energy Resource: A guide to the future*, London: WEC/Kogan Page, 1994.

_____, *Energy for Tomorrow's World*, London: WEC, 1992.

The Uranium Institute, *Core Issues*, 1999. 9 (<http://www.uilondon.org/coreissues>).

US Department of Energy, *Long Range Energy Projections to 2010*, DoE/PE-0082, Washington DC, 1991.