

# HOMER 프로그램을 이용한 독립형 하이브리드 발전시스템 최적화

양수형\*, 부창진\*\*, 김호찬\*\*\*

\*제주대학교 풍력특성화 협동과정(tngud84@jejunu.ac.kr), \*\*제주대학교  
첨단기술연구소(boo1004@jejunu.ac.kr), \*\*\*제주대학교 전기공학과(hckim@jejunu.ac.kr)

## Optimization of Stand-Alone Hybrid Power Systems Using HOMER Program

Yang, Su-Hyung\* Boo, Chang-Jin\*\* Kim, Ho-Chan\*\*\*

\*Multidisciplinary Graduate School Program for Wind Energy, Jeju National University

\*\*Research Institute of Advanced Technology, Jeju National University

\*\*\*Department of Electrical Engineering, Jeju National University

### Abstract

Diesel fuel is expensive because transportation to remote areas adds extra cost, and it causes air pollution by engine exhaust. Providing a feasible economical and environmental solution to diesel generators is important. A hybrid system of renewable plants and diesel generators can benefit islands or other isolated communities and increase fuel savings. Renewable energy is, however, a natural source that produces a fluctuating power output. In this paper, hybrid power system of the marado lighthouse is proposed to supply stable power in the stand-alone hybrid power system. The proposed hybrid power system consists of the diesel generator, wind turbine, photovoltaic, fuel cell, and battery bank. To decrease the carbon emissions and find the optimization, the cost analysis of hybrid system is simulated using HOMER program and the optimized hybrid power system is designed.

Keywords : 독립형(Stand-alone), 탄소배출(Carbon emission), HOMER(Hybrid Optimization Model for Electric Renewable)

### 1. 서 론

계통 연결이 쉽지 않은 외지나 섬 지역에서  
주로 안정적인 전력공급을 하기 위해서 독립

전원으로 디젤발전기를 많이 사용한다. 그러  
나 섬지역과 같은 곳은 화석 연료를 공급하기  
어렵고 탄소 등 오염원을 배출하므로 많은 지  
역에서 자연환경을 활용하여 발전할 수 있는

투고일자 : 2011년 12월 21일, 심사일자 : 2012년 1월 10일, 게재확정일자 : 2012년 4월 26일  
교신저자 : 김호찬(hckim@jejunu.ac.kr)

풍력 및 태양광 등의 신재생에너지를 도입하려고 하고 있다. 그러나 신재생에너지를 활용한 발전시스템은 탄소배출을 크게 저감할 수 있으나, 날씨와 바람속도 등과 같은 외부 환경에 의존도가 크기 때문에 안정적인 전력공급이 힘들다. 따라서 환경측면과 안정성을 동시에 고려한다면 풍력, 태양광 등 신재생 에너지와 디젤발전을 포함한 하이브리드 발전시스템이 필요하다[1]. 국내외에는 많은 소규모의 독립형 하이브리드 발전시스템이 구축되어 있으며 유용하게 이용되고 있다. 그러나 부하에 필요한 전력을 공급하기 위한 다양한 발전원에 대한 적절한 용량산정과 효율적인 설계에 대해서는 많은 연구가 이루어지지 않고 있다.

HOMER(Hybrid Optimization Model for Electric Renewable)는 미국의 NREL (National Renewable Energy Laboratory) 연구소에서 개발된 신재생에너지를 포함한 하이브리드 발전시스템의 경제성을 분석할 수 있는 최적화 설계 소프트웨어이다. 이 프로그램에서는 하이브리드 발전시스템에 필요한 디젤, 연료전지, 풍력, 태양광 및 배터리 등을 쉽게 적용할 수 있으며, 다양한 범위의 발전 용량 및 다양한 변수들을 고려하여 최적의 발전시스템을 계산할 수 있다 [2-4]. 국내에서도 도서지역에서 신재생에너지를 포함한 하이브리드 시스템의 타당성 및 경제성 분석에 관련된 연구가 발표되었으나 실제 시스템을 대상으로 적용하지는 못하였다 [5,6].

