

연구논문

신재생에너지 적용에 따른 화력발전 경제성분석

최경식

신라대학교 환경공학과

(2013년 12월 19일 접수, 2014년 1월 2일 승인)

Analysis of Economical efficiency for renewable energy in Steam Power Plant

Kyoung-sik Choi

Dept. of Environmental Engineering, Silla University

(Manuscript received 19 December 2013; accepted 2 January 2014)

Abstract

Since the Renewable Portfolio Standard (RPS) would be started in 2012, the use of renewable energy should be 11% of total energy use including bio-fuel in 2030. The economic efficiency for renewable energy in B power plant was considered with the bio-diesel, wind power and solar power. The Net Present Value (NPV) and Benefit/Cost Ratio(BC) were used for the economic efficiency with the cost and benefit analysis. In case of bio-diesel, the cost resulted from the fuel conversion and the benefit would be created with trade and environmental improvement. With regard to wind power and solar power, the construction cost would be required and benefit factors would be same as the bio-diesel. The wind power was the best of economic efficiency of renewable energy as the results of NPV and BC ratio. Whereas, the market of wind power was very popular and the techniques of wind power has been developing rapidly.

Keywords : RPS, economic efficiency, Bio-diesel, Wind power, Solar Power

I. 서론

지구온난화로 인한 기후변화의 심각성으로 온실가스 감축 및 대응방안을 마련하고자 모든 국가들이 노력 중에 있으며 2011년 제 17차 당사국 총회의 더반 플랫폼에 따라 2020년 이후 주요 개도국을 포함한 모든 당사국들이 온실가스 체계에 참여하는 기후변

화체계에 합의하였다(오행나 2012). 우리나라는 2020년 기준 배출전망치(Business As Usual: BAU) 대비 30% 감축한다는 감축목표를 설정하였으며 공공기관에도 목표관리 대상기관으로 선정하였고 발전 부분의 경우 2020년 BAU 대비 26.7% 감축을 하는 것으로 결정하였다(녹색성장위원회, 2012). 신재생 에너지를 2020년 6.1% 그리고 2030년에는 11%를

달성한다는 보급전망 및 목표를 설정하였으며(에너지관리공단 2009), 신재생에너지를 이용한 발전량 증가를 위하여 신재생에너지 공급의무화제도(Renewable Portfolio Standard: RPS)를 2012년부터 도입하였는데 발전사들의 경우는 태양광, 풍력, 수력, 바이오가스, 부생가스 등 최소한 실증 플랜트 등을 통하여 신재생에너지를 상용화 하는 것으로 방안이 정해졌다(에너지경제연구원, 2010). 그리고 2012년부터 지정된 전기 공급의무자는 총 공급량의 2%를 신재생에너지로 충당해야하며 2022년까지 10%로 늘리도록 의무화 되었다(삼성경제연구소 2011). 신재생에너지란 넓은 의미로 석유를 대체하는 에너지원을 일컬으며 좁은 의미로는 재생에너지 8개 분야 태양열, 태양광, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물 에너지와 신에너지는 연료전지, 석탄액화가스, 수소에너지 3개 분야로 규정하였다(한국에너지기술연구원 2013). 그동안 태양광 및 풍력의 경우는 청정개발체제사업을 통하여 국내 기술개발 보급이 활발히 이루어졌으나 신재생연료인 바이오디젤은 수송용 대체연료 보급정책으로 관심을 갖다가 생산단가 문제로 보급이 원활하지 않은 것이 현실이다(에너지경제연구원 2009). 그럼에도 불구하고 수입대두유와 국내회수 폐식용유를 바이오디젤 생산원료로 사용하고 있으며 폐식용유를 바이오디젤 원료로 사용한다면 매년 10만 톤의 원유수입절감과 22만 톤의 이산화탄소 배출저감이 가능할 것으로 보고되었다(경기개발연구원 2010). 폐식용유 배출원은 생활계인 가정과 식당으로 구분되어지고 사업장의 경우는 식품제조업체로 구분되어진다. 폐식용유의 회수율은 일반음식점의 경우 90% 식품제조업은 65%, 그리고 가정은 16%로 가장 낮은 것으로 조사되었다(김정욱 2007). 폐식용유를 정제분리 후 불포화 지방산을 바이오연료로 사용하는데 가격경쟁력에서 석유계 경유보다 원가가 높아 정부는 유류세 면세 정책을 통해 바이오디젤 보급을 촉진했었으나 RPS도입과 더불어 면세정책을 폐지하였다(기획재정부 2013). 국내 시장은 생산능력에 비해 수요가 낮아 업체들의 설비가동률이 낮은 상태이며 면세혜택에도 불구하고 2006년 0.94였던 바이오디젤/경유 가격비

