

목포해안지역의 10kW급 풍력과 최적의 태양광 복합발전시스템에 관한 연구

조동훈* · 배철오** · 박영산**

* 목포해양대학교 대학원, ** 목포해양대학교 기관시스템공학부

A Study on the Optimal Solar Power System for 10kW Wind Power in the Mokpo Seaside

Dong Hoon Cho* · Cherl O Bae** · Young San Park**

* Graduate School of Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

** Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 환경오염에 대한 관심이 높아지고 새롭게 고조됨에 따라, 에너지 관련해서도 대체에너지 이용에 관한 연구가 부각되고 있다. 신·재생 에너지라고 불리는 대체에너지는 무공해, 무한정의 다양한 자연에너지의 특성과 이용기술을 활용하여 화석연료를 사용하는 기존에너지를 대체하는 에너지이다. 이러한 대체에너지 중 풍력 및 태양에너지는 그 자원이 무한정이며 환경에 미치는 영향이 거의 없이 이용할 수 있다. 두 발전 시스템은 상호 보완적으로 연계된 발전시스템으로 통상적으로 조합되어 운용되어진다. 본 논문에서는 일정기간의 풍속, 풍향, 계절 등의 기상 조건의 변화에 따른 데이터를 분석하여 목포해안지역에서 경제적이고 효율적인 복합발전시스템의 적용가능성을 제안해 보고자 한다.

핵심용어 : 풍력발전시스템, 태양광발전시스템, 복합발전시스템, 대체에너지, 재생에너지

ABSTRACT : As the interest in environmental pollution increases, the use of renewable energy is uprising. Among the renewable energy resources, wind and solar energy have no environmental impact and they can be used as unlimited resources. The two power systems are mutual supplementary systems. So the two systems are usually combined for generation. We have measured several data about wind and solar. These data can be used the foundation data for the construction of wind and solar power generation plants. Also we analyzed the possible optimal solar power system for 10[kW] wind power.

KEY WORDS : Wind Power System, Solar Power System, Combined Generation System, Alternative Energy Renewable Energy

1. 서 론

신·재생에너지라고 불리는 대체에너지는 무공해, 무한정의 다양한 자연에너지의 특성과 이용기술을 활용하여 화석연료를 사용하는 기존에너지를 대체하는 에너지이다. 우리나라의 경우 대체에너지를 석유, 석탄, 천연가스가 아닌 11개 분야의 에너지로 지정하였으며 태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지를 포함하는 재생에너지 8개 분야와 연료전지, 석탄액화·가스화, 수소에너지를 포함하는 신에너지 3개 분야로 구성된다. 이러한 대체에너지 자원은 대부분 전기에너지로 변환되어 공급되어지며, 우리나라와 같은 에너지 자원의 부존량이 없는 국가에서는 전력발전의 기저부하를 원자력 발전에 의존하고 원자력 발전을 늘릴 계획으로 있으나 선진국들은 폐기물처리 및 방사능 유출사고에 의한

문제점으로 원자력에 대한 의존도를 줄이고 있으며 여러 가지 대체에너지원의 확보에 주력하고 있다. OECD국가의 에너지원별 이용률을 보면 원자력, 수력 등의 비중은 줄어드는 반면 총에너지에서 대체에너지가 차지하는 비중은 1993년 3.9[%]에서 2010년 4.7[%]로 증가할 것이다. 특히, 재생에너지 중 풍력, 태양광 등의 대체에너지 시장은 20~30[%]대로 급격히 성장 중이며, 장기적으로는 대체에너지가 화석연료 에너지원을 능가하는 주 에너지로 부상할 것으로 전망된다(원, 2002) 이러한 배경으로 풍력 및 태양광 발전의 기상조건과 운전특성을 고려한 풍력 및 태양광으로 구성된 복합 발전시스템의 연구개발이 추진되고 있다. 두 시스템이 일간, 연간으로 서로 상반된 기상특성을 가지고 있으므로 상호보완적으로 활용한다면, 에너지를 보다 효율적으로 이용할 수 있을 것으로 기대된다(유 등, 1997).

