

새만금 고군산군도의 풍자원 측정 및 분석

심애리*, 최연성, 이장호**

Measurement and Analysis of Wind Energy Potential in Kokunsando of Saemankeum

AeRi Shim*, Yeonsung Choi and Jangho Lee**

Abstract

Saemankeum is well known for its high speed wind, and it is known that the blueprint of a future city around Saemankeum, including new industrial complex, has been planned. As a result, large-scale offshore wind farm, on the basis of the measurement of wind resource for a long time, can be considered, so that generated electricity can be used to meet the energy demand near the wind farm. Wind speed in Kokunsando of Saemankeum is measured and analyzed with its statistical distribution and wind directions. The probability of wind power resource over Kokunsando of Saemangeum is reviewed with the measured data in one island of Kokunsando. According to measured data, the shape and scale factor of Weibull distribution of wind speed are obtained, and then power density is analyzed as well. Through this study, it is clear that the Saemangeum area has a fluent and abundant wind power source to develop the wind farm in Korea.

Key words

Saemangeum(새만금), Kokunsando(고군산도), Wind power generation(풍력발전), New and renewable energy(신재생에너지), Wind power resource(풍자원), Wind energy(바람에너지)

(접수일: 2011. 5. 25, 수정일: 2011. 6. 13, 게재확정일: 2011. 6. 20)

* 군산대학교 풍력기술연구센터

■ E-mail : tatatoto@naver.com ■ Tel : (063)469-1964 ■ Fax : (063)469-1965

** 군산대학교 기계자동차 공학부

■ E-mail : jangho@kunsan.ac.kr ■ Tel : (063)469-4869 ■ Fax : (063)469-1965

Nomenclature

V : wind speed, m/s

P : power, W

ρ : density, kg/m³

A : unit area, m²

c : scale factor

k : shape factor

f : function of Weibull distribution

1. 서론

최근, 일본의 원자력발전소 폭발사고로 인해 원자력에너지 사용에 대한 반대 여론이 증가하고 있는 가운데 신재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 여러 가지 신재생에너지 가운데 특히 풍력에너지는 발전단가가 화석연료의 화력발전 단가와 유사해져 가장 실현가능하고 현실적인 에너지로 받아들여지고 있다.

태양에서 지구로 전달되는 태양에너지의 불균일성으로 부터 발생하는 대기에너지의 불균형은 대기 이동을 끊임없이 만들어내므로 바람에너지는 태양과 함께하는 무한에너지로 여겨지고 있다. 풍력발전은 이러한 공기의 운동에너지를 회전에너지와 전기에너지로 변환하는 것이다.

풍력발전기술 중에서 바람자원의 계측과 분석을 포함한 풍자원 평가기술은 풍력발전 단지의 성패를 좌우할 수 있는 중요한 요소이다. 풍력발전기의 설치 지역에서 기본적으로 고려해야 할 것들은 설치지역의 풍속, 풍향, 돌풍이나 난류발생 등이다.

비록 바람에너지가 풍속의 3제곱에 비례하고 풍속의 크기가 풍력발전의 주변수이긴 하지만, 연간발전량은 같은 평균 풍속이라도 풍속분포에 따라 매우 다르게 나타난다. 예를 들어, Fig. 1은 평균풍속이 같고 형상계수(shape factor)가 2와 3으로 다른 경우를 나타내는 데, 전자의 전체 이용 가능한 에너지는 후자의 경우 보다 25%정도 더 크며, 평균풍속만으로 계산한 연간 발전량 보다 1.9배 정도 더 크게 계산된다⁽¹⁾.

국제표준바람분포는 풍속에 대해 확률분포함수로서 분포의 폭을 정의하는 형상계수(shape factor)와 평균풍속과 관련된 척도계수(scale factor)로 결정되는 와이불(Weibull) 분포에서 형상계수(shape factor)가 2.0인 레일리(Rayleigh) 분포를 사용한다^(2,3). 일반적으로 레일리(Rayleigh) 분포를 기준으로 형상계수가 작아지거나 척도계수가 커지면 연간 이용 가능한 에너지량은 증가하게 된다.

