

## 신재생에너지 경제성 평가 결과 분석 및 평가지표 연구

안은영<sup>1)</sup>, 김성용<sup>2)</sup>

### Indicators of Economic Evaluation and Case Studies on New & Renewable Energy

Eun-Young Ahn, Seong-Yong Kim

Key words : Economic Evaluation(경제성 평가), New & Renewable Energy(신재생에너지), Economic Benefit(경제적 효과), Environmental Benefit(환경적 효과), Security Benefit(에너지 안정적 효과)

Abstract : U.S. National Research Council proposed benefits framework for energy R&D project as economic benefits, environmental benefits, security benefits and knowledge benefits. Following this framework, U.S. National Renewable Energy Laboratory evaluated the projected benefits of Federal Energy Efficiency and Renewable Energy Programs in the indicators of energy-expenditure savings, energy system cost savings, CO<sub>2</sub> emissions reductions, oil savings, natural gas saving and avoided additions to central conventional power. As this result, geothermal energy have predominant position in the energy-expenditure savings, natural gas saving and avoided additions to central conventional power to FY2050. The projected benefits, in monetary value, of the whole supply-potential of geothermal energy in Korea were evaluated as 480.2 billion Won, 43.1 billion Won and 135.8 billion Won for the private energy-cost savings, social environmental-cost savings, and import energy-cost saving, respectively.

### 1. 서론

에너지 연구개발 사업 효과측정지표로 미국 에너지성은 경제적 효과, 환경적 효과, 에너지안정성 효과, 지식효과를 제시하고 있으며 이미 실현된 효과와 함께 옵션가치와 구분하여 미래에 예상되는 효과를 제시하고 있다. 기존의 지표는 대부분 총량적인 에너지사용저감에 직접적으로 영향을 받는 지표로 에너지원의 사용형태, 규모, 사용자/시장 특징을 반영한 지표로는 한계를 가진다. 본 연구는 기존의 신재생에너지에 대한 효과 분석 결과를 살펴보고 지열자원의 경제성 평가를 실시하여, 신재생에너지의 경제성 분석을 위한 평가지표에 대해 고찰해 보고자 한다.

### 2. 에너지 Form-Value 개념 도입

현행 에너지소비량의 집계는 석유, 석탄, 전기, 가스 등의 에너지소비량을 Btu나 석유환산톤과 같은 열량기준으로 단순 합산하는 방식이다. 이는 개별 에너지원이 열량 기준으로 완전 동질적인 완전 대체재라고 간주하는 것이다. 그러나 석탄이나 석유는 전기를 완전 대체하지 못하며 같은 에너지를 공급하는 데도 비용의 차이가 존재한다. Zarnikau et al.(1996)는 에너지원별 distribution capacity, power density, media dependence, volumetric energy deposition,

controllability-associated attributes, safety, environmental impacts 등과 같은 Form-Value의 시각이 필요함을 강조한 바 있다. Paul Komor & Morgan Bazilian(2005)는 신재생에너지원별 Typical levelized costs, Advantages, Problems를 분석한 바 있으며, AED(2002)는 에너지의 적용대상으로 Refrigeration, Lighting, Pumping, Communication으로 구분하여 적용하였고 신재생에너지원별 특성을 Scale, Consumers, Technology Status, Historic Weather conditions으로 구분하여 분석한 바 있다. Paul Komor의(2005)와 AED(2002)의 연구결과에 의하면 지열자원은 에너지 사용형태와 수송성에서 한계를 가지고 있으나 초기적인 기술개발기를 지나 추가적인 기술개발의 위험성이 낮으며 에너지공급의 안정성을 지닌 특성을 가지는 것으로 분석하였다. 신재생에너지원의 기술개발 단계 및 적용시장의 특성을 반영한 국내 정책적인 분류를 제2차 국가에너지기본계획(2002-2011)과 제2차 신재생에너지개발 보급 기본계획(2003-2012)에 서도 찾아볼 수 있다(표 1, 표 2).

