

# 서해 도서지역의 풍력-디젤 하이브리드 발전에 대한 경제성 분석

이탁기\* · 남용윤\*\* · 김재동\*\*\* · † 한정우

\* 경상대학교 조선해양공학과, 해양산업연구소, † ,\*\* ,\*\*\* 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부

## An Economic Feasibility Study of Wind-Diesel Hybrid Power Systems for an Island in the Yellow Sea

Tak Kee Lee\* · Yong Yun Nam\*\* · Jae Dong Kim\*\*\* · † Jeong Woo Han

\* Dept. of Naval Archi. & Ocean Eng., Gyungsan National Univ., Institute of Marine Industry, Tongyoung, 650-160, Korea  
† ,\*\* ,\*\*\* System Engineering Research Division, KIMM (Korea Institute of Machinery & Materials), Daejeon, 305-343, Korea

**요 약** : 본 연구에서는 최대 발전량이 500kW인 서해 도서의 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템에 대한 경제성 분석을 수행하였다. 이를 위해 해당 도서에 대한 연간 전력 부하 변동치와 바람 데이터를 수집하고 분석하였으며, 풍력을 포함하여 신재생 에너지에 대한 하이브리드 최적화 모델로 미국의 NREL에서 개발한 Homer 프로그램을 이용하였다. 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템의 경제성을 판단하기 위해 풍속과 경유 가격을 변수로 하는 민감도 해석도 수행하였다. 그 결과, 현재의 조건에서는 경제성이 낮았으나, 풍속이 초속 3미터가 넘거나 경유 가격이 리터당 2.4달러를 초과할 경우 대상지역에도 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템이 경제성을 갖는 것으로 평가되었다.

**핵심용어** : 경제성 분석, 풍력-디젤 발전, 평준화 발전단가, 민감도 해석, 풍속, 경유 가격

**Abstract** : In this paper, an economic feasibility study of wind-diesel hybrid power systems for an island in the Yellow Sea, where the maximum power generation is about 500kW, was performed. For the study, annual electric load variation and wind resource data of the island were collected and analyzed. HOMER program - a typical hybrid optimization model for electric renewables including wind resource, developed by the National Renewable Energy Laboratory - was used. Wind speed and diesel price were picked out as variables for the sensitivity analysis in order to find the economic accountability for the wind-diesel hybrid power system. As the result, even though it is not feasible economically under the present condition, if mean wind speed is over 3 m/sec. or diesel price goes up to 2.4 \$ per liter, the wind-diesel hybrid power system for the island becomes a prospective candidate.

**Key words** : economic feasibility, wind-diesel power system, levelized generation cost, sensitivity analysis, wind speed, diesel price

### 1. 서 론

우리나라는 3,350여개의 섬이 있으며 이중 사람이 거주하는 유인도는 482개 정도이다 (국토해양부, 2010). 또한, 한국전력공사 자료에 의하면, 유인도 중 디젤발전기를 이용하여 독립발전을 하는 곳은 2007년 기준으로 평균전력 200kW 이상인 곳만 백령도를 포함하여 16개에 이른다 (한국전력공사, 2010). 그리고 2007년 한 해 동안 16개 도서의 독립디젤발전을 위해 약 37,800 킬로리터의 연료가 소비되었는데 이는 국내 경유가격이 리터당 1,500원대이고, 도서지역 발전용 석유류가 면세대상임을 감안하더라도 약 386억원에 이르는 금액이 전기생산에 소요되는 것이다. 더욱이 매년 전기소비량이 늘고 있음을 고려하면 하이브리드 발전의 도입과 같은 장기적인 대책이 필요한 시점이라고 본다. 한편, 일반적으로 종래의 전통적인 발전시스템에 한 개 이상의 재생 에너지를 이용한 발전시스템을 연동시켜 전력

을 공급하는 경우, 이를 하이브리드 발전시스템이라 부르며 재생 에너지원의 종류로 구분하기도 한다. 풍력과 관련하여 세계적으로 가장 많이 이용되는 하이브리드 발전은 디젤엔진을 이용하는 풍력-디젤 발전과 태양광을 이용하는 광전지-풍력발전으로 알려져 있다 (황, 2009). 풍력 하이브리드 발전의 경우, 풍력터빈은 섬과 같은 독립 전력계통과 연계되는 것이 일반적이며, 또한 대용량의 중앙집중식 전력계통과 연계되는 경우에 비해 풍력발전 비중이 상대적으로 높은 것이 특징이다. 독립발전에는 디젤엔진이 많이 사용되므로 풍력-디젤 발전시스템이 풍력 하이브리드 발전의 대표적인 예라 할 수 있다.

