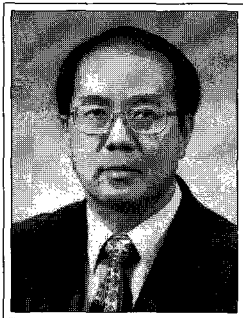




# 원자력과 재생에너지의 경제성

송명재

한국수력원자력(주) 원자력환경기술원장



### 머리말

에너지 부존자원이 없는 우리나라는 에너지원(석유, 석탄, 천연가스)의 대부분을 외국에서 수입하고 있다. 원자력이 경제발전의 밑바탕이 되어 최근 국제 유가 양등에 따른 경제문제를 최소화 하는데 크게 기여하였음에도 불구하고 방사선에 대한 부정적 이미지와 원자력발전

의 부산물인 방사성폐기물의 문제로 인하여 국민이 갈등과 혼란의 상태에 있다. 환경단체들은 온실가스의 주된 원인인 화석에너지는 제쳐 놓고 방사성폐기물을 배출하는 원자력만을 문제 삼아 풍력·태양력 등 재생에너지로 대체해야 한다고 주장하고 있다.

일부에서는 재생에너지원으로부터 생산하는 에너지원의 전망을 매우 낙관적인 것으로 보고 있다. 예를 들면 미국과 유럽 일부 지역에서는 최신 풍력발전소의 발전원가를 50원/kWh로 주장하고 있고<sup>(1)(2)</sup> 우리나라의 원자력발전의 판매가격이 대략 40원/kWh<sup>(2)</sup>임을 감안할 때 재생에너지는 곧바로 원자력이나 화석에너지를 대체할 수 있을 것이라는 밝은 전망을 하고 있는 것이다.

재생에너지는 고갈됨이 없이 지

속적으로 이용할 수 있는 자원임에 틀림없지만 에너지 변환, 저장, 수송, 설비제작 과정에서의 비용과 환경영향의 문제를 고려할 때 현실적으로 적지 않은 어려움이 있어, 합리적인 정책 대안을 위한 재생에너지에 대한 심층 검토가 필요하다. 이러한 관점에서 주된 재생에너지인 태양광발전과 풍력발전에 관련된 경제성을 평가하고 원자력과 비교하고자 한다. 경제성 비교는 100만kW의 전력을 40년 동안 공급할 수 있는 발전설비를 기준으로 한다.

### 재생에너지 개발 현황

재생에너지란 고갈되지 않으며 연료비가 안 드는 에너지를 말하며 화석 연료와 원자력을 대체할 수 있는 에너지원으로 인식되고 있다. 재생에너지의 종류로는 태양에너지

(태양광, 태양열), 풍력, 수력, 지열, 조력, 바이오매스 등이 있으며 깨끗하고 고갈될 염려가 없다는 것이 큰 장점이라고 인식되고 있다.<sup>(3)</sup>

그러나 에너지 밀도가 낮고 에너지 생산 가격이 비싸 현대 문명사회와 같이 많은 에너지를 지속적으로 필요로 하는 곳에서는 그 실용성이 낮다는 것이 한계로 지적된다. 이러한 관점에서 최근 부각되고 있는 태양광과 풍력발전에 대하여 중점적으로 살펴보려고 한다.

### 1. 태양광발전

태양광발전은 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이다. 그 기본원리는 반도체 p-n 접합으로 구성된 태양전지(Solar Cell)에 태양광이 비추면 광에너지에 의한 전자(電子)-양공(陽孔) 쌍이 생겨나고 전자와 양공이 이동하여 n층과 p층을 가로질러 전류가 흐르게 되는 광기전력 효과(Photovoltaic Effect)이며, 이 광기전력에 의해 전기에너지가 발생하게 된다.

태양전지는 반도체로 많이 사용되는 얇은 규소판으로 만든다. 이 규소판은 태양광에 포함된 에너지의 15~20% 가량을 전기로 바꿀 수 있다. 보통의 태양전지 한 개에서 생기는 전압은 0.6V 정도이고, 발전용량은 1.5W 정도이다. 그러므로 많은 전기를 얻기 위해서는 태양

전지를 여러 개 연결해야 하는데, 이렇게 여러 개의 태양전지를 연결한 것을 태양전지 모듈(solar cell module)이라 한다.

태양전지 단위모듈의 경우는 대략 50cm × 100cm이고 여기서 나오는 최대 발전 용량은 약 50Wp(Watt peak)이다.<sup>(4)</sup> 여러 개의 모듈을 조합하여 패널을, 그리고 여러 개의 패널을 조합하여 어레이(array)로 형성하여 배치한다. 태양광발전 시스템은 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이(array)와 전력조정기(power controller), 직·교류 변환장치(inverter) 및 전력저장용 축전지 등의 주변 장치로 구성된다.<sup>(4)</sup>

태양전지 제조기술은 태양전지 종류에 따라 실리콘 태양전지와 화합물 반도체 태양전지 등으로 크게 분류할 수 있다. 현재 상용화된 태양전지는 단결정(single crystal silicon) 및 다결정 실리콘 태양전지(poly crystal silicon : poly-Si), 비정질(非晶質) 실리콘 태양전지(amorphous silicon : a-Si) 등이 있으며 태양전지의 에너지 변환 효율은 단결정 실리콘 태양전지가 18%, 다결정 실리콘 태양전지는 15%, 비정질 실리콘 태양전지는 10% 정도이다. 이들 중에서 가격은 단결정 실리콘이 가장 비싸고 다결정, 비정질의 순으로 가격이 저렴한데 현재 결정질 실리콘이 태양전지

전체 시장의 80%를 차지하고 있다.<sup>(5)</sup>

태양전지 기술개발의 세계적인 추세는 기존의 결정질 실리콘 태양전지 기술의 공정 단순화, 실리콘 두께 감소, 표면처리 기술개발 등을 통한 저가화, 고효율화이다. 또한 저가, 대량 생산에 유리하여 차세대 태양전지로 각광 받는 박막형(Thin film Silicon: 화합물반도체가 주로 해당) 기술개발에도 많은 노력을 기울이고 있다.<sup>(5)</sup>

또한 시스템 이용 방법에 따라 자가발전 시스템처럼 생산된 전기를 전력망에 연결하지 않고 직접 사용하는 것으로 산간, 벽지 및 섬 등의 원격지와 주택에 설치되는 독립형 시스템(Off-Grid)과 외부의 전선에 연결하여 전력을 전력회사에 판매하는 계통연계형 시스템(On-Grid), 태양광발전기에 보조발전기(주로 디젤발전, 풍력발전 등)를 복합적으로 연결하여 발전하는 복합발전형 시스템(Hybrid System) 등으로 구분할 수 있다.<sup>(5)</sup> 독립형(Off-Grid)의 경우 전력 저장장치가 필수적인데 니켈-카드늄 축전지, 니켈-수소화합금 축전지, 니켈-나트륨 축전지, 납 축전지 등 다양한 종류가 있으며 그 중 납 축전지가 가장 많이 사용되고 있다.<sup>(6)</sup>

