

새만금 풍력발전 시범단지의 경제성 평가 재검토 연구

이유나*, 신희영**

*서울대학교 환경계획학과(itsmeyn@snu.ac.kr), **서울대학교 환경계획학과(heeyoungshin108@gmail.com)

A study of revaluation for wind power systems in Saemangeum demonstration site.

Lee, Yoo-Na*, Shin, Hee-Young**

*Dept. of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies,
Seoul National University(itsmeyn@snu.ac.kr),

**Dept. of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies,
Seoul National University(heeyoungshin108@gmail.com)

Abstract

국가개발연구원(KDI)에서는 새만금에 40MW 용량의 국산 풍력발전단지 조성을 위한 예비타당성 조사를 실시하였다. 본 사업에 대한 KDI의 비용편익 분석 결과 순 현재가치가 0보다 작고, B/C 비율은 0.73으로 경제적 타당성이 나타나지 않았다. 하지만 모든 비용과 편익을 화폐가치로 환산해 내는 비용편익분석은 여러 가지 외부효과로 인해 사업의 타당성 연구자들에 의해 주관적인 결과물이 나오기도 한다. 이에 따라 본 논문에서는 새만금 풍력발전 시범단지의 경제성 평가 재검토 연구를 실시하였다.

본 논문에서는 기존 경제성 평가 항목에 대하여 여러 가지 쟁점을 제시하고, 그 중에서 대기오염물질 저감 비용과 학습효과(learning effect)로 인한 비용 절감 편익을 추가적으로 산정하였다. 여기서 학습효과와 학습속도(learning rate)를 세 가지 시나리오로 나누어 분석하였다. 두 가지의 추가 편익을 KDI의 기존 예비타당성 조사 분석에 추가한 순 현재가치는 상당한 양의 값이 나왔고, B/C 비율은 8.8로 편익이 비용에 비해 크게 증가했다. 이러한 항목들의 포함 여부에 따라 타당성 결과가 현저하게 달라짐을 알 수 있다.

향 후 비용편익 분석이 정책 결정에 적절히 반영되기 위해서는 외부효과를 고려한 환경 비용, 그리고 학습효과와 같은 추가적인 사항들이 면밀히 검토되어야 한다. 시장에 기반하지 않은 이러한 외부효과로 인한 항목들은 대상과 시기에 따라 매우 다른 결과를 보여주기 때문에 이에 대한 세부적인 연구가 필요한 시점이다.

Keywords : 풍력발전기(wind power plant), 비용편익분석(Cost-Benefit Analysis), 대기오염물질 비용(cost for the air pollution), 학습효과(learning curve), 외부 효과 (External Cost)

1. 서 론

화석연료를 이용한 에너지 생산방식에서

발생하는 온실가스로 인하여 기후변화의 피해가 점점 증가하고 있다. 각국은 온실가스를 저감하고 동시에 에너지 위기에 대처하기

위해 신·재생에너지개발과 보급에 박차를 가하고 있다. 그 중에서도 가장 먼저 그리드 패리티(Grid Parity)를 달성한 풍력발전은 세계적으로 최근 5년간 연평균 27.3%의 급성장을 하고 있으며, 누적 발전량은 약 200GW(2010년 기준)에 달한다.

우리나라는 풍력 시장 점유율이 세계시장의 약 0.2% (2010년 기준)에 불과한 실정이지만 최근 정부와 지자체가 공동으로 국산 풍력발전기 보급 사업을 본격 추진하기 시작했다. 이에 국가개발연구원(KDI)에서는 새만금에 40MW 용량의 국산 풍력발전단지 조성을 위한 예비타당성 조사를 실시하였다. 하지만 모든 비용과 편익을 화폐가치로 환산해 내는 비용편익분석은 여러 가지 외부효과로 인한 항목들이 있기 때문에 사업을 계획하고 집행하는 당사자들에 의해서 주관적인 결과물이 나오기도 한다.

이에 따라 본 논문에서는 새만금 풍력발전 시범단지의 예비타당성 조사¹⁾ 재평가를 실시한다. 경제적 타당성을 도출하기 위한 기존의 비용편익 항목에 대한 쟁점을 제시하여 추가적인 편익을 산정하고 재분석 결과를 도출한다. 그리하여 국내에 연구가 미비한 풍력산업에 대한 타당성 분석의 재평가를 통하여 향후 재생가능에너지개발에 관련한 예비타당성조사에 대하여 시사점을 제시하도록 한다.

