

남해 - 통영 주변 도서지역에서 에너지자원 조사를 위한 풍력과 일사량의 측정

† 황 광 일

† 한국해양대학교 기계·에너지시스템공학부 교수

Measurement of Wind and Solar Radiation for Energy Resources Survey on Islands around Namhae-Tongyoung, Korea

† Kwang-il Hwang

† Department of Mechanical & Energy Systems Engineering, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

요 약 : 도서지역에 대한 에너지공급시스템의 다양화를 위해서는 지역 내에 풍부한 자연에너지 활용이 필요하고 이를 통해 도서주민의 생활환경 개선이 가능하다. 이에 본 연구에서는 지역에 특화된 자연에너지를 이용한 전력공급시스템을 제안하기 위한 기초자료 구축을 목적으로 통영-남해 해역에 위치한 4개 섬의 풍력과 일사량을 1년간 (2010년 11월~2011년 10월) 실측하여 발생 특성을 파악하고 활용가능성을 비교 평가하였다. 본 연구의 성과를 정리하면 다음과 같다. 풍향별 발생 빈도수를 이용하여 작성한 바람장미로 부터 4개 섬의 풍향 특성이 크게 다르다는 것을 알았다. Rayleigh 속도확률분포를 이용한 평가에 따르면 KR섬과 SS섬은 2~5%의 바람이 많이 불지만, SR섬과 YJ섬은 2% 이하의 저속 바람의 발생 확률이 매우 높은 것으로 분석되었고, 4개 섬 각각의 풍력발전량에는 큰 차이가 있었다. 4개 섬 모두에서 최대 일일 일사량은 2011년 7월에 발생하였지만, 평균 일일 일사량은 2011년 4월이 가장 컸다. 또한 월별 누적 일사량의 경우 2011년 4월이 가장 많았고, 2010년 12월 가장 적었다.

핵심용어 : 신재생에너지, 섬, 바람, 일사량, 자원

Abstract : For the diversity of energy supply system and the improvement in the habitants' living environments of the islands, it is possible and necessary to use the natural energy as resources of the electric power generation system. In this study, the characteristics of wind and solar radiation on 4 islands offshore Namhae-Tongyoung of Korea were measured for one year from November 2010 to October 2011 and analyzed in relation to energy resources survey. As a result of measurement and analysis, the respective wind rose diagrams of 4 islands were made, and showed that the frequencies of wind directions were quite different from among the islands. The Rayleigh probability distribution of wind velocity showed that the wind speeds of KR and SS were mainly 2~5%, and the respective quantities of electric power generation of 4 islands were shown to be different. The variation of solar radiations and potential quantity of those uses were measured to be similar to each other among 4 islands.

Key words : renewable energy, island, wind, solar radiation, resource

1. 서 론

산업혁명 이후 제3세계의 산업화와 함께 화석연료의 사용량은 급증해 왔고 오늘날에는 환경오염물질이 대기를 따라 이동하면서 범세계적인 기후변화 문제로 확대되고 있다. 이에 많은 국가들이 이산화탄소 배출량 절감을 위한 노력을 전개하고 있으며, 또한 불안한 유가에 대응하기 위해 신재생에너지의 개발과 보급에 노력하고 있다. 특히 에너지 수요량의 97.3% 이상을 수입에 의존하고 있는 우리나라는 “신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법”(Ministry of Knowledge Economy, 2011)에 근거하여 공공기관에 대해 해양에너지를 비롯한 태양광발전, 풍력발전, 바이오, 연료전지

등을 활용한 신재생에너지시스템 도입을 의무로 규정하고 있다. 또한 현 정부의 “저탄소 녹색성장, 100만호 그린홈” 정책이 시행되면서 일반 국민들의 에너지 환경에 대한 의식이 높아져 신재생에너지 활용 시스템의 보급률은 빠른 속도로 상승하고 있는 추세이다(Korea Energy Management Corporation, 2011). 현재 우리나라에서 보급률이 가장 높고 기술개발 및 설비투자가 가장 많이 이루어진 태양열 급탕시스템의 경우에는 개별 소형 설치가 일반적이던데 비하여, 태양광발전, 풍력발전 등의 경우에는 상업성이 있다고 판단한 기업들의 참여로 인해 대부분이 대용량 규모로 내륙에 설치하여 계통전력에 전력을 공급하는 방식으로 설치 운영되고 있다.

