

『에콰도르 갈라파고스 태양광 발전소 건립사업』 을 위한 경제성 분석

연구개발팀 한근식

기후환경팀 기경석

이지은

『에콰도르 갈라파고스 태양광 발전소 건립사업』 을 위한 경제성 분석

기경석 · 이지은 · 한근식

요 약

에콰도르 갈라파고스 지역은 유네스코 자연유산으로 생태보호가 필요하나 디젤발전으로 인한 대기오염물질 배출, 디젤유 해양유반 사고위험, 부족한 전력 확보 등 다중적 문제를 안고 있다. 에콰도르 정부는 문제 해결을 위하여 “Zero Fossil Fuels for Galapagos” 정책을 통해 이 지역의 전력을 전부 신재생에너지로 대체할 계획을 수립하고 KOICA에 지원을 요청하였다. 이에 KOICA는 1.5MW 규모의 태양광 발전소 건설과 시설 유지관리 기술전수 등 친환경에너지 확대와 전원수요 충족, 환경보전과 기후변화 대응 등을 목표로 사업을 추진하였다.

태양광발전소 건립 사업은 인프라 구축이 포함되는 사업으로 여타의 사회적 요소의 사업과의 비교를 통해 사업 효과성 및 경제적 타당성을 증명하고자 비용편익 분석(Cost-Benefit Analysis)을 시도하였다. 그 결과 순현재가치(NPV)는 총 378만불의 순편익(net benefit)이 발생하며, 비용편익비율(BC ratio)는 1.46로써 1보다 크므로 경제성이 있는 것으로 분석되었다. 사업의 주요 편익으로는 1) 에너지 절감 및 안정 등 경제적 효과(3,545 MWh의 전력 공급과 디젤연료 2,941,620gal 절감), 2) 기후변화, 생태보전 등 환경적 효과(38,520톤의 CO2저감, 해양 유류사고 리스크 저감 관련 연간 216,864불 절감 효과, 대기오염물질 저감으로 인한 연간 108,600불 사회적 비용 감소), 3) 전력공급 등에 따른 사회경제적 효과(가구당 연간 298불의 부가가치) 등 크게 3가지(경제적, 환경적, 사회적) 부문에서 편익이 도출되었다.

본 연구의 의의는 신재생에너지 ODA사업의 경제적 편익을 BC 분석을 통해 증명함으로써(evidence-based), 신재생에너지 사업의 추진 근거(rational)를 제공하고, 사업의 효과(impact)를 정량화함으로써 국민 등 이해관계자에게 설명함으로써 책무성을 높일 수 있다는 점이다. 연구의 한계로는 사업내용이 확정된 종로사업을 대상으로 연구하여 초기 대안분석은 생략된 점과 금전화가 용이치 않은 편익(대기오염 감소에 따른 환경보건효과, 지역경제 파급효과 등)은 측정되지 않은 점 등이 있으며, 이는 향후 과제로 남긴다.

I. 서론

갈라파고스는 유네스코 지정 세계자연유산이자 세계에서 단위면적당 생물다양성이 가장 높은 지역으로 생태학적 의미가 높으며, 에콰도르 정부는 1988년 특별보호법을 제정, 동 지역의 환경보존을 위하여 산업개발 및 주민 수 등을 엄격히 제한하고 있다.

그러나 2001년 1월 16일 갈라파고스 제도 근처의 해역에서 유조선이 전복하면서 90만 ℓ의 기름이 흘러나오는 등 생태계를 위협하는 사건이 발생하였으며, 관광객 증가와 개발로 인한 환경훼손, 기후변화로 인한 수온변화로 인하여 2007년 유네스코 위험유산목록(Heritage in Danger)에 등재된 바 있다. 또한 에콰도르는 2009년 40년만의 최악의 가뭄으로 수자원이 고갈되어 에콰도르 최대 수력발전소(Paute : 1,000MW)의 발전이 제한됨에 따라 전력 비상사태를 선포한 바 있어 에너지 공급을 위한 신규자원의 개발 또한 시급한 실정이었다.

이에 에콰도르 정부는 2007년 2월 갈라파고스 지역의 생태보호를 위해 “Zero Fossil Fuels for Galapagos” 정책을 수립하고, 2007년에 전력 및 신재생에너지부를 신설, 2020년까지 전체 발전량 중 화력발전 비율을 약 34%에서 10%로 줄이면서, 태양광 및 풍력발전 비율을 2%까지 증가시킬 계획을 세웠다. 이와 같은 배경하에, 에콰도르 정부는 해당 지역에 늘어나는 미래 전력수요(2020년 약 8.5MW)에 대응하고 화석연료 사용을 억제하기 위해서 1.5MW 규모의 태양광 발전소 건설과 시설관리 및 운영을 위한 연수 등을 우리정부에 무상원조사업으로 2009년에 약 1천만 불 규모로 요청하였다.

갈라파고스 1.5MW 태양광 발전소 건립사업은 KOICA 에너지분야 프로젝트 가운데 사업 규모가 가장 큰 사업임과 동시에 신재생에너지 분야 프로젝트 사업 중 태양광 발전용량이 가장 커 향후 유사 프로젝트 수행 시 참고 및 적용이 가능하다. 또한, 동 사업대상지가 갈라파고스섬으로 도서지역인 점 때문에 발전단가가 타 지역에 비해 높고, 환경보호 및 전력안정화에 따른 사회적 편익이 매우 중요시 되는 사업으로 경제성분석에 적합한 모델로 검토되었다.

또한, 사업타당성 조사 당시 기존 디젤발전시스템에서 기초선 조사가 충분히 이루어진 점과 현재 사업이 완료되어 정상 가동 중인 1.5MW 태양광 발전소 운영데이터의 추가 활용을 통해 온실가스 감축량 산정 등 여러 편익 측정에 유리한 점도 경제성분석 시범 대상으로의 선

정 근거가 되었다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. I 장에서 분석의 필요성과 사업선정의 배경을 간략하게 다룬 후, II장에서는 태양광사업 경제성분석 관련 선행 연구결과를 정리한다. III장에서는 동 사업의 세부내용을 정리하고 IV장에서는 경제성 분석의 방법론 및 데이터 확보, 분석결과를 다룬다. 마지막으로 V장에서 결론 및 한계에서는 분석을 통해 얻어진 결과 정리 및 동 연구의 한계점과 향후 연구과제와 방향을 제시하도록 한다.

II. 선행 사업 및 연구

공공사업은 일반 민간사업과 같이 수익성을 측정하는 재무적 분석(financial analysis)과 달리, 다양한 편익 및 국민의 복리증진 측정이 주요 목표이며 성과로 직결된다. 그러므로 단순한 사업수익성이 아닌 국민경제 전체의 복지에 영향을 미치는 사회-경제-환경적 효과를 총체적으로 분석하는 경제성 분석(economic analysis)을 실시한다.

신재생에너지 사업의 경우 초기 투자비가 일부 국가에선 화석연료 기반의 발전시설단가 수준에 비슷해졌지만 아직도 대부분 국가에선 석탄이나 디젤발전 대비 최소 1.5~2배 이상 비싼 전력원으로 인식되고 있다. 이에 많은 국가는 신재생 에너지사업이 수익성이 낮아 민간 사업으로 시행이 어려우므로 공공기관이 직접 시행하거나, 민간에게 보조금³⁾을 지급하여 사업을 시행하도록 권장하고 있다.

신재생에너지가 재무 수익이 낮음에도 불구하고 대부분의 국가에서 미래 전력원 중에 하나로서 이를 적극 권장 및 시행하는 이유는 사업 수익성이라는 협의적 측면이 아니라 석유 등의 수입재 대체 효과, 온실가스 저감, 환경보전 증진 등 광의적 측면에서 국민 경제 전체의 관점으로 볼 때 편익이 훨씬 더 크기 때문에 보조금을 제공하면서 까지 시행하는 것이다.

이러한 국민 경제적 편익들은 정성적인 설명으로는 투입 비용대비 어느 정도의 효과가 있는지 알 수가 없다. 따라서 비용편익 분석기법을 통해서 주요 편익에 대해서 정량화 가능한 지표를 선정하거나 정량화가 어려울 경우 대체지표를 선정하여 이를 최대한 화폐화(monetization)시키고 이를 합산한 편익의 가치가 비용보다 클 경우, 사업 시행의 타당성이나 시행 근거, 사업 파급효과 등을 설명하는데 매우 유용한 자료로 활용할 수 있을 것이다.

따라서 본 장에서는 신재생에너지 분야의 주요 편익을 중심으로 현재 사용되고 있는 지표를 타 연구를 통해 검토하는 한편, 경제성 평가에 유용하게 사용되고 있는 소프트웨어 프로그램들에 대해서도 간략히 소개하고자 한다.

3) OECD 등 국제사회는 화석연료에 제공되는 보조금은 자원 남용 등 시장왜곡의 이유로 보조금 철폐를 요구하나, feed-in-tariff (일명 발전차액보상) 등 각종 규제 혜택 등의 환경친화적인 보조금은 적극 권장하고 있다.

1. 지표 관련 선행연구

경제성 평가는 구체적으로 어떤 편익을 산정하고 어떤 지표로 측정할 것인지에 대한 선행 작업이 중요하다. 이와 관련하여 타 선행 연구 사례를 살펴보고 이를 참고하여 본 연구의 평가에 반영코자 한다. 우선 국내 관련 연구에서는 신재생에너지 연구개발의 경제성 평가지표로써 경제적 효과, 환경적 효과, 에너지 안정 효과, 지식 효과 등 4가지 편익 발생을 제안하고 있으며, 여기서 지식 효과 부분은 주로 연구형 사업의 경우 발생하는 편익이다.(안은영 · 김성용, 2005)

〈표 2-1〉 신재생에너지 경제성 평가지표

구분	비교 방법
경제적 효과 (Economic Benefits)	○ 에너지소비저감을 통해 발생한 에너지 비용절감 ○ 에너지 관련 서비스 비용절감 ○ 에너지 절약을 통한 spillover 효과 및 거시 경제효과 등 ○ 지역경제 발전에 기여하는 효과, 고용증대효과 등
환경적 효과 (Environmental Benefits)	○ 환경유해물질 배출저감으로 인한 사회적 비용저감 ○ CO2 저장 및 감소효과 ○ 폐기물 재활용 효과 ○ 환경관련 정보제공 등 관련 규제 및 정책개발 기여효과 등
에너지 안정적 효과 (Security Benefits)	○ 에너지 수입비용 절감 ○ 필요한 에너지를 적정가격에 구입하는데 기여하는 효과 ○ 안정적 에너지공급을 통해 사회에 기여하는 효과 등
지식 효과 (Knowledge Benefits)	○ 새로운 지식, 아이디어 및 연구기법 개발 ○ 전문인력 양성 및 보급 등

자료 : 안은영 외, 2005

해외 유사 연구로써는 미국 에너지부(Ministry of Energy)에서 개발된 ‘공공 신재생에너지 연구개발 프로그램의 파급효과의 비용편익평가 가이드’에서 신재생에너지 관련 주요 편익과 측정 지표 등을 제시하였다(Rosalie Ruegg, Gretchen B, Jordan, 2011). 동 가이드에서도 경제성 평가지표를 에너지 편익, 환경적 편익, 에너지 안보 편익, 지식적 편익의 4가지 유사 지표로 제시하고 있다.