최근 한국에너지기술연구원 (2007)은 풍력을 포함하여 태양열, 태양광, 바이오, 조력 등에 대하여 신재생에너지원별 기술수준과 경제성을 비교 분석한 바 있는데, 발전단가 등으로 환산한 생산원가 및 전망치를 제시하고 있다. 이에 의하면, 국내 풍력발전원가는 kWh당 118.52원 정도이며, 이는 전력산업

\* 연회원, tklee@gnu.kr 055)772-9193  
\*\* yynam@kimm.re.kr 042)868-7413  
\*\*\* jdkim@kimm.re.kr 042)868-7411  
† 교신저자 : 연회원, jwhan@kimm.re.kr 042)868-7432

에서 널리 사용되고 있는 평준화 발전단가 (levelized generation cost) 방식에 따라 연구원이 별도 산정한 것이다. 또한, 이 원가는 신재생에너지 발전차액지원제도에서 보장하는 기준가격인 107.66원보다 10.86원 높은 수준이다. 여기서의 풍력발전 기준가격은 2006년 개정, 발효된 '신재생에너지이용 발전전력의 기준가격 지침에 의한 것으로 기존 풍력발전설비의 사례분석을 통한 실제 전력생산비용에 기초한 발전원가를 근거로 하고 있다. 최근, 지식경제부에서는 107.29원/kWh로 고시하고 있다.

본 연구에서는 국내 도서지역을 대상으로 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템의 경제성을 분석하기 위하여 유인도 중 최대전력이 500kW에 가장 가까운 곳을 선정하여 발전자료와 풍속자료를 수집/분석하고 풍력을 포함한 하이브리드 발전시스템에 대한 설계를 목적으로 미국의 신재생에너지연구소 (National Renewable Energy Laboratory; NREL)가 개발한 프로그램인 'HOMER'를 활용, 경제성 분석을 수행하였다 (NREL, 2005). 이때, 최대전력에 대한 제한은 출력성능곡선을 이용할 수 있는 기 개발된 풍력발전기의 용량을 고려한 것이다. 또한, 풍속과 경유 가격을 변수로 한 민감도 해석을 수행하여 두 변수의 변화에 따른 경제성을 함께 검토하였다.

## 2. 경제성 분석 프로그램

본 연구에서는 미국 신재생에너지연구소인 NREL에서 1993년부터 개발을 시작하여 1997년 이후 공개된 HOMER라는 프로그램을 이용하였다. 이 프로그램은 'Hybrid Optimization Model for Electric Renewables'이라는 명칭에서 알 수 있듯이 풍력을 포함한 신재생에너지를 적용하는 하이브리드 시스템의 최적 모델을 찾기 위해 개발된 것이다. 이 프로그램은 풍력발전기, 태양광발전, 배터리, 디젤발전기, 마이크로터빈, 연료전지, 소규모 수력발전, 소형 모듈의 바이오매스 등을 개별 요소로 갖는 하이브리드 발전시스템을 구성한 후, 평준화 발전단가 개념과 유사한 kW당 에너지 비용 (cost of energy)을 상호 비교함으로써 최적의 시스템을 찾는 것이다.

HOMER는 에너지 균형, 시뮬레이션, 최적화 및 민감도 분석이라는 네 가지 핵심 개념을 구현하도록 만들어졌는데, 에너지 균형은 매시간 에너지 공급과 수요를 비교하여 디젤발전기나 배터리 등 단시간 내에 조정가능한 요소들을 어떻게 운용할 것인가를 결정하여 발전측면의 수급균형을 맞추는 것이다. 이를 위하여 전력수요와 풍속 등 에너지원에 대한 자료는 시간 단위로 준비되어야 한다. 또한, 시뮬레이션이란 가능성 분석과 비용 산출을 위하여 해당년도의 각 시간에 대한 에너지 수급균형 측면에서 시뮬레이션을 수행하는 것이다. 즉, 총 전력수요를 100이라 할 때, 바람이 좋은 시간대에는 풍력발전기가 90을 담당하고, 나머지 10은 디젤발전기를 가동하여 보충하도록 하며, 바람이 좋지 않은 시간대에는 반대가 되도록 하는 것이다.

