

도서지역 신·재생복합 전력시스템 보급의 경제성 분석 - 3개 도서지역 분석결과

장하나¹⁾, 김수덕²⁾

An Economic Analysis of Renewable Energy Hybrid Systems in the Off-Grid Islands

Hana Jang, Suduk Kim

Key words : 경제성, 신·재생에너지, 신·재생복합 전력시스템, CDM

Abstract : 본 연구는 현재 디젤발전기를 전원으로 사용하고 있는 도서지역에 신·재생에너지원의 조합으로 구성된 발전시스템 보급의 경제성 분석을 검토해 보았다. 분석 대상 도서는 에너지기술연구원의 풍속분포자료를 근거로 추자도, 거문도, 영산도를 선정하였으며, 풍속 그 외 일사량, 부하 자료는 부분적으로 실측된 자료를 바탕으로 재구성하고 시스템 구성 발전기들의 비용 자료는 해외 시장의 자료를 이용하였다. 분석을 위한 도구로는 도서지역에서 단독으로 운영되는 신·재생복합 전력시스템의 최적 설계 및 운영을 위한 프로그램으로 해외의 여러 곳에서 활용 중인 Homer를 사용하였다.

분석결과, 추자도와 거문도 지역에 신·재생복합 전력시스템을 도입할 경우에는 도서지역의 신·재생복합 전력시스템 보급이 경제적인 사업으로 나타났지만 신·재생에너지원인 풍속이 낮은 값을 가지는 영산도의 경우에는 신·재생복합 전력시스템의 보급이 디젤발전기만 운영할 경우보다 발전 단가를 높인다. 즉, 신·재생에너지원이 조건에 맞을 경우에는 도서지역의 신·재생복합 전력시스템 보급이 경제적인 사업이라고 볼 수 있지만 영산도의 경우와 같이 그렇지 않을 경우엔 기존의 시스템보다 발전단가를 높일 수 있으므로 도서지역에 대한 충분한 모니터링을 거친 후에 부지를 선정해야 한다.

1. 서론

현재 우리나라 도서 지역 주 전원인 디젤발전시스템의 경우 환경 문제를 유발시키며 육지로부터의 디젤 연료의 수송비용이 발전비용에 포함되고 있어 발전단가를 높이고 있다. 따라서 도서 지역에는 초기 설치비는 높지만 운전 유지비가 거의 들지 않아서 가변비용측면에서의 발전단가가 저렴한 풍력, 태양광 등의 신·재생에너지 전원간의 결합 방식인 복합 전력시스템의 보급을 고려해 볼 필요가 있다.

선진국의 도서지역 신·재생에너지 보급현황을 살펴보면 프랑스의 도서지역은 디젤발전을 이용하고 있어 내륙 지역에 비해 발전단가가 3배 정도 높아 문제가 되고 있다. 이에 공영전력회사는 발전단가가 저렴한 신·재생에너지를 이용하는 발전시스템을 장려하고 있다. 영국의 도서지역은 디젤, 가스터빈, 풍력 발전과 이들 설비들이 조합된 복합 전력시스템이 보

급되어 있으며, 온실가스 경감 계획의 일환으로 디젤 발전에 풍력단지를 조성하는 계획을 세우고 있다. 호주의 원거리 유인도서는 개인소유의 디젤발전기를 본인비용 부담으로 설치하여 사용하고 있으며 신·재생에너지로는 풍력, PV, 수력, 바이오매스 등이 보급되어 있고, 온실가스 배출 감소를 위해 풍력 단지 계획을 추진 중에 있다. 일본의 도서지역은 디젤발전, 해저케이블에 의해 전원을 공급하며 미야코지마 섬의 경우 PV/디젤 하이브리드형 발전 시스템이 설치되어 있고, 덴마크는 재생에너지계획을 수립하여 환경에너지부의 지원을 받아 풍력발전, PV 보급에 힘쓰는 등 주요 선진국에서의 신·재생에너지를 이용

1) 아주대학교 대학원 에너지학과 석사과정 4학기

E-mail : hanate180@ajou.ac.kr
Tel : (031)219-2698 Fax : (031)219-2969

2) 아주대학교 대학원 에너지학과 부교수

E-mail : suduk@ajou.ac.kr
Tel : (031)219-2689 Fax : (031)219-2969

한 도서지역 전화 사업이 주목된다.

