

## 새만금 부근 섬 지역에서 풍력-디젤 복합 전원 시스템의 경제 및 환경적 타당성에 관한 연구

서 현수<sup>1)</sup>, 장 세명<sup>2)</sup>, 김 은일<sup>3)</sup>

### Economic and Environmental Feasibility on the Wind-Diesel Hybrid Power System in an Island near Seamangeum Area

Hyun-Soo Seo, Se-Myong Chang, Eun-Il Kim

Key words : Hybrid power system(복합 전원 시스템), Wind-Diesel(풍력-디젤), HOMER

**Abstract** : This paper deals with the possibility on the hybrid power system concerning wind energy at a really existing island, Sunyoo-do in the west sea near Seamangeum. In the present stage, Diesel system produces all the electrical power of the island. However, in the new proposed system of Diesel and wind energy, an optimized guideline for drive from the economic analysis on this hybrid system is given by a mathematical and statistical modelling with a share software HOMER (hybrid optimization model for electric renewables). After a series of analysis, it has been shown that the hybrid system can reduce the total expenses as well as air pollution.

#### 1. 서 론

지구의 온난화 현상으로 인하여 환경보호에 대한 인식이 높아짐에 따라 태양열, 태양광, 풍력발전기, 연료전지 등 11개 분야의 대체 에너지에 대한 관심이 고조되고 이에 대한 연구, 개발이 한창이다. 풍력발전은 이미 유럽에서 활발하게 이용되고 있으며 독일, 영국 그리고 덴마크에서는 많은 양의 전력을 이미 생산하고 있다. 국내에서는 제주도, 영덕, 대관령, 새만금 등에서 풍력발전 실증단지 및 단지를 조성하여 운영을 하고 있다. 현재는 세계 각국에서 대체 에너지 중 효율이 가장 높은 풍력발전을 도입하려 하고 있다. 특히 전형적인 화석에너지원에 의존하는 전력 생산 비용이 상대적으로 높게 나타나는 도서 또는 산간벽지에서, 개인이나 중소기업이 소규모의 경제성 있는 풍력 단지를 운영하고자 할 경우, 독립 전원 혹은 디젤이나 소수력 등 타 전원과 연계되는 소형 풍력 발전에 대한 수요가 오래전부터 예견되어 왔다[1].

본 연구에서는 도서지역 hybrid system의 경제성 분석도구인 HOMER를 이용하여 도서지역 중

하나인 선유도 지역에 대한 pre-feasibility Test를 시도하여 보았다. HOMER는 다른 시스템의 구성, 혹은 구성요소의 조합을 가시화하기 위해 이러한 입력과 산출 결과를 사용하여 현재의 총 가격에 의해 이용 가능한 목록의 민감도를 해석한다.

#### 2. 대상 지역의 현 상황

- 분석 대상 지역 : 선유도
- 위도: 35도 0분 30초 정도: 126도 2분 15초
- 전라북도 군산시 옥도면 선유도리
- 인구 수 : 256호수 약 420명(선유도, 2001)