최적화 개념은 말 그대로 하나의 하이브리드 발전시스템에

대한 최소비용 설계안을 찾아 가는 과정이다. 이는 예를 들어 디젤발전기 2대, 태양광발전 설비 1기 및 풍력발전기 1기를 대상 설비로 가정할 경우, 구성 가능한 조합을 4개 정도 (디젤발전기만, 디젤+태양광, 디젤+풍력, 디젤+태양광+풍력)로 설정하여 주어진 조건에 따른 각 조합의 최소비용을 산출하고, 이를 비교하는 것이다. 그리고 민감도 분석은 예를 들어 연료 가격 또는 풍속이나 이자율과 같은 외부 인자들의 변화에 대한 영향을 검토하는 방법으로 프로그램 내에서 수행 가능하도록 되어 있다.

## 3. 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템 구성

풍력-디젤 하이브리드 발전시스템은 풍력발전기 1기, 디젤발전기 2대이며, 부하조절을 위해 플라이휠 1대를 고려하였다. 풍력발전기는 750 kW급이며, Fig. 1에는 해당 발전기의 출력 성능곡선을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 풍속이 약 14 m/sec 이상일 때 정상출력에 도달하도록 설계되어 있다. 이 출력성능곡선은 한국기계연구원에서 실측한 값을 기준으로 만든 것이다.

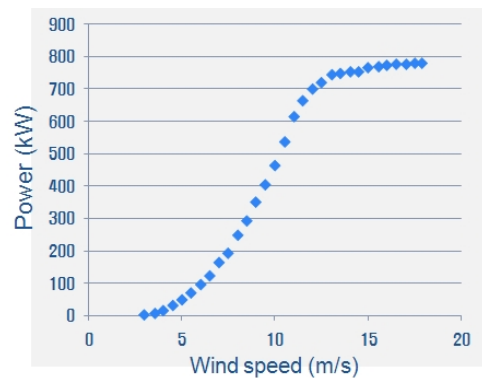


Fig. 1 Power performance curve of wind turbine

풍력발전기의 설계수명은 20년이며, 유지보수비는 연간 약 2만 달러 그리고 초기 투자비용은 플라이휠을 포함하여 110만 달러로 추산하였다. 여기서 플라이휠에 대한 투자비용을 포함한 것은 HOMER 프로그램 내의 장치 옵션에 플라이휠이 포함되어 있지 않기 때문이다. 또한, 풍력발전기의 초기 투자비용과 유지보수비를 각각 100만 달러 및 2만 달러로 추산한 것은 최근의 국내외 자료를 종합적으로 분석하여 결정한 것이다 (김, 2003; EWEA, 2003; 정, 2004; 채, 2004; 서 등, 2006; 박, 2008; EWEA, 2009; Shaahid, 2010). 이때, 미국 달러의 경우 평균 환율로 1,000원/USD를 적용하였으며, 유로화의 경우 1,368원/€ (2003년 평균) 및 1,200원/€ (2006년 평균)을 적용하였다. 750 kW급에 대해서는 한화 기준으로 최소 5.63억원부터 최대 13.1억원까지 분포하는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 참고문헌에 제시된 가격들의 산술평균에 10%를 더한 값을 기준 가격으로 책정하였다. 이는 본 연구에서 고려하고 있는 설치 위치가 도서 지역임을 고려한 것이다.

한편, 유지보수비는 초기 투자 비용에 대한 비율로써 다루는 것이 일반적이는데, 참고문헌 중 유럽풍력에너지 협회 (European Wind Energy Association) 자료에 의하면, 약 1.1% 수준이었으며, 국내 실적을 고려한 자료 (박, 2008)에 의하면 최저 2.0%에서 최고 2.5% 수준의 유지보수비를 제시하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 국내 최저 수준인 2.0%를 채택하였다.