이에 따라 실험용으로 설치된 풍력 및 태양광 발전 시스템의 데이터를 수집하여 일사량, 온도, 풍속, 풍향 등의 기상조건의 변화에 따른 데이터를 비교 하여 목포해안지역에 적합한

*대표저자 : leon00@mmu.ac.kr, 010)3166-4012
**정회원, baeco@mmu.ac.kr, 061)240-7084
**정회원, seapark@mmu.ac.kr, 061)240-7090

복합발전 시스템을 제안해보고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 풍력 발전 시스템

풍력발전이란 바람을 이용하여 기계적인 동력으로 변환하고 이 기계적인 동력을 전기로 변환시키는 발전기에 사용하여 전력을 얻는 것을 말한다. 즉, 공기의 흐름이 갖고 있는 운동에너지의 공기 역학적인 특성을 이용하여 풍력터빈의 회전을 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고, 회전자는 발전기와 결합된 축을 회전시켜 기계적 에너지로 전기를 얻는 기술이다. (강, 2002)

1) 풍력발전 특성

Power는 바람이 갖는 에너지 총량이며 식(1)은 다음 식과 같다.(Randall etc., 1981)(Chen and Spooner, 2001)(정, 2003)

$$Power = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} (\rho VA) V^2 = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

여기서 $\rho[\text{kg/m}^3]$ 는 공기밀도를, $V[\text{m/s}]$ 는 풍속을, $A[\text{m}^2]$ 는 통과면적을 나타낸다. 풍차의 회전면적을 통과하는 바람이 가지고 있는 풍력에너지는 공기밀도 ρ 와 풍차의 회전면적 A 에 비례하고 풍속의 세제곱에 비례함을 알 수 있다.

Fig. 1은 일반적으로 풍력발전시스템의 출력특성모델을 나타내는 그래프이다.

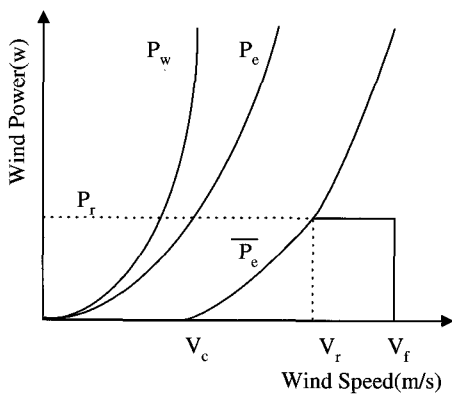


Fig. 1. Output of wind power system.

\bar{P}_e 회전자의 동력계수 및 발전효율 등을 나타내는 풍력발전시스템의 평균 풍력에너지이며 P_w 는 회전자에 의해 바람에너지가 기계적인 에너지로 변환하는 과정에서 동력전달계수 η_m 과 발전기의 효율 η_g 가 포함되어 식(2)와 같이 되며 실제 이용 가능한 출력 P_e 를 나타낸다(박, 2004).

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w = C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2)$$

Betz이론에 의한 이상적인 회전자에서 발생하는 에너지 P_e 는 P_w 에 0.59를 곱한 것으로 표현된다.(이와 신, 1984) 그러나 실제 풍력발전기의 기계적인 마찰 및 손실이 있기 때문에 풍속이 증가하여 회전자에 발생하는 토크(torque)가 기계적인 마찰 및 손실보다 크게 될 때 회전자가 회전하게 된다. 이때의 풍속을 시동풍속(V_c)이라 한다. 시동풍속 이후 풍속이 증가하면 풍력발전기의 출력이 정격출력(P_r)으로 되며 이때의 풍속을 정격풍속(V_r)이라 한다. 풍력발전기의 출력이 정격이 되면 그 이상의 풍속에서는 풍력발전기의 출력은 일정하게 유지한다. 정지풍속(V_f)에서는 풍력 발전기의 안전을 고려하여 풍력발전기의 운전이 중단되게 된다. 일반적으로 시동 풍속은 회전자의 내부 저항 등에 의해서 24[m/s] 정도로 되며 정지 풍속은 연간 출력과 구조강도에 의한 경제성을 고려할 때 통상 15~20[m/s]이다(정, 2003).