항로표지관리소는 운항중인 선박에게 안전한 길 안내를 위해 등광, 전파 등 여러 표지를 운영하고 있으며 독립전원으로 운전하여야 하므로 소규모 하이브리드 발전시스템을 많이 사용하고 있다[7]. 전력 불안정으로 항로표지 시스템에 문제가 생기면 국내뿐만 아니라 국외의 운항중인 선박에 치명적인 위험이 될 수 있기 때문에 안정적인 전력공급이 무엇보다 중요하다. 따라서 도서지역에서

는 연료비 및 연료수송비와 탄소배출이 증가하는 단점을 갖지만, 전력 안정공급을 위해 디젤발전기를 백업(Back-up)으로 사용하고 있다 [8].

본 논문에서는 소규모 독립형 하이브리드 발전시스템을 구축하여 운영하고 있는 마라도 항로표지관리소를 대상으로 현재 구축되어 운영되고 있는 발전시스템의 기투자비용, 교체비용 및 운영과 유지비용을 합한 전체 비용을 산정하였다. 그리고 단순히 안정적인 전력공급을 위한 백업용으로 설치된 2대의 디젤발전기의 수와 가동시간을 감소시키기 위한 방법들을 고찰하도록 한다.

이를 위해 마라도 발전시스템에 풍력 및 태양광 등의 신재생에너지원 비율을 증가시키는 경우와 연료전지를 추가하는 경우의 발전시스템의 전체 비용 산정을 통한 경제성을 HOMER 프로그램으로 해석한다. 시뮬레이션 해석을 통해 기존의 독립형 하이브리드 발전시스템인 항로표지관리소와 도서지역에 환경적인 측면을 고려한 독립형 하이브리드 발전시스템의 최적설계 방법을 고찰한다.

## 2. 독립형 하이브리드 발전시스템 모델링

본 논문에서는 풍력 및 태양광 등의 신재생에너지원, 비상용의 백업시스템인 디젤발전기, 연료전지 및 배터리 뱅크를 포함한 독립형 하이브리드 발전시스템을 대상으로 하였으며 전체 발전시스템 계통도는 그림 1과 같다.

배터리 뱅크, 풍력발전기, 태양광발전, 연료전지는 DC 버스로 연결되어 있으며 인버터를 통해 AC 부하와 디젤발전기와 서로 연결되어 전력을 공급한다. 그리고 디젤발전기는 비상용으로 직접 AC 부하로 전력공급뿐만 아니라 배터리 뱅크 충전용으로 사용된다.

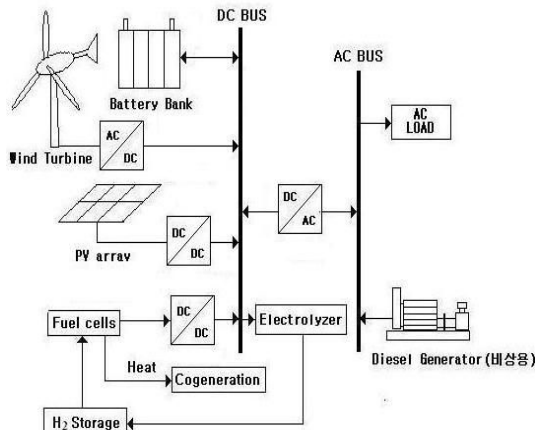


그림 1. 독립형 하이브리드 발전시스템 계통도

### 2.1 풍력발전

풍속  $v(t)[m/s]$ 으로부터 얻는 풍력발전기의 출력은 식(1)과 같다.

$$P_m(t) = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times (v(t))^3 \times C_p \quad (1)$$

여기서,  $\rho$ 는 공기밀도( $=1.225[kg/m^3]$ ),  $A$ 는 로터의 회전단면적 $[m^2]$ ,  $C_p$ 는 풍력발전기의 출력계수이다.

마라도 항로표지관리소에서는 BERGEY 사의 배터리 충전용 모델(BWC EXCEL)인 소형풍력발전기를 사용하고 있다. 시동풍속과 정격풍속은 각각 4[m/s], 12[m/s]이며, 파워커브는 Nema의 모델 [9]을 사용하였고, 그림 2와 같다.