디젤발전기는 400 kW 및 300 kW 각 1대씩 2대로 구성하였고, 투자비용은 400 kW 기준으로 6만달러로 추산하였으며, 유지보수비용은 연간 4천달러로 책정하였다 (Rehman 등, 2007; Hrayshat, 2009; Shaahid, 2010). 위의 참고문헌에 따르면, 400 kW급 디젤발전기에 대한 투자 비용은 최소 34,800달러에서부터 최고 72,000달러에 이른다. 본 연구에서는 풍력발전기 가격 추정과 동일한 방법을 적용하여 약 6만 달러로 추산하였다. 또한, 디젤발전기에 대한 유지보수비는 투자 비용 대비 최소 1.1%에서 최대 4.4% 수준이었다. 본 연구에서는 다수 보수적으로 약 6.7% 수준을 적용하였다. 한편, 디젤발전에 필요한 연료비는 리터당 1.5달러를 기준 가격으로 추정하였다.

#### 4. 대상 도서의 전력수요 및 바람자원 현황

대상 도서에 대한 전력 수요는 2008년도 전체 일별 발전현황 자료를 이용하였다. 대상 도서의 경우, 총 5대의 디젤발전기로부터 950 kW의 설비용량을 갖추고 있으며, 주중의 전력 수요가 적고 주말이 많은 전형적인 형태를 보이고 있다.

Fig. 2는 대상 도서의 발전현황을 최대전력, 최소출력, 순시 최대로 보여주고 있다. 여기서 최대전력 및 최소출력은 1시간 평균값, 순시최대는 1초 이하의 실시간 계측값이며, 최소출력은 발전기 운전에 있어서 각종 기본 장비들의 정상적인 작동을 위해 계통이 유지해야 하는 최저수준의 출력이다. 그림에서 1일 최대전력의 연중 최고값은 예상대로 무더위가 한창인 8월 9일 토요일이었으며 그 값은 610 kW (이 때, 순시최대값은 630 kW였음)를 기록했다. 그리고 1일 최대전력의 연중 최저값은 1월 8일 화요일과 1월 26일 토요일로 200 kW였으며, 1일 최소출력의 연중 최저값은 1월 8일 화요일에 기록된 139

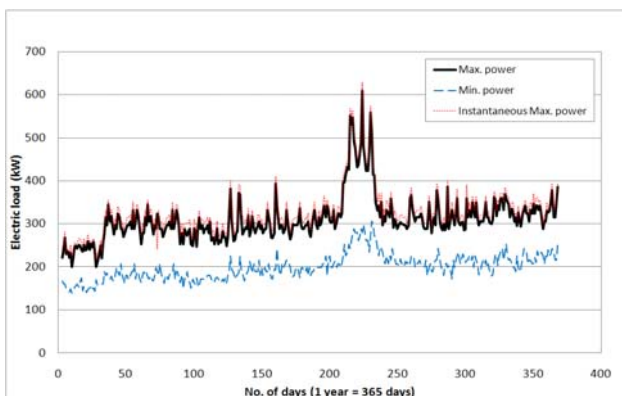


Fig. 2 Electric load variation of the island

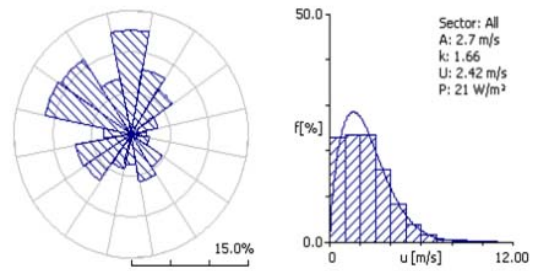


Fig. 3 Wind rose and Weibull distribution of wind speed

kW였다. 이와 같은 전력량 자료는 프로그램 내에 주부하 입력력으로 취급되며, 연간 자료가 없을 경우에는 1시간 단위로된 1일 자료만으로도 가능하도록 되어 있다. 1일 자료만 입력할 경우, 프로그램화되어 있는 각 계절별 전력 수요 특성을 고려하여 연간 수요를 추정하여 계산에 적용하게 된다.

한편, 대상 도서의 바람자원은 2008년 전체 자료를 기상청으로부터 구입하였으며, 여기에는 시간별 풍향 및 풍속을 포함하고 있다. 구입한 자료는 1년 365일 8760시간의 약 2.5%에 해당하는 222시간이 결측되어 있었는데, 이와 같이 결측된 구간은 유효한 방안으로 보간하여 처리하였다.