현재 태양광 발전설비의 상당량이 독립형 시스템(Off-Grid)으로 되어 있어 전 세계적인 태양광 발전



설비 용량과 발전량의 통계 수치를 산정하기는 매우 어렵다. 태양광 발전량은 1990년의 17GWh에서 2002년에는 361GWh로 연평균 29.0%의 성장률을 보이고 있는데, 이는 재생에너지 중에서 가장 높은 성장률을 나타내는 것이다. 특히 독일은 보조금 지원 정책 등으로 1990년의 발전량 1GWh에서 2002년의 188GWh로 연평균 54.7%의 두드러진 성장세를 보이고 있다.<sup>(7)</sup>

주요 국가의 태양광 발전기술 보급계획은 다음과 같다. 세계 최대의 태양전지 생산국인 일본은 2010년까지 5000MW의 태양광 발전시스템 보급을 목표로 정하고 주로 주택용 3kW시스템을 보급하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 미국은 2010년까지 전체 건물이나 주택에 100만개의 태양광발전 시스템을 도입하는 것을 목표로 하는 100만호 Solar Roofs Initiative(1997년~2010년) 사업을 추진하고 있으며 태양광발전 시스템 설치시에 15%의 세액을 공제하는 법안도 검토중에 있다. 독일은 10만호 Roof-Top 프로그램 계획(1999~2004년)에 의해서 약 300MW의 도입 증가를 기대하고 있으며 이탈리아는 1만호 Roof-Top 프로그램 계획을 수립하여 추진하고 있다.<sup>(5)</sup>

태양광발전은 무공해 태양에너지를 이용하므로 전력생산 과정에서는 대기오염이나 폐기물 발생이 없으며 운전에 따른 비용을 최소화할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 태양전지의 제작비가 비싸 초기 투자비가 많이 소요되므로 기존 화력이나 원자력발전 설비에 비하여 발전 원가가 훨씬 높고 일사량에 따른 발전량 편차가 심하므로 안정된 전력공급을 위한 보조 발전원이나 계통연계(On-Grid)를 위한 추가 투자비를 필요로 하는 단점이 있다.<sup>(4)</sup>

그리고 독립형 시스템(Off-Grid)이 요구되는 산간 및 섬 등의 원격지에서는 상대적으로 도입 타당성이 높을 수도 있지만 중금속을 사용하는 축전지로 인한 산업폐기물의 처리가 큰 숙제로 대두된다.

## 2. 풍력발전

풍력발전은 주로 유럽에서 바닷바람을 이용하여 1980년대 초부터 상용화되기 시작하였다. 풍력발전은 공기의 유동이 가지는 공기역학적(aerodynamic) 특성을 이용하여 회전자(rotor)를 회전시켜 전기를 얻는 방식이다. 풍력 발전기는 지면에 대한 회전축의 방향에 따라 수평형 및 수직형으로 분류되고, 주

요 구성 요소로는 날개(blade)와 허브(hub)로 구성된 회전자와 회전을 증속하여 발전기를 구동시키는 증속 장치(gear box), 발전기 및 각종 안전장치를 제어하며 풍속에 따라 풍차 날개의 기울기를 바꾸는 제어 장치, 유압 브레이크 장치와 전력 제어장치 및 철탑 등이다.<sup>(25)</sup>

풍력발전도 태양광발전과 마찬가지로 일정하지 않은 전기출력으로 인하여 독립형 시스템(Off-Grid)인 경우 바람이 없을 때 정전되는 것을 방지하기 위하여 축전지나 디젤 발전기를 같이 설치하는 경우가 많다.

현재 풍력발전은 전 세계적으로 그 보급이 확대되어 50여 개 국가에서 2003년말 기준 설비용량이 40GW에 달한다.<sup>(8)</sup> 그 보급 실적은 유럽이 두드러지고 현재 설비용량으로는 독일, 미국, 스페인의 순서대로 크며 2002년도에 각각 15.9TWh, 10.5TWh, 8.7TWh의 전력을 생산하였다.<sup>(7)</sup>

유럽 국가들의 풍력 발전기 설치 보급이 1990년과 2002년 사이에 연평균 약 37.5%로 급속히 확대됨에 따라<sup>(7)</sup> 유럽 풍력발전협회(EWEA)는 풍력발전이 2003년의 40GW에서 2020년에는 180GW로 확대 설치되어 전체 유럽 전력수요

(주1) 본고의 건설단가 산정은 국제적인 환경보호단체인 그린피스와 밀접한 연계를 하고 있는 유럽풍력협회(EWEA)의 예상 건설비를 기초로 한 것이다.

의 18%를 차지할 것이라고 발표하였다.<sup>(9)(주1)</sup> 현재의 재생에너지 기술 개발 수준으로 볼 때 풍력에너지는 태양광보다 경제적으로 유리한 에너지원이며 일반적으로 바람이 방해받지 않고 상대적으로 입지확보가 용이한 해안 및 도서지역이 유망하다.<sup>(12)</sup> 풍력에너지 이용에 있어서 가장 중요한 요소는 적절한 입지 확보이다. 현재 언급되고 있는 풍력발전에 관한 성능은 최상의 입지조건에서 도출된 것이며 일반적으로 풍력발전의 성능은 그보다 떨어진다.

다른 재생에너지와 마찬가지로 지구상의 풍력에너지는 인류의 에너지 수요를 감당하고도 남을 것이나 이용 가능한 풍력에너지 자원은 인간의 거주지에서 멀리 떨어져 있을 뿐 아니라 일정한 범위 내의 속도로 연속해서 바람이 부는 지역이 많지 않기 때문에 매우 한정되어 있다.<sup>(11)</sup>

일부 국가 특히 영국, 덴마크, 캐나다, 뉴질랜드 등 위도가 높은 지역에는 풍력자원이 풍부하지만 중위도 이하의 아프리카나 아시아 대부분에는 풍력자원이 빈약하다.<sup>(11)</sup> 현재 풍력발전이 경제적이고 유효한 운전을 하기 위해서는 풍속이 대략 7m/s 이상이 되어야 하며 최대 정격출력을 내기 위해서는 13m/s의 풍속이 필요하다. 우리나라는 극히 일부 지역을 제외하고는 평균 풍속이 7m/s 이상인 지역이 별로 없

어 풍력발전에 대하여 비관적인 전망을 가질 수밖에 없다.<sup>(12)</sup>

저속의 바람이 가진 에너지는 적기 때문에 그것으로부터 얻을 수 있는 전력량은 극히 미미하다.<sup>(10)</sup> 참고로 바람의 운동에너지는 풍속의 3제곱에 비례하기 때문에 풍속이 떨어지면 생산전력은 급격히 감소한다. 일반적인 풍력 성능곡선에 의하면 전력생산은 풍속 7m/s 이하에서도 할 수 있으나 그 출력은 매우 적다. 예를 들면 풍속 4m/s인 바람에서 생산되는 전력은 7m/s 바람의 겨우 18.6%에 지나지 않는다.