그러나 3면이 바다로 둘러싸여 있는 우리나라는 전국에

† 교신저자 : 종신회원, hwangki@hhu.ac.kr 051)410-4368

3,171개의 섬이 산재해 있지만 대부분의 섬은 에너지공급 계통이 다양하지 못하기 때문에 수요증가 혹은 지역 내 재난발생 시 에너지공급망 변경 등의 대처능력이 부족한 것이 현실이다. 도서지역은 파력, 조력, 조류, 해수온도차에너지 외에도 태양광, 풍력 등 발전 에너지원으로 활용 가능한 자연에너지 부존량이 도서지역에 비해 풍부함에도 불구하고 도서지역에서의 자연에너지 활용시스템의 보급률은 상대적으로 매우 낮고, 관련 연구도 부족한 상황이다.

한편, 우리나라 기상청에서는 풍력자원과 태양자원에 관한 데이터를 제공하고 있다(KMA, 2012). 이를 위해 전국적으로 539개소의 AWS(Automatic Weather System)를 운영하고 있으며 AWS에서는 1분 단위로 온도, 습도, 강수량, 풍향, 풍속, 해면기압을 측정하여 실시간으로 기상청 홈페이지에 데이터를 공개하고 있는데, Fig. 1은 그중 남해안 지역에서 운영 중인 AWS의 위치를 나타낸 것이다. 그러나 일사량은 전국적으로 불과 22개 지점에서만 측정하고 있으며, 특히 남해안 해상의 도서지역에서는 측정이 이루어지지 않는 실정이다.

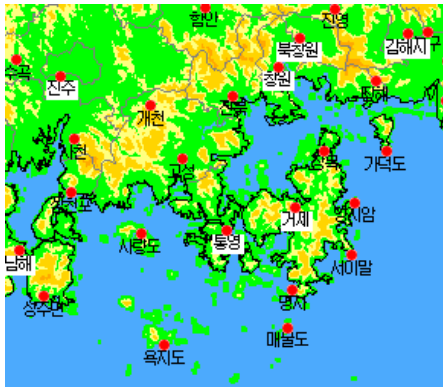


Fig. 1 Location of AWS in southeastern coastal area of Korea(KMA, 2012)

섬 주민의 안정적인 주거환경 개선을 위해서는 반드시 도서지역에 대한 에너지공급시스템의 다양화가 필수적이며, 이를 위해서는 지역 내에 무한히 존재하는 자연에너지 활용이 적극적인 대안이 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 자연에너지를 이용한 전력공급시스템을 제안하기 위한 기초자료 구축을 목적으로 남해안에 위치한 4개 섬의 풍력과 일사량을 실측하여 발생 특성을 파악하고 활용가능성을 비교 평가하였다.

2. 연구의 범위와 방법

우리나라에는 3,171개의 섬이 산재해 있고 이 중 유인도는 492개, 무인도 2,678개 이지만, 유인도의 면적비율은 전체 섬면적의 97.8%를 차지한다. 영남권에는 총 472개(14.9%)의 섬이 존재하지만 섬 주민수는 265,039명으로 전국 섬 주민의 47%가 이 지역에 거주하고 있다(Statics Korea, 2012). 이에 본 연구에서는 섬 주민의 거주 비율이 높은 영남해역을 대상으로 섬의 크기, 주민수, 주민의 연령구성비, 내륙으로부터의

거리, 그리고 AWS의 위치 등을 고려하여 4개의 섬을 선정하였다. Fig. 2는 섬의 지리적 위치를 Table 1은 섬의 개요를 정리한 것이다.



Fig. 2 Location of 4 islands

Table 1 Outline of 4 islands

Name of island	District	Area[m ²]	Population	Households
KR	Tongyoung	985,669	237	111
SR	Tongyoung	14,713,115	738	324
SS	Sacheon	1,010,000	452	177
YJ	Tongyoung	12,740,161	1,655	836

본 연구에서는 시각별, 월별, 계절별 데이터를 위해 2010년 11월부터 2011년 10월까지 AWS의 측정항목과 동일하게 온도, 습도, 풍속, 풍향, 일사량, 강수량, 기압을 1분 단위로 측정하였다. 측정기기는 이러한 항목들을 자유롭게 프로그래밍하여 측정하고 데이터 자동저장을 갖고 있는 Vantage Pro2 Weather Stations (Davis Instrument, 2010)를 사용하였고, 측정기기는 원격지 측정에 따른 실시간 통신환경을 갖추고 있으며 또한 원활한 유지관리가 가능해야 한다는 조건을 만족하는, Fig. 2에 표시된 각 섬에서 가장 높은 건물의 옥상에 측정기기를 Fig. 3의 사례와 같이 각각 설치하였다.