가 2008년에 1.02, 2009년에는 1.24까지 확대되면서, 바이오디젤의 경제성은 급격히 떨어지고 있는 실정이다(안혜영, 2010). 그러나 RPS제도 도입으로 바이오연료를 대체연료로서 다시 고려해야 시점이라고 생각되며 다른 신재생에너지와 함께 경제성을 검토하고 지원육성 할 수 있도록 기반을 구축해야 할 것이다. RPS제도에 따라 신재생에너지 목표가 발전사들에게도 할당될 것이기에 본 연구에서는 국내 6개 발전사 중 1개 화력발전본부를 대상으로 RPS 의무공급량을 10%로 보급한다는 가정 하에 현재 발전량의 10%를 풍력, 태양광 및 바이오디젤 발전별로 대체할 경우 신재생에너지 대체에 따른 경제성 분석을 실시하였고 분석 결과에 따른 가장 적합한 신재생에너지 공급원을 제안하고자 한다. 신재생에너지는 경제성 문제로 적극적으로 추진되고 있지 않지만 기후변화 및 지구온난화 문제로 인한 화석연료 대체원으로 좋은 대안이며 친환경적인 에너지원이기 때문에 향후 지속적으로 개발 발전되어야 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 경제성 분석 기법

연구대상은 A발전사 B화력본부로 설정하였는데 서울, 경기 수도권 지역의 약 20%를 공급하고 전국적으로는 약 10%의 전기를 생산하고 있는 대규모의 발전소로서 유연탄을 주원료로 하는 발전소이며 연간 소모되는 유연탄의 양은 2012년 기준 1,100만 톤이며, 800MWh급 2기와 870MWh급 2기로 총 3,340MWh의 규모에서 연간 2,700만 MWh의 전기를 생산하고 있다. B화력본부에서는 이미 녹색성장의 일환으로 태양광발전과 풍력발전용량을 확대해 가고 있는데 1MW급 태양광으로 연간 131만 4,000kWh의 전기를 생산해 내고 있으며, 이로 인해 약 2,440배럴의 유류를 대체화 할 수 있고 매년 1,000 톤가량의 이산화탄소 배출을 저감 시킨다(에너지관리공단 2008). 그리고 22MWh 풍력발전기를 설치하여 연간 4,200만 kWh를 생산하고 있으며, 연간 약 3,000 톤의 이산화탄소도 감축 시키는 효과를 나타내는 것으로 보

고되었다(한국남동발전, 2012). 본 연구에서는 경제성 분석을 위하여 순현재가치법(Net Present Value: NPV) 과 비용편익비 (Benefit/Cost Ratio: BC) 두 가지 방법을 사용하여 분석하였다.

2.. 바이오디젤 발전의 비용편익 분석

바이오디젤을 100%사용하기는 경제적 부담이 클 것으로 생각되지만 순수 바이오디젤을 적용하는 방안과 바이오디젤과 경유를 혼합한 BD 20 (바이오디젤 20%+경유 80%)을 적용하는 방안 두 가지 분류로 경제성 분석을 하였다. 또한 경유를 혼합하여 사용한다 하여도 경제성 문제가 대두될 수 있어 경유의 세전 및 세후가격을 각각 적용하여 총 세 가지 방법을 적용하여 바이오디젤 사용에 따른 비용편익분석을 실시하였다.