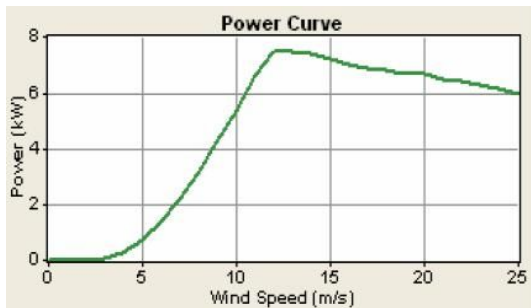


그림 2. 7.5kW BWC Excel 풍력발전기 파워 커브

### 2.2 태양광발전

태양광발전은 태양에너지를 전기에너지로 변환하기 때문에 탄소배출량이 적고, 수명도 최대 30년까지 사용이 가능하다. 하지만 높은 초기투자비용과 흐리고 구름이 많이 낀 날은 발전효율이 떨어지고, 밤에는 발전을 하지 못한다.

HOMER에서 사용하는 태양광 발전 출력은 식(2)와 같다.

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\overline{G_T}}{G_{T,STC}} \right) \quad (2)$$

여기서  $Y_{PV}$ 는 PV 어레이의 정격용량[kW],  $f_{PV}$ 는 PV derate 계수[%],  $\overline{G_T}$ 는 PV 어레이의 태양복사 $[kW/m^2]$ ,  $\overline{G_{T,STC}}$ 는 표준테스트 조건에서의 입사복사  $1[kW/m^2]$ 이다.

본 논문에서는 태양광 발전의 수명보다는 최대의 출력을 위해  $f_{PV}$ 의 계수를 100[%]로 설정하였다.

### 2.3 배터리

배터리의 최대 충전( $P_C$ )과 방전전력( $P_{DC}$ )은 다음과 같이 식(3)과 식(4)에 의해 계산된다. [10].

$$P_C = \frac{kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{(1 - e^{-k\Delta t}) + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (3)$$

$$P_{DC} = \frac{-kcQ_{max} + kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (4)$$

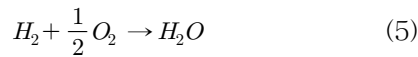
여기서,  $Q_1$ 은 배터리에서 이용 가능한 에너지 [kWh],  $Q$ 는 에너지의 총 용량[kWh],  $c$ 는 배터리의 용량비,  $k$ 는 배터리의 비율 $[hr^{-1}]$ ,  $\Delta t$ 는 시간변화율 $[hr]$ , 그리고  $Q_{max}$ 는 배터리뱅크의 총용량[kWh]이다.

HOMER에서는 배터리 뱅크의 충·방전 제어를 할 수 없으므로, 신재생발전기의 발전량

이 부하를 초과하거나 미만일 경우 우선적으로 충·방전을 한다.

### 2.4 연료전지

고분자 전해질형 연료 전지(Proton Exchange Membrane FC, PEMFC)의 기본적인 구조는 가스를 분리하도록 하는 고체막과 분리된 두 개의 전극(양극과 음극)으로 구성된다. 수소연료는 지속적으로 양극으로 공급되고, 공기는 음극으로 공급된다. 전체적인 화학 반응식은 식(5)와 같다[3].



연료전지 정격 출력  $P_{FC}$ [kW]일 때 수소 소비는 식(6)과 같이 계산되어진다.

$$HY_{FC} = \frac{P_{FC} \times 3600}{2 \times V_{FC} \times F} \quad (6)$$

여기서  $HY_{FC}$ 는 연료전지에 의한 수소 소비량 [ $mol/h^{-1}$ ],  $P_{FC}$ 는 연료전지의 출력전력[kW],  $V_{FC}$ 는 연료전지의 출력전압[V], 그리고  $F$ 는 패러데이상수이다.

연료전지는 신재생발전기가 충분한 발전을 하지 못할 경우와 배터리가 느린 속도로 방전을 할 경우 백업전력으로 사용된다.

### 3. HOMER 프로그램을 사용한 마라도 하이브리드 발전시스템 시뮬레이션

본 논문에서는 마라도 항로표지관리소의 독립형 하이브리드 발전시스템을 고려하였는데, 현재는 디젤·풍력·태양광·배터리를 사용하여 전기를 생산하고 있다. 디젤발전기는 충전용 40[kW]와 부하와 직접 연결된 비상용 20[kW]이며, 풍력발전기 7.5[kW], 태양광 발전기 35[kW], 배터리 뱅크(Battery Bank)가 700[kW], 그리고 부하는 AC 220[V]이다.