2. 새만금 풍력 시범단지 사업의 예비타당성 조사 보고서에 대한 고찰

새만금 풍력발전 시범단지는 새만금 생태환경용지 (녹지지구 일원, 35천m²)에 위치해 있으며 총 40MW의 발전 용량의 규모이다. 본 사업²⁾에 대한 KDI의 예비타당성 조

1) KDI에서 2009년 발표한 <새만금 풍력산업 클러스터 조성사업>에서는 풍력발전 시범단지, 풍력기술 R&D센터 및 지원, 풍력클러스터 산업단지의 세 가지로 구분된다. 본 논문은 풍력 시범단지를 대상으로 재검토를 실시하였다.

사는 2009년에 실시되다. 할인율 5.5%를 적용하여 비용편익 분석을 한 결과 순현재가치(Net Present Value, NPV)는 -32,080원 그리고 B/C 비율은 0.73으로 경제적 타당성이 나타나지 않았다.³⁾

2.1 비용 및 편익 산정

(1) 비용 산정

총 비용은 총 사업비용과 운영비로 나뉜다. 여기서 총 사업비용은 설치공사비(풍력발전기, 전기공사, 토목공사), 시설부대비(조사 측량 비, 설계비, 감리 비), 공유수면 점 사용료, 예비비, 바지선 및 예인선 사용료 항목으로 추정되었다. 그리고 운영비는 인건비, 연구개발비, 경상운영비, 그리고 시설장비 유지 보수비의 총 합으로 산정되었다.

(2) 편익 산정

풍력발전의 편익추정을 위해 두 가지 편익 항목이 고려된다. 첫 번째는 풍력 발전을 통해 얻어지게 되는 발전량과 전력가격을 통한 전력판매수입이고, 그 다음으로 화석연료 사용을 저감함으로써 얻어지는 이산화탄소 배출 저감량과 이에 따라 획득하게 될 것으로 예측되는 배출권 수입이다. 배출권 수입은 아래 표 1에서 보는 바와 같이 세 가지 시나리오별 판매가격을 설정하여 최종 시나리오별 편익을 산정하였다.

2) KDI는 2010년에서 2014년까지 2.5MW ~3.0MW 발전기 14기를 일괄 설치하는 원안과 2010년에서 2014년까지 7기, 2015년부터 2019년 기간 동안 나머지 7기를 설치하는 대안 두 가지를 제시하였는데 여기서는 시행착오를 최소화 하기 위해 세운 대안을 중심으로 분석한다.

3) 편익비용 비율(B/C ratio)은 개별 대안사업의 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값으로 B/C 값이 ≥ 1 이면 경제성이 있다고 판단한다.

표 1. 시나리오별 배출권 수입

시나리오	기준	판매가격 (\$/tCO ₂), (원/tCO ₂)
시나리오1 (하한)	CCX '04~'08변동 가격 중간 값 (1~7\$/tCO ₂)	\$2
시나리오2 (중간)	KPX 모의실험 시나리오2 평균가격 (9,820원/tCO ₂)	9,820원
시나리오3 (상한)	Point Carbon Secondary CER OTC assessment	\$22

온실가스 저감량을 통한 시나리오별 배출권판매수입과 발전량과 연도별 추정 SMP를 통한 발전판매수입을 합하여 시나리오별 총편익을 산정한다.

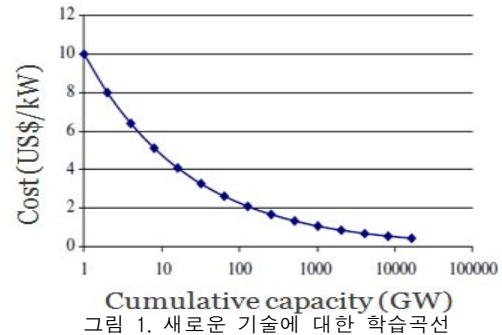
2.2 기준 예비타당성 보고서에 대한 쟁점

(1) 대기오염물질 저감 비용

새만금 풍력발전 시범단지에는 40MW 용량의 기존 전력 생산 방식을 바람으로 대체할 수 있는 풍력발전기가 설치된다. 예비타당성 보고서에는 편익을 산정하는데 있어서 기존 전력 생산 시스템을 풍력발전기로 대체시킬 경우의 긍정적 외부효과를 고려하지 않았다. 풍력 발전기로 전력을 생산하게 되면 기존 전력 시스템을 대체하면서 배출되는 대기오염물질이 줄어들게 되면서 긍정적인 외부효과가 발생한다. 그리고 감소된 양만큼의 대기오염물질 저감 비용으로 발생하는 편익을 산정해야 한다.