Table 1은 우리나라의 여러 곳에서 측정한 바람특성을 요약하고 있다⁽⁴⁾. 대부분 지역에서 풍속분포의 형상계수가 레일리 분포와 많은 편차를 보이고 있다는 것을 알 수 있다.

이는 유럽특성에 맞춰진 표준바람을 기준으로 설계된 수입산 풍력발전시스템의 성능은 국내바람특성을 기준으로 재평가를 할 필요가 있으며, 이를 위해 관심 있는 지역의 풍자원 특성을 정확히 이해하는 것이 중요하다는 것을 의미한다. 이에 따라, 풍자원 측정 및 평가는 풍력발전단지 설계와 한국형 풍력발전시스템 개발에도 반드시 필요하다.

그리고 풍력발전 시스템을 설치하기에 앞서 후보지역의 풍자원에 대한 정밀조사가 선행되어야 하는데, 특정지점에서 단기간 관측한 자료를 이용하여 풍력단지를 설계할 경우에는 심각한 오류가 초래될 수 있으므로, 후보지역에 대해 월별, 계절별, 연간 바람분석이 가능 하도록 최소 1년 이상의 장기적이고 신뢰성 있는 풍자원 조사가 필요하다.

새만금 방조제 중간부근에 10개정도의 많은 섬들이 모여 있는데(Fig. 2 참고) 이들을 통칭하여 고군산군도라 한다. 이 중 일부 섬들은 새만금 방조제와 연륙교 등으로 육지와 연결

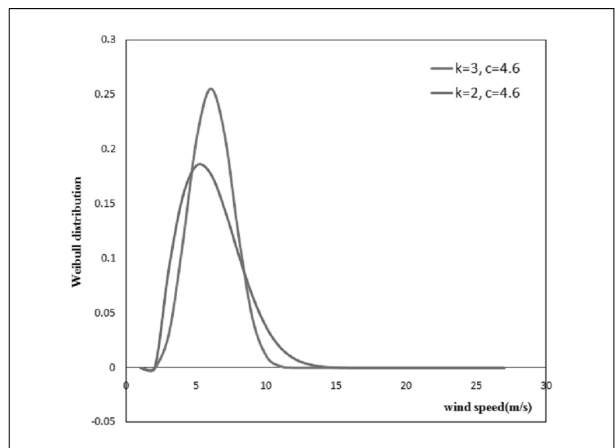


Fig. 1 Weibull distribution with shape factors of k=2 and 3

Table 1. Summary of wind measurement in national wide several area (height of 30m)

| 항목 | 지역 | 충남 | | | 전북 | | | 경북 | | 제주 | | |
|----------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 당진 | 서천 | 가령도 | 신시도 | 비응도 | 영덕 | 고래불 | 김녕 | 월령 | 행원 | 용당 |
| 연평균풍속(m/s) | | 5.7 | 5.2 | 5.0 | 5.1 | 5.2 | 6.6 | 5.5 | 6.3 | 5.9 | 7.1 | 6.9 |
| 풍력에너지밀도(W/m ²) | | 310 | 257 | 228 | 241 | 252 | 377 | 241 | 363 | 289 | 481 | 414 |
| Weibull 분포 | C(m/sec) | 6.9 | 6.3 | 6.2 | 6.1 | 6.3 | 7.8 | 6.3 | 7.3 | 6.9 | 8.2 | 8.0 |
| | K | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 2.1 | 1.8 | 1.8 | 1.9 | 1.9 | 2.0 |
| 유효주풍향 | | WNW | NNW | SE | NNW | SSW | NW | WNW | WNW | NE | NW | NNW |