충전용 디젤 발전기의 가동 횟수는 연 2~3 회이고 배터리를 완전 충전하기 위해서는 2 일 동안 가동한다. 마라도 항로표지관리소에서 부하는 항로표지와 관리사무실에서 사용되는 것이다. 항로표지를 수행하기 위해 사용하는 주간전력은 제어반 1.2[kW]와 음과표지 1.5[kW]이고, 야간에는 등명기 1[kW]가 추가되어 전력을 사용한다. 관리사무실의 부하는 항로표지를 위한 부하를 제외하고 남은 전력을 최소한으로 사용하고 있다. 두 부하를 합하면 평균 AC 5[kWh]정도이다. 배터리뱅크는 날씨 등 비상시를 대비하여 6~7일정도의 전력을 공급할 수 있는 용량으로 설계되었다.

풍력발전기와 태양광 발전의 출력을 위해 풍속 및 일사량데이터를 기반으로 시뮬레이션을 했다. 총 부하는 관리사무실과 항로표지에 필요한 부하를 고려하였다.

#### 3.1 풍속 및 일사량데이터

풍속데이터는 한국에너지기술연구원의 신재생에너지 자원지도를 바탕으로 20[m]의 높이에서 마라도 웨이블 분포는 그림 3로 나타난다. 마라도지역 웨이블 분포의 척도계수와 형상계수는 각각  $c=7.57$ [m/s],  $k=1.86$ 이다 [11].

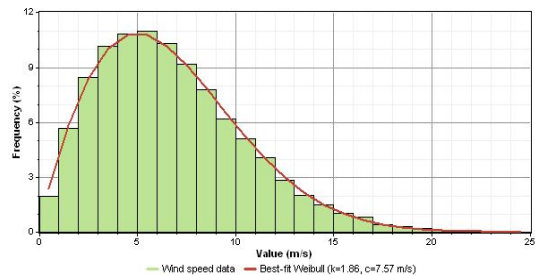


그림 3. 마라도의 풍속 웨이블 분포

일사량은 NASA Surface Meteorology and Solar Energy 홈페이지를 통해 그림 3과 같이 1년 동안 동경 126°12', 북위 30°06'의 마라도의 데이터를 사용하였다 [12]. 그림 4에서 마라도 일사량의 경우 4월부터 9월까지의 높

지만, 7월과 8월은 장마로 인해 청명도가 낮은 것을 볼 수 있다.

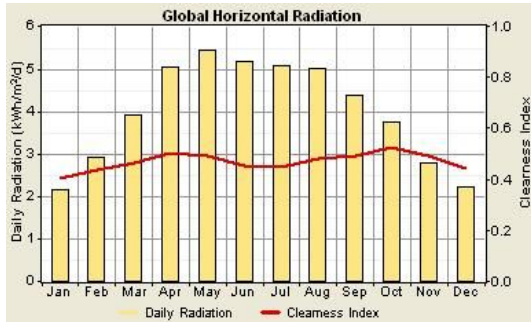


그림 4. 1년 동안 마라도의 일사량 및 청명도

### 3.2 부하

평균 5[kW/h]의 부하 모델은 항로표지에 관련된 기본부하와 일출·몰 시간에 따라 달라지는 등광을 고려하고, 관리사무실에 필요한 최소한의 부하를 포함하여 그림 5로 나타내었다. 항로관리표지소의 특성상 낮과 밤의 부하차이는 크지만, 일별 부하 변화의 폭은 크지 않기 때문에 일일 부하변동률은 1[%]로 설정하였다.