2.2 태양광발전시스템

햇빛을 받으면 광전효과에 의해 무한정, 무공해의 태양 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이다. 태양광 발전은 태양광을 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로 기본 원리는 반도체 PN접합으로 구성된 태양전지에 태양광이 조사되면 광에너지에 의한 전자, 정공 쌍이 생겨나고, 전자와 양공이 이동하여 n층과 p층을 가로질러 전류가 흐르게 되는 광기전력 효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용한 발전방식으로 태양광 발전시스템은 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module)과 축전지 및 전력변환장치로 구성된다.

Fig. 2는 태양전지의 등가회로를 나타낸 것이다.

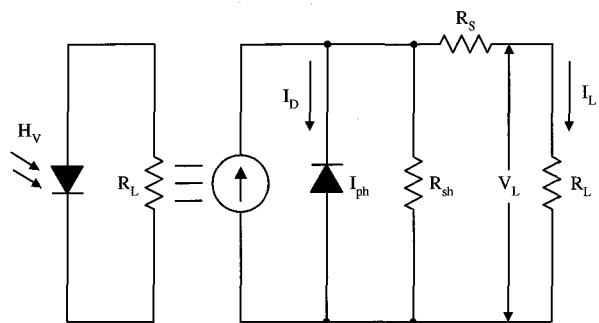


Fig. 2. The equivalent circuit of solar cell.

병렬저항은 무한대로 직렬저항을 0으로 가정하여 이상적인 PN접합 다이오드인 경우 태양전지의 부하에 흐르는 출력전류(I_A)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_A = I_L - I_0 \left(\exp \frac{qV}{nKT} - 1 \right) \quad (3)$$

여기서 I_L 은 광기전류[A/cm²], I_0 은 포화전류[A/cm²]를 나타낸다.(고,1999)

2.3 복합 발전시스템

복합 발전 시스템은 풍력발전기, 태양전지, 축전지 인버터 등이 주된 구성요소가 된다. 그 외에 각종 측정 입·출력 제어 및 부하 스위칭 설비 제어장치 등으로 구성된다. Fig. 3은 데이터 수집을 위해 설치되어 있는 복합발전 시스템의 구성도이다.

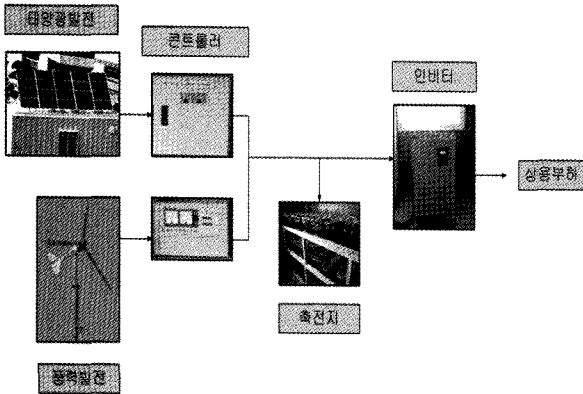


Fig. 3. Wind and solar combined power generation systems.

3. 데이터 분석 및 검토

본 연구에서 측정된 데이터는 2003년 5월부터 2004년 5월의 1년 것이며, 그 이후의 데이터의 경우는 실험장치의 설치 장소 이전 및 수리관계로 얻지 못하였다. 최근까지의 누적된 데이터가 있었으면 더 정확한 연구결과가 되리라 예상되지만, 2004년 이후 기후변화의 급격한 변동이 없어 1년간의 데이터를 통하여 최근의 발전 동향은 어느 정도 파악가능하리라 사료된다. 실험장치로 사용된 장비는 풍력발전기 10[kW]용량과 태양광 발전기 1[kW]용량이고, 이들로부터 얻어진 데이터를 분석 검토하여 보았다.