본 논문에서는 우리나라 도서에서 전원으로 활용 중인 디젤발전시스템과 신·재생에너지 전원간의 결합 방식인 복합 전력시스템 보급의 가능성을 경제적인 측면에서 평가해 보았다. 분석 지역은 에너지기술 연구원의 평균풍속분포와 풍력에너지밀도를 근거로 500호 이상 도서인 추자도, 거문도와 500호 미만 소규모 도서인 영산도를 선택하였다. 분석 도구로 이용한 Homer(Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)는 신·재생복합 전력시스템의 최적 설계 및 운영을 위한 시뮬레이션 프로그램으로 계통이 연계되지 않은 지역의 복합 전력시스템 도입에 대한 최적 시스템 설계와 경제성 분석 등에 유용한 분석 도구로 해외의 여러 곳에서 이용하고 있다.

본 논문은 현재 우리나라 도서지역에서 사용하고 있는 시스템의 현황과 향후 적용 가능한 시스템들을 살펴보고, 분석에 사용된 모형과 관련 자료를 살핀다. 그 다음 대상 지역으로 선정된 추자도, 거문도, 영산도에 대한 분석결과를 기존의 시스템과 비교해 봄으로써 복합 전력시스템의 보급 타당성을 점검하였다.

2. 국내 현황과 도서지역 적용 가능 시스템

현재 도서지역에 주로 보급되어 있는 디젤발전시스템은 수입 연료인 디젤을 사용하고 있는데다가 내륙에서의 수송비용이 도서지역의 발전 비용에 암묵적으로 포함되고 있어 발전단가를 높이고 있으며³⁾ 도서지역의 전력사업을 정책성 지원의 측면에서 추진하였기 때문에 보조금 지원을 포함하여 300원/kWh이라는 높은 발전 단가가 책정되어 있다.⁴⁾

현재 도서지역에서 사용하고 있는 시스템의 현황과 향후 적용 가능한 시스템들을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 디젤발전기는 국내 대부분의 도서지역의 전원공급용으로 설치되어 있으며, 국내기술로 자체 제작 및 보급이 이루어지고 있다. 500호 이상 도서의 디젤발전기 설치내역을 보면 주로 500kW 규모의 디젤엔진발전설비인 것으로 나타났으며, 최근 들어 1,500kW 규모도 설치되고 있다. 둘째, 태양광 발전시스템은 일사량 조건이 양호할 경우 어디에서나 발전이 가능하며 우리나라의 경우 원격지 또는 벽지의 통신용에서부터 최근에는 고속도로의 가로등, 낙도의 등대, 도서의 전원용으로 그 용도가 급격히 늘어나고 있다. 셋째, 풍력발전시스템은, 에너지시범사업의 일환으로 제주 행원지역에 약 10MW 규모의 풍력발전설비가 건설되어 왔고, 일부 시험용 설비로 제주 지역과 무안 지역에 설치

되어 왔다. 최근에는 지역에너지사업, 민간사업의 활성화로 급속히 팽창하고 있으며 대규모 풍력발전단지 조성이 전국에서 활발히 이루어지고 있다.

풍력, 태양광, 소수력 등의 신·재생에너지와 자연에너지의 간헐적인 특성으로 인해 백업 형태로 디젤발전기가 포함된 시스템을 신·재생복합 전력시스템이라 정의한다. 신·재생복합 전력시스템은 풍력, 태양광 에너지를 이용할 수 있는 시간동안 디젤발전기에서 신·재생에너지로 교체함으로써 디젤 연료비를 줄여 운전 유지비용을 절감할 수 있으며, 신·재생에너지 기술의 사용으로 인해 신·재생에너지의 보급을 활성화 시키는데 기여할 수 있다. 이러한 신·재생복합 전력시스템은 전력망이 연결되어 있지 않은 농촌 지역에 펌프용 전원, 전원의 전력 공급과 소형 전력망, 도서 지역의 전원 공급, 국립공원 등의 다양한 형태로 적용되고 있으며, 도서지역에 전력을 연결시키지 않고도 전력을 공급할 수 있다는 장점으로 인해 해외의 여러 지역에는 신·재생복합 전력시스템을 보급 계획하고 있다.