1) 한국지질자원연구원  
E-mail : eyahn@kigam.re.kr  
Tel : (042)868-3062 Fax : (042)862-3059

2) 한국지질자원연구원  
E-mail : ksy@kigam.re.kr  
Tel : (042)868-3061 Fax : (042)862-3059

<표 1> 제2차 국가에너지기본계획(2002) 상의 신재생에너지 구분

	3대 중점 지원분야 (태양광, 풍력, 연료전지)	3대 지원분야 (태양열, 폐기물, 바이오)
선정기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>선진국과의 기술격차가 적어 기술개발을 통한 실용화가 가능한 기술</li> <li>보급시장의 성장가능 잠재력이 큰 기술</li> <li>기술개발 중심, 보급 병행 체계로 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기술이 상당수준 확보되어 단기간 내에 보급이 용이한 기술</li> <li>어느 정도 시장형성이 이루어지고 있는 기술</li> <li>보급중심, 기술개발 병행 체계로 추진</li> </ul>

<표 2> 제2차 신재생에너지개발보급 기본계획(2003) 상의 신재생에너지 구분

구분	프로젝트 개발 사업	일반 연구개발 사업	
		지원분야	기반분야
에너지 지원	태양광, 풍력, 수소/연료전지	태양열, 바이오, 폐기물, 소수력, 지열	석탄이용(IGCC), 해양
선정기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>선진국과의 기술격차가 적어 개발·실용화 가능 기술</li> <li>보급시장 및 성장 잠재력이 큰 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>상당 수준의 기술확보로 단기간내 보급가능기술</li> <li>어느정도 시장형성이 이루어진 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기술이 단기간 내에 실용화 어려운 기술</li> <li>특정분야 이용 기술 및 시장형성이 미진한 기술</li> </ul>
개발방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>중점 프로젝트 선정, 추진</li> <li>국제경쟁력 확보를 위한 산업육성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>보급중심 기술개발</li> <li>필요시 중점 프로젝트 선정, 추진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>핵심기반 기술 개발</li> <li>기술도입 및 국제공동연구 병행</li> </ul>

### 3. 경제성 평가지표 및 평가결과 분석

#### 2.1 신재생에너지 경제성 평가지표

기존의 대체에너지기술개발 및 이용·보급 촉진법에서 신재생에너지는 기존의 석유, 석탄, 원자력, 천연가스가 아닌 에너지로서 이산화탄소 발생이 없는 환경친화성을 가진 신에너지이거나 재생가능한 비고갈성 혹은 기술개발에 의해 경제성 확보가 가능한 기술주도형으로 장기적으로 선행투자자와 정부지원이 필요한 공공성이 강한 미래 에너지로 정의되고 있다. 이러한 환경친화성/비고갈성, 가용성/수용성/접근성에 대한 지표는 미국 에너지성의 환경적 효과, 경제적 효과로 구체화될 수 있다.

미국 NRC(National Research Council)은 'DOE 에너지 R&D 사업' 효과측정 항목(Benefits Framework)에 대해 NRC Matrix, Modification by Oak Ridge National Laboratory, Framework Emerged from 2003 Conference(2003)를 통해 발전적으로 경제적 효과, 환경적 효과, 에너지안정성 효과, 지식효과를 제시하고 있으며 이미 실현된 효과와 함께 옵션가치와 구분하여 미래에 예상되는 효과를 제시하고 있다. 또한 Paul Komor & Morgan Bazilian(2005), AED(2002)에서는 환경적 효과의 평가지표로 기존의 이산화탄소/대기오염물질 저감 뿐만 아니라 폐기물 재활용 효과, 이산화탄소 저장 효과 등을 제시하였다. 이러한 분석

들을 신재생에너지 경제성 평가에 정리한 결과는 다음 표와 같다(표 3).

<표 3> 신재생에너지 경제성 평가지표

	예상편익 (Projected Benefits)
경제적 효과 (Economic Benefits)	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지소비저감을 통해 발생한 에너지비용 저감</li> <li>에너지 관련 서비스 비용 절감 효과</li> <li>에너지 절약을 통한 spillover 효과 및 거시경제 효과 등</li> <li>지역 경제 발전에 기여하는 효과, 고용 증대효과 등</li> </ul>
환경적 효과 (Environmental Benefits)	<ul style="list-style-type: none"> <li>환경유해물질 배출 저감으로 인한 사회적 비용 저감</li> <li>환경관련 정보제공 등 관련 규제 및 정책개발 기여효과 등</li> <li>폐기물 재활용 효과</li> <li>이산화탄소 저장 및 감소효과 등</li> </ul>
에너지 안정적 효과 (Security Benefits)	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 수입비용 절감</li> <li>필요한 에너지를 적정 가격에 구입하는데 기여하는 효과</li> <li>안정적 에너지공급을 통해 사회에 기여하는 효과 등</li> </ul>
지식효과 (Knowledge Benefits)	<ul style="list-style-type: none"> <li>새로운 지식, 아이디어 및 연구기법개발</li> <li>전문인력 양성 및 보급 등</li> </ul>