3.1 풍력발전시스템데이터

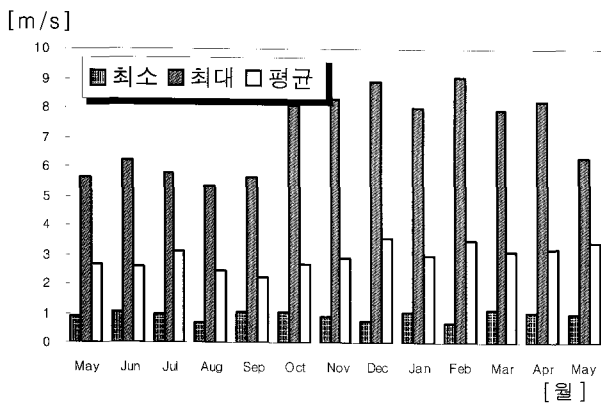


Fig. 4. Average wind speed.

Fig. 4는 풍속데이터를 측정하여 월별 최대, 최소, 평균풍속으로 나타낸 것이다. 평균풍속은 3.05[m/s]이며 여름철인 8월과 9월의 평균풍속 2.48[m/s]로 낮게 나타났으며, 12월에 평균풍속이 3.58[m/s]로 가장 높았고 겨울철인 10월부터 12월까지 최대평균풍속이 8[m/s]이상 나타났으며 평균풍속이 증가하는 것을 알 수 있다.

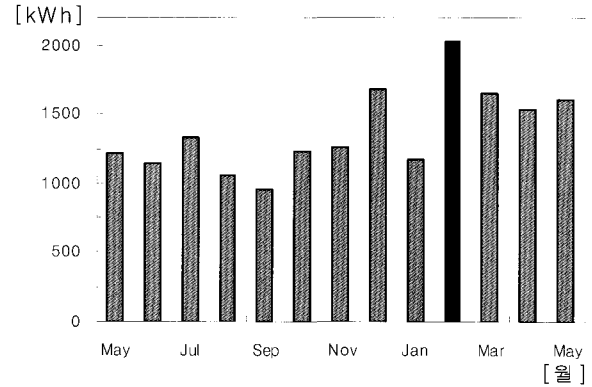


Fig. 5. Average wind power.

Fig. 5는 풍력발전량을 월별 평균으로 나타내었다. 풍력발전량은 2월에 가장 많은 2024.4[kWh] 생산되었다. 총 발전량은 17840.7[kWh]이고 월평균 생산량은 1372.3[kWh]로서 가장 적은 발전량과 약 421.9[kWh]의 차이를 보이는 것을 알 수 있으며 이런 부족한 부분에 대해서는 태양전지로 보완하여 월평균 발전량을 생산하여 전력이 부족한 일을 방지 할 수 있을 것이라 사료된다.

3.2 태양광발전 시스템 데이터

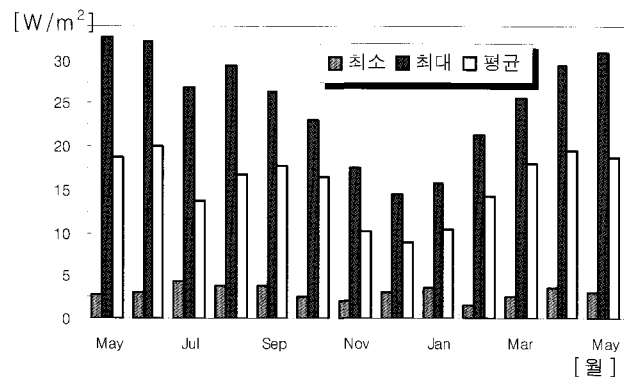


Fig. 6. Average insolation.

Fig 6은 일사량을 측정하여 월별 최대, 최소, 평균일사량으로 나타내었다. 최대 일사량은 5월의 32.73[W/m²]로 측정되었으며 가장 일사량이 부족한 달은 12월로써 9[W/m²]임을 알 수 있다. 일반적으로 여름과 초가을인 8월~10월이 일사량이 평균적으로 높고 겨울철인 1월 일사량이 평균적으로 가장 낮은 것을 확인할 수 있었다.