〈표 2-2〉 신재생에너지 영향평가 측정

구분	비교 방법
에너지 편익 • 절약된 에너지 용량 • 재생 가능 에너지 용량	용량, 조 단위(Trillion Btu) 용량, 메가와트(MW)
환경적 편익 1) 대기오염물 배출 감소 • 이산화탄소 배출 감소(CO₂) • 이산화황 배출 감소(SO₂) • 질소산화물 배출 감소(NO_x) • 부유성 고형물 배출 감소(PM) 2) 건강관련 소요비용 절감 • 질병율(호흡질환, 만성 기관지염, 심장마비)과 사망률의 감소 • 감축된 대기배출로 인해 낮아진 건강관련 소요비용	100만 톤(ton) 기준 이산화탄소 배출량(MMTC) 톤(ton) 톤(ton) 질병율과 사망률 100만 혹은 10억 달러 기준
에너지 안보 편익 • 석유 소비 감소 • 천연 가스 대체 • 에너지 기반시설(인프라)에 미친 파급효과	휘발유 10억 gal 당 마일 상당(GGE); 100만 입방 피트 당 천연 가스; 수입된 석유 배럴 상당(BOE)
지식적 편익 • 특허, 출판 등 관련 지식 산출 및 결과물	산출물의 유형과 개수; 인용비율(citation rates); 후원 R&D와의 연계성; Citation Index값; 식별된 주요 특허권; 지식전파, 기술 및 산업연계성으로 파악 R&D의 지원으로 인해 연구 성과가 향상 및 진전된 해(years)
경제성 평가 측정지표 • 총 경제적 편익 • 순 경제적 편익(Net Economic Benefit)(할인률미부과시) • 3%와 7% 할인율 부과 시 순현재가치(NPV) • 공공투자에 대한 내부수익률(IRR) • 3%와 7% 할인율 부과 시 비용편익비율 (Benefit to Cost Ratio/BCR)	100만 혹은 10억 달러 기준 100만 혹은 10억 달러 기준 100만 혹은 10억 달러 기준 백분율(Percent) 비(Ratio)

자료: Guide for Conducting Benefit–Cost Evaluation of Realized Impacts of Public R&D Programs (Ruegg, et al, 2011)를 활용하여 저자 번역 및 재구성

국내·외의 문헌을 공통적으로 요약해볼 때 경제성 평가를 위한 지표로써 1) 전력생산이나 청정에너지원 채택에 따른 에너지저감비용 등의 경제적 편익과 2) 환경오염물질이나 이산화탄소 저감, 보건 등의 효과를 측정하는 환경적 편익, 3) 에너지 수입절감 및 안정에 기여하는 에너지 안보 편익, 4) 지식 산출물에 대한 지식 편익 등으로 요약될 수 있으며, 본 연구에서는 이러한 주요 편익 중 4번 항목을 제외한 나머지 편익에 대해 정량화가 가능한 지표를 선택하여 경제성 평가에 적용하기로 한다.

2. 타 공여국 평가사례 검토

타 공여국의 평가사례로는 영국의 국제개발부(Department for International Development, DFID)에서 수행한 “나이지리아 태양광 사업(Solar Nigeria Program, 2014-2020)”을 조사하였다. 동 사업의 경제성 분석 문서는 대외 공개가 되어있지 않기 때문에 자세한 정보 확인은 어려웠으며, 영국 정부의 원조정보 공개사이트인 ‘Development tracker’를 통해 일부 공개된 태양광 사업 관련 문서 중 경제성 분석결과를 포함한 나이지리아 사업 사례를 찾아 검토해 보았다. 나이지리아 태양광 사업은 총 3천 7백만 파운드(한화 587억 원)가 투입되는 대규모 사업으로서 나이지리아 라고스 주 농촌지역의 8개 보건센터와 200개 학교를 대상으로 태양광을 설치하는 것이 주요 사업 목표이다.

본 사업의 경제성 평가는 크게 정량적 편익과 비정량적 편익으로 구분하고 있으며, 탄소저감 효과, 석탄연료 대체 비용저감효과 등 ①~⑥까지의 총 6개의 편익에 대해 정량적/금전적 측정이 가능한 편익으로 제시하고 있다. 또한, ⑦~⑪까지는 에너지 안보, 태양광 공급사슬 강화 등 주로 거시적이며 사업 시행에 따른 간접적 외부 효과로써 측정이 용이하지 않은 지표에 대해서는 파급효과만을 기술하고 있다. 이는 금전화가 어려운 편익으로 경제성 평가 상에서는 미포함하고 있지만, 사업의 주요 편익으로써 타당성 보고서 상에는 이와 같은 편익을 적극적으로 제시하고 향후 검토 시 참고토록 하였는데 이는 의사결정시에 고려될 수 있으므로 중요하다고 판단된다. 본 사업에 대한 구체적인 사업계획 및 타당성 검토 내용은 본 지면의 한계로 인해 생략하며 필요시 상기 사이트에 접속하면 확인할 수 있다.

〈표 2-3〉 나이지리아 태양광 프로그램 편익 검토

발생 편익	정량화 여부 구분
① 탄소 저감효과	정량화 & 화폐화
② 석탄연료 대체에 따른 비용 저감	정량화 & 화폐화
③ 복지(welfare) 편익	정량화 & 화폐화
④ 교육 개선효과	정량화 & 화폐화
⑤ 건강 개선효과	정량화 & 화폐화
⑥ 태양광보급 관련 일자리 창출효과	정량화 & 화폐화
⑦ 에너지 안보/신뢰성 효과	확인된 파급효과(정량/화폐화 X)
⑧ 태양광 공급사슬 강화 효과	확인된 파급효과(정량/화폐화 X)
⑨ 경제활동 증진 효과 및 소비자 잉여효과	확인된 파급효과(정량/화폐화 X)
⑩ 대기오염 증진 효과	확인된 파급효과(정량/화폐화 X)
⑪ 학습 효과	확인된 파급효과(정량/화폐화 X)

주: 기타 거시경제적 효과로 고탄소성장모델 탈피, 탄소 금융유입 증대, 지식, 정보 학습 등 효과를 제시하고 있음

자료: Solar Nigeria Program(DFID, 2014)을 활용하여 저자 번역 및 재구성

3. 신재생에너지 경제성평가 프로그램

신재생에너지의 경우 경제성평가를 위하여 다양한 분석도구가 개발되었으며 국제기구를 포함한 여러 단체나 기관에서 널리 사용 중에 있다. 경제성분석 도구들은 각각의 고유한 기능과 특징을 보유하고 있어 경제성분석을 하는 목적과 용도에 따라 선별적으로 사용해야 한다. 본 연구에서는 온실가스 감축량산정이 용이하고 비용·편익분석에 강점을 가진 RETScreen을 활용하여 경제성분석을 수행하였다. 하지만 그 외에도 신재생에너지의 발전규모 및 발전원에 대한 최적시스템 설계와 경제성을 분석해주는 Homer와 Vipor 등 그 외의 유용한 분석 도구들도 향후 필요한 경우를 위해 함께 소개한다.

1) RETScreen 소프트웨어

신재생에너지 관련 캐나다 정부는 1998년에 무료 청정에너지 소프트웨어로서

‘RETScreen’을 개발하였는데, 의사 결정자들이 프로젝트의 기술적, 재정적 타당성을 용이하게 파악하는데 도움을 주도록 설계되었다.

본 소프트웨어는 사용자에게 i) 에너지 분석, ii) 비용 분석, iii) 배출량 분석, iv) 재무 분석, v) 민감성/위험 분석 등 총 5단계의 분석을 지원하며, 다른 청정 에너지원간 비교도 가능하다. 따라서 사업타당성 분석을 위한 내부수익률(IRR, Internal rate of return), 순현재가치(NPV, Net Present Value) 등을 비교적 용이하게 산출 할 수 있다. 다만, 무상원조 사업의 경우 재무적 타당성보다 경제적 타당성 분석에 초점이 맞춰져 있어 본 프로그램을 무상원조사업에 직접 적용하기에는 다소 한계가 있다. 그럼에도 에너지 발전량이나 배출량 예측, 다양한 청정 에너지원 간 비교 등 기술적 사항관련 활용도는 높다고 볼 수 있다. 예를 들어, 본 소프트웨어를 활용 시 현장에서 일조량을 실측하지 않더라도 소프트웨어에 내재된 NASA에서 제공하는 일광 및 조사량 등의 기초자료를 바탕으로 발전용량에 따라 연간 전력생산량을 예측할 수 있고, 부가적으로 전력생산량에 따른 이산화탄소(CO₂) 감축량을 산정할 수 있다. 특히 이산화탄소의 경우 지구온난화를 일으키는 주요 온실가스 중 하나로 신재생에너지 사업 편익으로 중요한 요소이기 때문에 본 소프트웨어는 매우 유용하게 활용 될 수 있다.

2) Homer 소프트웨어

Homer (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable)는 신재생복합 전력시스템의 최적 설계 및 운영을 위한 시뮬레이션 프로그램으로 전력계통이 연계되지 않은 지역의 복합 전력시스템 도입에 대한 최적 시스템 설계와 경제성 분석 등에 유용한 분석 도구로 해외 여러 곳에서 널리 이용되고 있다. 사업기획단계에서 사업대상지에 설치할 수 있는 신재생에너지원에 대한 다양한 옵션을 비교·분석함으로써 가장 효과적인 에너지원과 발전용량을 산정하는데 유용한 분석도구이다.

3) 기타 모델

이외에도 신재생에너지 경제성 평가도구로 Vipor(Village power Optimazation Model for Renewables), LEAP(Long-range Energy Alternative Planning System), NEMS(National Energy Modelling System) 등이 있으며, 아래 그림은 주요 분석도구들의 대표적 특징을 보여준다.