3. 분석모형과 자료

3.1 절 분석모형

Homer는 일반 송배전계통과는 원거리에 존재하는 도서지역에 송전선로의 손실을 배제하기 위해 풍력, 태양광 등을 채택하여 도서지역에서 단독으로 운영되는 신·재생복합 전력시스템의 최적 설계 및 운영을 위한 시뮬레이션 프로그램이다. 미국의 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 개발된 최적화 모델로, 현재 전 세계에 배포되어 사용하고 있다. 최적화 과정에서 Homer는 다양한 방법으로 화석연료와 신·재생에너지원 설비들을 비교함으로써 시스템 구성들의 경제성을 비교, 분석한다.

경제성을 평가를 위해 초기투자비와 프로젝트 총 기간 동안의 고정 운영비와 발생하는 수입을 계산하게 되며, 이 값은 순 현재비용(NPC: Net Present Cost)로 나타내진다. 순 현재비용은 프로젝트 기간 동안 발생하는 모든 비용과 수입을 할인율을 사용하여 미래의 현금 흐름을 현재가치화한 것으로 총 비용에는 초기 설치비와 설비 교체비, 유지비, 연료비, 전

3) 현재 발전연료로 도서지역에 공급되는 디젤 단위 비용은 수송 거리에 무관하게 책정되어 있음.

4) SMP는 2002.8.1~2003.7.31기간의 시간대별 SMP가격과 수요량 자료를 이용하여 얻어진 52.901384원/kWh를 적용함.

력망으로부터 전력을 구입하는 비용이 포함되며 수입에는 계통에 전력을 판매함으로써 얻어진 수입을 포함한다. 또한, 프로젝트 기간 동안 모든 가격이 같은 비율로 상승하는 것으로 가정한다.

분석 결과에서는 순 현재비용 외에도 발전량 당 비용(LCOE: Levelized Cost of Energy)과 최적 설계 시스템의 연간 연료소비량, 이산화탄소를 포함한 오염물질 배출량이 계산되어진다.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann, tot}}{CRF(i, R_{proj})}$$

이 식에서 $C_{ann, tot}$ 는 연간 총 비용, i 는 이자율, R_{proj} 는 프로젝트 기간, $CRF(\cdot)$ 는 자본 회수율을 뜻한다.

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$\text{즉, } C_{NPC} = C_{ann, tot} \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N}$$

라고 나타낼 수 있다. C_{NPC} 는 프로젝트 수행 기간인 N 년 동안 매년 $C_{ann, tot}$ 을 불입한 후 이렇게 불입한 금액의 현재가치를 나타낸 것이다.

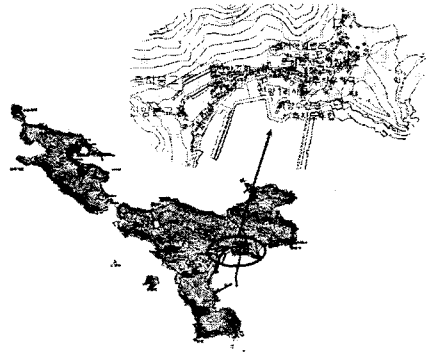
$$COE = \frac{C_{ann, tot}}{E_{prim} + E_{def} + E_{grid, sales}}$$

발전량 당 비용은 위의 방정식에 따라 계산되어지며, 여기서 E_{prim} 과 E_{def} 는 시스템이 연간 공급할 수 있는 각각의 초기부하와 저장 후 나중에 사용할 수 있는 지연부하를 나타내고, $E_{grid, sales}$ 는 연간 전력망에 판매할 수 있는 총량을 뜻한다. 즉, 발전량 당 비용은 신·재생복합 전력시스템에서 생산되어 사용할 수 있는 전력에너지의 kWh 당 평균 비용을 뜻하는 값으로 \$/kWh라고 나타낼 수 있다.