B화력본부는 연간 2,700만MWh를 발전하는데 소비되는 유연탄은 1,100만 톤으로 RPS를 대비하여 유연탄 1,100만 톤 중 10%인 110만 톤을 바이오디젤로 전환한다고 가정한다면 유연탄 110만 톤에 해당되는 발열량과 같은 바이오디젤 소비량을 산정하였더니 74 만 톤이었으며 식 1과 같이 BD 20의 경우는 72.5 만 톤으로 산정되었다.

72.5만톤 (BD20) =

$$\frac{(24.9\text{MJ/Coal kg}) \times 100\text{만톤 Coal}}{\{(37.27\text{MJ/Bio-diesel kg}) \times 0.2\} + \{(37.9\text{MJ/Diesel kg}) \times 0.8\}} \quad (1)$$

경제성 분석을 위한 비용항목으로는 화력본부의 연료전환비용이 있으며, 편익으로는 오염물질 배출이 유연탄보다 적어 발생하는 환경개선편익과 이산화탄소 저감에 따른 CO₂ 거래가격이 있다. 연료전환 비용의 경우 순수 바이오디젤로 전환 할 경우 2013

Table 3. Cost benefit analysis of environmental pollutants (Unit : won)

Air pollutants	Cost benefit per Bio-diesel t
CO	12.48
VOC	4.68
NOx	-24.97
PM	105.80
CO ₂ (TC)	0.10
SUM	98.09

년 대한석탄공사에서 구매하는 유연탄 평균 비용 101,300원/ton과 바이오디젤 생산 비용 1,331,000 원/ton을 적용하여 산정하였더니(김철안 2010) 8,435억원 비용이 발생하게 되었다. 발전용 유연탄은 2015년부터 kg당 30원의 과세가 적용되기 때문에 110만 톤의 유연탄의 가격은 330억 상승하게 되는 것으로 추정하고 계산하였다. BD 20의 경우 경유의 세전가격과 세후 가격으로 구분지어 산정한 결과 Table 3과 같다.

편익부분 중 환경개선편익의 경우를 고려해야하는데 국내외에서 환경오염 저감 편익분석을 바이오디젤과 석유를 비교한 연구결과인(환경정책평가연구원 2007) Table 4를 활용하였는데 유연탄보다는 석유가 오염배출계수가 낮은 연료이므로 다소 과소평가될 수 있지만 편익계산을 한 결과는 Table 5와 같다. 그리고 CO₂ 저감에 따른 편익 분석은 기존 화석연료 대신 바이오디젤 1 톤을 사용할 경우 2.2 톤의 CO₂ 저감 효과가 발생하는 것으로 알려져 있다.(경기개발원 2010) 74만 톤의 순수 바이오디젤을 사용할 경우는 약 160만 톤의 CO₂가 저감되면 현재 유럽에서 CO₂ 1 톤당 약 5유로에 거래되고 있는 것으로 간주하고 계산한다면 약 115.3억 원의 편익이 발생되고

Table 1. Calorific Values of Coal, Diesel and Bio-diesel

	Coal	Diesel	Bio-diesel	Calorific Value of Coal 1,100,000 tons
Calorific Value	24.9 MJ/kg	37.9 MJ/kg	37.27 MJ/kg	equal to Calorific Value of Bio-diesel 740,000 tons

Table 2. Investment Cost of Bio-diesel

		Annual Investment Cost (Unit : Hundred Million won)	
		Bio-diesel	BD20
Cost of Fuel Conversion	Cost before Tax	8,435	4,154
	Cost after Tax	8,435	7,818

Table 4. Investment benefit of Bio-diesel

	Annual Investment Cost (Unit : Hundred Million won)	
	Bio-diesel	BD20
Environmental Benefit	726	145.2
CO ₂ Emission Reduction Benefit	115.7	22.8
Total Benefit	841.7	168

Table 5. NPV and B/C ratio of Bio-diesel investment(Unit : Hundred Million won)

	2013	2015	2020	2025	2030	year
Cost	8,435	9,299	11,869	15,148	19,333	2013~2030
Benefit	842	928	1,184	1,512	1,929	
Benefit-Cost	-7,593	-8,371	-10,685	-13,636	-17,404	
B/C ratio	0.099					
NPV	-148,802					