〈그림 2-1〉 경제성분석 모델에 대한 구분

	적용분야	개발목적	개발기관	대표적 특징
RETScreen	신 재 생 에 너 지	Renewable Energy Technology Screen	NRCan	·신재생원천 기술, 비용자료입력 ·세부적 자료 입력 ·NPV, IRR
Homer		Hybrid Optimization Model for Electric Renewables	DOE NREL (Hybrid2 : Massachusetts Univ. 공동)	·신재생원천 기술, 비용자료입력 ·복합적 에너지체계 평가가능 ·NPC, 민감도분석등이 ·VIPOR 연계, NPV 계산가능
Vipor		Village Power Optimization Model for Renewables		·Homer 자료 이용, 지역 전력망 최적화 가능 ·지역에너지계획 등에 활용
Hybrid2		study a wide variety of hybrid power systems		·Homer 자료 이용 가능 ·신재생 기술 세부자료 활용
LEAP	에 너 지 계 획	Long-range Energy Alternatives Planning system	Stockholm Environmental Institute	·에너지 이용에 따른 거시경제적 효과 파악 가능
NEMS		National Energy Modeling System	DOE EIA	·국가 차원의 통합에너지 모형이면서 세부적 표현 가능

자료 : 신재생에너지 시스템 경제성 분석 프로그램 개발 및 적용방안 연구결과 발표자료(에너지관리공단), 아주대학교 김수덕 교수, 2006

III. 에콰도르 갈라파고스 태양광 발전소 건립사업

1. 사업 배경 소개

에콰도르 갈라파고스는 유네스코 지정 세계자연유산으로 등재되어 있다. 에콰도르 정부는 2007년 생태보호를 위해 섬 전체를 친환경에너지로 전환하겠다는 계획을 수립하였으며 미래 늘어나는 전력수요(2020년 약 8.5MW)에 대응하고 화석연료사용 의존도를 낮추기 위해 1.5MW 규모의 태양광 발전소 건설을 요청했다.

사업대상지인 산타크루즈 섬은 1990년에 설치된 3.48MW 및 2009년에 설치된 0.72MW 용량의 디젤발전기로 전체 전력 4.2MW를 공급 중에 있다. 사업대상지인 산타크루즈섬 Puerto Ayora 지역의 평균 일사량은 우리나라의 평균 일사량 3.7kwh/m² 대비 4.5kwh/m²로 130% 이상이 되어 태양광발전에 매우 우수한 조건을 갖추고 있으며, 전체적으로 바람의 조건 및 완만한 지형으로 인하여 발전설비 설치에 큰 장애요소는 없다. 발전소가 설치될 지역의 일조량은, 국내와 비교하여 우수한 일조량을 보이고 태양광에 유리한 입지조건을 지니고 있으며 낮은 연평균 및 월별 온도분포와 해안으로부터 부는 바람은 태양광 모듈의 온도를 낮춰줌으로써 발전효율을 높여줄 것으로 판단된다.

주 전원인 디젤발전시스템의 경우 환경오염 문제를 유발시키며 육지로부터의 디젤 연료의 수송비용이 발전비용에 포함되고 있어 발전단가를 높이고 있다. 따라서 도서지역에는 초기 설치비는 높지만 운전 유지비가 거의 들지 않아서 도서지역에서 상대적으로 균등화발전단가(LCOE, Levelized Cost of Electricity)가 저렴한 태양광, 풍력 등의 신재생에너지가 경제적으로 유리할 수 있다.

에콰도르 갈라파고스의 경우는 유네스코 자연문화유산으로 생태학적으로 매우 중요한 의미를 지닌 보호지역이다. 육지로부터 디젤 연료의 조달받는 과정에서 발생하는 기름유출사고는 갈라파고스 환경에 매우 치명적일 수 있으며, 이는 한 국가에 국한된 문제만이 아닌 생물종다양성의 중요한 보고를 잃을 수 있는 만큼 국제적인 관심과 보호가 필요하다.

에콰도르 전력공사 갈라파고스 지사는 520~880kw 단위의 디젤발전설비 7대(출력

4.2MW) 운영을 위해 주 3회(6,000 gal/회)의 디젤유를 해양을 통해 반입, 소비하고 있으며, 1992년 연료수송선이 침몰하는 사고가 발생하여 당시 매우 심각한 환경오염을 유발시킨 사례가 있다. 이와 같은 사고가 다시는 발생하지 않도록 사업대상지인 갈라파고스를 100% 친환경 에너지로의 전환하는 것을 목표로 하고 있다.

2. 사업 구성

동 사업은 KOICA가 2010년 5월과 11월 두 차례에 걸친 사업타당성 조사 후, 2011년 환경정책평가연구원(KEI)에서 전략환경평가(SEA)를 실시하여 태양광 발전에 따른 환경적, 사회적 영향을 모두 평가하고 사업의 타당성을 확보, 태양광 발전소 등이 설치 될 최적의 입지지역을 비교·분석하여 사업이 진행되었다.

본 연구에서는 사업의 실제 준공일과 차이가 있지만 연구의 목적이 기획단계에서 타당성 검토를 한다는 전제하에 준공계획 목표일로서 2014년 12월을 1.5MW 태양광 발전소 설치를 완료하는 것으로 가정하였다.

태양광 발전소를 설치하는데 250Wp 태양전지 모듈이 약 6,000개가 사용되었으며 발전소 운영현황을 모니터링 할 수 있는 전기실과 태양광발전소 홍보를 위한 홍보관도 함께 지원 활동에 포함되었다. 이전 에콰도르에서는 이와 같은 MW급 규모의 태양광 발전소를 설치한 사례가 없어 운영역량 강화 국내초청연수도 관리자와 실무자 연수를 구분하여 2차례에 걸쳐 총 6주간 함께 지원되었으며 태양광 발전소 운영실무자 7명에 대한 현지교육도 열흘간 진행되었다.

〈표 2-4〉 에콰도르 갈라파고스 태양광발전소 건립사업 구성요소

	구성요소	주요내용
1	사업기획 및 검토	□ 사업대상 부지 재검토 □ 사업수행 여건 검토(세부예산 재산정) □ 사업 기본계획 수립 및 자문 □ 주요 기자재검수
2	사업수행(설계 및 시공)	
	□ 태양광 발전소	□ 태양광 모듈 : 1.5MW Set(일반모듈 및 컬러모듈) - 250Wp 태양전지(일반모듈) = 6,006개 / 인버터 17Kw = 91대 - 210Wp 태양전지(컬라모듈) = 98개 / 인버터 17Kw = 2대 - 태양전지(일반)모듈 = Array 273set / 22개 = 6,006개 - 태양전지(컬라)모듈 = Array 7set / 14개 = 98개 □ 인버터 : 6대(250kw) □ 접속반 : 12대(28ch) □ 전기배관 및 배선(1식), 모니터링설비(1식), 구조물(1식), 토목 및 건축공사(1식) □ 기상관측 기기 □ 유지관리용 전기자동차 □ 관람객 휴게공간(한국형 정자) 및 단지내 CCTV 등
	□ 신재생 에너지 훈련센터	□ 건축면적 및 규모 : 264㎡, 지상 1층 (훈련센터: 247.0㎡/ 자전거보관소: 17.0㎡) □ 태양광 모듈 : 3kW
3	□ 홍보관	□ 부지면적 및 규모 : 1,000㎡, 지하 PIT 및 지상 2층 (건축면적: 569.48㎡/ 연면적: 654.55㎡) □ 태양광 모듈 : 250W 12장 □ 인버터 : 1대(3kW) □ 접속반 : 1대(4ch) □ 전기배관 및 배선(1식), 건축 및 전기시설공사(1식) □ 1층 분수대 등
	역량강화	□ 시범운영 및 기술전수 인수인계 □ 국내 초청 및 현지연수 실시 - 관리자과정 : 총 11명, 14일 - 기술자과정 : 총 5명, 28일 - 현지연수과정 : 총 7명, 1주, 2회
	4	기타 사업관리
		□ 모니터링 및 평가 시행 □ 사업 홍보 □ 사후관리 등

자료: 사업집행계획(한국국제협력단, 2011)을 활용하여 저자 재구성

IV. 경제성 분석

1. 분석 방법 및 순서

본 연구는 에콰도르 태양광 발전소 건립사업을 대상으로 앞에서 제시한 'RETScreen' 분석틀을 활용하여 경제성 평가를 실시하였다. 본 사업은 기 종료된 프로젝트를 대상으로 분석함에 따라 사업 내용은 확정 상태이므로 본 사업의 시행 근거나 문제 해결을 위한 대안 분석에 대한 상세 설명은 제외하고, 사업의 논리모형을 우선 검토하고 후속으로 경제성 평가를 위한 평가기준 지표 설정, 총비용 및 편익 추정, 비용 편익 비교, 민감도 분석, 최종 정리의 순으로 분석을 실시하였다.

2. 단계별 분석 과정

1) 1 단계 : 사업논리 모형 검토

에콰도르 태양광 발전소 건립사업의 주요 목표(Goal)는 크게 두 가지로 친환경에너지 보급을 통해 미래에 증가하는 전력수요에 대응하고, 세계자연유산으로 지정되어 있는 갈라파고스의 환경을 보호하고 범세계적 이슈인 기후변화에 대응하는 것을 주요 목표로 하고 있다.

기대성과(Outcome)로는 발전소를 신규 건설함으로써 신재생에너지 비중을 높이는 것과 화석연료 사용량을 줄임으로서 환경 및 기후변화에 대응하는 것이다. 목표달성을 위해 1.5MW 태양광 발전소 및 홍보관을 새로 짓고, 대규모 태양광 발전소가 처음 도입됨에 따라 동 사업이 지속가능할 수 있도록 운영역량을 강화시켜주는 국내초청연수 등을 주요 활동으로 한다. 이러한 상기의 사업 내용 및 구성을 바탕으로 사업논리 모형을 구성하면 다음과 같다.