Fig. 2 Kokunsando-Saemangeum area

되고 있다. 본 논문에서는 새만금 고군산 군도의 한 섬인 황경도에 20m 와 30m 높이에 계측장비를 설치하고, 1년간 계측한 자료를 바탕으로 풍자원 특성을 분석하였다. 풍향 관측을 실시한 황경도는 고군산군도의 일원으로 북측에 위치하고 있으며, 종횡으로 길고 폭이 좁은 무인도(無人島)이다. 황경도는 (대)황경도와 소형경도의 2개 섬으로 이루어져 있고, 아미도 선착장 및 신시도 선착장에서 3~4km 정도 떨어져 있으며, 배로 10분 정도면 닿을 수 있다. 신시도의 최근접지점에서 2.79Km 떨어져 있으며, Mast까지는 5.19Km 떨어져 있다. 황경도-방축도-광대도-말도의 열도(列島)가 북풍을 막아주고 있기 때문에 황경도 남측과 신시도-선유도 사이는 양식업이 활발하다.

2. 새만금 고군산도 지역의 풍자원 계측

2.1 새만금 풍력발전 현황

새만금 방조제 시작점에 있는 군산의 비응도에는 군산풍력발전소의 풍력발전기 10기가 운영되고 있다. 지난 2001년도부터 신재생에너지 보급사업의 일환으로 지경부 지원으로 추진된 군산 풍력발전소는 군장 국가 산단 서측 호안지역에 국비와 도비 등 총 161억 원을 투자해 7.9MW 규모로 건설되었다. 2004년까지 750kW급 발전기 6기(4.5MW)가 건설되었고, 2005년부터 850kW급 발전기 4기(3.4MW)가 추가되었다.

군산풍력발전소는 2010년까지 약 58GWh의 전기를 생산

하고 54억 원의 전력판매 수입을 올렸고, 풍력을 이용한 친환경 전기 생산으로 에너지 수입 대체효과와 이산화탄소 저감 효과를 거둘 수 있었다. 이와 같은, 비응도 풍력발전 단지를 참고로, 이 보다 바람이 더 우수하다고 알려진 새만금 내측 지역이나 고군산군도 지역에 풍력발전단지 조성에 대한 기대감이 높아지고 있다.

2.2 풍자원 측정 위치에 대한 고찰

Fig. 3은 새만금 유역에 대한 지상 50m에서의 풍속 분포를 나타낸다⁽⁵⁾. 군산연해 고군산군도의 풍속이 다른 지역에 비해 풍속이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

고군산군도 지역은 새만금의 중심에 있으며, 앞으로 개발되는 새만금 산업단지와 미래도시가 인접해있기 때문에 생산된 전력의 공급에 유리하며, 2012년 고군산군도의 교량 건설에 따른 전력공급계획으로 인해 송배전 인프라 확보가 용이하다. 또한 새만금 신재생에너지 용지에 조성될 대규모 풍력 산업클러스터와 연계된 발전단지 개발에 유리한 위치 조건을 갖추고 있다.

따라서 이 지역에 대한 풍자원 측정과 분석은 장기적으로 새만금 유역의 풍력발전단지 건설에 필요한 자료가 될 것이다.

