

대체에너지를 이용한 발전기술의 경제성평가

조인승 이창호 진병문
한국전기연구소

Economic Evaluation of Generating Systems Using Renewable Energies

I. S. Jo, C. H. Rhee, B. M. Jin
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In Korea, the consumption of renewable energy among primary energies has marked only 1.03%, composed of mostly hydro power facilities, as of 1998. This situation has been basically due to the market limit and high generation cost of renewable energies. Furthermore, the policies and strategies for promoting the renewable energy have been insufficient in comparison with that of the developed countries. This paper mainly focuses on the economic feasibility and sensitivity analysis for renewable energies.

1. 서론

우리나라의 총에너지소비 가운데서 대체에너지가 차지하는 비중은 '98년의 경우 1.03%에 지나지 않으며, 특히 전원으로 활용되는 재생에너지는 수력을 제외하고는 거의 전무하다. 이와 같이 대체에너지 및 이를 이용한 전력생산설비의 보급이 부진한 것은 이들 이용기술이 아직은 실용화 초기단계에 있을 뿐만 아니라, 시장이 협소하여 전력생산에 따른 발전원가가 전력회사의 기존 전원에 비하여 대체적으로 높기 때문이다. 뿐만 아니라 이들 대체에너지 이용기술을 개발하고 보급하기 위한 정책적 지원이 선진국에 비해 미흡한 데에도 기인하고 있다. 본 논문에서는 대체에너지를 이용하여 발전하는 시스템 가운데서 현재 상용화 보급이 검토되고 있거나 활용중에 있는 네가지 발전형태, 즉, 태양광발전, 풍력발전, 연료전지발전, 매립지가스(LFG)발전에 대한 경제적 보급타당성을 분석하고자 한다.

2. 평가모형의 설정

2.1 주요 분석지표

본 논문에서 사용한 경제성 분석지표는 다음과 같다.

① 투자회수기간 (Payback Period)

투자회수기간이란 투자사업에 소요된 초기투자비를 회수하는데 소요되는 기간을 말한다. 이때, 이자율은 0으로 가정한다. 즉, 초기투자비 P, t년도에 있어서 순현금흐름을 F_t 라고 한다면 투자회수기간은 다음 식을 만족하는 n으로 정의된다.

$$P = \sum_{t=0}^n F_t$$

② 내부수익률 (IRR)

내부수익률(Internal Rate of Return)이란 투자대안의 일련의 수입과 지출의 현재가치를 동등하게 하는 이자율을 말한다. 여기서 어떤 투자대안 j의 수익률 i_j 는 다음 식에서 도출되는 i_j 의 값을 말한다

$$0 = PW(i_j) = \sum_{t=0}^n F_{jt}(1+i_j)^{-t}$$

③ 편익/비용 비율 (B/C Ratio)

편익/비용 비율이란 어떤 투자사업의 설비수명기간 동안 수입과 비용의 누적 흐름을 현재시점에서의 등가비율로 나타낸 지표를 말하며, 다음과 같이 나타낸다. 여기서, 편익 B(j) 및 비용 C(j)는 할인율(i)을 사용하여 계산된 현재액 또는 시간적 등가액을 나타낸다

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n B_{jt}(1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_{jt}(1+i)^{-t}}$$

④ 평준화원가 (Levelized Generation Cost)

연도별로 불규칙적으로 발생하는 비용과 발전량을 연도별로 균일하게 등가화한 지표로 표시하는 방법을 말하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, C, Q, CRF는 각각 발전비용, 발전량, 자본회수계수를 말한다.

$$(C/Q)^* = CRF \times \sum_{t=0}^n \frac{C_t/Q_t}{(1+i)^t}$$

2.2 평가모형 설정

대체에너지를 이용한 발전시스템에 대한 경제성평가 절차는 그림 1.과 같은 절차에 따라서 수행된다.