바람자료는 덴마크의 RisØ 연구소에서 개발한 유동해석 프로그램으로 바람자원 해석을 통하여 발전기 설치입지의 풍력 에너지 계산에 사용되는 프로그램인 WAsP (RisØ, 2010)를 이용하여 Fig. 3과 같이 그 특성을 분석하였다. 평균 풍속 2.42 m/sec.이고, 풍속의 와이블 형상 계수는 1.66 정도로 나타났다. 이때 풍향분포를 관찰하면, Wind rose의 2사분면인 북서풍이 전체의 50% 정도로 그 외의 남풍이나 동풍에 비해 비교적 많은 분포를 차지하고 있으나 한 방향으로 집중되어 있지 않고 분산되어 있어 풍향의 집중도가 떨어지는 경향을 보인다. 이는 풍향에 따라 너셀 회전을 구동하는 요 제어시스템이 없는 발전기의 경우, 전력산출량면에서 다소 효과적이지 못한 결과를 가져올 수 있다.

이러한 바람 자료 또한 1시간 단위의 자료로 HOMER 프로그램에 입력하여야 하는데 이때, 일반적으로 풍속 계측 높이에 비하여 풍력발전기의 허브 높이가 높은 점을 감안하여 보

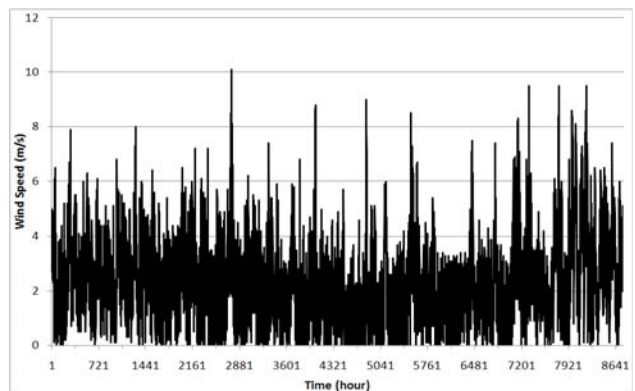


Fig. 4 Hourly data for wind resource inputs

정하는 과정을 거치게 된다. 참고로 750 kW급 풍력발전기의 허브 높이는 설치면에서부터 49 m이다.

또한, Fig. 4에는 연간 풍속을 시간축으로 나타낸 것인데, 전력 수요가 많은 여름철에 바람이 거의 없는 시간대도 있음을 알 수 있고 비록 최대 풍속이 측정된 시점은 4월 25일 경이지만 이는 돌풍과 같은 특이 현상에 의한 것으로 추측되며 대체로 풍속이 높은 계절은 겨울임을 알 수 있다.

### 5. 경제성 분석 및 민감도 해석 결과

고려 대상인 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템의 경제성을 분석하기 위하여 풍력발전기, 디젤발전기의 주요특성을 입력하고, 전력 수요 및 바람자원 데이터를 시간 단위로 연결시켰다. 주요한 경제성 인자 중에 연간 이자율은 6% 수준으로 정하였으며, 주요 시스템 구성을 Fig. 5에 보였다. 그림에서 알 수 있듯이 발전시스템의 조합은 2개이며, 하나는 디젤발전기 2대로 구성되고, 다른 하나는 디젤발전기 2대와 풍력발전기 1기의 조합이다.

초기에 주어진 조건 하에서 시뮬레이션을 한 결과, 디젤발전기 2대에 의한 발전단가는 kWh당 0.558달러, 풍력발전기가 조합된 하이브리드 발전시스템에 의한 발전단가는 kWh당 0.575달러로 디젤발전기 2대에 의한 것이 경제적으로 나타났다. 특히 Fig. 6에서 알 수 있듯이 풍력발전기에 의한 전력 공급은 계절별로 균등하게 분포하고는 있으나, 전체 발전량의 8.1% 수준(즉, 풍력발전 분담률)에 그쳐 그 활용성 또한 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 적용된 풍력발전기의 정격 성능이 약 14 m/sec.라는 상당히 높은 풍속에서 도달되도록 설계되어 있는데 비해, 이 지역의 평균풍속은 2.3 m/sec. 수준으로 매우 낮은 것이 주요 원인으로 판단된다.

특히, Fig. 7의 풍력발전기의 운용현황에 의하면, 연간 총 풍력발전시간은 8,195시간으로 긴 반면, 평균 출력은 22.7 kW로 정격 출력 750 kW의 3% 수준에 그치고 있음을 주목할 수 있다. 이는 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템에서 가장 중요하게 고려하여야 할 요소가 바람자원임을 명확히 보여주는 것이다.