Table 6. NPV and B/C ratio of BD 20 investment before the tax(Unit : Hundred Million won)

	2013	2015	2020	2025	2030	year
Cost	4,154	4,579	5,845	7,460	9,521	2013~2030
Benefit	168	185	236	302	385	
Benefit-Cost	-3,986	-4,394	-5,609	-7158.28	-9136	
B/C ratio	0.040					
NPV	-78,112					

Table 7. NPV and B/C ratio of BD 20 investment after the tax(Unit : Hundred Million won)

	2013	2015	2020	2025	2030	year
Cost	7,818	8,619	11,000	14,040	17,919	2013~2030
Benefit	168	185	236	302	385	
Benefit-Cost	-7,650	-8,434	-10,764	-13,738	-17,534	
B/C ratio	0.021					
NPV	-149,913					

BD 20의 경우는 22.8억 원의 편익이 발생하는 것으로 조사되었다.

3. 바이오디젤 발전의 경제성분석

투자비용과 편익분석을 기초로 2013년부터 2030년까지 바이오디젤 투자 사업 즉 유연탄 연료소비의 10%를 순수바이오디젤로 전환하는 가정과 BD 20으로 전환하는 두 가지 가정에 대해서 경제성 분석을 하였다. 2030년까지의 경제성 분석을 위하여 연차적으로 발생하는 비용과 편익은 물가상승률에 따라 5%씩 증가하는 것으로 설정하였고 이를 다시 현재의 가치로 계산하기 위한 할인율은 4%를 적용하였다.

Table 5를 보는바와 같이 B화력본부의 소비 유연

탄의 10%를 순수 바이오 디젤로 전환 하였을 경우 B/C Ratio가 1에 크게 못 미치는 0.099이므로 투자 비용에 비해 발생하는 편익이 매우 낮아 경제성이 극히 낮은 것으로 판명되었다. BD 20을 적용할 경우의 세전 가격비용과 세후 가격비용으로 각각 나누어 경제성 분석을 하였는데 세후 가격을 적용한 BD 20의 경우는 더 경제성이 없는 것으로 나타났다(Table 8). 2030년까지 17년 동안 세 가지 경우에 대한 경제성 분석결과 순수바이오 디젤이 비용편익비가 0.099로 가장 높고 세전 가격을 적용한 BD 20의 경우 순현재 가치가 -78,112억 원으로 그나마 경제성이 양호한 것으로 나타나 신재생에너지 발전을 유도하기 위해서는 세전가격 정책이 이행되어야함을 알 수 있다.

Table 8. Investment Cost of Solar Power and Wind Power

	Construction Cost	Total Investment Cost
Solar Power	8 thousand million won (1.314 million kWh/ year)	16 trillion 440billion won (2.7 million MWh/year)
Wind Power	4.43 billion won (42 million kWh/year)	2trillion 850billion won (2.7 million MWh/year)

4. 태양광 및 풍력 발전에 대한 비용편익분석

B화력본부는 1Mw 급 태양광발전과 연간 4200만 kwh를 풍력발전으로 생산하고 있지만 본 연구에서는 기존에 소비되는 화석연료대비 신재생에너지별 경제성 비교에 초점을 두고 있기에 이미 운영되고 있는 태양광발전과 풍력발전은 없는 것으로 가정하고 경제성 비교를 실시하였다. 우선 투자비용으로는 태양광의 경우 연간 131.4만 kWh를 발전하기 위해서 80억원의 설치비용과 풍력발전의 경우 연간 4,200만 kWh 발전을 위해 443억원의 비용이 발생된 것으로 보고되었다. (한국남동발전 지속가능경영보고서 2012) B화력본부의 연간 발전 용량 2,700만MWh의 10%인 270만 MWh의 전력생산을 위한 태양광 및 풍력발전에 대한 각 투자비용은 Table 8과 같다.