〈표 2-5〉 에콰도르 갈라파고스 태양광발전소 건립사업 사업논리모형

목표(Goal)	친환경에너지 보급을 통해 미래 증가하는 전력수요에 대비	갈라파고스 자연환경보호 및 기후변화대응에 기여
기대성과 (Outcome)	○ 친환경에너지 비중 증대 ○ 발전소 신규건설 및 일자리 창출	○ 화석연료 사용량 저감 ○ 온실가스 및 대기오염 배출 저감 ○ 해상 유류오염 리스크 감소
지표 (Indicator)	○ 전력계통내 친환경에너지 비중(%) ○ 신규 건설된 발전소 용량(MW) ○ 친환경에너지 전력생산 및 공급량(kWh) ○ 태양광 분야 일자리 창출(명) ○ 전력보급 지역 가구당 파급효과(US\$)	○ 디젤연료 감소량(L) ○ 온실가스 감축량(CO2 tons-eq) ○ 유류운반 사고리스크 효과(US\$)
산출물 (Output)	○ 1.5MW 태양광 발전소 건립 ○ 태양광 발전소 운영역량 강화	
활동(Activity)	○ 1.5MW 태양광발전소 및 홍보관 신축(918만불) ○ 역량강화 국내초청연수(21만불) - 신재생에너지 정책, 태양광발전소 운영관리(각 5명/각 2주) ○ 전문가 파견(21만불) - PM, 태양광시스템, 토목, 발전시스템, 생태 ○ 사업관리, 감리, 행정관리, 모니터링 및 평가(40만불)	
투입요소(Input)	(KOICA) ○ 태양광 설계/시공 ○ 홍보관 설계/시공	(에콰도르 정부) ○ 통관, 면세, 인허가 지원 ○ 배전선로 교체 및 연결 등 ○ 전담인력 및 기술인력 지원

자료: 사업집행계획(한국국제협력단, 2011)을 활용하여 저자 재구성

2) 2 단계 : 사업 기준지표 결정

태양광 사업의 경제성 평가를 위해서 사업 기준년도에서의 발전량, 투입비용, 운영기간, 운전유지비용, 할인을 등 주요 기준 입력지표를 결정해야 하며 본 사업의 경우 〈표 2-6〉과 같이 설정하였다.

〈표 2-6〉 태양광발전의 경제성 분석을 위한 기준지표 설정

구 분	내 용	비 고
○ 할인율	8%	현재가치로 환산시 적용
○ 사업실행기간	4.5년	2010.1월 - 2014.12월(준공)
○ 운영기간	20년	2015.1월 - 2034.12월
○ 투입 사업비	1,000만불	KOICA 사업비
○ 유지보수비	92,000불/년	계통연계형의 경우, 사업비(시설 투자 비용 부분만 적용)의 1% 수준
○ 태양광 설비용량	1.5M	1기 (계통연계형 태양광 발전)
○ 태양광 예상발전량	2,085,617kWh/년	엔지니어 산정 또는 Retscan 활용
○ 수혜자수	1,500명	411가구(가구 기준)

(1) 할인율 설정

할인율은 미래에 발생하게 될 편익과 비용을 현재의 가치로 환산하기 위하여 사용하는 이 자율로서 사용목적 및 주체에 따라 사회적 할인율과 재무적 할인율로 분류할 수 있다.

재무적 할인율은 주로 민간 기업이 수익성의 극대화의 목적으로 하는 투자사업의 타당성 여부를 판단하기 위하여 사용하는 할인율이며, 사회적 할인율은 공공부문이 공익, 즉 사회전 체의 관점에서 편익의 극대화를 목적으로 하는 투자사업의 타당성여부를 판단하기 위하여 사 용하는 할인율이다. 본 연구에서는 사회적 할인율을 사용한다.

가. 국제 개발은행 할인율

세계은행(World Bank, WB)나 아시아개발은행(Asian Development Bank, ADB)는 개 발도상국을 대상으로 유상 차관 협력을 주로 하는데, 민간의 수익률을 자본의 기회비용으로 보고 투자 프로젝트에서 상대적으로 높은 10~12%의 사회적 할인율을 적용한다. 다만 세계은 행은 사업 담당자가 국별지원전략(Country Assistance Strategy)에서 정당한 설명이 있을 경우 다른 할인율을 사용할 수 있다고 기술하고 있으며, 아시아개발은행도 국가나 섹터마다, 그리고 시간에 따라 경제적 자본회수율이 변동되므로 기존 관행과 비교하여 각 국가별로 적

정 할인율을 산출할 수 있다고 밝히고 있다(ADB, 2013: 67) 유럽의 유사 기관인 유럽개발은행(European Bank for Reconstruction and Development, EBRD)은 10%를 사용하기도 한다.

나. 정부 할인율

각 국가 정부는 자국의 공공 투자사업에 대한 사회적 할인율로서 상기 국제개발은행과 달리 다양하다. 선진국은 3~7%로 낮은 할인율이 주로 적용되고 있고 개발도상국은 8~15% 수준으로 다양하게 분포된 것으로 조사되었다(ADB, 2013: 69). 참고로 한국의 경우 사회적 할인율을 저금리 기조 지속 등에 따라 2016년 기준 5.5%로 적용하도록 하였다(KDI, 2013: 133p).

에콰도르 정부의 할인율은 데이터 확보가 어려워 본 연구는 에콰도르에 적합한 사회적 할인율 산정을 위해 미국의 연방준비제도(Federal Reserve, FRB)의 연구를 참고하였다. 이에 따르면 달러 대출을 활용하여 대 개발도상국의 실질금리를 사회적 할인율로 제시하였는데 에콰도르의 경우 약 7.95%를 사회적 할인율로 제시하고 있다(FEDS Notes, 2014).

다. 결론

동 분석에서는 세계은행, 아시아개발은행 등 국제개발은행의 기준 또는 국가별 별도의 사회적 할인율 적용 중 선택을 해야한다. 본 사업의 특성상 유네스코 유산인 갈라파고스의 환경 보호의 목적과 섬 지역 특성에 따른 에너지 안보 확보 등 타 사업 대비 공공적 특성이 매우 크고, 편익 중에서 지역경제 파급효과, 태양광 산업 발전 등 많은 부분이 금전화가 되지 않은 측면이 있다. 따라서, 공공성이 큰 사업은 경제적 효율 이외의 다른 목표의 달성도 추구하게 되고, 사회구성원 전체의 의사를 반영하는 것이 필수적이므로 시장에서 결정되는 이자율의 크기보다 상당히 낮은 사회적 할인율을 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다(KDI, 2008: 86).

따라서 세계은행(World Bank, WB)이나 아시아개발은행(Asian Development Bank, ADB)이 제시하고 있는 자본의 사회적 기회비용 측면에서 민간투자 수익률에 기초한 할인율

인 10~12%는 사업 목적 대비 다소 높다고 판단되며, 본 연구에서는 국별 할인율을 적용하며 미연방준비제도가 제안한 8% 할인율을 적용토록 한다.(FEDS Notes, 2014)

(2) 사업운영기간 및 비용 설정

경제성 분석을 위한 분석기간은 일반적으로 신재생에너지 중 태양광발전사업의 경우 20년으로 본다. 본 사업의 종료 시점은 해당 프로젝트 준공 시점인 2014년이 아니라 해당 사업의 총 운영 연한이 종료되는 2034년을 의미한다.

또한 사업의 운영기간은 20년이므로 총 투입비용 산정시 준공 이후 유지관리비까지 포함하여 한다. 본 사업은 계통연계형 태양광 사업으로서, 배터리 교체비용이 많이 필요한 독립형 태양광 사업에 비해 낮은 유지관리비가 드는 장점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 전문 엔지니어 자문을 통해 사업운영관리비를 전체사업비의 1% 수준으로 산정하였다.

(3) 태양광 발전용량 계산

태양광은 위치, 고도, 일사량, 패널종류 등 다양한 요인에 의해 발전량이 결정된다. 태양광 발전량 산정 시 'RETScreen'은 이러한 주요 발전량 결정요인(factor)의 변수들을 입력을 함으로써 발전량을 산출하는 기능⁴⁾을 가지고 있으므로 이를 활용 할 수 있으며, 다른 방법으로 태양광 전문기업의 경험이 많은 엔지니어가 주요 사업대상지 특성이나 발전 인자를 고려하여 직접 산정할 수도 있다.

동 연구의 경우, 사업종료보고서(한국국제협력단, 2016)에서 제시하고 있는 연간 전력생산 실측치(2,085,617 kWh/년)를 'RETScreen'을 통해 해당 데이터를 입력하여 설비이용률을 추산할 수 있었으며, 이로써 태양광 발전소가 일평균 15.8723%(약 3.8시간)정도 전력을 생산할 수 있음을 계산하였다. 이는 우리나라 전국 일평균 발전량인 3.6시간보다 약 0.2시간 증가한 수치로써 에콰도르의 높은 일사량과 일조량 감안 시, 설비이용률의 기대치에 미치지 못하였으나 해외사업의 주변 환경의 악조건 등을 고려하면 적합한 수치로 판단된다.

4) RETScreen의 경우 NASA에서 제공하는 일조량을 통해 설치용량에 따른 전력생산량을 시뮬레이션 할 수 있다.

3) 3단계 : 총 비용 산정

투입된 총 사업비용 산출을 위해 KOICA가 투입한 태양광발전소 건립에 대한 시설구축 및 역량강화 등과 관련된 사업 구성요소에 투입(inputs and activities)된 비용과 에콰도르 정부가 시설유지운영 관련 지출 예산을 포함하여 산정한다. 기간은 투입물이 발생되었던 시점인 2010년부터 2014년 시설구축 완료까지의 누적비용(incremental costs)으로 산출하였다. 이에 따르면, 2010년에서 2014년간 KOICA가 투입한 전체 사업비로 총 1,000만불⁵⁾, 에콰도르측이 투입하는 184만불이 총 사업비용으로 사용되었다. 예산의 연도별 배분시 불변가격(Constant Price)을 적용하며, 투입비용에 대해 국경가격(Border Price)으로의 전환을 위하여 투입된 각 항목을 교역재(Traded goods)와 비교역재(nontraded goods)로 분리하고 각각의 항목에 적합한 표준전환계수(Conversion factor)를 선별하여 적용한다.

동 사업 구성요소에 해당하는 항목에 대해, 표준전환계수를 선정한 근거는 다음과 같다.

■ 수입재(한국산 기자재)

태양광패널 및 컨트롤러 등 태양광발전소를 설치하기 위한 기자재는 한국산 제품을 사용한다. 기자재에 대한 가격은 한국 국경 FOB (Freight on board)가격에 현지 사업대상지까지 물류비(운송비, 보험 등)가 포함된 CIF (Cost, Insurance and Freight)가격을 기준으로 한다. 이에 따라, 국내시장가격을 국경가격으로 전환을 위하여 세계은행(WB)에서 제공하는 표준전환계수(원-US\$)인 0.727⁶⁾을 적용하여 국경가격을 산출하고 에콰도르 사업 대상지까지 발생한 물류비용을 추가함으로써 최종 가격 CIF (Cost, Insurance and Freight)을 산출한다. 해당국가와 면세통관약정을 체결하는 무상원조사업 특성상 물류비에 부과되는 관세 및 세금은 제외한다.