따라서 평균 풍속 7m/s 이하에서도 발전을 시작할 수 있는 풍차터빈을 개발한다고 하더라도 약한 바람에서는 유효 에너지가 아주 낮기 때문에 평균 풍속이 낮은 지역에 풍력발전소를 건립하는 것은 경제적 타당성이 거의 없다.<sup>(10)</sup>

### 재생에너지의 경제성

일반적으로 재생에너지에 관한 데이터는 전력을 최대 생산해 낼 수 있는 최적의 상태에서 실험하여 얻은 수치이다. 예를 들면 태양광발전의 경우 입지조건은 미국에서 가장 일조량이 많은 모하버 사막을 기준으로 하지만, 실제로 태양광발전이 일반 주거지역에 적용되었을 경우에는 그 결과는 상당한 차이를 보이기 마련이다. 그리고 재생에너지

의 입지여건상 전력생산지와 수요지간에 상당한 거리가 있음을 감안하면 전력의 수송과 저장 과정에서 손실도 고려하여야 한다.

또한 태양광발전과 풍력발전의 경우 전력생산이 불규칙하여 설비 신뢰도 저하가 예상되며 이에 따른 공급지장 비용이나 전력 계통의 공급 신뢰도(Loss of Load Probability) 유지를 위한 시설확충 비용도 고려하여야 한다. 따라서 재생에너지의 경제성을 정확히 비교하기는 어려운 일이다.

그러나 태양광발전과 풍력발전 그리고 원자력발전의 건설비는 개략적 비교가 가능하리라고 본다. 예를 들어 100만kW의 전력을 40년간 공급할 수 있는 태양광발전소, 풍력발전소 그리고 원자력발전소의 건설비를 비교하고 각 발전원의 발전원가를 평가해보면 재생에너지의 경제성을 가늠할 수 있으리라 생각한다.

### 1. 태양광발전소의 건설비

재생에너지 중 가장 논쟁이 활발한 주제는 태양광발전의 설비규모와 비용에 관한 것이다. 먼저 설비 규모에 대해서 알아보자. 100만 kW 전력을 40년간 공급하기 위해서는 원자력발전소의 이용률이 90%인 경우 설비수명이 40년인 111만kW 용량의 원자력발전소 1기면 충분하다. 그러나 태양광발전소

〈표 1〉 미국의 주택용 태양광 발전설비 가격추이(1992~2003년) (단위 : US\$/W)

연도	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Module 가격	4.25	4.25	4.00	3.75	4.00	4.15	4.00	3.50	3.75	3.50	3.25	3.00
시스템 가격	12	12	12	11~12	10~12	10~12	10~11	9~11	8~10	7~9	6.50~9	6.56~9

주) 1. 주택용 On-Grid 기준 2. 결정질 실리콘 모듈 기준  
 출처) Christy Herig, 'IEA PVPS Meets with Industry-Responding to the challenges of the Expanding Global Demand for Photovoltaics The US Experience', 19th Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, June 2004

〈표 2〉 일본의 태양광발전 시스템 가격추이(1992~2003년) (단위 : Yen/W)

연도	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
산업용 가격	4,300	3,400	2,800	2,400	1,500	1,300	1,190	1,040	1,010	900	840	800
주택용 가격	4,300	3,500	1,920	1,510	1,090	1,060	1,070	940	860	770	710	680

주) 1. 주택용 On-Grid 기준 2. 결정질 실리콘 모듈 기준  
 출처) IEA-PVPS National Survey Report of PV Power Application in Japan 2003

의 경우는 이용률 및 태양전지 효율 그리고 수명을 검토해서 적정규모의 발전소 건설 필요성부터 검토해야 한다.

현재 실용화 되고 있는 태양광발전의 이용률은 통상 12% 정도이나, <sup>(15)(주2)</sup> 이 수치는 실험실에서만 가능한 수치로서 태양전지 보호막, 퇴적된 먼지, 가열로 인한 성능 저하 등을 고려하지 않았다.

이런 현실적인 사항들을 고려한다면, 최대 정격출력에서 10% 정도의 출력이 감소될 것이다.<sup>(14)</sup> 게다가 태양전지가 태양의 정면에서 빛

을 받을 수 있도록 태양의 위치에 따라 방향을 계속 바꾸는 시스템을 기준으로 하였으나 실제 대부분의 태양광발전 시스템은 태양전지가 고정되어 있기 때문에 이를 고려하면 하루를 기준으로 또 다시 30% 정도의 발전량이 감소될 것이다.<sup>(10)</sup>

따라서 이와 같은 실제적 상황을 고려하면 태양광발전의 이용률은 12%가 아닌 겨우 7.6% 정도에 지나지 않는다.<sup>(주3)</sup> 만일 Off-Grid 방식인 축전지 충전 방식이라면 축전지로 인한 손실 30%(보통의 경우는 40%)를 감안하면 태양광발전의

이용률은 7.6%에서 다시 5.3%로 떨어질 것이다.<sup>(10)</sup> 따라서 On-Grid 방식일 경우라도 태양광발전으로 100만kW의 전력을 안정적으로 공급하기 위해서는 그 13배인 1300만kW 용량의 태양광발전소가 필요하다.

다음으로 비용에 대하여 알아보자. 〈표 1〉과 〈표 2〉는 지난 12년간 태양광발전의 미국과 일본에서의 가격 추이를 나타낸 것으로 주택용의 경우 설비가격이 지난 12년 동안 미국은 약 40%, 일본은 약 84%가 하락하였다.

최근 차세대의 태양전지로 각광을 받고 있는 박막형 모듈(Thin film Module)의 경우 2003년 현재 가격은 약 6500원/W(US\$6.5/W) 정도이나 기술개발로 생산단가가 낮아져 향후 10년 이내에 약 2000원/W(US\$2/W) 정도로 낮아질 전망이다.<sup>(13)</sup> 미국 에너지부(US DOE)는 2030년경 약 330원/W(US\$0.33/W) 까지 그 가격이 하락할 것이라고 야심찬 목표를 정하고 있다.<sup>(20)</sup>

이와 같이 기술 진보에 따라 가격이 급격히 하락할 것이라는 주장은 태양광을 전기로 변환하는 태양전지 모듈의 비용만을 고려한 것이며 시스템의 완전한 구성에 필요한 설치비용은 계상하지 않았다. 실제적

(주2) 이용률(Capacity Factor)이란 시설 최대용량으로 평균 전력을 나눈 값으로 얼마나 발전설비들이 효율적으로 이용되고 있는지를 알려주는 지표

(주3) 12%×먼지 등 성능저하(0.9)×입사각도(0.7)

으로 태양광발전에서 가장 큰 비중을 차지하는 비용은 태양전지 모듈의 제작비가 아니라 발전소 부지에 모듈을 설치하여 완전한 태양광발전 시스템을 구성하는 설치비용이다.