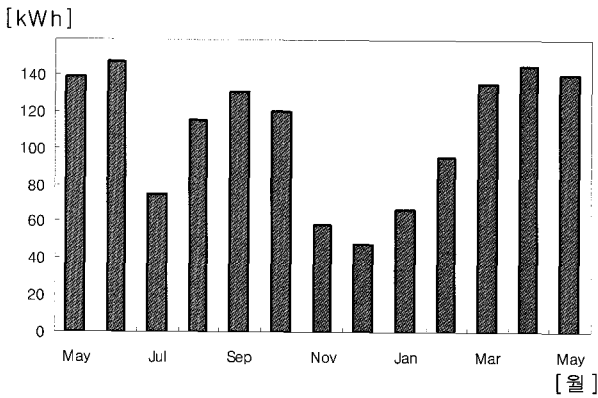


Fig. 7. Average solar power.

Fig 7은 태양광 발전량을 월별 평균으로 나타내었다. 총 발전량은 1415.1[kWh]이고 월평균 발전량은 108.8[kWh]임을 알 수 있으며 12월에 가장 작은 48[kWh]을 발전 한 것을 알 수 있다. 월평균 발전량은 가장 발전량이 적은 12월과 60.8[kWh]의 차이를 보이며 계절별 특성을 많이 작용 하는 것을 알 수 있다. 여름철인 7월에 발전량이 적은 이유는 1971년부터 2000년까지 30년간 기상청 자료에 의하면 월별로 평균한 월평균 값인 평균 강수량이 목포지역에서는 214.1[mm]로 나타나 있다. 그러나 2003년 7월 강수량이 402.4[mm]로 두배 가까이 많은 강수량을 보였으며 이로 인한 일조시간의 부족이 발전량을 적게 하는 원인임을 짐작할 수 있다.

3.3 복합발전 시스템 데이터 분석

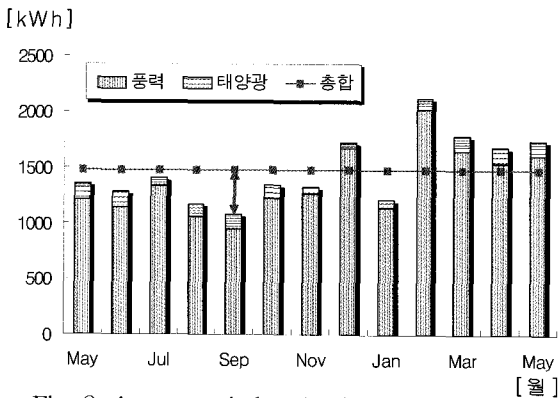


Fig. 8. Average wind and solar power systems.

Fig 8은 풍력 및 태양광발전의 복합발전량과 평균발전량을 나타내었다. 목포시의 2005년도 통계연보자료에 의하면 2004년도 목포지역 주거용 전력사용량은 246,797[MWh]이고, 가구 수는 86,027세대로 가구당 월평균 전력사용량은 239[kWh]로 나타나 있다.(목포시, 2005) 따라서 가구당 일일 전력사용량은 약 8[kWh]이므로 본 시스템의 평균 발전량 1481.22[kWh]은 약 6가구가 월평균 사용할 수 있는 전력량임을 알 수 있다.

또한 겨울철을 제외하고는 풍력에 의한 발전량이 적어 전체

평균 발전량에 미치지 못하는 것을 알 수 있으며, 이를 보완하기 위해서는 햇볕의 조사시간이 긴 시기에 발전량이 많은 현재의 1[kW]용량의 태양광발전 용량을 증가시킬 필요가 있다. Fig. 9는 이와 관련된 그래프로 10[kW]용량의 풍력발전을 기준으로 태양광발전을 각각 1~10[kW]까지 변화시켜 복합발전량을 비교한 것이다.