4개 섬에 대해 1년간 측정하고 분석하였으나, SS섬은 2011년 1월과 2월에 기기 오류가 발생함에 따라 본 논문에서는 해당기간에 대한 분석을 제외하였다.



Fig. 3 An outdoor unit of Vantage Pro2 Weather Station installed on the roof of the middle school

3. 실측 결과 및 분석

3.1 외기 온도와 습도

2010년 11월부터 2011년 10월까지의 월평균 온도와 습도변화를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 월평균 최저기온은 2011년 1월에, 월평균 최고기온은 2011년 8월에 발생하였다. 2011년 6월~2011년 8월 사이의 월평균 상대습도는 90%로 매우 높게 나타났고, 월평균 최저습도는 2011년 1월에 50% 수준으로 측정되었다. SS섬의 온도와 습도 변화가 다른 섬들과는 약간의 차이가 존재하지만 거시적 관점에서 4개 섬의 온도와 상대습도 변화량은 매우 유사한 것으로 조사되었다.

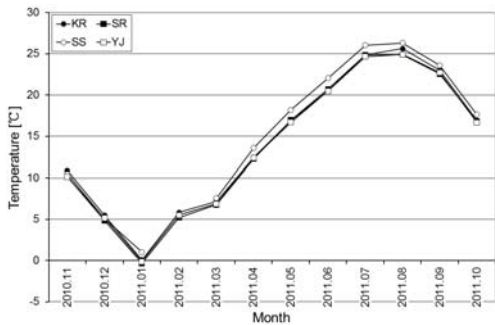


Fig. 4 Monthly average temperature of 4 islands

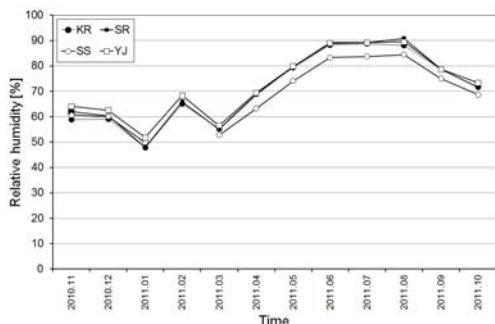


Fig. 5 Monthly average relative humidity of 4 islands

3.2 바람 자원 실측결과 및 활용가능성 평가

측정 대상인 4개 섬의 1년 동안 발생한 풍향별 발생 빈도수를 이용하여 작성된 바람장미를 Fig. 6(a) ~ Fig. 6(d)에 나타내었다. KR섬과 SS섬의 경우 서북서(WNW) 풍향의 발생 빈도가 상대적으로 큰 반면, SR섬은 서남서(WSW), 남남동(SSE), 동북동(ENE) 풍향이 고르게 불고 있는 것으로 분석된다. 한편 YJ섬의 경우에는 서(W), 북서(NW) 풍향의 발생 빈도수가 많았다.

한편 풍력발전량을 예측하기 위해 Weibull 속도확률분포를 사용하여 풍속 분포도를 작성하였다(牛山, 2002). Fig. 7(a) ~ Fig. 7(d)는 바람의 속도분포 편차와 관련이 깊은 형상계수(shape factor, κ)를 2로 가정한 Rayleigh 분포를 표시한 것이다. KR섬은 2~4m/s, SS섬은 2~5m/s의 바람이 많이 불지만,

KR섬은 5월~10월, SS섬은 9월~10월 동안에 2m/s 이하의 풍속 발생확률이 높았다. SR섬과 YJ섬은 연간 2m/s 이하의 저속바람의 발생 확률이 매우 높게 평가되었다.