참고 자료 : NREL(2004), Paul Komor & Morgan Bazilian(2005), Alternative Energy Development(2002)

\* 볼드체 부분이 본 연구에서 산정한 평가지표

#### 2.2 신재생에너지 경제성 평가 분석

NREL(2004)에서는 Federal Energy Efficiency and Renewable Energy Programs를 대상으로 표 3과 같은 에너지 연구개발 사업 투자 예상 편익 항목을 적용하였다. 각각의 에너지원에 대해서 간접적인 효과를 제외한 직접적인 경제적 효과/환경적 효과/에너지 안정성 효과에 대해 구체화된 평가지표를 제시하였으며, 총량적인 에너지 사용 저감에 직접적으로 영향을 받는 기존의 지표에서 에너지공급형태의 특성을 고려한 에너지원별 저감 및 에너지 공급 지역화 지표를 추가적으로 도입한 특징을 지닌다(표 4).

연구결과 2050년까지 에너지저감/이산화탄소 발생 저감, 2025년까지 천연가스 사용 저감, 에너지 공급 지역화 지표에서 지역자원이 신재생에너지 중 높은 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다(표 5, 그림 1).

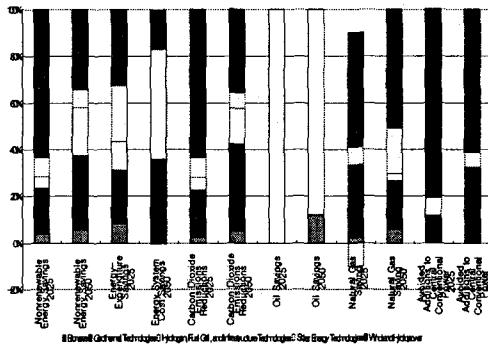
<표 4> 에너지 R&D사업의 효과 측정지표

	Projected Benefits
Primary Outcome	Nonrenewable Energy Savings
Economic Benefits	Energy-Expenditure Savings Energy System Cost Savings
Environmental Benefits	CO <sub>2</sub> Emissions Reductions
Security Benefits	Oil Savings Natural Gas Saving Avoided Additions to Central Conventional Power

<표 5> 신재생에너지의 효과에 대한 NREL(2004) 연구결과

	Energy Expenditure Savings	Energy System Cost Savings	CO <sub>2</sub> Reductions	Oil Savings	Natural Gas Saving	Capacity
	Billion \$/yr	Billion \$/yr	Million MT/yr	mbpd	quadril. Btu/yr	giga watts
	2025	2050	2050	2050	2050	2050
Biomass	1.7	-0.3	22.6	0.4	0.36	-
Geothermal	1.5	8.9	49.9	0.0	0.40	36
Hydrogen, Fuel Cells	5.2	78.6	138.3	6.2	0.40	-
Solar	4.9	0.3	28.9	0.0	1.16	23
Wind, Hydro	3.9	7.6	87.8	0.0	1.81	126

<그림 1> NREL(2004) 연구결과에서 투입연구비 대비 효과 비교



<표 6> 신재생에너지의 효과에 대한 손창식 외(2004) 연구결과

원별		규모	기준가격(원)	생산원가(원)
전기 에너지	태양광	3kW	716.40	667-993
		10kW		634-943
	풍력	20kW	107.66	373
		750kW		128
		2MW		118
	소수력	200kW	73.99	94
2000kW		115-128		
조력	25만kW	62.81	63-85	
열 에너지	태양열	평판형	689-1,131	1,620-2,310
		단일진공관		2,070-2,920
		이중진공관		1,650-2,470
	지열	수직형(70Kt)	684-1,135	915-1,150

국내의 연구 사례로 손창식 외(2004)의 신재생에너지 원별 경제성 분석 연구에서는 수직형 열교환기를 이용한 열펌프 시스템을 대상으로 등유 보일러를 이용한 열공급 가격 1,119~1,135원, 도시가스의 경우 684~703원을 기준으로 경제성 분석을 실시하였다. 그 결과 정부의 보조지원이 전혀 없는 경우에도 등유 보일러를 이용한 열공급 가격과 같은 수준의 경제성을 보이는 것으로

나타났으며 정부의 보조지원이 설비투자비용의 50% 이상인 경우 도시가스를 이용한 열공급보다 더 높은 경제성이 있음이 분석되었다. 그리고 태양광 발전, 풍력 발전, 소수력 발전, 조력 발전, 태양열(급탕 이용 시설)과 비교하였을 때 소비자 측면에서 가장 경제적인 것으로 나타났다(표 6).