설치비용은 모듈, 지지대 제작 및 설치, 인버터 등 부속설비, 전기 배선, 설치공사 노임 등을 포함한 비용으로 일반적으로 설치비용은 모듈자체의 제작비용보다 더 많이 소요된다<sup>(14)</sup>(표 1) 참조).

모듈의 설치공정은 비교적 단순하고 태양전지 제작에서와 같은 급속한 기술 진보를 할 가능성이 적기 때문에 설치비용이 현저히 낮아질 것이라고 전망하기 어렵다.<sup>(10)</sup> 따라서 태양전지 모듈의 비용이 획기적으로 감소되어 미국 에너지부의 궁극적인 가격 목표인 U\$0.33/W(U\$50/m<sup>2</sup>)로 그 가격이 하락할 것이라고 해도 설치비용을 포함한 태양광발전 시스템(에너지 저장설비 제외)의 건설단가는 모듈단가의 2.5배(표 1) 참조)인 약 U\$0.83/W에 달할 것이다.

앞에서 언급한 대로 가격이 하락한 모듈을 이용한 태양광발전으로

100만kW 전력을 40년간 공급하기 위해서는 태양광발전의 이용률이 7.6%인 경우 1300만kW 용량의 태양광발전소가 필요하다. 태양광발전소의 설계 수명은 20년을 기준으로 하므로,<sup>(10)</sup> 40년간 100만kW의 전력을 얻기 위한 태양광발전소(2030년 기준)의 총건설비용은 12조330억원이 소요된다.<sup>(주4)</sup>

한편 이용률이 90%인 원자력발전의 경우 111만kW 용량의 발전소 1기로 상기와 동일한 전력을 공급할 수 있으며, 2003년 현재 원전의 건설단가는 179만7천원/kW이고,<sup>(24)</sup> 기술 진보에 따른 비용 절감을 고려하지 않는다 해도 2030년 기준 총건설 비용은 1조9,965억원이다. 따라서 단순하게 계산하더라도 태양광발전은 동일한 전력을 생산하기 위하여 원자력 대비 약 6배의 설비비용이 소요되는 것이다.

더군다나 장마철과 같이 장기간 일조량이 부족할 때는 이를 대비하여 추가로 설비를 증설하거나 별도의 전원에 의존하여야만 한다. 따라서 미래에 태양전지의 제작단가가 대폭 저하될 것이며 효율도 향상될 것이라고 낙관적으로 예측한다 하

더라도 태양광발전소의 건설비는 원자력발전소의 건설비와는 비교도 되지 않는다.

더군다나 위의 태양광발전소의 건설비에는 토지 비용이 고려되지 않았다. 비록 건조한 사막지대나 건물지붕을 이용하는 방안을 찾고 있으나 태양광발전은 에너지 밀도가 낮아 방대한 토지가 필요하다. 태양광발전에 필요한 토지의 면적은 태양전지 면적의 2배가 된다. 100만kW 전력을 공급하기 위하여 우리나라에서 일조량이 가장 좋은 남부 지방에 태양광발전소를 건설하더라도 약 70km<sup>2</sup>의 면적(여의도 면적 8.4km<sup>2</sup>의 8.3배)이 필요할 것이다.<sup>(주5)</sup> 이에 반하여 동일한 전력을 공급하기 위한 원자력발전소의 소요 부지는 단지 0.84km<sup>2</sup>의 면적이 필요하다(영광 6기 평균치 기준으로 산정). 다시 말해서 동일한 전력을 얻기 위해 태양광발전소의 부지는 원자력발전소 부지의 83배 정도가 필요한 것이다.

한편, 태양광발전의 성능을 최적화하기 위하여 태양전지판을 매 9~14일 주기로 청소를 해야 하며 직류를 교류로 전환하는 인버터 등

(주4) (1년차 투입 발전소) U\$0.83/W×13,000×10<sup>6</sup>W×1,000원/U\$ + (21년차 투입 발전소) (U\$0.37/W×13,000×10<sup>6</sup>W×1,000원/U\$)/(1+i)<sup>20</sup> (i: 할인율 7%)  
 21년차(2050년) 투입 발전소의 건설단가 : 33%/10년(미국의 태양광 설비비용 감소추이)으로 산정 : U\$0.83/W×(0.67)<sup>2</sup> = U\$0.37/W

(주5) 남부지방 연평균 1일 일사량 3,100kcal/m<sup>2</sup> 기준<sup>(19)</sup> : 1,000,000kW×24hr/day ÷ (3,100kcal/m<sup>2</sup>/day×1.163E-3 kWh/kcal×태양전지 효율(module efficiency) 15%<sup>(20)</sup>×효율 63%) = 70.44km<sup>2</sup> / 효율(63%) = 면적 등 성능 저하 등 (0.9)×입사각도 (0.7)

발전설비의 보수 등으로 운전 및 보수 비용은 매년 건설비의 5% 정도가 소요된다.<sup>(16)</sup>

## 2. 풍력발전소의 건설비

풍차터빈이 대형화되고 효율이 높아짐에 따라 풍력발전 원가는 급격히 감소하였다. 유럽의 경우 발전 원가는 1980년 중반의 8.8 € cent/kWh(119원/kWh)에서 최근의 4.1 € cent/kWh(55원/kWh)로 15년간 50% 이상의 비용절감을 실현하였으며,<sup>(21)</sup> 2010년에는 3.1 € cent/kWh(42원/kWh)<sup>(22)</sup>까지 비용 감소를 전망하여 일부 국가에서는 기존의 화력발전이나 원자력발전에 대하여 경쟁력을 가질 수 있게 되었다.<sup>(21)</sup>

현재 유럽의 풍력발전의 설비용량은 매 10년 마다 2배로 확대되며, 발전원가는 9%~17%의 속도로 감소하고 있다.<sup>(주6)</sup> 그러나 풍력발전의 경제성은 평균 풍속에 크게 좌우되기 때문에 국가나 지역마다 현저하게 차이가 난다. 예를 들면 평균 풍속 6.5m/s의 지역에서의 단위용량당 건설비는 8.5m/s의 건설비의 약 2배에 달하므로<sup>(23)</sup> 평균 풍속이 6.5m/s 이상인 지역이 드문 우리나라를 풍속이 높은 북유럽의 경우를 그대로 적용하는 것은 적절

하지 않다.