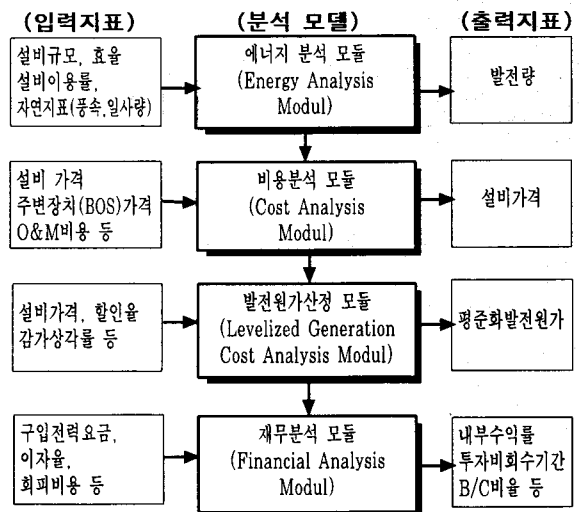


그림 1. 경제성평가 흐름도

에너지분석모듈에서는 발전설비시스템 규모, 시스템 효율, 자연지표특성(예: 일사량, 풍속 등) 및 설비이용률 등에 따른 발전량을 산정한다. 비용분석모듈에서는 각 시스템 요소별 가격지표 및

O&M비용 등의 비용지표를 통합 관리하고 분석한다. 발전원가산정모델에서는 설비수명기간동안에 발생된 비용 및 발전량을 현재가치로 환산한 다음 평균화 발전원가를 산정한다.

재무분석모델에서는 현금흐름분석 (Cash Flow Analysis)을 통한 내부수익률 및 투자회수기간, B/C비율 등을 산정한다.

3. 경제성평가

3.1 시스템 구성 및 입력지표

경제성 평가를 위해서는 평가대상 시스템의 기본 특성 및 경제지표 등이 설정되어야 한다. 본 경제성평가에 사용되는 제반 지표를 요약하면 표 1.과 같다. 표 1.의 주요 지표는 현재 실용화되어 있는 설비, 또는 그와 유사한 설비의 설계상의 지표를 적용하였으며, 현재까지 대체전원 발전전력에 대한 전력회사의 의무구매가 적용되지 않고 있기 때문에 구입요금수준은 전력회사의 용도별 평균판매단가, 또는 유사 발전설비의 회피비용을 산정하여 적용하였다.

그러나, 본 논문의 분석에서는 물가상승률을 불변으로 가정하였고, 사업자의 적정투자보수 개념이 반영되지 않았기 때문에 시산결과가 실제 비용상태를 정확하게 반영하지는 않지만, 유사한 형태의 경제성평가나 대체전원간의 타당성에 대한 비교분석이 가능하다는 점에 의의를 들 수 있을 것이다.

표 1. 에너지원별 시스템 구성 및 주요 입력지표

항 목	태양광	풍력	연료전지	LFG 발전
대상시스템	주택용 5kW (계통연계시스템)	사업용 600kW (계통연계시스템)	일반용 200kW PAFC (계통연계형 시스템)	5MW(가스터빈) (계통연계형시스템)
자연조건	일사량조건 : 4.47kWh/m ² /일	평균 7m/sec	-	가스분출조건: 110N ² /분 이상
설비(운전) 특성	전지효율 : 13%	설비이용률 : 20%	설비이용률 : 80%	설비이용율 80% (60%)
설비단가	11,740천원/kW 모델가격 : (7,800원/Wp)	1,775 천원/kW	4,663천원/kW 본체가격 (3,750천원/kW)	1,880천원/kW
설비수명	30년	20년	20년	20년
수전유저비	0.5%	3.0%	1.0%	8.0%
할인율	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%
감가상각	방법 : 정액법 기간 : 15년	- 방법 : 정액법 - 기간 : 15년	1) 방법 : 정액법 2) 기간 : 15년	- 방법 : 정액법 - 기간 : 15년
구입요금 (가정)	96.6원/kWh (주택용 판매단가)	72.08원/kWh (전력판매단가)	72.52원/kWh (회피비용 : 중유) *송배전비용 포함	59.4원/kWh (회피비용 : 중유) *송배전비용 제외

3.2 평가결과

각 대체에너지원별 발전시스템의 보급타당성을 사업자의 입장에서 분석하면 표 2.와 같이 요약할 수 있다.

내부수익률(IRR)을 보면 LFG발전시스템만이 12.9% 정도로 평균 시장이자율을 상회하는 것으로 나타나고 있지만 여타 발전시스템은 (-)의 수치를 보여주고 있다.

B/C 비율 또한 LFG발전만이 설비수명기간동안 경제성 평가기준인 1을 초과하고 있는 것으로 나타났으며, 투자회수기간의 경우에도 LFG발전을 제외한 모든 전원이 10년 이상을 나타내고 있다.