### 3. 지열자원 경제성 평가

#### 3.1 경제적 효과

먼저 지열 열펌프 시스템의 가용성을 규정짓는 특성인 운영비용 상의 경제성을 비교한 후, 고정비용을 포함한 미래에 예상되는 효과(projected net benefit)를 산정한다. 상세한 내용은 송윤호 외(2005)에서 발간될 예정이다.

연간 운영비용을 살펴본 결과, 지열 열펌프 시스템을 사용할 경우 전기를 포함한 연간 화석에너지 사용량의 32% 수준이며, 기존의 냉난방 시설에 비해 연간 106만원의 에너지 비용을 절약할 수 있다. 지중 열교환기의 수명을 기준으로 분석 기간 25년간의 총 경제적 효과를 산정한다. 기존의 냉난방 시설보다 지열 열펌프 시스템을 사용하는 경우 25년 분석기간 동안 한 가구 당 총 727.19만원의 에너지 비용을 절약할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 3.2 환경적 효과

이산화탄소 배출량의 경우 산업자원부/에너지경제연구원(2004) 에너지통계연보의 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 연료별 이산화탄소 배출계수를 적용하여 배출량을 추계한다. 최근에 온실가스 감축의무 부담으로 인한 거래시장이 형성되어 있으므로 이산화탄소 가격으로 사회적 비용의 최소한의 기준으로 삼는다. 이산화탄소 배출로 인한 단위 당 사회적 비용은 Lecocq and Capoor (2005)의 관찰된 가격의 평균값 9,631원/TC로 삼는다.

대기오염물질은 배출계수는 강만옥과 이상용(2004) 및 산업자원부(2002)의 연구와 같이 환경부의 대기오염물질배출량 자료의 연료별 대기오염계수를 이용한다. Markandya(1998)의 UNEP 보고서는 미세먼지, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>에 대해서 이들의 배출로 인해 초래되는 질병유발, 노동 및 농어업 생산성 감소, 구조물 부식 등의 인적, 물적 피해의 모든 비용을 고려하여 단위당 사회적 비용을 추정하였다. 이들 수치는 1996년 US \$로 계산된 것이므로 그 시기의 상황을 반영하여 1996년도의 대미평균환율을 사용하여 달러 단위를 원단위로 바꾸고, 2003년 현재가로 이용한다.

이산화탄소 및 대기오염물질의 배출량 및 사회적 비용 산정 방법에 따른 지열 열펌프 시스템의 환경적 효과를 계산한 결과, 기존의 냉난방 시설을 이용하는 대신 지열 열펌프 시스템을 이용하였을 경우, 가구 당 연간 9.53만원의 이산화탄소 및 대기오염물질 배출로 인한 사회적 비용을 저감시키며 경제성 분석 기간인 25년 동안 할인을 7%를 적용하였을 때 가구 당 111.04만원의 사회적 비용을 저감시키는 환경적 효과를 가지는 것을 알 수 있다.

### 2.3 에너지 안정적 효과

한 가구당 화석 에너지소비량 절감으로 인해 2003년 가격 기준 연간 30만원의 에너지수입액을 대체할 수 있으며 경제성 분석 기간인 25년간의 경우 34.37 toe의 에너지소비량 절감으로 349.61만원(할인율 7% 적용)의 에너지수입량의 대체로 인한 에너지 안정적 효과를 가져 올 것으로 산정할 수 있다.

### 2.4 보급가능량을 적용한 경제성 분석

공급이 포화상태에 있는 경우의 지하 열 자원 공급 가능량은 국토 면적에 비례해서 증가할 것이라는 점을 착안하여, 지하 열 자원 공급이 포화상태에 가까이 있는 국가를 선택하여 그 국가의 국토 면적 대비 공급량을 통해 국내 지하 열 자원 보급 가능량을 산정한다. 국내 지하 열 자원 보급 가능량을 보수적으로 지열 열펌프만을 대상으로 연간 0.62백만toe으로 하면, 기존의 경제성 분석 대상인 가정부문에 적용하였을 때 21만 가구에 해당하는 양이다. 향후 10년 이후 국내 지열에너지 보급 가능량을 가정부문으로 공급하였을 때 경제성 분석이 가능하다(표 7).