유럽의 평균 풍속이 8.5m/s인 지역의 신규 풍력발전 설비의 건설 단가는 € 800/kW(108만원/kW)이므로<sup>(21)</sup> 우리나라에서 평균 풍속을 6.5m/s로 기준할 때 건설 단가를 200만원/kW 정도로 추정할 수 있으며,<sup>(12)</sup> 풍력발전 기술의 진보와 대단위 공사에 따른 공사비 절감을 고려한 미래의 건설 단가는 2030년 기준 대략 99만원/kW으로 예상할 수 있다.<sup>(12)(주7)</sup>

풍속의 불규칙성 때문에 풍력발전소의 모든 발전기가 원하는 시간에 동시에 운전될 수도 없고 전력수요에 맞추어 전력을 생산할 수도 없다.<sup>(3)</sup> 영국과 같이 풍력에너지가 유리한 지역에서도 풍력발전이 설비용량의 10% 미만으로 운전되는 시간이 전체 시간의 27% 정도이며,<sup>(11)</sup> 미국 풍력발전의 90% 이상을 차지하는 풍력입지로 가장 유리한 지역인 캘리포니아 지역의 풍력발전 평균 이용률도 겨우 23%에 달할 뿐이다.<sup>(3)</sup>

이는 이용률이 90% 이상에 달하는 원자력발전과 대비된다.<sup>(2)</sup>

또한 영국이나 덴마크는 풍력발전에 매우 유리한 지역으로 알려져 왔으나 그 가능 설비용량은 전체 전력수요량의 최대 20~25%에 지나

지 않으며, 풍력발전이 가능한 유럽의 모든 해안지역을 풍력으로 개발해도 현재의 유럽 전체 전력수요의 10% 이상을 공급할 수 없다.<sup>(11)</sup>

미국의 풍력 개발 잠재력은 유럽보다 훨씬 크다.<sup>(17)</sup> 그러나 미국의 풍력발전은 2004년 현재 전체 전력수요의 1% 미만을 공급할 뿐이며 최상의 시나리오가 실현된다고 하여도 2020년까지 최대 6%의 전력을 공급할 수 있을 뿐이다.<sup>(17)</sup> 일부 학자들은 풍속 5m/s 이하의 저속 풍력을 이용할 수 있다면 이론적으로는 풍력만으로도 현재 미국의 전력수요를 충분히 감당할 수 있는 전력을 생산할 수 있다고 주장 하지만<sup>(17)</sup> 앞에서도 언급한 바 있듯이 풍력 성능곡선에서 저속의 바람이 갖는 낮은 에너지준위, 풍속의 불규칙성, 가변성에 의한 문제들로 인해서 그 실현 가능성은 의심스럽다.<sup>(10)</sup>

게다가 평균 풍속만론 풍력발전 입지를 결정할 수 없다. 너무 약하거나 강한 바람은 에너지로 활용할 수 없으므로 평균 풍속보다는 유효한 에너지 생산이 가능한 풍속 시간대의 총 기간이 더욱 중요하다. 이 요소를 고려한다면 평균 풍속으로만 결정된 풍속도(wind map)에 나타나 있는 현재의 유망 지역의 상당수가 풍력발전소 입지에서 제외

(주6) 본고의 기술발전에 따른 건설비 절감효과는 중간값인 13%/10년 사용.<sup>(22)</sup>

(주7) 200만원/kW × 0.706(13% 비용 감소/10년)<sup>(22)</sup> × 0.7 (대단위 공사에 따른 절감효과 30% 감안)<sup>(12)</sup>

〈표 3〉 발전원가 구성

발전원가	고정비(Fixed Cost)	자본비(Investment)
		감가상각비(Depreciation)
		법인세 및 제세(Income Tax)
		보험료(Insurance)
		고정분 운전유지비(Fixed O&M Cost)
	변동비(Variable Cost)	연료비(Fuel Cost)
		변동분 운전유지비(Variable O&M Cost)
사회간접 비용/효과		

될 것이다.<sup>(10)</sup>

또한 계절적 변화도 고려하여야 한다. 우리나라와 같이 여름과 초가을에 태풍을 자주 겪는 지역에서는 에너지화 하기 어려운 너무 강한 바람이 집중되어 평균 풍속만 높지 실질적인 유효한 풍속 시간대가 적을 수 있다.

풍력발전으로 100만kW 전력을 40년간 공급하기 위해서는 풍력발전의 이용률이 20%인<sup>(12)</sup> 경우 설비용량을 5배 확충한 500만kW 용량의 풍력발전소 건설이 필요하다. 풍력발전소의 설계 수명을 20년을 기준으로 하면,<sup>(23)</sup> 40년간 100만kW의 전력을 공급하기 위한 풍력발전소의 총건설 비용은 2030년 기준으로 5조9191억원이 소요된다.<sup>(주8)</sup>

이는 동일 전력을 공급할 수 있는 111만kW급 원자력발전소 건설비가 1조9965억원임을 감안한다면 풍력발전은 원자력 대비 약 3배의 설비비용이 소요되는 것이다. 설비용량을 5배 증설하면 발전소 건설 비용이 그 만큼 늘어남은 물론 이에 따른 변환, 송전에 소요되는 설비의 투자비도 상응하게 증가할 것이다.

**3. 발전원가 비교**

발전원가는 생산에 필요한 총비용을 판매전력량으로 나누어 단위

발전원가를 계산하는데 그 구성 요소로는 고정비, 변동비 및 사회간접 비용/효과 등이 있으나 본 분석에서는 사회간접 비용이나 효과 등은 고려하지 않는다. 발전원가의 구성 요소는 다음의 〈표 3〉과 같다.

발전원가는 연도별 발전원가(Annual Generation Cost), 수명기간 누계 발전원가(Accumulated Generation Cost) 및 균등화 발전원가(Levelized Generation Cost)가 있으며, 본 분석에서는 균등화 발전원가를 발전원간의 경제성 비교 분석을 위한 방법으로 채택하였다. 균등화 발전원가는 신규 발전소의 수명기간의 소요 비용(고정비, 운전 유지비, 연료비)을 할인율에 의하여 기준시점의 현재 가치로 환산하고 그 값을 기준시점으로 할인된 총전력생산량으로 나눈 금액을 나타낸다. 이 균등화 발전원가는 발전원간의 투자 선택 비교의 합리적 기준을 제공한다.

신규 태양광, 풍력 및 원자력 발

전 시스템의 경제성을 분석하기 위하여 산정기준을 〈표 4〉와 같이 설정하여 각 발전원의 발전원가를 산정하였다.

가. 태양광발전 발전원가 산정

100만kW의 전력을 40년 동안 공급하는 전제에 따라서 발전원가 산정을 위한 태양광발전 설비용량은 13,000MW, 이용률 7.6%, 건설 단가는 830,000원/kW, 설비수명은 20년을 기준으로 하였다. 따라서 13,000MW 설비용량의 1년차(2030년) 투입 발전소와 동량의 21년차(2050년) 투입 발전소의 건설 비용이 소요된다.