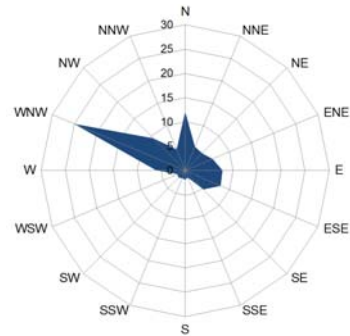


Fig. 6(a) Wind rose of KR island

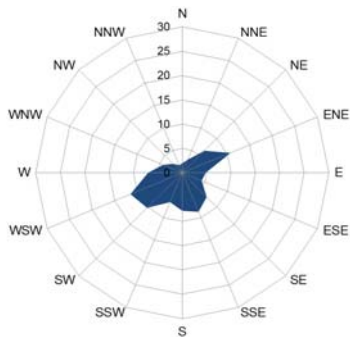


Fig. 6(b) Wind rose of SR island

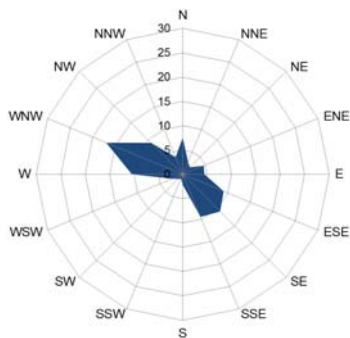


Fig. 6(c) Wind rose of SS island

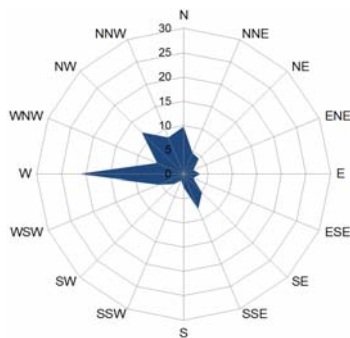


Fig. 6(d) Wind rose of YJ island

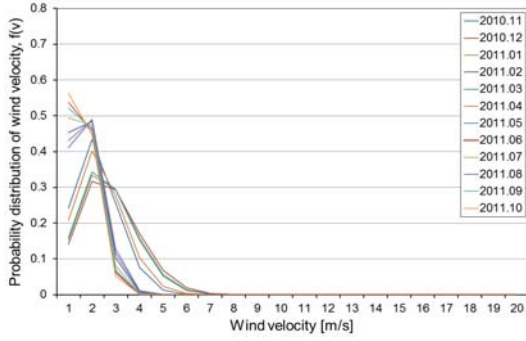


Fig. 7(a) Rayleigh probability distribution of monthly average wind velocity of KR island

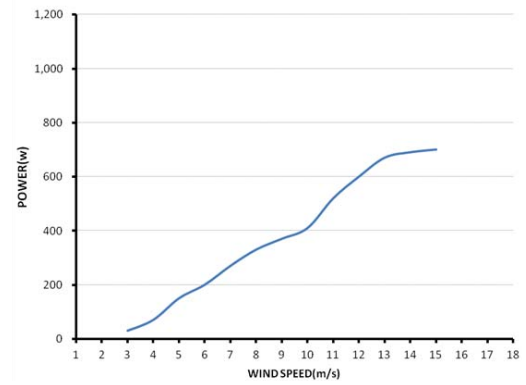


Fig. 8 Power generation performance curve(Z-600W)

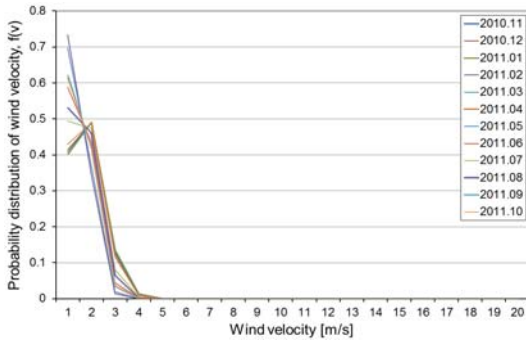


Fig. 7(b) Rayleigh probability distribution of monthly average wind velocity of SR island

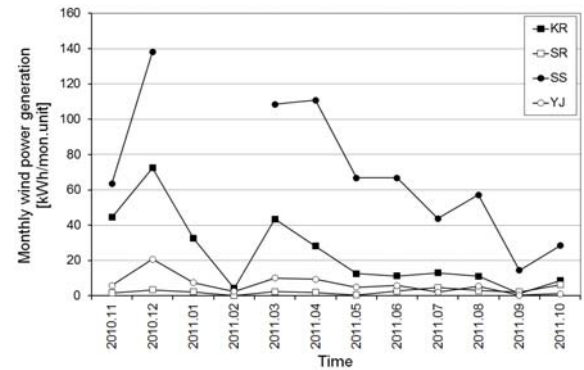


Fig. 9 Simulation results of monthly electric power generation by wind of 4 islands