5) 실제비용은 원화로 지급되어 비용의 차이가 발생할 수 있으나, 동 연구의 목적이 사업수행 이전단계에서 모든 예산이 가정된 것임을 고려, 책정된 예산을 근거로 경제성분석을 수행함.

6) 5) 표준전환계수는 한국과 에콰도르 Price level ratio of PPP conversion factor (GDP) to market exchange rate의 2012년도 계수를 사용함.(World Bank 제공)

■ 현지수입자재(현지 건축자재)

태양광 기초공사 및 홍보관 건설 등 건축에 필요한 자재(시멘트, 철골 등)의 경우 에콰도르 현지 시장가격을 국경가격으로 전환시키기 위하여 우리가 사업비로 지불한 현지시장가격에 표준 전환계수(에콰도르 달러-미국달러)인 0.545를 적용한다.

■ 현지 숙련노동자

노동의 가치는 노동이 갖고 있는 한계생산성에 따라 결정된다. 그러므로 노동의 기회비용이란 공공사업 때문에 포기한 노동의 한계생산성으로 판단할 수 있다(김동진, 2013: 113p). 즉, 현지 숙련노동자가 부족할 경우 기회비용을 별도로 평가하여 추가적인 비용을 반영해야 하겠지만, 동 연구에서는 일반적인 상황임을 가정하여 전환계수 1을 적용한다.

■ 현지 비숙련노동자

개발도상국에서는 실업률이 높거나 대량실업 내지 잠재실업의 문제에 직면하는 것이 보통이다. 에콰도르의 비숙련노동자의 경우에도 한계생산성이 숙련노동자에 비해 낮을 것으로 예상됨에 따라 ADB에서 비용편익분석에 비숙련노동자들에게 일반적으로 사용하는 0.5~0.75의 전환계수(ADB, 2009)를 참고하였으며, 해당국은 개발도상국에서 비교적 경제상황이 괜찮은 중남미지역임을 고려하여 0.75를 전환계수로 선정한다.

■ 외국인 숙련노동자

태양광 설계 및 시공 그리고 연수 등을 담당했던 국내 인력들의 경우 주로 전문 인력들로 구성되어 있고, 한국전문가의 경우 동 사업 참여에 따른 별도의 기회비용을 고려할 필요가 없어, 전환계수는 1을 적용한다.

아래 <표 2-7>은 앞서 설명한 각각의 항목에 해당하는 표준전환계수를 적용하여 우리사업에 투입된 총 공급가격비용을 국경가격비용으로 전환한 값을 보여준다.

〈표 2-7〉 동 사업의 총 공급가격비용 및 국경가격비용

(단위 : 2010년 1.1.일 불변가격; 만 US\$)

구 분			공급가격 비용	표준 전환 계수	국경가격	비고
총 투입 비용 (2010- 2014)	교역재 (traded goods)	기자재	6,033,567	0.727	4,386,403	한국산 수입
		물류비 (에과도르 국경-사업지)	670,396	1	670,396	기자재 총비용의 10%로 가정
		건축시공	2,032,608	0.545	1,107,771	현지 건축자재
		소 계	8,736,571	—	6,164,570	
	비교역재 (non traded goods)	시설건설 인건비	71,740	1	71,740	현지 숙련노동자 ⁸⁾
		시설건설 인건비	286,956	0.75	215,217	현지 비숙련노동자 ⁹⁾
		현장조사 및 실시설계 (외국인 숙련노동자)	84,755	1	84,755	한국 숙련 노동자 기준
		계통해석 시뮬레이션 (외국인 숙련노동자)	86,957	1	86,957	
		전문가 파견 (외국인 숙련노동자)	208,520	1	208,520	
		연수생 초청 (외국인 숙련노동자)	122,540	1	122,540	
		사업홍보비 (외국인 숙련노동자)	8,695	1	8,695	
		사업관리비(행정경비) (외국인 숙련노동자)	294,122	1	294,122	
		감리비 (외국인 숙련노동자)	99,144	1	99,144	
	소 계	1,263,429	—	1,191,690		
총 투입비용(2010-2014)			10,000,000		7,356,260	5년(2010-2014)
유지관리 비용(2015-2034)			1,840,000	—	1,840,000	20년(2015~2034) US\$92,000/year
총 계			11,840,000	—	9,196,260	2010-2034

출처: 집행계획보고서(한국국제협력단, 2011)를 활용하여 저자재구성

따라서, 위와 같이 산정한 KOICA의 투입비용(국경가격) 총 US\$7,356,260¹⁰⁾과 함께 사업 완료(2015년) 이후부터 사업종료(2034년)시점까지 20년간 추가로 부담하는 유지관리(O&M, Operation & Maintenance) 비용 US\$1,840,000¹¹⁾을 포함시킨 값을 합산하여 총 비용 US\$9,196,260를 계산하였다.

4) 4단계 : 총 편익 산정

본 연구에서는 ① 에너지 절감 및 안정도 등 경제적 편익, ② 기후변화, 생태보전 등 환경적 편익, ③ 전력공급 등에 따른 사회경제적 편익 등 3가지 관점에서의 편익을 측정한다.

〈표 2-8〉 사업관련 예상편익 추정 및 금전화 여부

편익 추정	정량/금전화	비정량화
1) 에너지 생산 및 절감의 경제적 편익		
- 태양광 발전에 따른 전력판매수입	○	
- 디젤연료 수입량 절감 효과	○	
- 에너지 관련 서비스 비용 절감		○
2) 기후변화, 생태보전에 따른 환경적 편익		
- 온실가스 저감에 따른 기후변화 대응 효과	○	
- 기름유출로 인한 생태환경 파괴 리스크 저감 효과	○	
- 디젤 발전 대비 대기오염물질 저감 및 이에 따른 건강개선 등 환경보건 효과		○
3) 전력보급에 따른 사회적 편익		
- 전력보급에 따른 지역 가구당 편익	○	

8), 9) 시설건설 인력구성은 숙련과 비숙련 노동자 인건비의 비율은 2:8로 가정한다.

10) 2010-2014년까지 동 사업을 위해 투입된 교역재와 비교역재 비용의 합

11) 인건비를 제외한 기자재 및 시공비용의 약 1%를 유지관리 비용으로 가정하여 연간 92,000 달러를 산정함.

(1) 에너지생산 및 절감 등 경제적 편익

가. 태양광 전력발전에 따른 전력판매 수입

태양광 발전을 통한 전력 판매수입의 측정은 총 태양광발전 전력량을 기존의 디젤전력 생산시 동일 전력량에 대한 판매단가를 곱해서 계산한다. 본 사업은 태양광과 디젤의 하이브리드 계통연계형(태양광은 전체 전원의 10% 수준) 전력사업으로서, 발전원에 상관없이 전력 사용자에게는 동일한 전력 단가를 적용한다.

다만 전력 판매단가 적용 시 주의점은 대부분의 국가가 전력가격에 물가안정이나 국가전략 등 정책적 목표로 인해 보조금 등 전력가격의 왜곡이 있으므로 시장 가격(market price)을 사용하지 않고, 이를 제거한 경제적 가격(economic price)을 적용한다. 즉, 디젤발전 판매 가격 + 정부보조금, 세금 등 = 시장가격이므로, 여기서 정부지원 부문은 제외하여 산출한다.

일반 전력판매 단가는 0.33US\$/kWh로서 세금, 보조금 요소를 제거해야 하므로 $0.33\text{US}\$/\text{kWh} \times (100 - (\text{보조금 } 7.5\% + \text{세금 } 16.45\%)) = 0.25\text{US}\$/\text{kWh}$ 를 적용한다.

$$\begin{aligned} \text{산출식 : 연간 발전량} \times \text{판매 단가(경제적 가격 적용)} \\ = 2,085,620\text{kWh} \times 0.25\text{US}\$/\text{kWh} = \text{US}\$521,405/\text{year} (\text{US}\$10,428,087/20\text{년}) \end{aligned}$$

나. 화석연료(디젤) 수입량 절감효과

태양광 발전은 태양에너지가 무상으로 제공되는데 반해 기존의 디젤발전의 경우에는 디젤 연료를 투입해야 발전할 수 있으므로, 연료 수입비용을 절감하는 효과를 가져오며 이를 편익으로 산정할 수 있다.

디젤 1gal 당 약 14.18kWh의 전력 생산이 가능하므로, 연간 총 태양광 발전량 2,085,617kWh을 디젤 연료량으로 환산할 경우 총 147,081gal의 연료가 절약된다. 이를 디젤 1gal당 CIF 수입 단가 US\$1.47/gal을 적용 시 총 US\$216,210의 디젤연료 수입 절감분이 편익으로 측정될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{산출식} &: \text{총 발전량} \div \text{디젤연료 환산량} \times \text{디젤수입단가} \\ &= 2,085,617\text{kWh/year} \div 14.18\text{kWh/gal} \times \text{US\$1.47/gal} \end{aligned}$$

(2) 기후변화, 생태보전 등에 따른 환경적 편익

가. 온실가스 저감에 따른 기후변화 대응효과

기존의 디젤발전은 연소 과정에서 지구온실가스를 발생함으로써 기후변화 문제를 가중시키고 있으며 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)과 국제사회는 지속가능 개발목표(Sustainable Development Goals, SDGs)를 통해 신재생에너지 비중 확대를 전 세계가 이행토록 개발목표로 제시하고 있다. 신재생 에너지원은 앞서 계산한 전력판매 및 수입연료 절감의 경제적 효과를 발생하는 동시에 긍정적 외부 효과(external effect)로서 환경적 개선 효과도 얻을 수 있다는 점에서 이중배당 효과가 있다고 볼 수 있다.

이러한 태양광 발전을 통한 온실가스 감축은 전 지구적 공공재인 기후변화에 대응한다는 점에서 중요한 편익으로 산정할 수 있다.

본 연구에서는 총 사업기간 동안 발생하는 총 CO₂ 발생량에 대한 가치 측정을 통해 산출이 가능한데 2가지 산출법을 활용할 수 있다. 첫째는 RETScreen 프로그램을 활용하여 자동계산 방식이며 둘째는 실제 가격을 수동으로 계산 하는 방식이다. 본 연구에서는 연구시간 절약 및 편의성을 고려하고 또 실제로도 국제기구에서 많이 활용되고 있어서 신뢰성도 높은 RETScreen을 활용하였다.