태양광 및 풍력발전의 각 편익으로는 유연탄 10% 감소에 따른 연료저감 비용과 환경오염 저감 편익 그리고 CO₂ 저감에 따른 탄소배출권으로 바이오디젤

비용편익분석과 같다. 유연탄 110만 톤의 유연탄을 101,300원/ton으로 계산하면 1,114억 원의 연료 저감에 따라 편익이 발생된다. 그리고 환경오염저감 편익계산을 위해서는 유연탄 110만 톤 감소에 따라 대기오염물질 피해비용 및 배출계수를 (박대문 2003) 적용하여 Table 10에서처럼 유연탄 저감에 따른 각 오염물질 발생량 저감을 산출하였으며 B화력본부의 방지시설에 따라 먼지는 95%, SO_x 95.75%, NO_x 81%, CO 95% 제거되는 비율을 적용하여 총 환경오염저감 편익을 산정하였다.

탄소배출권 편익이 발생하는데 110만 톤의 유연탄을 소비할 경우에는 2,541,423.5 톤의 가 발생하지만 재생에너지로 대체할 경우 가 전혀 발생하지 않을 것이므로 이를 배출권거래가격 5 유로/ ton 으로 가정하고 계산하면 183.1억원의 편익이 발생되는데 총 편익을 Table 11에 표시하였다.

Table 9. Pollutant emission factor of Coal

	Emission factor (kg/t)	Damage cost per air pollutant (won/kg)
PM	56	260,318
SO _x	2,252	47,318
NO _x	986	8,336
CO	0.30	7,763
HC	0.04	7,691

Table 11. Investment Benefit of Solar and Wind Powers

	Annual investment benefit (Unit: hundred million won)
Benefit of Environmental pollutant reduction	75,018
CO ₂ emission reduction benefit	183
Fuel saving benefit	1,444
Total benetit	76,645

Table 10. Benefit of environmental pollutant reduction for Solar and Wind Powers

	PM	SO _x	NO _x	CO	VOC
Emission reduction by fuel saving(Unit : 100 million tones)	61,600	2,477,200	1,084,600	330	44
Emission reduction by pollution control facility(Unit : 100million tones)	3,080 (removal rate 95%)	105,281 (removal rate 95.75%)	206,074 (removal rate 81%)	16.5 (removal rate 95%)	44 (removal rate 0%)
Benefit of Environmental pollutant reduction(Unit : 100 million won)	8,018	49,817	17,178	1.3	3.4
Total Benefit(Unit : 100 million won)	75,017.7				

Table 12. NPV and B/C ratio of Solar power investment(Unit: hundred million won)

	2013	2015	2020	2025	2030	year
Cost	164,400					2013~2030
Benefit	76,645	84,501	107,847	137,643	175,672	
Benefit-Cost	-87,755	84,501	107,847	137,643	175,672	
B/C ratio	9.136					
NPV	1,337,571					

Table 13. NPV and B/C ratio of Wind power investment(Unit : hundred million won)

	2013	2015	2020	2025	2030	year
Cost	28,500					2013~2030
Benefit	76,645	84,501	107,847	137,643	175,672	
Benefit-Cost	48,145	84,501	107,847	137,643	175,672	
B/C ratio	52.7					
NPV	1,473,471					

Table 14. Comparison of each powers

	Bio-diesel	BD20		Solar Power	Wind Power
		Before the Tax	After the Tax		
NPV	-148,810	-74,063	-145,864	1,337,571	1,473,471
B/C Ratio	0.099	0.040	0.021	9.136	52.7

5. 태양광 및 풍력 발전에 대한 경제성 분석

태양광과 풍력발전의 투자비용과 편익을 산정한 것을 기초로 2013년부터 2030년까지 17년 동안의 경제성을 분석하였고 바이오디젤과 같이 비용과 편익에 대한 물가상승률을 5%, 현재가치를 위한 할인율은 4%로 가정하였다. Table 13 및 14는 태양광 발전 및 풍력발전에 대한 경제성 분석결과이다. 태양광 발전에 비해 풍력발전의 경우 비용편익이나 순현재가치 결과 모두 높은 것으로 나타났는데 풍력발전의 경우 비용편익비가 1을 훨씬 더 많이 초과하는 52.7로 나타났다. 풍력발전 및 태양광의 비용 산정에 부지 매입비를 고려하지 않았는데 만약 부지 매입비를 고려한다면 경제성은 낮게 평가 될 것이지만 부지당가에 대한 정보가 명확하지 않아 본 연구에서는 제외하였다.