또한, 평균풍속을 고정하고 연료비를 변수로 하여 민감도 해석을 수행한 결과 연료비가 리터당 2.4달러 이상일 때 하이브리드 발전시스템의 발전단가가 낮아지는 것으로 나타났다. 이 경우, 디젤발전기의 발전단가도 상승해서 kWh당 0.885 달러인 반면, 하이브리드 발전시스템의 경우는 kWh당 0.883 달러였다. 리터당 2.4달러라는 연료비는 우리나라의 석유 관련 세금체계를 고려할 때 산지 가격이 배럴당 약 120달러 선이면 도달될 수 있는 수준이다. 참고로 2008년 국제유가가 배럴당 150달러대에 육박했던 적이 있다.

한편, 풍속 및 디젤연료 가격을 변수로 하는 민감도 해석을 수행하였다. 그 결과, 연료비가 현재와 같이 리터당 1.5달러이고, 평균 풍속이 3 m/sec. 이상이면 풍력-디젤 하이브리드 발

전시스템의 발전 단가는 kWh당 0.541달러로 떨어져 경제성이 있는 것으로 나타났다 (Fig. 8참조). 참고로 대관령 지방의 평균 풍속은 약 3.5 m/sec. 수준으로 알려져 있다.

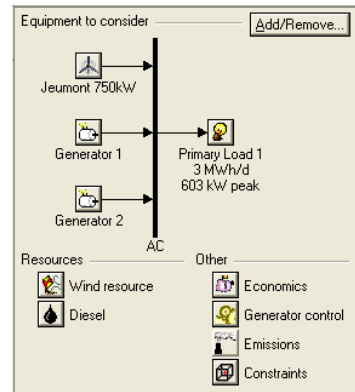


Fig. 5 Wind-diesel hybrid power system for the island

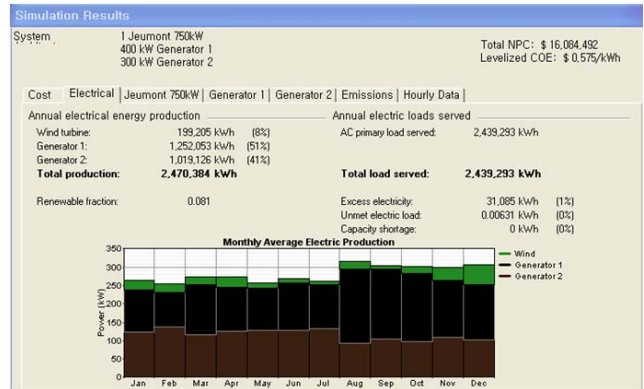


Fig. 6 Monthly average electric production

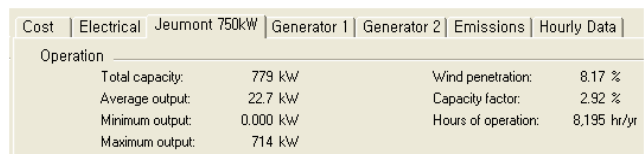


Fig. 7 Simulation result of wind turbine operation

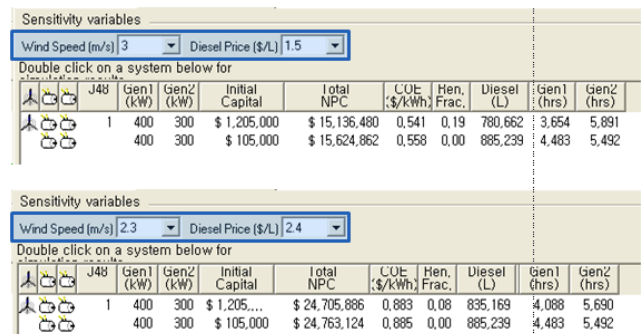


Fig. 8 Sensitivity analysis results in terms of wind speed and diesel price

## 6. 결 론

본 연구에서는 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템을 도서지역에 적용하고자 할 때 수행해야하는 경제성 분석 및 민감도 해석을 수행하고 그 결과를 검토하였다. 우리나라 서해지역에 위치한 유인도 중에서 중간정도 규모로 독립발전을 하고 있는 섬을 택하여 대상지역의 발전현황 및 바람자원을 수집하고 이를 분석하였으며, 이를 기본자료로 하여 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템을 적용, 경제성 분석을 수행하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 풍력발전기를 포함하는 하이브리드 발전시스템을 도입코자 할 때 대상지역의 바람자원에 대한 분석과 이에 적합한 풍력발전기의 선택이 중요하다. 일상적으로 바람이 불지만 평균 풍속이 낮은 경우, 이를 반영하여 낮은 풍속에서도 어느 정도의 출력성능을 갖춘 풍력발전기를 선정한다면 상당한 경제성을 확보할 수도 있을 것이기 때문에 기본적으로 평균 풍속이 높은 것도 중요하지만, 해당 지역의 바람 특성에 적합한 풍력발전기의 선정 또한 매우 중요한 사항이다.