1) 군산대학교 공과대학 기계공학과 대학원  
E-mail : shser1002@hanmail.net

Tel : 010-8992-6288

2) 군산대학교 공과대학 기계공학부

E-mail : smchang@kunsan.ac.kr

Tel : (063)469-4724 Fax : (063)469-4727

3) 한국에너지기술연구원

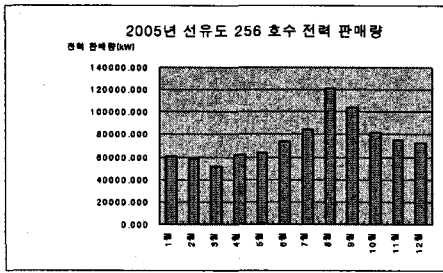


Fig. 1 2005년 선유도 전력판매량

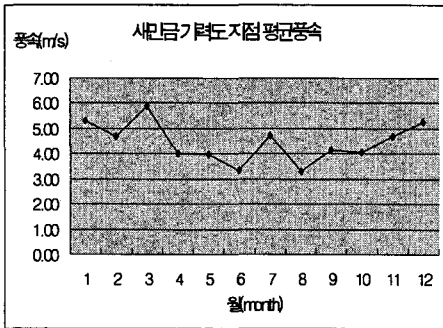


Fig. 2 새만금 가력도 지점 평균 풍속

- 전력 수요량 : 연간 판매량 909,022 kWh
- 대부분의 인구가 어업에 종사하며, 부하량은 일반 가정에서 발생하고 수요 부하량은 100% 공급하는 것으로 가정하고 현재 장자도에서 디젤 발전기로 발전하여 선유도에 공급하고 있다.

### 3. HOMER를 이용한 경제성 분석

#### 3.1 HOMER란?

HOMER(Hybrid Optimization Model for Electric Renewables)는 도서지역의 재생에너지 전원을 위한 복합 최적화 모델에서 비롯된 것으로 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 P. Lilienthal의 주도로 1994년에 개발된 이후 현재까지 지속적인 보완이 이루어지고 있는 소프트웨어이다. 전력시스템 설계 시 적용의 다양성을 위한 off-grid-connected, grid-connected 전력 시스템의 전력 분포를 위한 최적화 모델, 평가 설계의 일을 간소화한다. 또한 전력시스템 설계를 위해 다양한 기술을 선택하여 비교할 수 있고, 전력시스템의 경제적이고 기술적인 장점들을 평가하고 HOMER 프로그램에서 지원하는 많은 기술의 선택과 기술 가격의 변동 그리고 에너지 원천의 이용 가능성을 결정하는데 도움을 준다[2].

#### 3.2 모델링을 위한 기초 데이터

HOMER에 필요한 Hybrid System data는 다음과 같다.

Table 1. Generator Inputs

size (kW)	1.0
capital cost (\$)	1500
replacement cost (\$)	1200
O&M cost (\$/yr)	0.05
Generator Type	AC
Lifetime (operating hours)	15000
Minimum load ratio (%)	30
usage fuel	diesel

Table 2. Wind Turbine Inputs

Quantity	17기
capital cost (\$)	746450
replacement cost (\$)	622040
O&M cost (\$/yr)	12440
Lifetime (yr)	20
Hub height (m)	45

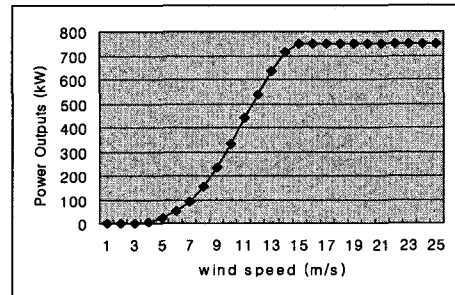


Fig. 3 NORWIN 47-ASR-750 kW 풍력터빈

- 시스템 구성 : 1차 부하, off-grid, 풍력터빈, 디젤 발전기, Battery, Converter

#### 3.2.1 1차 전력부하 (Primary Load 1)

- 1년 8,760시간의 시간대별 전력 수요량 data를 입력하면 시간별, 월별 부하분포를 다양한 형태의 그래프로 확인 할 수 있다.
- 연간 평균부하 : 2,490 kWh/d
- 연간 첨두부하 : 410 kW
- 부하율(Load Factor) : 0.253

한국전력공사 전북지사에서 공개한 2005년 선유도 전력 판매량은 Fig. 1과 같다[3].

#### 3.2.2 디젤 발전기

일반적으로 도서지역에서는 디젤발전기만으로 전력을 생산한다. 민감도 해석을 위해 Generator Inputs에서 가정한 값은 Table 1과 같다.