III. 결론

A발전 B화력본부에서 사용하는 유연탄의 10%를 신재생에너지별로 대체하여 발전을 한다는 가정에서

설치용량 및 비용 그리고 환경적 편익 등을 고려하여 경제성 분석을 한 결과 풍력발전이 가장 경제성이 우수한 것으로 나타났다. 풍력발전은 설비용량에 비해 많은 발전량을 얻을 수 있고 설치비용 또한 동일한 조건으로 비교하였을 경우 적은 비용이 드는 것으로 나타났다.

태양광 발전은 설비용량에 비해 발전량이 낮은 편으로 동일한 조건으로 발전량을 맞추었을 때 설치비용은 풍력의 2조 8,500억 보다 13조 590억이 많은 16조 4,400억이 드는 것으로 산정되어 많은 비용투자가 이루어져야 하며, 투자 대비 수익성이 크지 않은 것으로 나타났다. 본 결과는 풍력발전의 발전된 기술과 동시에 풍력시장이 활성화되는 이유를 입증한다고 할 수 있다. 그러나 바이오디젤의 경우 초기 투자비용의 고가로 순수 바이오디젤을 연료로 전환하였을 때 B/C비율이 0.099로 낮아 아직까지는 경제성이 없는 것으로 나타났다. 본 연구에서 편익산정의 한계점이 있어 실제 적용 할 경우 본 연구과와는 다소 차이가 있을 수 있지만, 바이오디젤은 특히 국내에서 활성화되기 어렵다는 결과가 입증되었다. 그

러나 유럽에서는 이미 충분한 시장이 개척되어 상용화가 되어 있는 점과 2015년 배출권거래제도가 국내에서 이행되는 것을 고려한다면 향후 편익분석을 재정해야 될 것으로 판단된다. 현재 우리나라 시장에서는 재생에너지가 기술과 자본력 그리고 발전단가가 예전보다는 낮아졌다고는 할 수 있으나 아직까지도 높은 편이기 때문에 재생에너지 시장이 활성화하기는 시기상조임을 알 수 있었다. 현재 모든 발전을 신재생에너지로 대체 하려면 천문학적인 비용과 그에 상응하는 노력들이 필요하지만 향후 환경 문제의 해결을 위해 계획적으로 대체해 나가는 것이 옳을 것으로 판단된다.

참고문헌

기획재정부, 2013, 2012간추린 개정세법.
 김정욱, 2007, 폐식용유의 활용방안, 한국학술정보.
 김철안, 2010, 바이오디젤 현황 및 과제, (사)한국 바이오디젤협회.
 경기개발연구원, 2010, 경기개발연구원, “바이오디젤(폐식용유)을 활용한 차량연료 공급방안.” Policy Brief, 41.

녹색성장위원회 2012, 부처별 온실가스 감축목표 관리제 도입방안 마련연구.
 박대문, 2003, 산업별 대기오염물질 배출량 산정 및 그 변화량의 경제적 요인 분석 경기대학교 대학원 박사학위논문.
 삼성경제연구소, 2012, 신재생에너지 공급의무화제도 도입 SERI 경제포커스, 344.
 안혜영, 2010, 바이오디젤 시장 분석, 하나 산업정보, 34, 4월27일.
 오형나, 2012, 디반회의, 기후변화에 대한 국제공조의 한계와 가능성 KDI FOCUS, 13.
 에너지경제연구원, 2009, 바이오디젤보급정책의 경제성 및 환경성평가.
 에너지경제연구원, 2010, 배출권거래제도와 신재생에너지 공급의무화제도 연계방안연구.
 에너지관리공단, 2008, 新·재생에너지 가이드 2008.
 한국남동발전, 2012, 지속가능경영보고서.
 환경정책평가연구원, 2007, 바이오연료의 환경경제성 분석 및 보급 확대 방안 연구.