(2) 학습효과(learning effect) 편익

Dutton and Thomas (1984) 는 어떠한 기술이나 서비스에 대해 경험이 증가할수록 단위비용은 감소하게 되는데 이러한 기술적인



진보 양상을 학습효과라고 한다. 그리고 경험이 2배 증가 할 때 일정한 비율로 한계비용이 감소하는 것을 학습속도(learning rate)라고 한다. 여기서 말하는 경험은 기술의 누적 생산용량(Cumulative capacity) 이라 할 수 있다. (그림 1 참조)

한국의 경우 해상풍력발전은 기술 개발이 초기 단계라고 볼 수 있고, 본 풍력 시범단지의 40MW 설비 투자는 향후 비용 절감으로 이어질 것이라고 예상된다. 이에 본 보고서에서는 해상 풍력의 누적 생산용량을 이용하여 기존 예비타당성 보고서에서 누락된 학습효과에 대한 사회적 편익을 추가적으로 산정할 것이다.

3. 추가적인 편익 산정

본 논문에서는 앞에서 살펴본 비용편익 항목에 대한 쟁점인 대기오염물질 저감 비용과 학습효과 편익을 시나리오를 설정하여 추가적으로 산정한다.

3.1 대기오염물질 저감 편익

(1) 기존 연구

국내에서는 대기오염물질의 사회적 비용에 관해 연구가 활발하게 이루어지긴 했으나 대부분이 인간에 대한 건강피해비용만을 다루었고, 특정한 대기오염물질만을 다룬 연구가 많다. 임영식, 전영섭(1992)의 연구는 서울지

역의 SO2 및 오존농도변화가 주택가격에 미치는 영향을 속성가격접근법을 이용하여 산정하였고, 김태유(1998)는 서울시민을 대상으로 가슴이 답답한 증상, 천식 등 특정한 증상에 대해 조건부 가치 측정법을 이용하여 분석하였다.

유럽과 미국에서는 대기오염물질의 사회적 비용을 추정하기 위한 연구가 활발히 진행되었는데, 박년배 (2002), 한준 (2005)은 그 중에서 Markandya (1998)의 연구를 참고하여 사회적 비용을 추정하였다. 이 연구를 이용한 이유는 Markandya (1998)에서는 부유 먼지 (TSP), 이산화황 (SO2) 그리고 질소산화물 (NOx)로 인해 야기되는 인간의 건강 악화, 노동생산성 감소, 농어업 생산성 감소, 구조물 부식 등을 고려하여 대기오염물질의 사회적 비용을 산정하였기 때문이다.

Markandya (1998)의 연구 이외에도 EU의 ExternE project(1997)의 결과를 기반으로 한 연구들이 많다. Scott Kennedy (2005)는 화력발전 종류별로 사회적 비용을 산정하였고, S.Mirasgedis, D.Diakoulaki (1997)는 화력발전의 연료별로 사회적 비용을 추정하였다. 이 외에도 Extern E에서 외부비용 산정을 위한 소프트웨어 Ecosense Model⁴⁾을 이용한 논문들이 최근에 까지 이용되어 왔다.

본 보고서의 대기오염물질 저감에 따른 피해비용을 산정하기 위해서는 실정에 가장 적합하다고 판단되는 박년배 (2002)와 한준 (2005)이 인용한 Markandya (1998)의 연구결과를 참고하도록 한다.

(2) 대기오염물질 저감 산정방법

대기오염물질 저감에 따른 피해비용 산정을 위해 기본 가정을 제시하고 산정 방법론

과 결과를 제시하도록 한다. Markandya (1998)에서 한국에 대해서 환산한 대기오염물질별 피해비용은 아래 표 2 과 같다.

표 2. 대기오염물질의 사회적 비용

	사회적 비용 (US\$'1996/Ton)	사회적 비용 평균 (원'2009/kg)
SO2	5,417~7,124(6,271)	7,663
NO2	2,834~7,213(6009)	7,343
먼지(TSP)	8,959~23,717(16338)	19,965

2009년도 8월 기준 1\$=1,222원

기본 가정을 위하여 먼저 발전에서의 에너지원별 비중을 보면 기존 예비타당성 보고서 작성했을 2009년 당시 원자력 34.1%, 석탄 44.6%, 가스 15.1%, 석유 3.3%, 수력 1.3%⁵⁾이다. 본 연구에서는 전기 사용의 사회적 비용 산정에서 원자력을 제외하고 비중이 큰 석탄과, 가스, 석유⁶⁾를 재구성하여 산정한다.