#### 3.2.3 Wind Resource

한국에너지기술연구원 풍력측정결과 시스템에서 1998년부터 1999년까지의 새만금 1공구(가력도 지점)의 1년 8,760 시간의 풍력 자원 data는 다음

**Table 3. Battery Inputs**

Quantity	1개
capital cost (\$)	1500
replacement cost (\$)	1400
O&M cost (\$/yr)	10.0
Minimum Lifetime (yr)	4

**Table 4. Converter Inputs**

size (kW)	1.0
capital cost (\$)	1000
replacement cost (\$)	1000
O&M cost (\$/yr)	100
Lifetime (yr)	15
Efficiency (%)	90

그래프와 같다. 1년 평균 풍속은 4.479 m/s 이고, 풍속계의 높이는 30 m, Weibull k 는 1.6, autocorrelation factor는 0.925, 최대 풍속은 13 m/s 이다. 풍력터빈의 높이가 45 m 임을 고려하여 Logarithmic Profile 을 이용하였다. 새만금 가력도 지점 평균 풍속은 Fig. 2 와 같다[4].

**3.2.4 풍력발전기**

풍력발전기 type은 NORWIN 47-ASR-750 kW 보급형이고, 풍속에 따른 전력생산량은 Fig. 3과 같고, 또한 민감도 해석을 위해 Wind Turbine Inputs에서 가정한 값은 Table 2와 같다.

**3.2.5 Weibull Distribution**

Wind Atlas Method의 기본 가정은 각 방향별 풍속의 발생분포는 Weibull 분포로 표현될 수 있음을 바탕으로 하며, 많은 관측 연구에서 교란되지 않은 유통의 풍속 발생 빈도는 Weibull 분포함수로 표현될 수 있음이 입증되었다. 지표의 시간별 풍속 데이터의 분포 함수는 위에서 설명되었듯이 다음의 Weibull 분포로 표현된다[5].

$$f(u) = \frac{k}{A} \left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{u}{A}\right)^k\right] \quad (1)$$

여기서 u는 풍속을 나타내고 Scale parameter A는 분포되는 풍속의 평균치와 관계하며, Shape parameter k는 로 분포된 풍속의 편차와 관계하는 상수이다. k의 값이 클수록 높은 속도 구간에서 높은 풍속 빈도를 가지며, 풍속의 정규분포는 넓게 분포하는 것을 의미한다.

$$f(u) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right] \quad (2) \text{여기서}$$

c와 k parameter는 평균 풍속과 관련이 있다. 독일과 덴마크에는 6000개 이상의 풍력터빈이 이 방법을 바탕으로 선정된 지역에 세워졌으며, 이 방법의 사용을 실제로 적용하기까지는 무수히 많은 관측 연구가 이루어져왔다.

**3.2.6 Battery**

시뮬레이션에서 사용한 Surrrette 4KS25P battery이고, 민감도 해석을 위하여 Battery Inputs에서 가정한 값은 Table 3.과 같다.

**3.2.7 전력 변환기**

Converter는 DC와 AC부하를 변환하기 위해 시스템에 필요하다. 민감도 해석을 위해 Converter Inputs에서 가정한 값은 Table 4.와 같다.

**3.2.8 HOMER 계산 이론**

HOMER에서는 복합발전 구성 시스템의 모든 비용을 계산한다.

표준 COE는 다음과 같이 계산한다.

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - c_{boiler} \cdot E_{thermal}}{E_{prim,AC} + E_{prim,DC} + E_{def} + E_{grid,sales}} \quad (3)$$

여기서

$C_{ann,tot}$  = 연간 시스템의 총 비용[\$/yr]

$c_{boiler}$  = 보일러 한계 비용[\$/kWh]

$E_{thermal}$  = 총 열량 부하량[kWh/yr]

$E_{prim,AC}$  = AC 1차 부하량[kWh/yr]

$E_{prim,DC}$  = DC 1차 부하량[kWh/yr]

$E_{def}$  = deferrable 부하량[kWh/yr]

$E_{grid,sales}$  = 총 grid 판매량[kWh/yr]

또한 총 순 현재비용(Net Present Cost)를 계산하는 식은 식(5)와 같다.

$$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})} \quad (4)$$

여기서

$CRF()$

= capital recovery factor [\$ /yr]

$i = \frac{i' - f}{1 + f}$  = interest rate [%]