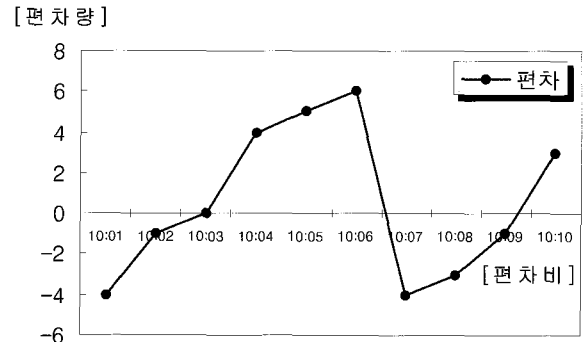


Fig. 9. Average wind and solar power systems.

분산을 통해 데이터를 정리하여 보았으며 가장 편차의 차이가 작은 3[kW]가 가장 이상적이라고 예측되어 진다. 따라서 이 지역에서 풍력발전 10[kW]용량을 설계하여 사용할 경우는 태양광발전기의 경우 3[kW]용량을 사용하면 가장 효율 좋은 최적의 복합발전시스템이 되리라 사료된다.

4. 결 론

10[kW]용량의 풍력발전기와 1[kW]용량의 태양광 발전기의 복합발전 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 풍력발전을 기준으로 태양광발전의 복합발전량을 통한 발전량의 비율로써 가장 발전량이 적은 9월 복합발전량이 1080.9[kWh]로 평균발전량 1481.22[kWh]에 비해 400.32[kWh] 부족한 것을 알 수 있으며 태양광 1[kWh]의 월별 평균발전량이 108.85[kWh]이므로 3~4[kW] 보완하면 태양광발전량이 월평균 435.4[kWh]가 더 발전되어 전력이 부족한 현상을 막을 수 있으리라 실험적으로 확인 할 수 있었다.

2. 10[kW]용량의 풍력발전기를 기준으로 태양광발전을 1[kW]부터 10[kW]까지 변경하여 복합발전량을 분산분석 비교한 결과 가장 편차의 차이가 작은 3[kW]가 가장 이상적이라고 예측되어 지며, 따라서 10[kW]용량의 풍력발전기를 설치할 경우 3[kW]용량의 태양광발전기를 선택하면 최적의 복합발전 시스템을 구성할 수 있으리라 사료된다.

3. 향후 과제로는 생산된 잉여 전력을 활용할 수 있는 방안 검토와 더불어 본 논문에서 제안한 3~4[kW]의 풍력 및 태

양광발전 시스템을 설치하여 예측한 데이터와 동일한지를 확인해 볼 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 고준성(1999), 공동주택단지에서 태양전지의 적용가능성에 대한 연구, 중앙대, 학위논문, pp.27-29.
- [2] 강소연(2002), 공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대, 학위논문, pp.6-12.
- [3] 박세준(2004), 태양광/풍력 복합발전시스템의 독립운전방식에 관한 연구, 동신대, 학위논문, pp.23-28.
- [4] 원장묵(2002), 대체에너지 기술개발 및 사용화 전망, 한국화학공학회 NICE 제20권, 제6호, pp.666-672.
- [5] 유권중 외(1997), 태양광·풍력 복합발전 시스템 최적구성과 평가, 전력전자학술대회논문집, pp.17-19.
- [6] 이철형, 신동열(1984), 풍속자료 분석을 위한 풍력발전시스템 최적 설계, 한국태양에너지학회, 제4권, 2호, pp.3-12.
- [7] 정병환(2003), 태양광·풍력·디젤 복합발전을 위한 전력균형제어에 관한 연구, 건국대, 학위논문, pp.22-24.
- [8] 목포시(2005), 2005년 통계연보자료, p.14, p.174.
- [9] Chen, Z. and Spooner, E.(2001) Grid power quality with variable speed wind turbines, Energy conversion, IEEE Transaction, Vol. 16, pp. 148-154.
- [10] Randall C. Maydew and Paul C. Kimas(1981), Aerodynamic performance of vertical and horizontal axis turbine, J. of Energy, Vol. 5, No. 3, pp.189-190.

원고접수일 : 2006 년 11월 30일

원고채택일 : 2007 년 1월 31일