1) 건설비 및 발전량

- 건설 단가 : 830,000원 /kW(\$0.83/W ; 2030년 불변 가격)
- 환율 : 1,000원/\$
- 건설 비용 : (1년차 투입 발전소)  $U\$0.83/W \times 13,000 \times 10^6 W \times 1,000 \text{원}/U\$ + (21년차 투입 발전소) (U\$0.37/W \times$

(주8) (1년차 투입 발전소)  $99\text{만원}/\text{kW} \times 500\text{만kW} + (21년차 투입 발전소) 75\text{만원}/\text{kW} \times 500\text{만kW} / (1+i)^{20}$  (i: 할인율 7%) 21년차 (2050년) 투입 발전소의 건설 단가 :  $99\text{만원}/\text{kW} \times 0.757$  (13% 비용 감소/10년)<sup>20년(22)</sup>



〈표 4〉 발전원별 주요 경제성 지표 비교

구 분		태양광	풍 력	원자력
건설비 단가	천원/kW	830	950	1,797
운전유지 비율	%	4.25	4.25	4.447
설비수명	년	20	20	40
할인율	%	7	7	7
자본회수 계수	%	7.50091	7.50091	7.50091
법인세 및 제세	%	0.51	0.51	0.51
보험료	%	0.22	0.22	운전유지비에 계상
고정비율	%	4.98	4.98	12.45791
연료비 원가	원/kWh	0	0	4.38
R & D	원/kWh	0	0	1.2
폐기물 및 폐로 처리비용	원/kWh	0	0	운전유지비에 계상

- 출처) 1. Ken Z., 'Issues in Thin Film Manufacturing Cost Reduction', U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy  
 2. Poul, E. M. and Hugo, C., 'The Cost of Wind Power', Renewable Energy World, July-August, (2004)  
 3. 한국전력거래소, '2003년판 발전 설비 현황'  
 4. 산업자원부, '원자력발전과 대체에너지 공존·활성화 방안', 에너지 경제연구원 최종보고서(2002)

$13,000 \times 10^6 \text{W} \times 1,000 \text{원/US} / (1+i)^{20}$  (i: 할인율 7%) = 12조330억원<sup>(주9)</sup>  
 • 발전량 :  $13,000 \text{MW} \times 7.6\%$ (추정 이용률)  $\times 8,760 \text{h/년}$  = 8,654,880MWh/년  
 2) 경제성 분석의 비용 산정 기준  
 • 할인율 및 이자율 : 7%(공공사업서 적용)  
 • 법인세 및 제세 : 건설비의 0.51%<sup>(12)</sup>  
 • 보험료 : 0.22%<sup>(12)</sup>

• 운전유지 및 수선비 : 투자비의 4.25%/년 (풍력 동일 수치 적용)<sup>(8)(10)</sup>  
 • 공사기간 중 이자 : 비산정  
 • 설비수명 : 20년  
 3) 발전원가 산정  
 • 총투자비에 대한 자본회수계수 : 0.0750091  
 - 자본회수 계수 =  $i(1+i)^{40} / (1+i)^{40} - 1$   
 • 연간 투자비용 = 7.50091%  $\times$  12조330억원 = 9026억원  
 • 연간 고정유지 비용 = (0.51%

+ 0.22% + 4.25%)  $\times$  12조330억원 = 5992억원

• 발전원가 = (연간 투자비용 + 연간 고정유지 비용)/연간 발전량 = (9026억원 + 5992억원)/8,654,880MWh = 173.5원/kWh

나. 풍력발전 발전원가 산정

100만kW의 전력을 40년 동안 공급하는 전제에 따라서 발전원가 산정을 위한 풍력발전 설비용량은 5000MW, 이용률 20%, 건설 단가는 990,000원/kW, 설비수명은 20년을 기준으로 하였다. 따라서 5000MW 설비용량의 1년차(2030년) 투입 발전소와 동량의 21년차(2050년) 투입 발전소의 건설 비용이 소요된다.

1) 건설비 및 발전량

• 건설 단가 : 990,000원/kW (2030년 불변가격 : III-2 참조)  
 • 건설 비용 : (1년차 투입 발전소) 990,000원/kW  $\times$  5,000MW + (21년차 투입 발전소) (750,000원/kW  $\times$  5000MW) /  $(1+i)^{20}$  (i: 할인율 7%) = 5조 9191억원<sup>(주10)</sup>  
 • 발전량 : 5000MW  $\times$  20%(추정 이용률)<sup>(12)</sup>  $\times$  8760h/년 = 8,760,000MWh/년

(주9) 21년차(2050년) 투입 발전소의 건설 단가 : 33%/10년(미국의 태양광 설비 비용 감소 추이)으로 산정 :  $U \$ 0.83/W \times (0.67)^2 = U \$ 0.37/W$

- 2) 경제성 분석의 비용 산정 기준
- 할인율 및 이자율 : 7%(공공사업시 적용)
  - 법인세 및 제세 : 건설비의 0.51%(12)
  - 보험료 : 0.22%(12)
  - 운전유지 및 수선비 : 투자비의 4.25%/년(8)
  - 공사기간 중 이자 : 비산정
  - 설비수명 : 20년

3) 발전원가 산정

- 총투자비에 대한 자본회수계수 : 0.0750091
- 자본회수계수 =  $i(1+i)^{40}/(1+i)^{40}-1$
- 연간 투자비용 = 7.50091% × 5조9191억원 = 4440억원
- 연간 고정유지 비용 = (0.51% + 0.22% + 4.25%) × 5조9191억원 = 2948억원
- 발전원가 = (연간 투자비용 + 연간 고정유지 비용)/연간 발전량 = (4440억원 + 2948억원)/8,760,000MWh = 84.3 원/kWh

다. 원자력발전 발전원가 산정

100만kW의 전력을 40년 동안 공급하는 전제에 따라서 발전원가 산정을 위한 원자력발전 설비 용량은 1111MW, 이용률 90%, 건설 단가는 1,797,000원/kW, 설비 수명

은 40년을 기준으로 하였다.

1) 건설비 및 발전량

- 건설 단가 : 1,797,000원/kW (2030년 불변가격) (공사기간 중 이자(IDC) 포함)
- 건설 비용 : 1,797,000원/kW × 1,111,000kW = 1조9,964.7 억원
- 발전량 : 1,111MW × 90%(추정 이용률)<sup>(2)</sup> × 8,760h/년 = 8,759,124MWh/년

2) 경제성 분석의 비용 산정 기준

- 할인율 및 이자율 : 7%(공공사업시 적용)
- 운전유지비 : 투자비의 4.447%/년<sup>(24)</sup> (원전 사후처리 총당금, 보험료 포함)<sup>(주11)</sup>
- 법인세 및 제세 : 건설비의 0.51%(12) (풍력 동일 수치 적용)
- 설비수명 : 40년
- 연료비 : 4.38원/kWh
- R&D : 1.2원/kWh

3) 발전원가 산정

- 총투자비에 대한 자본회수 계수 : 0.0750091
- 자본회수 계수 =  $i(1+i)^{40}/(1+i)^{40}-1$
- 연간 투자비용 = 7.50091% × 1조9,964.7억원 = 1,497.5 억원

- 연간 고정유지 비용 = (4.447% + 0.51%) × 1조9,964.7억원 = 989.6억원
- 발전원가 = (연간 투자비용 + 연간 고정유지 비용)/연간 발전량 + 변동 비용 = (1,497.5억원 + 989.6억원)/8,759,124MWh + (4.38 + 1.2) = 34.0 원/kWh

라. 산정 결과

태양광발전과 풍력발전의 급속한 기술 발전을 가정하여 미래(2030년)의 각 발전원의 건설비를 비교해 보더라도 태양광 발전은 원자력발전 대비 약 6배, 풍력은 원자력발전 대비 약 3배의 비용이 소요된다.