3.2 절 분석 자료

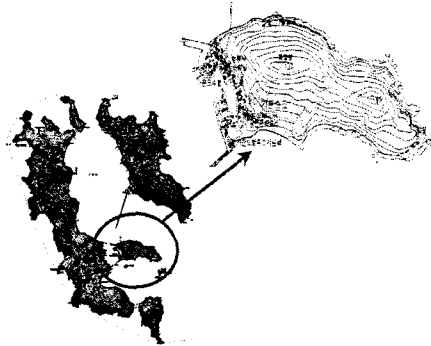
도서지역 신·재생복합 전력시스템의 가능성 평가 분석 대상 지역은 에너지기술연구원의 자료를 근거로 추자도, 거문도, 영산도를 선정하였으며, 세 도서 모두 각각 2,700kW, 2,300kW, 240kW 규모의 디젤 발

전기로 전원을 공급받고 있다. 다음은 분석대상 도서인 추자도, 거문도, 영산도의 상세지도를 나타낸 것이다.



[그림 1] 추자도의 하추자도

출처: 국토지리정보원(www.ngi.go.kr)



[그림 2] 거문도의 고도

출처: 국토지리정보원(www.ngi.go.kr)

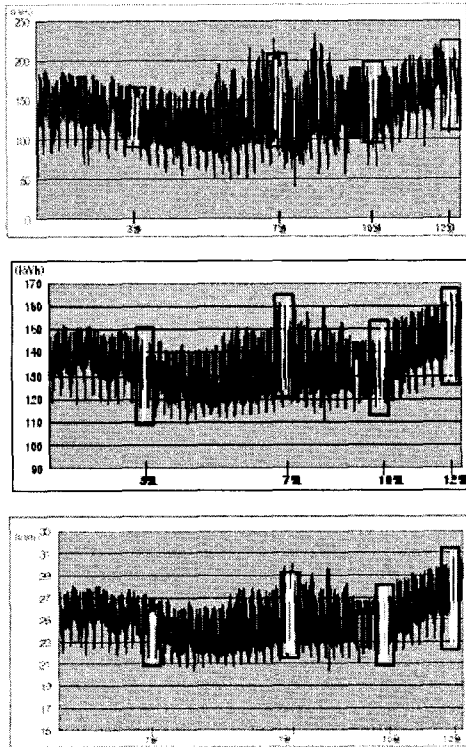


[그림 3] 영산도

출처: 국토지리정보원(www.ngi.go.kr)

분석을 위한 입력자료로 필요한 것은 연간 8760hr 시간별 부하와 월별 평균 풍속, 일사량, 디젤 연료가격, 발전설비 비용이다. 입력자료 중에서 부하를 살펴보면, 추자도, 거문도와 같은 대규모 도서의 경우 부하가 매우 크기 때문에 분석 도구인 Homer 에서의 한계로 인하여

전체 도서의 부하를 사용하는 것은 불가능하다. 따라서 복합 전력시스템 보급이 가능한 규모로 부하를 축소시켜 산출하였으며, 영산도의 경우는 도서의 규모가 작기 때문에 영산도의 부하를 그대로 이용하였다. 부하는 전국의 수요량을 정규화시켜 각 도서의 주중, 주말 8일의 시간별 실측 자료를 기반으로 각 도서의 시간별 부하를 추정하였다. 다음은 추자도, 거문도, 영산도의 계절별 주중, 주말의 8일 시간별 부하와 전국의 수요량을 정규화시켜 추정한 각 도서들의 시간별 부하자료를 비교한 것이다.



[그림 4] 각 도서의 실측 부하패턴과 재구성한 시간별 부하 비교
(상: 추자도, 중: 거문도, 하: 영산도)

주: 박스 안의 그래프는 각 도서의 실측 부하패턴이며, 박스 밖의 그래프는 재구성한 시간별 부하.