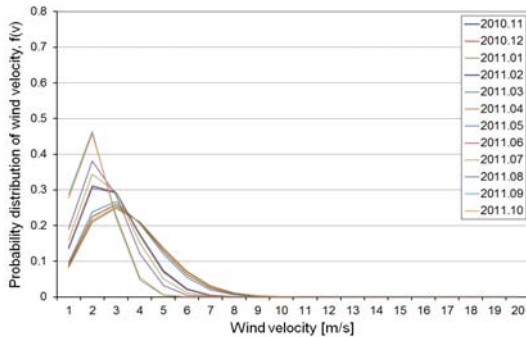


Fig. 7(c) Rayleigh probability distribution of monthly average wind velocity of SS island

4개 섬의 각 풍력 자원 데이터를 정격출력이 600W인 풍력 발전기(Z-600W)의 특성곡선(Fig. 8)에 대입하여 월별 풍력발전량을 예측해 보았고 Fig. 9은 그 결과를 보여준다. 4개 섬 각각의 풍력발전량은 큰 차이를 보였고, SS섬, KR섬, YJ섬, SR섬의 차례로 발전량이 많을 것으로 예상된다.

이상과 같은 조사 결과로부터 근거리 해역 내에서도 섬에 따라 풍향, 풍속 등 풍력자원이 서로 달라 예상 발전량도 다르게 예측된다는 사실을 확인 할 수 있다.

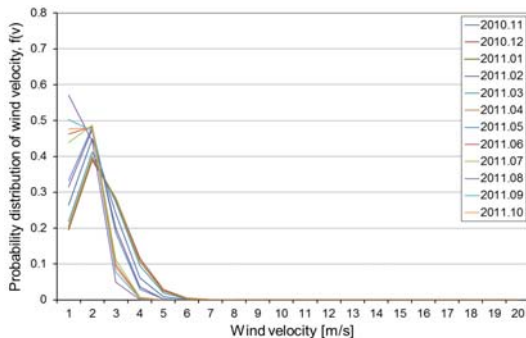


Fig. 7(d) Rayleigh probability distribution of monthly average wind velocity of YJ island

3.3 일사량 실측결과 및 활용가능성 평가

남해안에 위치한 4개 섬의 연간 일사량을 실측하였고, Fig. 10(a) ~ Fig. 10(d)에 월별 일일 일사량 분포를 주석형 그래프로 표시하였다. 월별 일일 일사량을 표시하는 각 수직선의 가운데 점이 일일 일사량의 월평균 값, 위쪽 화살표가 해당 월 중 최대 일일 일사량, 아래쪽 화살표가 최소 일일 일사량을 각각 의미한다. 4개 섬 모두에서 최대 일일 일사량은 2011년 7월에 발생하였고, 2011년 5월, 2011년 6월(SR섬은 8월)의 순으로 일사량이 많은 것으로 추정되었다. 그러나 월평균 일일 일사량은 2011년 4월이 가장 컸고, 2011년 3월이 뒤를 이었다. 겨울철인 2010년 11월과 12월, 그리고 2011년 1월의 경우 다른 계절에 비해 상대적으로 월평균 일일 일사량과 최대-최소 일일 일사량 차이가 작은 것을 알 수 있다.

최대 일일 일사량이 발생한 시기와 월평균 일일 일사량이 발생한 시기가 다른 것은 운량의 영향과 여름철 장마 등이 지표면에 도달하는 일사량에 영향을 미치기 때문이다. 그러므로 절대 일사량이 많은 여름철에 최대 일일 일사량이 발생하고 우수량이 적은 봄철에 월평균 일일 일사량이 많게 측정되었다.

Fig. 11은 월별 누적 일사량을 나타낸 것이다. 2011년 4월의 월별 누적 일사량이 약 600MJ/m²·mon으로 가장 많고, 2011년 3월(약 550MJ/m²·mon), 7월(약450~540MJ/m²·mon), 9월(약 500MJ/m²·mon)의 월별 누적 일사량이 상대적으로 많이 발생하였다. 월별 누적 일사량이 가장 적은 시기는 2010년 12월이었다.