(2) 본 연구에서 대상지역으로 선정한 섬의 경우, 연간 평균 풍속이 2.3 m/sec. 수준으로 낮은 편이었다. 그러나 평균 풍속을 변수로 한 민감도 해석 결과, 평균 풍속이 3 m/sec. 이상이면 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템이 디젤발전기만에 의한 전력생산시보다 kWh당 발전단가가 낮아져 경제성을 갖는 것으로 분석되었다.

(3) 또한, 풍속 조건을 고정하고 디젤발전이 소요되는 경우 가격을 변수로 수행한 해석 결과, 경유의 가격이 리터당 2.4달러 수준에 이르면 풍력발전기를 포함한 풍력-디젤 하이브리드 발전시스템이 경제성을 갖는 것으로 나타났다. 석유가격은 추세적으로 상승할 것이란 전망이 대세인 것을 감안하면, 향후 국내 도서지역에도 하이브리드 발전시스템의 도입을 적극 검토할 필요가 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 산업기술연구회의 지원으로 수행된 ‘지속가능 그린 발전 플랜트 기술 개발’ 과제의 연구결과 중 일부를 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

[1] 국토해양부(2010), 전국 무인도서 체계적 관리방안 마련, 보도자료 (1월 26일).  
 [2] 김성주 (2003), “풍황 조사 및 분석 방법의 고찰과 풍력발전시스템의 경제성 분석”, 전력전자학회 논문집, pp. 371-374.  
 [3] 박광진(2008), 풍력발전 개발 현황 및 경제성에 관한 연구, 한양대학교 공학대학원 전기공학전공 석사학위논문.  
 [4] 서현수, 장세명, 김은일(2006), “새만금 부근 섬 지역에서

풍력-디젤 복합 전원 시스템의 경제 및 환경적 타당성에 관한 연구”, 한국신·재생에너지학회 추계학술대회 논문집, pp. 277-280.  
 [5] 정재호(2004), “풍력발전산업의 경제성 및 정책적 과제”, 전력전자학회 논문집, pp. 506-510.  
 [6] 채윤근(2004), LEAP model을 이용한 풍력발전의 환경적·경제적 평가에 관한 연구, 연세대학교 대학원 화학공학과 석사학위 논문.  
 [7] 한국에너지기술연구원(2007), 신재생에너지 경제성 분석 (최종보고서).  
 [8] 한국전력공사(2010), www.kepco.co.kr  
 [9] 황병선 외(2009), 최신 풍력터빈의 이해, 도서출판 아진.  
 [10] European Wind Energy Association (2003), Wind Energy - The Facts, Vol. 2, Costs & Price.  
 [11] European Wind Energy Association (2009), The Economics of Wind Energy.  
 [12] Hrayshat, E.S.(2009) “Off-grid hybrid wind-diesel power plant for application in remote Jordanian settlements”, Clean Techn Environ Policy, Vol. 11, pp. 425-436.  
 [13] National Renewable Energy Laboratory(2005), Getting Started Guide for HOMER Version 2.1  
 [14] RisØ DTU National Laboratory for Sustainable Energy(2010), WAsP 10 Help Facility and On-line Documentation.  
 [15] Rehman, S., El-Amin, I.M. et al.(2007), “Feasibility study of hybrid retrofits to an isolated off-grid diesel power plant”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 11, pp. 635-653.  
 [16] Shaahid, S.M. (2010), “Economic feasibility of autonomous hybrid wind-diesel power systems for residential loads in hot regions: a step to mitigate the implications of fossil depletion”, Int. J. of Sustainable Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 121-132.

원고접수일 : 2011년 4월 29일  
 심사완료일 : 2011년 6월 17일  
 원고채택일 : 2011년 6월 21일