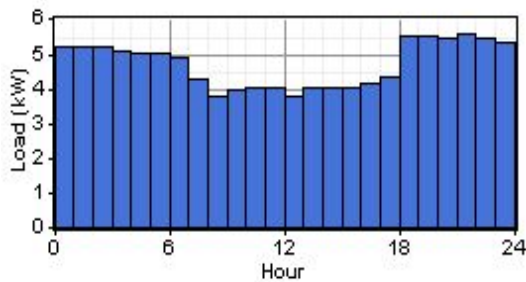


그림 5. 하루 시간별 부하 그래프

### 3.3 발전시스템 비용

HOMER 프로그램에서 경제성을 평가하기 위해 프로젝트 기간 동안의 초기투자비(Capital)와 교체비용(Replacement), 그리고 운영유지비(O&M)를 계산하여 경제성을 평가한다. 시뮬레이션을 위한 각 발전기별 비용과 용량은 표 1로 나타내었는데, 디젤, 태양광, 풍력발전기

는 [13], 연료전지, 수전해장치, 수소탱크는 [14], 배터리는 [4]와 시중가격을 비교하여 가격을 산정하였다.

표 1. 발전기별 용량에 따른 비용

발전기	용량 kW	초기 투자비 \$	교체비용 \$	운영 유지비 \$/yr
디젤	40	27,400	27,400	0.4
태양광	35	218,521	180,000	-
풍력	7.5	28,040	27,000	800
배터리	700	283,130	270,000	2.0
연료전지	1	4,337	4,000	0.2
수전해장치	1	11,220	10,000	100
수소탱크	1kg	66	66	-

디젤발전기와 연료전지의 운영유지비용은 1년간[yr]이 아닌 시간당[hr]으로 동작시간동안 계산되어진다.

### 3.4 발전기별 용량 고려사항

기존 발전시스템에서 신재생에너지의 비율을 증가하는 경우와 새로운 발전원으로 연료전지를 추가할 경우 경제성과 탄소배출을 비교하기 위해 표 2와 같이 각각의 용량을 고려하였다. 현재 구축되어 있는 마라도 항로표지관리소의 독립형 하이브리드 발전시스템에 용량변화는 크게 주지 않았고, 디젤발전기의 경우 가동률을 줄이기 위해 0[kW]를 고려하였다.

표 2. 발전기별 시뮬레이션을 위해 고려된 용량

발전기 종류	용량 kW
풍력	7.5, 15
태양광	35, 40, 45, 50
디젤 (충전용)	0, 40
디젤 (비상용)	0, 20
배터리	700, 840, 980
연료전지	0, 3, 5, 10
수전해장치	0, 3, 5, 10
수소탱크	0, 5, 10, 20

### 3.5 비용 최적화

본 논문의 목적은 독립형 하이브리드 발전 시스템의 경제성, 안정성, 환경적인 측면을 조건으로 비용을 최소화하도록 적절하게 설계를 하는 것이다[4]. 독립형 하이브리드 발전시스템의 전체 비용에 관련한 식은 (7)과 같다.

$$C_{SYSTEM} = C_{PV} + C_{WG} + C_{BAT} + C_{ELEC} + C_{FC} + C_{TANK} + C_{DIES} \quad (7)$$

여기서,  $C_{PV}$ 는 PV의 비용,  $C_{WG}$ 는 풍력발전기의 비용,  $C_{BAT}$ 는 배터리의 비용,  $C_{ELEC}$ 는 수전해장치의 비용,  $C_{FC}$ 는 연료전지의 비용,  $C_{TANK}$ 는 수소탱크의 비용,  $C_{DIES}$ 는 디젤발전기의 비용의 총합이다.

각 요소에 대한 비용은 다음 식(8)에 의해 결정된다.

$$C_i = N_i \times [CCost_i + RCost_i \times K_i + OMCost_i] \quad (8)$$

$i = PV, WG, BAT, ELEC, FC, TANK, DIESEL$

여기서,  $N_i$ 는 시스템 요소의 개수,  $CCost_i$ 는 초기투자비용,  $RCost_i$ 는 교체비용,  $K_i$ 는 교체개수,  $OMCost_i$ 는 시스템 운전을 통한 운영과 유지비용이다.