또한 각 발전원의 균등화 발전원가(Levelized Generation Cost)를 산정하면 태양광 발전 원가는 173.5원/kWh이고 풍력발전 원가는 84.3원/kWh으로 산정된다. 원자력 발전원가(34.0원/kWh)는 미래에 비용이 절감되지 않는다고 가정하더라도 태양광과 풍력발전의 발전원가는 원자력 대비 각각 5.1배, 2.5배로 장기적으로도 많은 차이를 보인다.

따라서 태양광·풍력발전은 소수의 유리한 지역을 제외하고는 경제적 타당성이 없으며 우리나라의 전력수요의 상당부분을 담당할 것이

(주10) 21년차(2050년) 투입 발전소의 건설 단가: 99만원/kW × 0.757(13% 비용 감소/10년)<sup>20년</sup> = 75만원/kW<sup>22)</sup>

(주11) 2004년도 원전 사후처리 총당금 4원/kWh

라는 전망은 성급한 것으로 평가된다.

#### 4. 기타 문제

본 경제성 평가에서는 재생에너지를 원자력발전이나 화력발전소의 보조 발전원이라 가정한 계통연계형 시스템(On-Grid)을 기준으로 하였으나 재생에너지의 비중이 상당 규모 이상으로 확대되었을 때나 독립형 시스템(Off-Grid)에서는 에너지 저장 문제에 따른 추가적인 비용을 고려하여야 한다.

재생에너지가 해결해야할 원천적인 문제는 에너지공급의 비연속성, 불규칙성 그리고 가변성이다. 예를 들면 태양에너지의 경우 야간, 겨울철 그리고 비 오는 날의 에너지수요를 어떻게 충족하느냐는 것이다.

우리나라 제주도 일사량의 경우 하절기에는 평균 4,082kcal/m<sup>2</sup>/day로 전국에서 일사조건이 가장 좋은 것으로 나타난 반면, 동절기에는 1,456kcal/m<sup>2</sup>/day로 겨울철의 출력은 여름철의 35% 정도밖에 되지 않으며 또한 연평균 일사량은 2,950kcal/m<sup>2</sup>/day로 여름철 일사량의 72% 정도 밖에 되지 않는 등 계절적인 요인을 감안한다면 이용률이 추가로 30% 정도 감소하는 결과를 초래한다.<sup>(19)</sup>

이러한 계절적인 요인뿐만 아니라 야간, 일기 요인 등을 생각한다면 에너지 소비가 많은 대도시에서

는 태양광발전만으로는 양질의 전력을 공급할 수 없으며, 대규모의 에너지 저장 시설이나 다른 전원으로 부터 전력을 공급받을 수 있는 대기 전원이 필요하다. 풍력발전도 풍속의 가변성과 불규칙성으로 인하여 태양광발전과 동일한 문제가 발생한다.

이 문제를 재생에너지원의 혼합 방식으로 해결할 수 있을까? 예를 들면 일조량이 적은 야간이나 겨울철에 태양광발전을 보완하기 위해서 바이오매스 에너지나 수력발전을 활용하는 방식을 말한다. 이 방식을 사용하면 재생에너지의 비연속적인 에너지공급 문제의 상당부분을 해결할 수 있어 매력적인 대안으로 상상할 수도 있다.

그러나 이 방식의 최대 취약점은 비연속적 에너지원이 충분한 전력을 공급하지 못할 때 전력수요를 충족하기에는 바이오매스나 수력의 에너지 자원이 절대적으로 부족하다는 점이다.

한 예로서 우리나라의 수력발전 설비용량은 2005년 1월 현재 3,879MW로서 전체 전력설비의 겨우 6.5%(발전량 점유율은 2004년도 1.7%)에 불과하며<sup>(20)</sup> 수력발전을 대규모로 추가 개발할 수 있는 가능성은 현실적으로 없다.

에너지 저장에 관련된 첫 번째 문제는 만일 태양이 하루 24시간 중 8시간만 비추면 이 8시간 동안 전

력수요 뿐만 아니라 나머지 16시간 동안 사용되는 전력을 생산할 수 있는 설비로 발전규모가 확대되어야 한다(풍력의 경우도 이용률이 20% 이하이므로 똑 같은 문제가 일어난다).<sup>(10)</sup>

이것은 24시간의 전력수요를 충족하기 위해서 훨씬 큰 규모로 대기 발전용량을 보유하고 있어야 함을 의미한다. 문제는 일조량이 적어 발전량이 적은 겨울철에도 전력수요가 매우 많다는 데 있다.<sup>(21)</sup> 두 번째 문제는 에너지를 저장하고 다시 전기에너지로 전환하는 과정에서 수반되는 에너지 손실이다. 에너지 저장에 따르는 실제적 비용과 필요공간, 환경영향 등 여러 가지 문제점은 별도로 심층 검토하여야 할 사항이다.

#### 가. 납축전지저장

에너지를 납축전지(lead-acid)에 저장하는 방식에서는 이론적으로 축전지에 공급된 에너지의 70%가 회수되지만, 실제적으로는 60% 이하이다.<sup>(18)</sup> 여기에 직류를 교류로 전환하는 변환기(inverter)의 손실을 감안하면 에너지 회수효율은 54% 이하이다. 1 가구의 전력을 공급하는데 필요한 납축전지에 소요되는 납은 대략 50kg이다.<sup>(10)</sup>

UN보고서에 따르면 2060년 세계의 가구수는 대략 20억으로 예상하는데 세계의 모든 가구가 태양광을 이용하고 납축전지를 사용한다

면 1억톤의 납이 필요할 것이며 납 축전지의 수명이 3년인 것을 감안 하면 납의 수요량은 지구의 납매장량을 초과할 것이다.<sup>(10)</sup> 이것은 또 다른 환경오염 문제를 야기할 수 있다.

나. 수소 저장

태양광이나 풍력발전에서 발생하는 전기를 이용하여 생산된 수소로 에너지 문제를 해결하고자 하는 시도가 있어 왔다. 그러나 수소에너지를 실용화하기 위해서는 수소 보관 용기의 부피, 에너지 변환과 수송에 따른 손실 등 해결해야 할 많은 난관에 직면한다.