에너지원인 풍속, 일사량은 에너지기술연구원의 '풍력자원측정결과'에서 얻은 각 도서 지역의 실측 데이터를 기반으로 하여 추자도, 거문도, 영산도의 월별 평균 풍속, 일사량을 구하였다. 다음 표에서 나타난 것과 같이 추자도와 거문도의 경우 연간 평균 풍속이 7.05m/s, 6.12m/s인 것에 반해 영산도

는 연간 평균 풍속이 2.8m/s로 상당히 낮은 값을 확인할 수 있다.

<표 1> 각 도서별 월별 평균 풍속과 일사량

월	추자도			거문도			영산도		
	풍속 (m/s)	일사량 (kWh/m ² /day)	청명도	풍속 (m/s)	일사량 (kWh/m ² /day)	청명도	풍속 (m/s)	일사량 (kWh/m ² /day)	청명도
1	10.65	2.99	0.56	7.17	2.285	0.497	3.936	2.141	0.419
2	9.6	2.31	0.35	6.47	3.277	0.549	3.418	3.544	0.553
3	7.5	3.87	0.46	6.37	3.879	0.492	3.318	4.282	0.52
4	6.8	4.65	0.46	5.2	4.65	0.476	3.055	5.206	0.523
5	5.5	5.16	0.46	5.5	5.16	0.46	2.744	6.386	0.575
6	5.2	5.05	0.43	4.5	5.05	0.43	2.22	5.478	0.475
7	4.58	5.19	0.46	5.33	4.64	0.41	2.7	4.381	0.388
8	4.95	5.62	0.54	6.17	4.16	0.407	2.497	4.524	0.437
9	5.46	4.67	0.52	6.77	3.843	0.452	2.146	3.796	0.431
10	6.94	3.83	0.54	6.83	3.761	0.577	2.284	3.56	0.512
11	9.48	2.33	0.42	6.07	2.637	0.539	2.673	2.921	0.542
12	8.14	2.22	0.45	7.03	2.22	0.532	2.587	2.525	0.538

출처: 에너지기술연구원의 '풍력자원측정결과'

그 외 에너지원인 디젤 l 당의 연료 단가는 주요 도서지역의 연간 연료 소요량과 연료비 소요액을 기반으로 645원/l(\$0.645/l)⁵⁾을 이용하였으며, 복합 전력시스템의 발전설비 비용자료는 해외의 시장에서 사용하고 있는 비용을 이용하거나 또는 Homer에 있는 default 값을 사용하였다.

4. 분석결과

기존의 디젤발전기를 사용했을 경우와 신·재생복합 전력시스템을 보급했을 경우의 추자도, 거문도, 영산도의 분석결과의 차이점을 평가하기 위해서는 NPC, LCOE, 디젤 소비량, 이산화탄소 배출량을 비교해보아야 한다. 각 도서들의 디젤발전시스템과 복합 전력시스템의 비교는 다음과 같다.

5) Homer의 모든 비용은 \$US 를 적용하므로 \$1.00=1000원의 환율로 계산

**<표 2> 추자도 디젤발전시스템과
신·재생복합전력시스템의 비교**

시스템 구성	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	신재생 (%)	디젤 소비량 #/년	CO ₂ 배출량 톤/년
디젤 발전	4,314,437	0.335	0.0	397,873	1,047
분석 결과 I 5AOC 15/50 + 250kW Gen + 200 Batt + 100kW Conv	3,580,359	0.278	49.0	255,869	673
분석 결과 II 5AOC 15/50 + 250kW Gen + 600 Batt + 150kW Conv	3,661,627	0.284	52.0	225,214	593

주: 10kW PV : 10kW 용량의 태양광 모듈
250kW Gen : 250kW 용량의 디젤발전기
5 AOC 15/50 : 50kW 용량의 풍력 터빈 5기
200 Batt : 200kW 용량의 배터리
100kW Conv : 100kW 용량의 인버터