### 4. 시뮬레이션 고찰

HOMER 프로그램을 사용하여 얻은 시뮬레이션 결과는 표 3과 같다. 신재생에너지의 비율이 높은 독립적인 하이브리드 발전시스템은 배터리의 용량이 증가하면 초기투자비용이 너무 크게 발생하고, 혹시 모를 비상시를 대비하여 디젤발전기를 사용하는 것이 경제성과 안정성 측면에서 우수하다. 본 논문에서는 디젤발전기 2대를 사용하고 있는 항로표지관리소의 발전 시스템에서 발전 효율이 좋은 40[kW] 1대만을 고려하여 환경적인 측면도 고찰하였다.

표 3. HOMER 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과	초기 투자비 \$	연간 운영비 \$/yr	순 현재 비용 \$	디젤 연료 L/yr
디젤+디젤	570,791	21,736	848,655	1,908
+태양광	~	~	~	~
+풍력+배터리	617,651	23,061	912,453	2,320
디젤+태양광	588,308	20,366	848,657	801
+풍력	~	~	~	~
+배터리	613,717	23,420	913,108	885
디젤+태양광	610,362	21,181	881,127	1,137
+연료전지	~	~	~	~
+풍력+배터리	634,876	21,864	914,372	1,334

경제성 및 탄소배출 등을 비교해보기 위해 시뮬레이션 결과를 바탕으로 다음과 같은 3가지 경우를 고찰하였다.

Case-I은 마라도 발전시스템, Case-II는 마라도 발전시스템에 신재생 에너지 용량의 변화를 주었을 경우, 그리고 Case-III는 마라도 발전시스템에 연료전지를 추가하였을 경우이다. 시뮬레이션의 결과로 3가지의 최적 용량[kW]은 표 4에 나타내었다.

표 4. Case별 최적 용량 선정

	Case-I	Case-II	Case-III
디젤(충전용)	40	-	-
디젤(비상용)	20	40	40
태양광	35	40	35
풍력	7.5	7.5	7.5
배터리	700	700	700
연료전지	-	-	3
수전해장치	-	-	3
수소탱크	-	-	10

초기투자비용은 Case-I이 \$570,791, Case-II가 \$588,308, Case-III는 \$610,362이며, Case-I은 초기투자비용만 봤을 경우 가장 저렴하다. 발전시스템의 초기투자비용, 교체비용 및 운영과 유지비용을 합한 전체 비용은 Case-I이 \$848,655, Case-II는 \$848,657, Case-III는 \$881,127이며, 그림 6으로 나타내었다.

Case-II는 Case-I에 비해 초기투자비용이 크

지만, 태양광 발전용량 증가로 인해 디젤발전 가동과 시운전 횟수가 적어짐으로 연료비가 줄어들어 전체 비용이 비슷한 것을 볼 수 있다.

Case-I의 디젤 발전기가 2대이므로 1년 동안 연료비는 \$2,919로 가장 많이 든다. HOMER 프로그램에서는 디젤 연료비만 고려되는데, 디젤 발전기를 가동 할수록 연료 수송비가 추가로 증가하게 되고, 탄소배출량도 증가하게 된다.

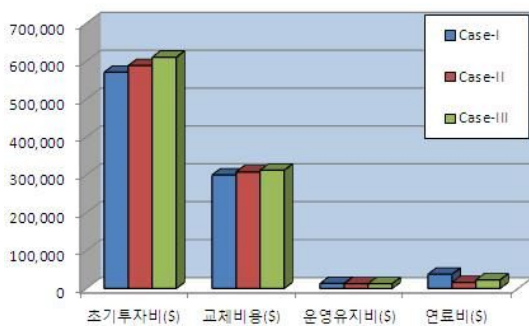


그림 6. 3가지 경우에 대한 비용

3가지의 경우에 대한 1년 동안 질소와 탄소 배출량[kg/yr]은 그림 7로 나타내었다..

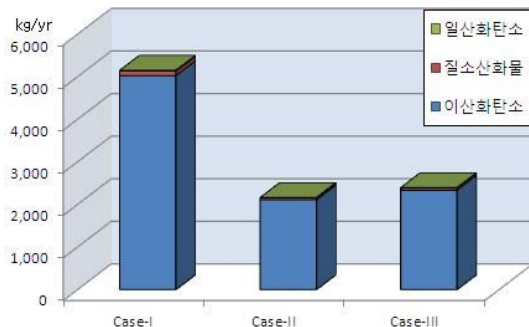


그림 7. 각 Case별 1년 동안 탄소배출량

Case-II는 Case-I과 탄소 배출량을 비교했을 경우 3000[kg/yr] 정도 줄어드는 것을 볼 수 있고, 연료전지를 추가한 Case-III 경우도 탄소 배출량이 Case-I에 비해 2000[kg/yr] 정도 줄어든다.