에콰도르에서 디젤에 해당하는 온실가스 배출인자 0.9467 tCO₂/MWh를 적용 시 연간 이산화탄소를 총 1,974.5 tCO₂을 저감하는 것을 알 수 있다. 또한, 이산화탄소 저감량에 EU 배출권 거래가격 US\$7.5/tCO₂를 적용하면 연간 US\$14,808 수익이 발생함을 알 수 있다.

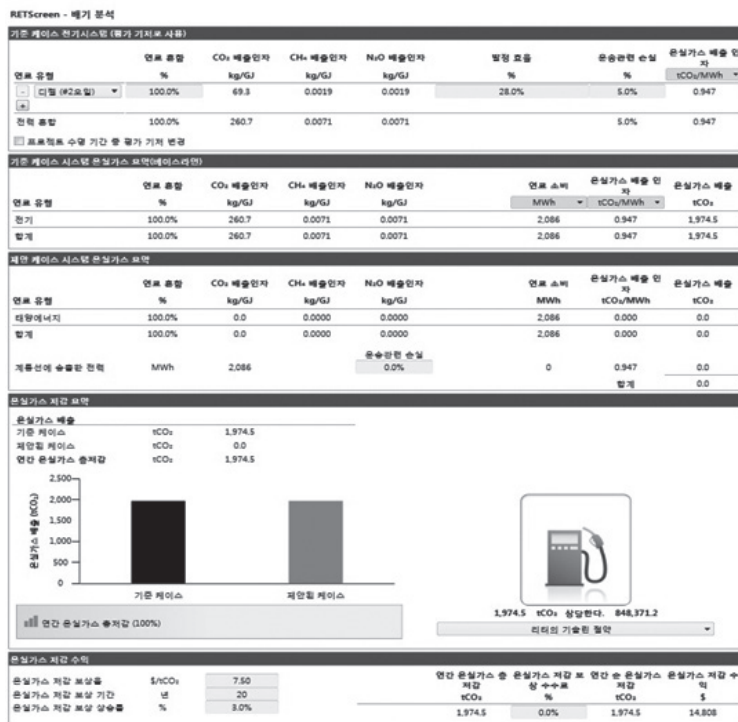
12) 원칙적으로 2010.1.1. 기준 가격을 적용해야 하나, 데이터 확보가 용이치 않아 2017. 1.22 기준 EU 배출권 가격 8,750원(US\$7.5)을 적용함. 참고로 한국거래소 배출권 가격은 20,850원(17.1.22 기준)이다.

$$\begin{aligned}
 &\text{산출식: 연간 발전량} \times \text{온실가스 배출인자} \times \text{배출권 거래가격} \\
 &2,085.6202\text{MWh/year} \times 0.9467 \text{ tCO}_2/\text{MWh} \times \text{US\$7.5/tCO}_2 \\
 &= \text{US\$14,808/year (US\$296,160(20년))}
 \end{aligned}$$

연간 이산화탄소 1,974.5 tCO₂을 저감 효과를 설명하기 위해 RETScreen은 차량 운행 절감 등과의 비교효과를 제공하는데 이는 아래와 같다.

- 1) 361대의 차량 운행하지 않는 효과
- 2) 4,591.8 배럴의 원유 절약 효과
- 3) 1,974명이 에너지 소비를 약 20%절약 효과
- 4) 181.6 헥타르에 나무를 심은 효과
- 5) 680.8 톤의 쓰레기를 재활용한 효과

〈그림 2-2〉 RETScreen expert 배기분석 결과



나. 기름유출로 인한 생태환경파괴 리스크 저감효과

기름유출 리스크 저감 편익은 섬 지역 특성을 고려하여 발생하는 편익이다. 갈라파고스는 생태적 보고로서 다윈의 진화론의 근거가 되는 매우 중요한 지역으로 유네스코 자연유산으로서 단 한번의 해양 오염사고로도 금전으로 환산이 어려운 되돌릴 수 없는 생태적 가치 훼손이 발생할 수 있기 때문에 이와 같은 편익을 계산한다.

섬 지역 특성상 매일 선박으로 디젤유가 수입 공급되므로 해양 유류누출 사고 리스크는 언제든지 상존해 있다. 실제로 2001년 1월 유조선 전복으로 약 90만 ℓ (24만 gal) 기름 유출로 해양 생태계에 큰 피해를 입었으며 유류 제거 및 생태피해 조사 등에 많은 시간과 예산이 투입되었다. 이는 한국 태안반도 유류누출 사고, 미국 알래스카 유조선 전복사건 등의 선진 국가에서도 언제든지 발생할 가능성이 잠복되어 있는 리스크이기도 하다.

본 연구에서는 해양유류 유출 관련 평균 발생빈도 추정과 2001년 당시의 제거 비용을 근거로 계산하여 편익을 추정하였다. 동 사업의 운영기간 동안은 태양광 전력생산에 따라 유류 운반이 발생하지 않으므로 사고 리스크가 완전히 제거 되었다고 볼 수 있으며 이에 대해 편익으로 계상 가능하다.

■ 발생 빈도

발전소 운영기간인 총 20년 기준으로 발생 빈도 연평균 1.8회로 추정하여 리스크 제거 편익을 계산한다. 발생 빈도 산정은 전 세계 해양유류오염 사고의 통계를 집계 및 조사하는 영국 ITOPF의 통계 자료를 활용하였다. ITOPF에 따르면 2010년 이후 평균 년 1.8회 수준의 유류운반 사고율이 발생한다고 보고하였는바 이를 적용하고자 한다.

■ 해양 유류유출 정화비용

제거비용 추정은 2가지 추정 방식으로 산정 가능하며, 동 연구에서는 2가지 추정 방식의 평균값을 적용하였다.

(추정방식 1) 인근 국가의 유류오염 정화비용 활용

1999년 남미 주요 지역(7개국 조사, 에콰도르는 없음)을 대상으로 해양 유류오염의 평균 처리 비용을 조사한 결과 \$2.75/ℓ 가 제시되었다(Etkin, 2000: 10p). 이는 US\$10.45/gal 으로 환산된다. 이를 2010년 소비자물가지수 증가치인 2.2배를 적용하면 유류오염 처리비용은 US\$23/gal 으로 추정이 가능하다.

〈표 2-9〉 국별 해양 유류유출 정화비용

국가	미국 US\$/ℓ
아르헨티나	2.08
브라질	5.03
칠레	0.82
멕시코	0.76
세인트 키츠/네비스	2.77
우루과이	3.03
베네주엘라	10.62
평균	2.75

자료: Oil Tanker spill statistics 2014(TOP, 2014)를 활용하여 저자 번역

(추정방식 2) 타 선진국가의 유류가격 대비 유류오염 정화비용 비중 활용

대부분의 개발도상국은 유류오염의 정화비용에 대한 정확한 데이터가 없는 실정이다. 이에 미국 등의 선진국가의 유류제거 비용이 전체 유류비에서 차지하는 비중을 계상하여 에콰도르 사업에 적용한다.

당시 미국 디젤유의 1gal당 가격은 약 US\$3 이므로, 정화비용 US\$16는 약 5.3배 크다(Etkin, 2000: 4p). 이에 에콰도르의 디젤유 1gal당 가격은 1.47 US\$ 이므로, 정화비용은 $US\$1.47 \times 5.3 = US\$7.8$ 로 추정이 가능하다.

이는 1999년 가격이므로, 본 연구의 기준연도인 2010년 기준으로 소비자가격인덱스(consumer price index)로 환산하면(45.7⇒100으로 2.2배 상승), $US\$7.8 \times 2.2배 = US\$17.16$ 으로 계산된다.

따라서 상기 2가지 방식으로 추정된 유류오염 처리단가의 평균값인 US\$20.08/gal를 아래 산출식에 적용하여 유류오염 리스크 제거편익을 계산한다.

$$\begin{aligned} \text{산출식} &: 1\text{회당 유류 운반량} \times \text{유류오염 처리단가} \times \text{발생빈도} \\ &= (6,000 \text{ gal/회}^{13}) \times \text{US\$20.08/gal} \times 1.8\text{회/year} \\ &= \text{US\$216,864/year (US\$4,337,280(20년))} \end{aligned}$$

다. 디젤 발전소 대비 대기오염물질 저감효과

통상 디젤 발전원에서 발생하는 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소화합물(Nox), 미세먼지 (PM) 등의 대기 오염물질은 인체의 호흡기나 수명 등 환경 보건적으로 미치는 영향이 매우 높으므로 중요한 편익으로 계산되어야 한다. 에콰도르 사업대상지역에서 사용 중인 약 400kW급 용량의 디젤발전기에서 배출되는 대기오염물질에 대한 자료 확보가 용이치 않음에 따라 주요 국가별로 디젤발전기에 적용하고 있는 환경기준을 바탕으로 배출이 허용된 대기오염물질의 양을 역추산하여 계산한다. 참고로 에콰도르에서 사용하는 디젤발전기는 아래국가의 환경기준에 따른 발전기를 사용하는 것으로 가정한다.

13) 디젤유 선박의 1회당 운반량은 6천gal으로 조사된바, 사고 발생 시 이에 해당하는 누출 위험성이 존재한다고 가정한다.

〈표 2-10〉 국가별 디젤발전기 대기오염물질 배출기준

오염물질	국가별 기준 (400kW급 디젤발전기)	배출계수(g/kWh)
NOx+HC (Nox:HC=9:1)	India CPCB II	4
	Japan (Tier III)b	4
	Europe (Stage III A)c	4
PM	India CPCB II	0.2
	Japan (Tier III)b	0.17
	Europe (Stage III A)c	0.2
CO	India CPCB II	3.5
	Japan (Tier III)b	3.5
	Europe (Stage III A)c	3.5

자료: Diesel Generators: Improving Efficiency and Emission Performance in India (SHAKTI, 2014)를 활용하여 저자 재구성

국가별로 제한하고 있는 환경기준이 서로 유사함에 따라, 에콰도르와 경제수준이 가장 비슷한 인도 환경기준(India CPCB II)을 참고하여 디젤발전기 발전량 당 발생하는 오염물질 배출량을 [표 2-11]과 같이 산정한다. 1999년 환경정책평가(KEI) 연구원에서는 대기오염물질 단위별 발생하는 사회적 피해비용에 대해 연구한 바 있으며, 동 연구보고서에서는 KEI의 기존자료를 활용하여 대기오염으로 인한 호흡기 질환 등 인체피해 뿐만 아니라 노동생산성 및 농업 생산성 감소, 구조물부식 등 대기오염물질로 인한 피해비용을 총체적으로 고려한 값을 활용하였으며, 그 값은 다음의 표와 같다.