한편, 전원별 평균화 발전원가를 검토해보면 태양광발전시스템, 연료전지, 풍력, LFG발전시스템 순으로 각각 434원/kWh, 122원/kWh, 79원/kWh, 37원/kWh으로 분석되었다.

이상의 평가결과 현 시점에서 당장에 활용가능한 전원으로서는 LFG발전을 들 수 있으며, 풍력발전의 경우에는 거의 상용전원의 수준에 근접하고 있는 것으로 나타났다.

표 2. 경제성평가 결과

경제성평가 지표	태양광	풍력	연료전지	LFG발전
IRR	(-)	(-)	(-)	12.9%
B/C Ratio	0.16	0.71	0.87	2.77
투자회수기간	30년 이상	20년 이상	20년 이상	8년
발전원가	433.9원/kWh	79.38원/kWh	122.42원/kWh	37.27원/kWh

3.3 민감도분석

3.3.1 시나리오 구성

본 논문에서는 설비가격의 변화가 발전원가에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 대체전원별로 금융비용에 대한 지원범위를 각각 달리 설정하였다. 기본대안인 Case I에서는 산자부에서 시행중인 대체에너지 시설지원자금의 정책금융 이자율인 5.5%수준으로 시설투자비의 90%한도내에서 설비투자비에 대하여 지원하는 것으로 설정하였고, Case II(태양광, 풍력에 한함) 및 Case III은 각각 금융지원조건을 보다 유리하게 하였을 경우를 가상하여 시나리오를 작성하였다.

표 3. 민감도분석을 위한 시나리오 구성

구분		단위	Case I	Case II	Case III
태양광	무상지원	%	없음	50	80
	지원범위	%	90	0	0
	이자율	%	5.5	-	-
풍력	무상지원	%	없음	30	40
	지원범위	%	90	0	0
	이자율	%	5.5	-	-
연료전지	무상지원	%	없음	40	
	지원범위	%	90	0	
	이자율	%	5.5	-	
LFG 발전	무상지원	%	없음	없음	
	지원범위	%	0	50	
	이자율	%	-	5.5	

3.3.2 민감도분석

표 3.의 시나리오에 따라서 각 대체전원별로 향후 R&D 및 시장환경의 변화로 인한 설비가격의 변화가 발전원가에 미치는 영향을 그림으로 나타내면 그림 2.~ 그림 5.와 같다.

① 태양광발전시스템

Case I의 조건하에서 태양광발전 시스템은 그림 2.에서 볼 수 있는 바와 같이 설비가격이 현재수준의 1/2이 하인 4000원/Wp로 하락하더라도 발전원가는 150원/kWh 정도로 현재 전력회사의 평균판매단가인 70.22원/kWh('98실적)보다는 훨씬 높은 수준임을 알 수 있다. 그러나 정부의 설비투자비에 대한 지원조건이 보다 완화될 Case II, Case III의 금융지원조건이 보장될 경우에는 각각 81원/kWh, 40원/kWh정도로 현재의 전력회사 판매 단가에 근접하거나 낮은 것으로 분석되었다.

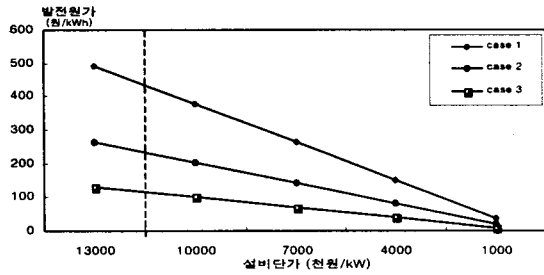


그림 2. 설비가격 변화에 따른 민감도 (태양광발전)

② 풍력발전시스템

풍력발전시스템은 현재의 시장조건 및 기술수준하에서도 거의 경제성을 확보하고 있으며, 자연조건이 우수한 지역(예: 제주도 등)에서는 경제성이 충분히 있는 것으로 분석된다. 풍력은 전세계적으로 이미 보급이 상당 수준 진행되고 있고, 기술개발 또한 상당수준 이루어지고 있는 상태이기 때문에 설비가격의 인하여력은 개발 초기단계인 다른 대체에너지 기술에 비해서는 적다고 할 수 있다. 그림 3.에서 볼 수 있는 바와 같이 설비단가가 현재가격에서 20%하락할 경우에는 발전원가는 현재 79원/kWh에서 61원/kWh수준으로 인하될 수 있을 것으로 분석되고 있다.