Case-III의 경우 비용이 가장 높지만 연료

전지를 사용하기 때문에 향후 폐열을 이용하여 난방용 온수이용이 가능하면 추가적인 발전 효율이 증가하지만, 경제성과 탄소 배출 감소를 고려하면 Case-II가 가장 최적이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 현재 운영되고 있는 마라도 항로표지관리소의 독립형 하이브리드 발전시스템을 대상으로 발전 비용을 산정하였고, 전체 발전 비용을 분석을 통한 연료비와 탄소배출량을 줄이기 위한 방법을 제안하였다. 이를 위해 HOMER 프로그램을 이용하여 신재생 에너지원의 용량 변화와 새로운 발전원인 연료전지를 추가한 경우에 비용과 탄소배출량을 계산하고, 기존의 마라도 항로표지관리소 하이브리드 발전시스템보다 초기투자비용은 증가하지만 연료비와 탄소배출량은 상당히 감소시킬 수 있는 독립형 하이브리드 발전시스템을 설계하였다. 향후 각 발전기별 실제 전력 출력량을 시뮬레이션 결과와 비교하여 연구를 진행하면, 탄소배출과 투자비용을 비교하여 최적의 독립형 하이브리드 발전시스템을 구성할 수 있을 것이라 기대한다.

## 후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2011-0012202)과 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업(NO.200940 20200020)의 지원을 받아 수행된 것입니다.

## 참 고 문 헌

1. A. M. O. Haruni et al., Dynamic operation and control of a hybrid wind-diesel stand alone power systems, in Proceedings of

- IEEE APEC, pp. 162-169, 2010.
2. S. B. Silva et al., Sizing and optimization photovoltaic, fuel cell and battery hybrid system, IEEE Latin America Transaction, vol. 9, no. 1, pp. 83~88, 2011.
  3. P. Bajpai et al., Sizing optimization and analysis of a stand-alone WTG system using hybrid energy storage technologies, International Conference on Energy and Sustainable Development: Issues and Strategies, pp. 1~6, 2010.
  4. A. Rohani et al., Modeling of a hybrid power system for economic analysis and environmental impact in HOMER, IEEE Electrical Engineering Iranian Conference, pp. 819-823, 2010.
  5. 장하나 외, 도서지역 신·재생복합 전력시스템 보급 타당성 분석, 자원·환경경제연구, 제15권 제4호, pp. 693 ~712, 2006
  6. 이탁기 외, 서해 도서지역의 풍력-디젤 하이브리드 발전에 대한 경제성 분석, 한국향해항만학회지, 제35권 제5호, pp. 381~385, 2011.
  7. 국토해양부, <http://www.mltm.go.kr>, 2011.
  8. 문희성 외, 국내 독립형 태양광발전시스템의 배터리 용량산정 비교분석, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp. 242-244, 2009.
  9. P. Nema et al., PV-solar/wind hybrid energy system for GSM/CDMA type mobile telephony base station, International of Energy and Environment, vol. 1, no. 2, 2010.
  10. Y. Tanoto, et al., Optimum configuration of stand-alone hybrid distributed generation: A case of eastern Indonesia, Electrical Engineering and Informatics, pp. 1~6, 2011.
  11. 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원데이터센터, <http://kredc.kier.re.kr/kier>, 2011.
  12. NASA Surface Meteorology and Solar Energy, <http://eosweb.larc.nasa.gov>, 2011.
  13. S. G. Baron, Developing Power Business Plan: Empowering the Bottom of the Pyramid, Master of Science in Natural Resources and Environment, University of Michigan, 2004.
  14. 박세준 외, HOMER를 이용한 가정용 태양광-연료전지 하이브리드시스템의 운전 최적화, 대한전기학회논문지, 59권 1호, pp. 129-133, 2010.