**<표 3> 거문도 디젤발전시스템과
복합전력시스템의 비교**

시스템 구성	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	신재생 (%)	디젤 소비량 #/년	CO ₂ 배출량 톤/년
디젤 발전	3,778,966	0.299	0.0	365,855	963
분석 결과 I 4 AOC 15/50 + 150kW Gen + 100 Batt + 100kW Conv	2,963,007	0.234	38.0	241,615	636
분석 결과 II 4AOC 15/50 + 150kW Gen + 100 Batt + 100kW Conv	3,042,479	0.241	39.0	239,497	630

주: 10kW PV : 10kW 용량의 태양광 모듈
200kW Gen : 200kW 용량의 디젤발전기
4 AOC 15/50 : 50kW 용량의 풍력 터빈 4기
100 Batt : 100kW 용량의 배터리
100kW Conv : 100kW 용량의 인버터

추자도의 분석결과 I 은 최소 비용의 복합전력 시스템으로 풍력 터빈이 포함되어 신·재생에너지의 비율을 49%까지 증가시키고 있다. 이것은 디젤발전기만 사용하였을 경우보다 풍력 터빈을 추가시켜 초기설치비용은 높지만 디젤발전기의 운전 시간을 풍력 터빈으로 교체함에 따라 디젤소비를 절감할 수 있다고 분석되었다. 분석결과 II는 NPC가 두 번째로 적게 드는 발전 설비들의 조합을 나타낸 것으로 PV 모듈을 추가하여 분석결과 I 보다 설치비용이나 LCOE는 높지만 디젤 소비량을 절감시켜, CO₂를 연간 593톤까지 적게 배출할 수 있는 것으로 분석되므로 LCOE의 감소보다 CO₂ 배출량 감소에 더 목적을 두고 있다면 시스템 설계 시에 PV가 포함되어 있는 시스템 조합도 고려해 보는 것이 가능하다고 생각된다.

거문도의 경우 역시 추자도와 마찬가지로 디젤발전시스템에 비하여 복합전력시스템인 분석결과 I, II가 디젤 소비량 절감을 가능하게 하여 LCOE를 감소시켜 주는 것으로 분석되었다.

**<표 4> 영산도 디젤발전시스템과
복합전력시스템의 비교**

시스템 구성	NPC (\$)	LCOE (\$/kWh)	신재생 (%)	디젤 소비량 #/년	CO ₂ 배출량 톤/년
50kW Gen	829,812	0.353	0.0	74,782	197
AOC 15/50 + 50kW Gen + 20 Batt + 20kW Conv	885,595	0.376	14.0	67,383	177

주: 50kW Gen : 50kW 용량의 디젤발전기
AOC 15/50 : 50kW 용량의 풍력 터빈
20 Batt : 20kW 용량의 배터리
20kW Conv : 20kW 용량의 인버터

영산도의 최적 시스템 결과는 디젤발전기가 선택되었으며, 풍력, 태양광 등의 신·재생에너지는 시스템 구성에 포함되어 있지 않다. 이러한 결과가 나온 이유는 추자도와 거문도의 경우 연 평균 풍속이 각각 7.06m/s, 6.12m/s로 비교적 높은 풍속이 나오는 데 반해 영산도 지역의 경우 연 평균 풍속이 2.8m/s에 불과하여 풍력에너지를 사용할 경우 초기설치비용은 높고 생산 전력량의 신·재생에너지 비율은 낮기 때문에 디젤발전기만 사용할 경우보다 LCOE가 높게 나타난다.

6. 결론

본 연구에서는 현재 계통이 연결되지 않은 지역으로 디젤발전기를 이용하여 전원을 공급하고 있는 도서지역 중 추자도, 거문도, 영산도를 선정하였고, 신·재생에너지를 보급하는데 있어서의 경제성을 최적 설계 운영 프로그램인 Homer를 이용하여 분석해 보았다.

500호 이상 도서인 추자도와 거문도에 대한 Homer의 분석 결과를 살펴보면 NPC가 최소인 신·재생복합 전력시스템은 기존의 디젤발전시스템과 비교하여 발전단가를 감소시켜 도서지역 신·재생복합 전력시스템 보급이 상대적으로 경제적인 사업임을 확인할 수 있다.