<표 7> 국내 지하 열자원 보급 가능량을 적용한 경제성 분석(지열 열펌프만 고려, 억원)

구 분		연간	총 분석기간
경제적 효과	에너지소비저감을 통해 발생한 에너지비용 저감	4,802	32,920
환경적 효과	환경유해물질 배출 저감으로 인한 사회적 비용 저감	431	5,027
에너지안정성 효과	에너지수입비용 절감	1,358	15,826

기존의 IGSHPA(2002)(출처, 한정상 외(2004))에서 사적 냉난방비용 저감 효과만을 산정한 것이나 Rybach(2001)(출처, Rybach & Gord(2004))의 사적 냉난방비용 저감 효과 및 이산화탄소 배출량 산정한 결과보다는 신재생에너지원으로 지열자원의 경제성에 대해 다양화되고 구체화되어 제시되었으나 총량적인 에너지사용저감에 직접적으로 영향을 받는 지표로 Form-Value를 반영한 지표로는 한계를 가진다.

### 4. 결론

신재생에너지의 경제성 분석을 위한 평가지표의 선정을 위해 에너지의 Form-Value 개념을 도입하여 기존의 신재생에너지의 경제성 평가 결과를 분석하였으며 국내외 사례를 통해 신재생에너지원으로 지열자원의 타 에너지원과 차별화한 우위성을 나타낼 수 있는 평가지표에 대해 고찰해 보았다. NREL(2004) 연구결과에서 투입연구비 대비 효과를 통해 지열자원의 우위성을 살펴본 것은 비용 대비 효과의 측면에서 의의가 있을 것이다. 하지만 미국의 지열자원에 대한 사례는 국내와 이용 형태에서 차이가 있으므로 바로 적용하

기에는 무리가 있다. 본 연구는 기존의 지열자원의 이용으로 인한 총량적인 에너지사용저감의 평가지표에서 환경성을 반영한 이산화탄소/대기오염물질 저감 지표를 실제 적용하였으며 미국의 연구결과를 통해 에너지공급지역화 지표의 적용 사례를 살펴본 의의가 있다. 추후에도 이러한 신재생에너지의 특성을 고려한 경제성 평가지표에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

### References

- 강만옥, 이상용, 2004, 교통부문의 환경오염비용 저감을 위한 에너지 상대가격 조정방안, 환경정책평가연구원 환경포럼 제 8권 제13호
- 산업자원부, 2002, 에너지절약기술개발사업의 성과 분석연구
- 산업자원부, 에너지경제연구원, 2004, 에너지통계 연보
- 손창식, 김정완, 이의준, 2004, 신·재생에너지 원별 경제성 분석과 통계 체계 개선 방안 연구, 산업자원부
- 송윤호 외, 2005, 국내 지하 열 자원 활용기술 개발의 중장기 계획, 산업자원부(발간 중)
- 에너지관리공단 대체에너지개발보급센터, 2004, 2004년도 대체에너지원별 기술자료
- 이철원, 2003, 산업기술연구회 소관 출연기관 연구 성과의 경제적 효과 분석(1), 산업기술연구회 한정상 외, 2004, 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림원
- Alternative Energy Development, 2002, Best Practices Guide: Economic and Financial Evaluation of Renewable Energy Projects, U.S. Agency for International Development
- Lecocq, Capoor, 2005, State and Trends of the Carbon Market, IETA(International Emissions Trading Association)
- Markandya, 1998, The Indirect Costs and Benefits of Green house Gas Limitations, UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment
- National Renewable Energy Laboratory, 2004, Projected Benefits of Federal Energy Efficiency and Renewable Energy Programs FY2005-FY2050, U.S. Department of Energy
- Paul Komor, Morgan Bazilian, 2005, Renewable energy policy goals, programs, and technologies, Energy Policy 33, pp 1873-1881
- Rybach, Gord, 2004, Country Update for Switzerland, World Geothermal Conference 2005
- Zarnikau et al., 1996, Can Different Energy Resources be Added or Compared?, Energy Vol. 21, No.6, pp.483-491