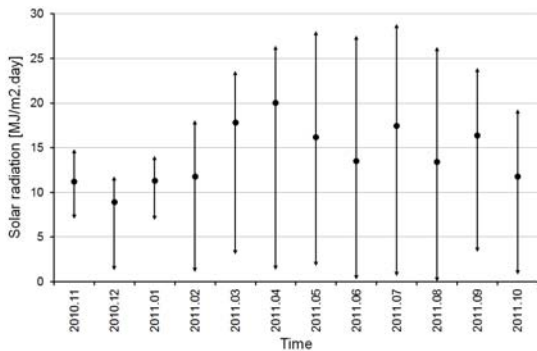


Fig. 10(a) Daily solar irradiance variation of each month of KR island

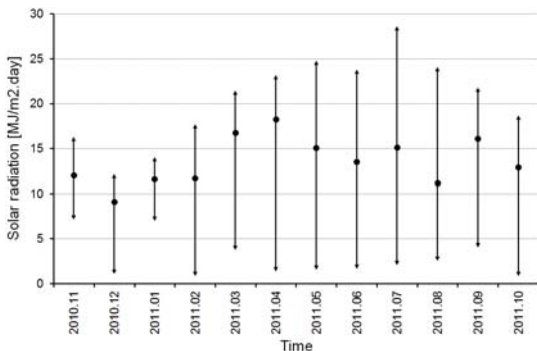


Fig. 10(b) Daily solar irradiance variation of each month of SR island

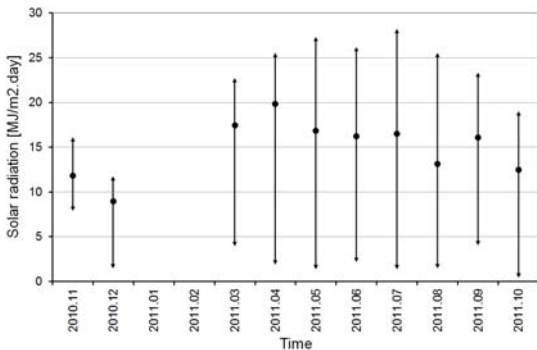


Fig. 10(c) Daily solar irradiance variation of each month of SS island

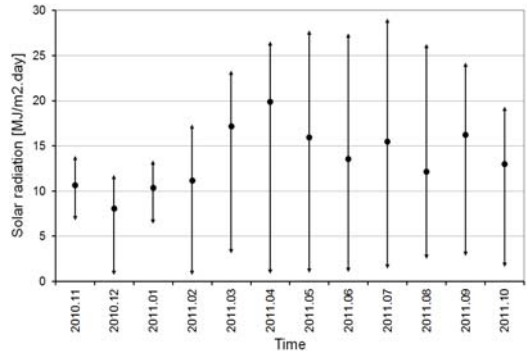


Fig. 10(d) Daily solar irradiance variation of each month of YJ island

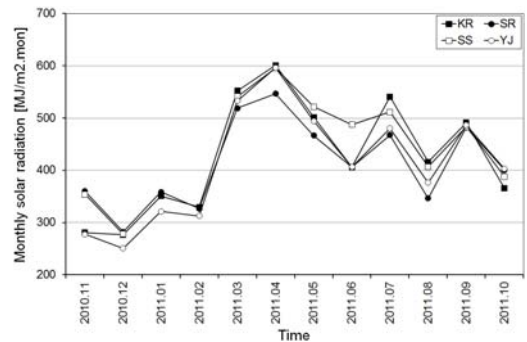


Fig.11 Monthly accumulated solar irradiance of 4 islands

4. 결 론

내륙으로부터 떨어져 있는 도서지역의 에너지공급시스템은 도서지역에 비해 상대적으로 불편한 것이 현실이다. 도서지역에 대한 에너지공급시스템의 다양화를 위해서는 지역 내에 풍부한 자연에너지 활용이 필요하고 이를 통해 도서주민의 생활환경 개선이 가능하다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 자연 에너지를 이용한 전력공급시스템을 제안하기 위한 기초자료 구축을 목적으로 동영-남해 해역에 위치한 4개 섬의 풍력과 일사량을 실측하여 발생 특성을 파악하고 활용가능성을 비교 평가하였다. 본 연구의 성과를 정리하면 다음과 같다.