〈표 2-11〉 대기오염물질로 인한 사회적 피해비용

오염물질	배출계수 (g/kWh)	연간 배출량 (kg/year)	단위별 ¹⁴⁾ 사회적비용 (US\$/kg)	연간 사회적비용 (US\$/year)
NOx+HC ¹⁵⁾	4	8,342.5	6.9	57,563
PM	0.2	417.1	22.6	9,426
CO	3.5	7,300	5.7	41,610
연간 총 사회적 피해비용(US\$/year)				108,599

출처: 대기오염으로 인한 사회적 피해비용(한국환경정책평가연구원, 2000)을 활용하여 저자 재구성

산출식: 연간 발전량 X 배출계수 X 단위별 사회적비용
 $2,085,620 \text{ kWh/year} \times \text{g/kWh} \times \text{kg/1,000g} \times \text{US$/kg}$
 각 오염물질별 사회적비용 합=US\$ 108,599/year(US\$ 2,171,980(20년))

위의 표에서 알 수 있듯 디젤발전기를 1.5MW 태양광발전소로 대체할 경우 연간 8,342kg의 질소화합물 및 탄화수소 발생량을 줄이고, 417kg의 미세먼지와 7,300kg의 일산화탄소 배출을 저감함으로써 연간 총 US\$ 108,599의 사회적 피해 비용을 절감할 수 있다.

(3) 전력보급 등에 따른 사회경제적 효과

전력은 사회, 경제, 산업 전반에 필수적인 요소로 전력보급에 따른 발생 되는 외부경제효과는 매우 폭넓고 다양하다. 전력의 본 사업은 에콰도르 갈라파고스 지역의 주민 대상의 전력보급이 목적이므로 가구당 전력 공급에 따른 편익 발생효과를 파악할 필요가 있다. 그러나 전력 보급 시 가정 및 사회 전반의 파급 편익은 필수적인 편익 요소로 포함되어야 할 편익임에도 직간접 파급효과가 매우 넓고 측정이 쉽지 않고 관련 비용이나 시간도 다수 소요가 된다.

14) 대기오염으로 인한 호흡기 질환 등 인체피해 뿐만 아니라 노동생산성 및 농어업 생산성 감소, 구조물부식 등 대기오염으로 인한 피해비용에 대해 총체적으로 고려함(환경정책평가연구원, 1999). 환율은 1\$당 1,190원 적용(1999년 환율)

15) HC의 배출량의 경우 NOx 배출량의 약 10%로 비중이 낮고, 별도 데이터 확보가 용이치 않음에 따라 NOx의 단위별 사회적 피해비용 값을 적용함.

본 연구는 이러한 한계로 인해 전력 편익에 대한 기존 연구 자료를 활용하여 이를 추정하기로 하였다. 사실 전력 편익의 간접적 효과까지 산출될 경우 복잡한 경제 모델링 기법이 필요한데 그보다는 가구 단위의 파급 효과에 한정하여 세계은행(2008)이 농촌전력화의 비용편익 효과를 발표한 연구 결과를 활용하였다¹⁶⁾. 연구에 따르면 사업 대상지인 에콰도르와 유사한 중남미의 국가인 페루를 대상으로 한 지불의사액(Willingness to pay) 조사 결과가 있는데, 페루의 경우 전력 공급에 대한 가치로서 매달 30.26달러¹⁷⁾를 지불할 의향이 있는 것으로 조사되었으며 이는 매년 약 363달러 수준이다. 본 연구는 에콰도르 관련 연구결과가 없으므로, 대체 자료로서 1인당 GDP나 전력가격 등이 유사한 페루 사례를 기준을 적용하여 편익을 추정코자 한다.¹⁸⁾

〈그림 2-3〉 주요 국가별 농촌 전력화 편익

Table 5.5: Rural Electrification Benefits (US\$ per household per month)				
Benefit	Philippines	Peru	Lao PDR	Bolivia
Lighting	7.36 ^a	16.16	5.60	12.24
TV	15.11	8.5	2.22	4
Radio	(included in TV)	Not estimated	Not estimated	Not estimated
Education	12.46	Not estimated	Not estimated	Not estimated
Time saved for household chores/increased leisure	5.30	5.5	5.5	5.5
Productivity home business: existing business	6.30	0.0	3.40	Not estimated
Productivity home business: new business	5.25	0.0	2.35	Not estimated
Improved health	0	0.02	0.02	Not estimated
Reduced fertility	Not estimated	0.08	0.08	Not estimated
Increased agricultural productivity	0	0	Not estimated	Not estimated
Public good benefits (including security)	Not estimated	Not estimated	Not estimated	Not estimated
Reduced pollution (global benefits) ^b	Not estimated	0.24	0.15	0.20

Source: IEG data.

a. IEG estimates for the Philippines differ from those by ESMAP (2002) because that study used a linear demand curve.

b. Applies to off-grid beneficiary households only. Assumes 0.6 ton of CO₂/MWh priced at \$2/ton of CO₂.

자료: The Welfare Impact of Rural Electrification: A Reassessment of the Costs and Benefits, An IEF Impact Evaluation (World Bank, 2008)에서 발췌

본 에콰도르 태양광사업의 혜택 주민수는 약 1,500명으로 이는 가구수로는 에콰도르 평균 가구수 3.65명(2012년 기준)¹⁹⁾으로 나누면 약 411가구로 산출되었으며 이에 가구당 복지 증진 편익은 아래와 같이 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned}
& \text{산출식} = \text{총 수혜 가구수} \times \text{가구당 복지증진 편익} \\
& = 411\text{가구} \times \text{US\$30.26/month} \cdot \text{가구} \times 12 \text{ months/year} \\
& = \text{US\$149,242/year} (\text{US\$2,984,846 달러(20년)})
\end{aligned}$$

3. 비용-편익 비교 (balancing)

2011년에서 2014년까지 KOICA가 투입한 총 사업비 1,000만불에 대해 전환계수를 적용하여 국경가격으로 전환한 비용이 총 US\$7,356,260로 산출되었음을 앞서 IV.2.3 총비용산정<표 2-7 참고>에서 설명한 바 있다.

또한 동사업의 준공일로부터 종료일까지(2015년~2034년) 수원국이 부담하는 연간 \$92,000의 유지관리비용을 추가하여 총 비용을 산출하였으며, 사업 실행에 따른 주요 경제, 환경, 사회적 편익에 대해 할인율 8%를 적용하여 비용-편익을 분석한 결과, 본 태양광 사업을 통해 약 378만불의 NPV와 B/C값 1.46가 도출되었다.

투입비용에 직접적인 편익²⁰⁾에 기여하지 않은 홍보관 건립이나 국내초청연수 등이 포함되어 있고, 전력보급에 따른 사회 경제적 효과 관련 미반영 요소가 많으며, 기타 <표 2-3>에 제시된 비정량화된 요소가 다수 존재하는 점 등을 감안한다면 비용대비 편익은 더욱 높다고 할 수 있다.

결론적으로 동 사업은 NPV가 0보다 크고, BC율이 1.46로 국내 공공사업 최소 편익/비용 비율 1을 상회함에 따라 사업 추진의 경제적 타당성은 충분한 것으로 평가된다.

16) 갈라파고스는 도서지역으로서 전력 보급에 대한 편익이 통상 농촌지역 전력보급과 유사하다는 가정하에 이를 활용하고자 한다.

17) 페루의 가구당 전력편익 중 오염물질 저감효과는 앞장의 환경적 편익 계산시 적용되므로 이는 제외한다.

18) 에콰도르와 페루의 1인당 GDP(페루 US\$ 5,727, 에콰도르 US\$5,997), 전력가격(페루 평균 전력가 7.92 cents/kwh, 에콰도르 8.13 cents/kwh)등이 유사하고 오히려 에콰도르가 다소 높아서 페루 사례 적용에 무리가 없다고 판단된다.

19) The World Economic Factbook(2014) (http://www.euromonitor.com/medialibrary/PDF/Book_WEF_2014.pdf)

20) 동 연구에서는 정량적으로 분석이 가능한 편익(경제적, 사회적, 환경적)에 한해 직접적인 편익에 포함시킴.

4. 민감도 분석

경제성 평가는 risk 분석을 위해 민감도 분석을 하는 이유는 비용 편익 계산에 많은 불확실성이 내포되어 있어, 투자비나 경제성에 변동을 미치는 중요 변수 (할인율, 공사비 등)에 대해 일정량만큼 변화되었을 경우 경제성이 어떻게 변화되는지 파악하는 방법이다. 본 연구에서는 기본적으로 할인율 변화와 함께, 프로젝트 사업에서 다수 발생하는 투입사업비 증액 등의 변화 상황을 가정하여 간단히 민감도 분석을 수행한다.

○ 민감도 분석 결과

■ 할인율 변화시 (물가상승, 금리변동 등의 상황 고려)

- 할인율은 사업의 타당성 변동에 결정적인 변수이다. 할인율은 자본의 기회비용, 금리 등을 반영하여 산정되는데 향후 할인율 상승 가능성을 감안하여 8%, 10%, 13% 등으로 단계적으로 상향 증가를 통해 B/C 율의 변화값을 확인한 결과, 각각 1.46, 1.28, 1.08로 1이상 값으로서 변화의 폭도 비교적 일정함으로 할인율 최대 상승치에도 사업 타당성에 영향을 주지 않는 것으로 분석된다.

할인율	8%(현기준)	10%(가정)	13%(가정)
B/C ratio	1.46	1.28	1.08

■ 공사비 변화시 (사업비 상승 등의 상황 고려)

- 사업 과정에서 예기치 않은 문제로 인해 사업비 상승은 빈번하게 일어난다. 특히 개발도상국의 사업은 해외사업의 리스크가 높기 때문에 추가적 사업비 상승은 언제든지 일어날 수 있다. 따라서 사업비 상승에 대해 최대 50% 증대되는 상황까지를 감안하여 민감도 분석하였으며, 그 결과 최대 50% 상승시에도 B/C율이 1 이상으로 유지되어 사업비 변동에 대해서도 리스크가 낮게 나타남을 알 수 있다.

할인율	735만불(현기준)	900만불(가정)	1,100만불(가정)
B/C ratio	1.46	1.22	1.01

5. 최종 summary

B/C(비용편익) 분석 결과, NPV는 총 378만불며, BC ratio는 1.46로서 NPV가 0보다 크고, BC율이 1보다 크므로 사업 추진의 경제적 타당성이 있는 것으로 분석 되었다. 본 경제적 타당성 부분과 함께 사업의 타당성 검토시 정책적, 기술적, 사회문화적, 지속가능성 등 다양한 타당성 요소를 종합 검토 후 무상원조 사업의 사업 시행 여부가 결정되어야 할 것이다.