한편 소규모 도서인 영산도의 경우 연간 평균 풍속이 2.8m/s로 낮기 때문에 신·재생복합 전력시스템의 발전단가가 디젤발전기만 이용할 때의 단가인 \$0.353/kWh보다 오히려 상승한 값인 \$0.376/kWh로 분석되었다. 즉, 이러한 결과들을 통해서 풍속, 일사량 등의 신·재생에너지원이 조건에 맞을 경우에는 도서지역의 신·재생복합 전력시스템 보급이 경제적인 사업이라고 볼 수 있지만 영산도의 경우와 같이 그렇지 않을 경우엔 기존의 시스템보다 발전단가를 높일 수 있으므로 도서지역에 대한 충분한 모니터링을 거친 후에 부지를 선정해야 한다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 각 도서의 8,760시간의 부하와 풍속, 일사량을 정확한 실측 데이터를 이용한 대신 소수의 확보된 자료를 기반으로 재구성하였으며, 발전설비 비용 역시 우리나라의 자료를 이용한 것이 아닌 해외 시장의 자료를 이용했기 때문에 정확한 결과를 얻을 수는 없었다. 또한 기존의 디젤발전기는 전원 공급의 안정성 확보를 위해 상당량의 예비력을 갖고 있는데 반해 본 연구는 연구의 비용 최소 측면에서 고려하였다는 점이 향후 추가로 보완되어야 할 부분이다. 하지만 부하와 신·재생에너지원의 실측 데이터와 발전 설비 비용 자료를 확보하여 입력 자료에 보완하고 예비력을 고려해준다면 도서지역 신·재생복합 전력시스템 보급의 경제성을 좀 더 정확하게 분석할 수 있을 것으로 예상된다.

References

[1] 에너지기술연구원, “풍력자원측정결과 데이터베이스 시스템”, 2003.

[2] 한국전기연구원, “도서지역 전력수요예측 및 수급계획 수립방안 연구”, 2002.

[3] Bagul, A.D., Salameh, Z.M., Borowy, B., “Sizing of A Stand-Alone Hybrid Wind-Photovoltaic System Using a Three-event Probability Density Approximation”, *Solar Energy* 56, 1996, pp 323~335.

[4] Fortunato, B., Mummolo, G., Cavallera, G., “Economic Optimization of a Wind Power Plant for Isolated Locations”, *Solar Energy* 60, 1997, pp. 347~358.

[5] Hunter, R., Elliot, G., “Wind-Diesel System Options: A Guide to the Technology. Wind-diesel systems”, Cambridge University Press, 1998.

[6] Kamel, Sami and Dahl, Carol, “The Economics of Hybrid Power Systems for Sustainable Desert Agriculture in Egypt”, *Energy* 30, 2005, pp. 1271~1281.

[7] Khan, M.J., Iqbal, M.T., “Pre-feasibility Study of Stand-Alone Hybrid Energy Systems for Applications in Newfoundland”, *Renewable Energy* 30, 2004, pp. 835~854.

[8] Markvart, T., “Sizing of Hybrid Photovoltaic-Wind Energy Systems”, *Solar Energy* 57, 1996, pp. 277~281.

[9] National Renewable Energy Laboratory (NREL), “HOMER V.2”, 617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401-3393 (<http://www.nrel.gov/homer/>).

[10] Rehman, S., El-Aminb, I.M., Ahmada, F., Shaahida, S.M., Al-Shehrib, A.M., Bakhshwainb, J.M., and Shash, A., “Feasibility Study of Hybrid Retrofits to an Isolated Off-Grid Diesel Power Plant”, *Renewable & Sustainable Energy reviews*, 2005, pp. 1~19.

[11] Schmid, Aloisio Leoni., Hoffmann, Carlos Augusto Amaral., “Replacing Diesel by Solar in The Amazon: Short-Term Economic Feasibility of PV-Diesel Hybrid Systems”, *Energy Policy* 32, 2004, pp. 881~898.

[12] Wichert, B., “Development of a Test Facility for Photovoltaic-Diesel Hybrid Energy Systems”, *Renewable Energy* 22, 2001, pp. 311~319.