1)4개 섬의 월평균 최저기온은 2011년 1월에, 월평균 최고 기온은 2011년 8월에 발생하였다. 2011년 6월~2011년 8월 사이의 월평균 상대습도는 90%로 매우 높게 나타났고, 월평균 최저습도는 2011년 1월에 50% 수준으로 측정되었으며 4개 섬의 온도와 상대습도 변화량은 매우 유사한 것으로 조사되었다.

2)1년 동안 발생한 풍향별 발생 빈도수를 이용하여 바람장미를 작성하였다. KR섬과 SS섬의 경우 서북서(WNW) 풍향의 발생 빈도가 상대적으로 큰 반면, YJ섬의 경우에는 서(W), 북서(NW) 풍향의 발생 빈도수가 많았고 SR섬은 상대적으로 모든 방향에서 고르게 바람이 불고 있었다.

3)Rayleigh 속도확률분포를 평가를 통해 KR섬과 SS섬은 2~5%의 바람이 많이 불지만, KR섬은 계절에 따라 2% 이하

의 풍속 발생확률이 높았고, SR섬과 YJ섬은 2% 이하의 저속 바람의 발생 확률이 매우 높은 것으로 분석되었다. 풍력발전기(Z-600W)의 운전특성을 고려할 때 SS섬, KR섬, YJ섬, SR섬의 차례로 발전량이 많을 것으로 예상되었으며, 4개 섬 각각의 풍력발전량에는 큰 차이가 있었다.

4)4개 섬 모두에서 최대 일일 일사량은 2011년 7월에 발생하였지만, 평균 일일 일사량은 2011년 4월이 가장 컸다. 또한 월별 누적 일사량의 경우 2011년 4월이 가장 많았고, 2010년 12월의 월별 누적 일사량이 가장 적었다.

기후변화의 성질을 고려할 때, 1년 동안 수행된 본 연구의 측정기간이 해당 지역의 기후 특성을 충분히 반영하기에는 짧은 기간일 수도 있다. 그러나 본 연구를 통하여 동일 해역 내 인근 도서 간에도 자연에너지에 따라 부존량이 서로 상이하다는 사실을 확인할 수 있었다. 즉, 일사량 자원은 월별 부존량이 크게 변화하지만 4개 섬의 월별 부존량은 서로 매우 유사한 것으로 조사되었지만, 풍력자원은 4개 섬 사이의 부존량 특성이 서로 다르기 때문에 특정 섬에서 풍력 자원을 활용하기 위해서는 해당 섬의 풍력자원 실측 데이터를 분석한 후 설계, 시공, 운전을 수행해야만 시스템의 고효율 운영이 가능할 것으로 판단된다.

향후 본 연구의 성과가 해당 지역의 자연에너지 활용시스템 설계를 위한 기초자료로 활용되기를 기대하며, 추가연구단계에서는 기존에 취득한 도서지역 주거시설의 전력소비특성과 본 연구에서 취득한 자연에너지 발생특성을 결합하여 도서지역에서의 실질적인 자연에너지 활용 시스템 도입효과를 예측, 분석할 예정이다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2011-0029766).

이 논문은 정부(국토해양부)의 재원으로 영남씨그랜트사업단의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] Davis Instrument(2010), Integrated Sensor Suite Installation Manual for Vantage Pro2 and Vantage Pro2 Plus Weather Station.
- [2] KMA(2012), Weather data, <http://www.kma.go.kr>
- [3] Korea Energy Management Corporation(2011), New & Renewable Energy Statistics 2010(2011 Edition), pp. 3-15.
- [4] Ministry of Knowledge Economy(2011) of Korea, Developing, Adoption, Promotion Act on New & Renewable Energy(10445).

- [5] Shenzhen Modern Renewable Energy Limited(2012), City Swallow Wind Generator Z-600W, pp. 5-8.
- [6] Statics Korea(2012), National statics portal, <http://kosis.kr>
- [7] Ushiyama Izumi(2002), Introduction to Wind Power Engineering, Morikita prints, pp. 39-71.

원고접수일 : 2012년 9월 4일
심사완료일 : 2012년 11월 19일
원고채택일 : 2012년 11월 23일