아울러 본 경제성 평가 연구과정을 통해 에콰도르 태양광발전 건립사업을 통해 얻어지는 주요 정량 및 금전화된 사업성과(Impact)는 아래와 같이 간략히 정리될 수 있는데, 이는 무상 원조 사업에서 중요한 성과 관리 측면에서 사업 효과성을 수치적으로 증명할 수 있다는 점에서 타당성 분석을 통해 파생되는 매우 유용한 정보라고 할 수 있다.

1) 정책 및 경제적 편익

- 2034년까지 총 1,500명(가구수 약 411가구)의 주민을 대상으로 총 41,720 MWh의 전력의 안정적 공급
- 20년간 디젤 2,941,620 gal 절약을 통한 에콰도르 에너지 안보에 기여
- 정부의 중장기 정책인 “Zero Fossil Fuels for Galapagos” 정책 이행에 따라 기존 디젤발전에서 신재생에너지 발전으로 대체에 기여
- 기타 기존 에너지 관련 서비스의 비용 절감 등

2) 환경적 편익

- 동 사업을 통해 20년간 총 38,520톤의 이산화탄소 저감

- 해상 유류운반에 따른 유출사고 리스크 저감효과로서 연간 22만불의 편익을 20년간 발생(총 430 만 달러)
- 사업기간인 20년간 디젤 발전 대비 대기오염물질 저감 및 이에 따른 건강개선 등 환경 보건 효과(총 217 만 달러)
 - 20년간 NOx 및 HC(질소산화물 및 탄화수소) 166,850kg 감축
 - 20년간 PM(미세먼지) 8,342kg 감축
 - 20년간 CO(일산화탄소) 146,000kg 감축

3) 사회적 편익

- 수혜 가구당 년 363달러의 전력보급에 따른 사회적 편익이 발생하며, 20년간 총 298만 달러의 사회경제적 부가가치 발생

V. 결론 및 한계

본 연구는 에콰도르 갈라파고스 태양광발전소 건립사업을 대상으로 경제성 분석을 시도하였다. 본 사업대상지는 도서지역으로 태양광 설치단가는 높지만, 유네스코 보전지역의 생태환경 보호 및 전력 안정화 등 사회적 공공 편익이 매우 중요한 지역이다. 이에 향후 타 유사사업의 경제성 분석에서도 참고할 만한 사례로서 원조사업의 사업 담당자가 향후 실제로 비용편익 분석(Cost-Benefit Analysis)을 실시할 때 도움이 될 수 있도록 사례를 채택하여 연구하였다.

비용편익(B/C) 분석 결과, NPV는 총 379만 달러이며, BC ratio는 1.46로서 NPV가 0보다 크고, BC ratio이 1보다 크므로 사업 추진의 경제적 타당성이 있는 것으로 분석되었다. 사업의 주요 편익으로는 첫째, 에너지 절감 및 안정 등 경제적 효과(3,545 MWh)의 친환경에너지공급과 디젤연료 2,941,620 gal 절감, 둘째, 기후변화, 생태보전 등 환경적 효과(38,520 톤의 CO₂저감, 해양 유류사고 리스크 저감 효과, 대기오염물질 저감), 셋째 전력공급 등에 따른 사회경제적 효과(가구당 매년 298달러의 부가가치 창출) 등 3가지 편익이 도출되었다.

본 연구의 한계점으로는 첫째, 연구 범위에 기획단계에서 필요했던 문제 해결을 위한 다양한 대안분석 및 선정 과정이 생략되었다는 것이다. 이는 이미 사업 내용이 확정 및 종료된 사업을 대상으로 분석을 시행하였기 때문에 사업 내용은 확정된 것으로 가정하여, 비용과 편익 검토 과정을 중심으로 연구가 되었다. 따라서 실제 사업을 기획하는 담당자는 문제를 분석하고 다양한 대안을 검토하는 과정이 선행되어야 한다.

둘째는 편익 산정범위에 있어 금전화가 가능한 편익 외에 금전적으로 측정이 어려운 편익도 다수 발생한다는 점이다. 지역경제 파급효과, 태양광 공급사슬 강화효과 등의 편익들은 데이터 확보 및 관련 연구 부족으로 계량화를 하는데 한계가 있었다. 특히 동보고서에 적용한 대기오염물질 감소에 따른 사회적비용 산출을 위해 참고한 자료가 1999년 국내기준 자료로 에콰도르 현지구매력 등을 고려한다면 정확성이 다소 떨어질 수 있다. 하지만 이러한 한계점에도 불구하고 대기오염 감소에 따른 사회적 편익은 동 경제성분석에서 매우 중요한 요소이기 때문에 자료 확보가 용이하지 않은 상황에서도 객관적 근거를 바탕으로 편익을 금전화시킨 점은 사례연구보고서로서 활용가치를 고려했을 때 그 의미가 크다고 할 수 있다. 기타 이

외의 각종 파급효과가 다수 존재하지만 본 연구에서는 제외하였다. 에너지 등 공공 인프라사업의 경우 사업 시행에 따른 많은 공공적 직간접 효과가 발생하게 되는데 이를 계량화하는 것은 쉬운 일이 아니다. 전문적인 경제 분석 기법이 필요하고 관련 비용과 시간도 다수 요구된다.

그럼에도 공공사업은 사업자체만으로 재무적 투자 효과는 높지 않으나 국민 경제적 후생 증진효과가 큰 경우가 많아 이러한 편익산정이 적절히 되지 않을 경우 사업의 경제성이 높지 않을 수 있다. 특히 무상원조사업의 경우 사업의 수익성 보다는 사업에 따른 경제사회적 편익이 사업의 주요 목표이자 성과이므로 더욱 중요하다. 따라서 개발도상국 사업 관련 정성적 사업효과에 대한 편익측정 방법론을 다양하게 개발 및 축적하는 등 계량화를 위한 노력이 필요하다.

셋째는 개발도상국 사업 수행시 데이터 확보가 어렵고, 정보의 불균형성에 따른 관련 비용 발생이 높아 본 연구도 여러 대체 데이터를 활용하였다. 동 연구에서도 전력보급에 따른 해당 지역의 가구당 편익효과는 실제 수혜 주민을 대상으로 실시하여야 하나, 소요 시간과 전문 기법이 필요한 점 등을 이유로 세계은행의 연구를 활용하여 유사 국가인 페루의 기준을 적용하였다.

이러한 문제는 미국, 영국 등 선진국에 비해 각종 사회경제적 통계가 체계적이지 않고 부족한 데이터가 많고 관련 연구도 적다는 점에서 발생한다. 또한 사업지가 해외에 있어서 해당 국가의 정보를 확보하려면 추가적인 시간과 비용이 다수 요구된다. 이에 이러한 제약에서도 경제성 평가의 정확도를 일정 수준 이상으로 유지하면서도 사업 사이클 내 허락된 시간과 비용도 동시에 충족할 수 있도록 상호 절충하는 고민이 필요하다.

최종적으로 본 연구는 무상원조사업으로서 신재생에너지 사업을 시행 시 기획 단계에서 경제성 분석을 시행함으로써 재무적 타당성은 낮지만 많은 국가에서 정책적으로 요청하는 신재생에너지 사업에 대해 타당성과 사업 추진 근거(rational)에 대해 정량적으로 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 또한 사업의 효과(impact)를 정량화함으로써 국민 등 이해관계자에게 설명함으로써 원조사업의 책무성을 높일 수 있다는 점에서도 의미가 있다. 향후 유사 사례의 경제성 평가 시행 시 본 연구를 참고하여 경제적 타당성 분석이 더욱 내실화되기를 기대한다.

참고문헌

- 김동건. 1997. 『비용편익분석』. 박영사
- 김수덕. 2006. “신재생에너지 시스템 경제성 분석 프로그램 개발 및 적용방안 연구보고서”
- 부천시 창조도시사업단. 2013. 『공공건축 사업 타당성 분석 실무 매뉴얼』
- 안은영 · 김성용. 2005. “신재생에너지연구 경제성 평가 결과분석 및 평가지표 연구”, 한국신재생에너지학회
- 장하나 · 김수덕. 2005. “도시지역 전화사업과 신재생복합 전력시스템 보급의 경제성 분석”
- 한국환경정책평가연구원. 2000. 『대기오염으로 인한 사회적 피해비용』
- ADB. (2013).『Cost-benefit analysis for development : a practical guide』
- Economics and Development Resource Center. 1997. “Guidelines for the Economic Analysis of Projects.”
- Euromonitor International Ltd. 2014. “The World Economic Factbook.”
- _____. 2013. 『공기업 · 준정부기관 사업 예비타당성조사 수행을 위한 일반 지침 연구』
- KDI 공공투자관리센터. 2008. 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구 (제4판)』
- KOICA. 2011. 『에콰도르 갈라파고스 태양광발전소 건립사업 집행계획』
- KOICA · 도화엔지니어링. 2015. 『에콰도르 갈라파고스 태양광발전소 건립사업 PMC 용역업체 선정 사업종료보고서』
- Etkin D., 2000. “Worldwide Analysis of Marine Oil Spill Cleanup Cost Factors.”
Arctic and marine Oil Spill Technical Seminar.
- FEDS Notes. 2014, “The social discount rate in developing countries.”
- IRENA. 2014. “The Socio-economic Benefits of Solar and Wind Energy.”
- ITOPF. 2015. “Oil Tanker spill statistics.”
- Mark A. Cohen. 2010. “A Taxonomy of Oil Spill Costs, Resource for the future.”

- Morgan Anne Warpler. 2011. "Cost-Benefit Analysis of Installing Solar Panels of the Schnoor Armond Ranch."
- Rosalie Ruegg 외. 2011. "Guide for Conducting Benefit-Cost Evaluation of Realized Impacts of Public R&D Programs."
- Shakti, IFC international. 2014. "Diesel Generator: Improving Efficiency and Emission Performanc in India."
- Markandya, 1998 "The Indirect Costs and Benefits of Green house Gas Limitations." UNEP.
- WHO. 2003. "WHO guide to Cost-Effectiveness Analysis."
- World Bank. 2008. "The Welfare Impact of Rural Electrification: A Reassessment of the Costs and Benefits."
- World Bank Institute. 2001. "Economic Analysis of Investment Operations."