풍력발전기를 사용함으로써 얻는 대기오염물질 배출 저감 편익은 발전으로 인해 배출되는 대기오염물질의 피해비용을 통해 산정한다.

$$\sum_i Be = [Q \times (qs \times cs) + (qn \times cn) + (qt \times ct)]i$$

i =유연탄, BC유, LNG

Be:대기오염물질 배출저감편익

Q: 에너지 소요량

qs: 에너지 한 단위당 황산화물 배출량

qn: 에너지 한 단위당 질소산화물 배출량

qt: 에너지 한 단위당 먼지 배출량

cs: 황산화물의 피해비용

cn: 질소산화물의 피해비용

ct: 먼지의 피해비용

위의 식을 이용하여 대기오염물질의 피

4) Ecosense는 발전원의 외부비용을 산정하기 위한 Extern E project에서 사용하는 소프트웨어이다. 전 유럽 국가들을 대상으로 대기의 질과 영향을 고려한 모델로 전 유럽국가들을 대상으로 대기질과 영향을 모델화하여 사회적 비용을 추정할 수 있다. www.externe.info

5) 국가 에너지통계 종합정보시스템

6) 여기서는 석탄, 석유, 가스의 세부종류 중 가장 많이 사용되는 유연탄, BC유, LNG를 대표로 선택하여 산정하였다.

해비용과 대기오염물질 배출량에 근거해 추정된 풍력발전기의 대기오염물질 배출저감 편익⁷⁾을 산정하였다.

3.2 학습효과로 인한 비용 저감 편익

(1) 기존 연구

유럽과 미국의 경우 풍력발전에 대한 연구가 80년대부터 이루어졌기 때문에 기술개발에 따른 비용절감에 대한 연구가 활발하게 이루어졌다. 본 보고서에서는 기존 논문들이 제시한 학습속도(%)를 반영하여 한국의 경우에는 어느 정도의 비용절감 효과가 예상되는지 산정한다. 표 3의 기존 연구를 보면 풍력발전기의 학습 속도는 연구 대상, 기간 그리고 풍력발전의 종류에 따라 다르게 나타난다.

본 사업은 새만금 지역에 해상풍력을 설치하므로 해상풍력에 관한 Zwaan et al. (2011)의 학습속도 연구결과를 중심으로 절감비용을 산정한다.

표 3 국가별 풍력발전 학습 속도(learning rate)

종류 (육상/ 해상)	대상	연구 기간	학습 속도 (%)	논문
육상	OECD	1981- 1995	17	Kouvaritakis et al. (2000)
육상	캘리포니아	1980- 1994	18	CEC(1997); Loiter and Norberg-B ohm (1999)
육상	독일	1990- 1998	8	Durstewitz (1999)
육상	덴마크	1982- 1997	8	Neij (1999)
해상	독일, 덴마크, 스웨덴, UK	1991- 2008	3~5	Zwaan et al. (2011)

7) 대기오염물질 배출계수는 대기환경보전법 시행규칙 별표 9 (2004) 참조함.

(2) 학습효과로 인한 편익 산정방법

학습효과로 인한 절감비용은 풍력발전기의 설비 사업이 끝난 이후 적용되므로 총 비용 중에 운영비용에만 학습속도 값이 적용된다.

본 논문에는 해상풍력을 대상으로 연구한 Zwaan et al.(2011) 연구 결과를 기준으로 3%와 5%를 운영비용에 적용한다. 또한 해상풍력을 대상으로 한 연구 결과의 미진함으로 인해 육상풍력의 연구결과 중 학습속도의 최하값인 8%를 추가적으로 적용 하여 총 세 가지 시나리오를 세워 학습효과로 인한 생산비용의 저감편익을 산정한다.