만일 태양전지(photovoltaic cell)에서의 에너지 변환효율이 20%라 하고 그 전기를 사용하여 물을 전기분해하여 수소가스를 얻는 효율은 70%라면<sup>(16)</sup> 전 과정의 총에너지 효율은 14% 정도이다. 저장된 수소는 효율 60%의 연료전지를 사용하여 직류 전원을 생산하는데 사용될 수 있다. 또 이 직류 전원은 교류 전원으로 변환(변환효율 90%)하는 것이 필요하다. 이와 같은 전체 과정을 통하여 태양광발전에서 생산된 전력은 저장 후 최대 정격용량의 7.6%만이 재활용될 수 있다는 것을 알 수 있다.

이것은 필요한 에너지의 13배의 전기를 생산·저장하여야 한다는 것을 의미하며 이 경우 동일한 전력 수요를 충족하기 위해서는 원자력

발전 설비용량의 13배에 해당하는 태양광발전 설비를 건설하여야 한다는 것을 나타낸다. 또한 수소 부피를 감소시켜 보관과 수송에 편리하기 위하여 액체수소 형태로 저장하려면 추가적으로 30%의 에너지 손실이 발생한다.<sup>(10)</sup>

맺는말

현재 우리나라 재생에너지의 구매 가격은 '대체에너지 개발 및 이용·보급촉진법'에 의하여 태양광의 경우 716.4원/kWh이고 풍력발전은 107.66원/kWh인데 이것은 원자력발전의 평균 구매가격인 40원/kWh의 각각 18배, 2.7배 정도이다.<sup>(12)</sup> 이는 정부의 시설비 보조 지원(시설비용의 30%)을 제외한 것으로 이 모든 비용을 포함하면 그 발전원가는 원자력과 대비 현격한 차이가 있다.<sup>(12)</sup>

발전원간의 경제성 비교는 100만kW의 전력을 40년 동안 공급할 수 있는 발전설비를 기준으로 하였으며 태양광발전과 풍력발전의 급속한 기술개발과 비용 절감을 감안한 각 발전원의 건설비와 균등화 발전원가(Levelized Generation Cost)를 산정하였다.

재생에너지의 미래 기술 발전에 대한 낙관적인 견해에 따라서 2030년도의 각 발전원의 건설비를 비교하면 태양광발전은 원자력발전

대비 약 6배, 풍력은 원자력발전 대비 약 3배의 비용이 소요된다.

또한 각 발전원의 균등화 발전원가(Levelized Generation Cost)를 비교하면 재생에너지는 연료비가 없으나 높은 설비투자비로 인하여 태양광 발전원가는 173.5원/kWh이고 풍력 발전원가는 84.3원/kWh으로 산정되어 원자력 발전원가(34.0원/kWh) 대비 각각 5.1배, 2.5배로 장기적으로도 많은 차이를 보여 재생에너지의 경제적 타당성은 장기적으로도 매우 비관적이다.

기술 발전에 따라 태양광이나 풍력과 같은 재생에너지의 공급비용은 낮아지고 효율은 증대하겠지만 기존의 원자력발전과의 차이를 좁히기에는 재생에너지의 낮은 에너지 밀도, 전력의 비연속성과 가변성 등 극복하여야 할 수 많은 과제들이 있으며 우리의 현재 생활수준을 과거로 되돌리기 전에는 재생에너지 만으로는 현재의 에너지 수요를 감당할 수 있을 것 같지 않다.

결론적으로 재생에너지가 꿈의 발전원이라는 통념과는 달리 가용 에너지량의 한계성과 경제성 모두를 종합하여 볼 때 가까운 미래에 재생에너지가 기존의 원자력발전이나 화력 발전을 대폭적으로 대체하기에는 그 실현 가능성이 희박하다고 분석된다.<sup>(18)</sup>



〈참고 문헌〉

[1] American Wind Energy Association, 'What are the factors in the cost of electricity from wind turbines?', via <http://www.awea.org/faq/cost.html>, pp. 1

[2] 전력통계자료, 한국전력공사, 2004

[3] Robert, L., 'Why Renewable Energy is Not Cheap and Not Green', National Center For Policy Analysis(2004)

[4] 한국에너지기술연구원, '대체에너지 : 태양광발전', via <http://www.kier.re.kr>

[5] 에너지관리공단, '태양광발전 개요 및 국내·외 기술개발 현황', via <http://www.kemco.or.kr>

[6] 에너지대안센터, '태양에너지', via [http://www.energyvision.org/sun\\_2.htm](http://www.energyvision.org/sun_2.htm)

[7] International Energy Agency, 'Renewables Information 2004', IEA Statistics (2004)

[8] European Wind Energy Association, 'Costs and Price', Wind Energy-The Fact(2004)

[9] Gunther, H., 'An Analysis of Wind Energy in the EU-25', European Wind Energy Association(2003)

[10] Trainer, F., 'Can Renewable Energy Sources Sustain Affluent Society?', University of New South Wales(1995)

[11] Grubb, M. and Meyer, N., 'Wind Energy: resources systems and regional strategies' in Johansson, Renewable Energy (1993).

[12] 산업자원부, '원자력발전과 대체에너지 공존·활성화 방안', 에너지경제연구원 최종보고서 (2002)

[13] Peter, H., 'Technology, Manufacturing, and Market Trends in the U.S. and International Photovoltaics Industry', via <http://www.eia.doe.gov>, pp. 11

[14] Kelly, H., 'Introduction to Photovoltaic Technology', Renewable Energy, Island Press. Washington, DC(1993)

[15] 일본원자력산업회의, '원자력포켓북' (2003)

[16] Ogden, J. M. and Nitsch, J, 'Solar hydrogen' in Johansson, Renewable Energy (1993), pp. 984

[17] American Wind Energy Association, 'Wind Power Today', via <http://www.awea.org>

[18] ELCOM(Electricity Commission of NSW), 'New and Alternative Technologies for Electricity Generation, Sydney' (1991), pp. 54

[19] 한국에너지기술연구소, '대체에너지 실용화 및 건설타당성 조사보고서' (1997)

[20] Ken Z., 'Issues in Thin Film Manufacturing Cost Reduction', U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, via <http://www.nrel.gov/ncpv/documents/25249.html>

[21] European Wind Energy Association, 'Wind Force 12' (2004)

[22] Poul, E. M. and Hugo, C., 'The Cost of Wind Power', Renewable Energy World, July-August(2004)

[23] Renewable Energy World, 'Economics of Wind Energy Prospects and Directions', via [http://www.jxj.com/magsandj/rew/2001\\_04/economics\\_of\\_wind\\_energy.html](http://www.jxj.com/magsandj/rew/2001_04/economics_of_wind_energy.html)

[24] 한국전력거래소, '2003년도 발전설비현황' (2003)

[25] 한국에너지기술연구원, '대체에너지 : 풍력발전', via <http://www.kier.re>