$R_{proj}$  = project lifetime [yr]

$j$  = real interest rate

$i'$  = nominal interest rate

$f$  = annual inflation rate

**Table 5. 풍력-디젤 복합발전 결과**

시스템 구성	용량/수량 (kW/개수)	초기 투자 비용(\$)	총 순 현재 비용(\$)
풍력발전기	2기	2,187,900	9,563,724
디젤발전기	330 kW		
Converter	200 kW		
연간 전기에너지 생산비용			
디젤발전기: 724,848 (29%)			
풍력발전기: 1,743,941(71%)			

Table 6. 풍력-디젤-저장장치 복합발전 결과

시스템 구성	용량/수량 (kW/개수)	초기 투자 비용(\$)	총 순 현재 비용(\$)
풍력발전기	1기	1,831,450	5,319,618
디젤발전기	230 kW		
battery	360 kW		
Converter	200 kW		
연간 전기에너지 생산비율			
디젤발전기: 599,494 (41%)			
풍력발전기: 871,970 (71%)			

Table 7. 오염배출 물질

오염 물질	풍력-디젤	풍력-디젤-저장장치
CO2	930,566 kg/yr	542,842 kg/yr
CO	2,297 kg/yr	1,340 kg/yr
NOx	20,496 kg/yr	11,956 kg/yr

### 3.3 해석 결과 및 토의

서해안 도서지역의 재생에너지 복합발전원의 경제성 분석을 HOMER를 사용하여 시뮬레이션 해 보았다. 시뮬레이션 결과 연 평균 풍속 4.5 m/s 와 디젤가격이 리터당 0.7\$ 일 때의 시스템 구성은 750 kW 풍력발전기 2기, 디젤발전기 330 kW, Converter 200 kW 이고, 초기투자비는 2,187,900 \$, 총 순 현재 비용(Net Present Cost)는 9,563,724 \$ 이고, 에너지 발전 단가(Cost of Energy : COE)는 0.823 \$/kWh 이다. 만약 디젤발전기만으로 발전한다면 초기투자비용은 525,000 \$, 총 NPC는 10,046,014 \$로써 풍력-디젤 복합발전이 더 경제성이 있다는 것을 알 수 있다(Table 5).

또한 저장장치인 Battery를 추가하여 풍력-디젤-저장장치 복합발전을 한다면 시스템 구성은 풍력발전기 1기, 디젤발전기 230 kW, Battery 360개, Converter 200 kW 이고, 초기투자비용은 1,831,450 \$, 총 순 현재비용은 5,319,618 \$ 이다. 그리고 에너지 발전 단가는 0.458 \$ 이다. 디젤발전기만으로 발전했을 경우보다 초기투자비용은 높지만, 총 NPC는 4,726,396 \$ 로 약 2배가량 낮다는 것을 확인할 수 있고 발전단가는 2배로 줄어드는 것을 볼 수 있었다(Table 6).

그리고 지구온난화의 주범인 이산화탄소와 환경오염 물질 또한 복합발전을 함으로써 Table 7. 에서 확인할 수 있듯이 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

이로써 서해안 도서지역의 하나인 선유도 지역에 대해 복합발전의 경제성에 대한 민감도 분석을 해 보았다. 현재 디젤발전기만으로 발전하는 선유도에 풍력-디젤-저장장치 복합발전을 한다면 발전단가를 낮추고, 지구온난화와 환경오염을 예방하는 효과를 가져올 수 있어 경제성이 있다는 것을 확인할 수 있다.

### References

- [1] "신재생에너지시스템 경제성분석 프로그램 개발 및 적용방안 연구", 아주대학교, 산업자원부
- [2] "HOMER Web site", [www.nrel.gov/homer/](http://www.nrel.gov/homer/)
- [3] "선유도전력판매량", 한국전력공사 전북지사
- [4] "풍력자원측정 데이터베이스", 한국에너지기술연구원
- [5] P.S. Jackson and J.C.R. Hunt, "Turbulent Flow over a Low Hill" *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 101 929-955 Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge (1975)