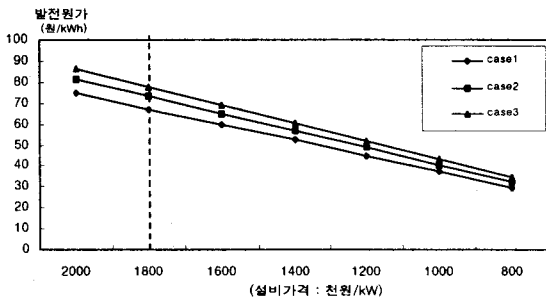


그림 3. 설비가격 변화에 따른 민감도 (풍력발전)

③ 연료전지발전시스템

연료전지발전시스템은 그림 4.에서 볼 수 있는 바와 같이 설비가격이 현재수준의 %이하인 3000천원/kW로 하락하더라도 발전원가는 106원/kWh 정도로 현재 전력회사의 평균판매단가인 70.22원/kWh('98실적)보다는 훨씬 높음을 알 수 있다. 그러나 정부의 설비투자비에 대한 지원조건이 보다 완화된 CaseII에서는 발전원가가 96원/kWh정도로 전력회사의 LNG설비 회피비용수준에 근접하는 것으로 분석되었다.

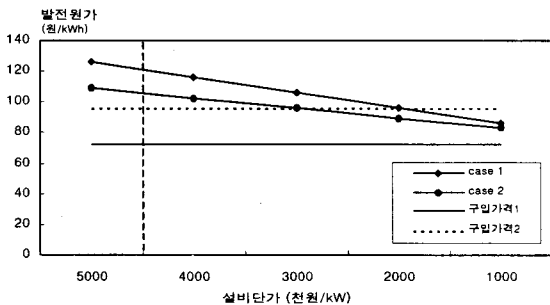


그림 4. 설비가격 변화에 따른 민감도 (연료전지발전)

④ 매립지가스(LFG)발전 시스템

매립지가스발전은 쓰레기 매립지의 입지 및 가스 부존 상태 등 여러 가지 변수에 따라 달라지기는 하지만, 현재의 기술수준하에서는 금융상의 별다른 지원없이도 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 그림 5.에서 볼 수 있는 바와 같이 전력회사의 구입요급수준이 현재의 중유발전소의 회피비용 수준인 59원/kWh에서 결정된다 하더라도 사업자의 입장에서는 충분히 경제성이 있는 것으로 나타났다.

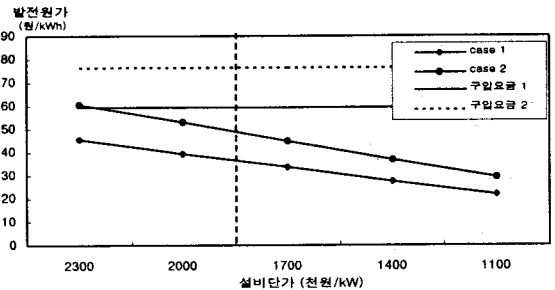


그림 5. 설비가격 변화에 따른 민감도 (LFG 발전)

4. 결론

대체에너지에 대한 경제성평가 결과 LFG발전, 풍력발전 등 일부 전원만이 보급타당성을 확보하고 있거나 근접해 있는 것으로 나타났다. 그러나 민감도분석에서 제시된 바와 같이 투자비지원 등 보급정책에 따라서는 경제성이 대폭 개선될 것으로 보이며, 아울러 전력구입시 생산비지원 등을 통해 구입요금 수준이 높아진다면 사업성 확보도 가능할 것으로 예상된다.

이들 대체에너지기술은 기술개발속도가 빠를 뿐만 아니라 다른 산업에 미치는 경제적 파급효과도 크기 때문에 현재시점에서의 경제성보다는 미래의 경제적 잠재력을 감안한 보급정책이 뒤따라야 할 것으로 보인다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국전기연구원, 한국전력공사, "구입전력의 적정수준과 요금에 관한 연구", 1993. 11.
- [2] 한국전기연구원, 한국전력공사, "태양광발전시스템의 최적화 및 경제적 보급방안에 관한 연구", 1991. 12
- [3] 한국전기연구원, 산업자원부, "신·재생에너지 구입요금 산정기준에 관한 연구", 1999. 8.
- [4] CANMET Energy Diversification Laboratory (CEDRL), "RETScreen User Manual", 1998.