4. 비용 및 편익의 재분석 결과

대기오염물질 저감에 따른 편익은 연간 약 344억으로 나타났으며, 학습효과로 인한 비용 저감 편익은 학습속도의 값을 시나리오 1(3%), 시나리오2(5%) 그리고 시나리오3(8%)으로 적용한 결과 평균적으로 100억 이상의 편익이 발생하였다. 두 가지의 추가적인 편익을 KDI의 기존 예비타당성 조사 분석에 추가한 순현재가치(NPV)는 모두 상당한양의 값이 나왔고, B/C 비율은 각각 3.7, 3.8, 그리고 4.0 이 나왔다.

기존의 KDI 보고서에서는 순현재가치의 값이 나옴에 반해 본 보고서에서는 비용의 절감 및 편익의 증가로 양의 값이 나왔다. 학습효과 중간 값인 시나리오 2를 적용 할 때에, BC 비율도 3.80 으로 편익이 비용에 비해 크게 증가한 것을 확인할 수 있었다. 또한 기존의 전력 발전 방법들의 대기오염물질의 저감비용과 같은 환경 비용이 상당히 크다고 분석된다. 이러한 항목들이 경제적 타당성 분석에 포함이 되는지 여부에 따라 결과가 현저하게 달라짐을 극명하게 보여준다.

표 5 비용 편익 재검토 전과 후 비교

	B/C	NPV(백만원)
재검토 전 (기존 KDI 분석)	0.73	-32,080
재검토 후	3.80	293,708

5. 결론

경제적 타당성의 평가를 위한 비용편익 분석은 각 나라의 실정에 따른 할인율, 사업의 종류, 그리고 비용 및 편익의 항목에 따라 그 결과 상이하게 나타난다. 본 논문의 풍력발전 시범단지에서는 대기오염물질 저감 편익과 같은 환경비용과 학습효과 이론에 근거한 절감 비용을 추가 편익으로 산정하여 기존 KDI 예비타당성 경제적 평가와 매우 다른 결과가 도출되었다.

향 후 비용편익 분석이 정책 결정에 적절히 반영되기 위해서는 외부효과를 고려한 환경비용, 학습효과와 같은 추가적인 사항들도 면밀히 검토되어야 한다. 이러한 외부효과로 인한 항목들은 대상에 따라, 시기에 따라 매우 다른 결과를 보여줄 수 있다. 이에 더 세부적인 연구가 필요한 시점이다. 그리고 KDI의 예비타당성 보고서의 경제적 타당성 평가도 중요하지만, 정책적 분석의 결과에 더 높은 의미를 부여하여 일정 금액 이상의 예산이 소요되는 국가사업의 타당성에 대한 결론이 유의미한지 명확히 할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 박년배, 사회적 비용 고려를 통한 발전부문 재생가능 에너지의 경제성 평가, 학위논문, 2002
2. 엄영숙, 대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가, 한국환경경제학회, 제 7권 제 1호, 1998
3. 에너지경제연구원, 수소경제이행에 따른 경제적 파급효과, 2006
4. 조용성, 손양훈, 대기오염개선이 건강에 미치는 사회적 편익 추정, 한국응용경제학회, 제 1호, 2004
5. 조준모, 유완식, 이산화질소 배출에 의한 대기오염의 사회적 편익, 1996
6. 한 준, 사회적 편익을 고려한 태양열 온수기의 비용편익분석, 학위논문, 2005
7. Berglund, C., Soderholm, P., Modeling technical change in energy system analysis: analyzing the introduction of learning-by-doing in bottom-up energy models. Energy Policy 34, 1344-1356, 2006
8. Eka K., Söderholm P., Technology learning in the presence of public R&D: The case of European wind power. Ecological Economics 69. 2356-2362, 2010
9. El-Kordy M.N., Badr M.A., Abed K.A., Ibrahim, S., M.A., Economical evaluation of electricity generation considering externalities. Renewable Energy 25. 317-328, 2002
10. Kennedy, S., Wind power planning: assessing long-term costs and benefits. Energy Policy 33. 1661 - 1675, 2005
11. Markandya, economics of Greenhouse Gas Limitation. Handbook Reports, 1998
12. McDonald, A., Schratzenholzer, L., Learning rate for energy technologies, Energy Policy 29, 255-261, 2001
13. Rabl, A., Spadaro, J.V., Public health impact of air pollution and implications for the energy system. International Atomic Energy Agency, 2000
14. Sauter, R., Awerbuch, S., Exploiting the oil-GDP effect to support renewable deployment, Energy Policy 34, 2805-2819, 2006
15. United Nations, Renewable sources of energy, with special emphasis on wind energy. United Nations Department of Economic and Social Affairs, 1998