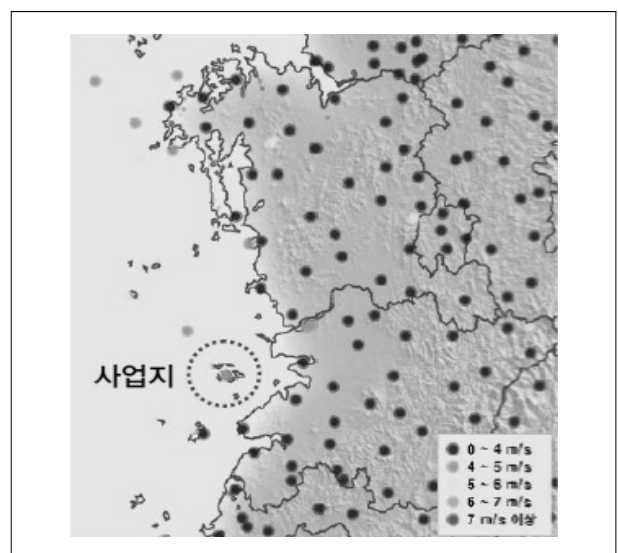


Fig. 3 Average wind speed in the height of 50m around Saemangeum area

2.3 풍자원 계측

본 연구의 풍자원 계측에는 NRG Systems 사의 Symphonie Data Logger and Accessories 라는 계측장비가 사용되고 있으며, 지난 2008년 12월부터 현재까지 지속적으로 측정되고 있다. 계측 타워는 Fig. 4와 같은데 계측기는 해수면에서 약 40m 높이의 대지에 30m 높이의 계측타워를 설치하였다. 계측기는 30m에 풍속계 2기, 풍향계 1기, 20m에 풍향계 1기, 풍속계 1기 등이 설치되었다. 계측된 데이터는 통계처리 되어 하단의 메인장비를 통해 메모리로 기록된다.

본 논문에서 분석한 데이터의 측정기간은 2008.12~2009.11이며, 10분단위로 기록되었고, 이 기간 동안의 데이터를 바탕으로 월별, 계절별, 연간 바람의 특징이 분석되었다.

3. 새만금 해상지역의 풍자원 현황

3.1 새만금 해상지역의 풍속 현황

Fig. 5는 각월별 평균풍속을 나타낸다. 이 지역의 평균풍

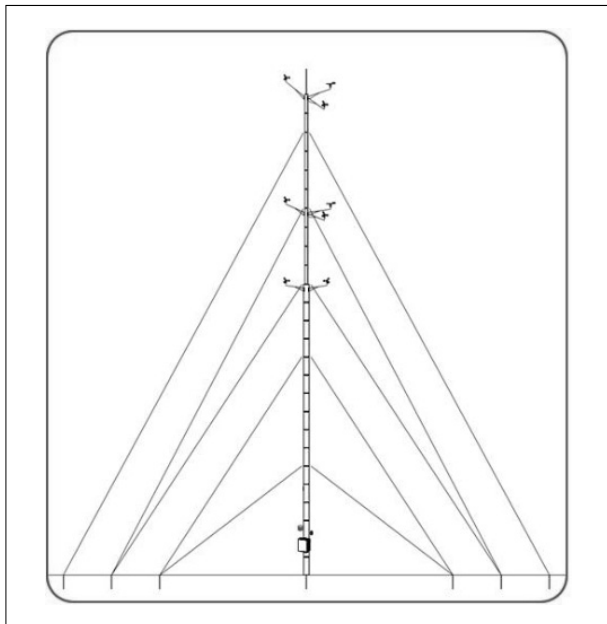


Fig. 4 Outlook of measurement tower (30m of height and 225m² of area)

속을 분석한 결과 풍자원이 매우 우수한 6개월과 상대적으로 적은 6개월로 구분되는 것으로 나타났다. 10월부터 다음해 3월까지 6개월 동안 풍자원이 풍부하여 6m/s 이상의 평균풍속이 계측되었으며, 12월과 3월은 8m/s 정도의 높은 평균풍속이 측정되었다. 4월과 9월의 풍속은 상대적으로 제일 약하나, 4.5m/s 이상의 평균풍속이 지속적으로 유지되는 것으로 계측되었다.

연평균 풍속은 약 6m/s 정도로 분석되었으며, 계측높이에 서의 에너지 밀도는 약 385.2W/m²으로 이 바람은 NREL에서 제시한 바람등급 4등급에 해당하는 것으로 나타났다⁽⁶⁾.

3.2 새만금 해상지역의 풍향 현황

고군산 군도의 바람은 계절적으로 변화하는 특성을 가지고 있다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 겨울철인 12월에는 북풍이

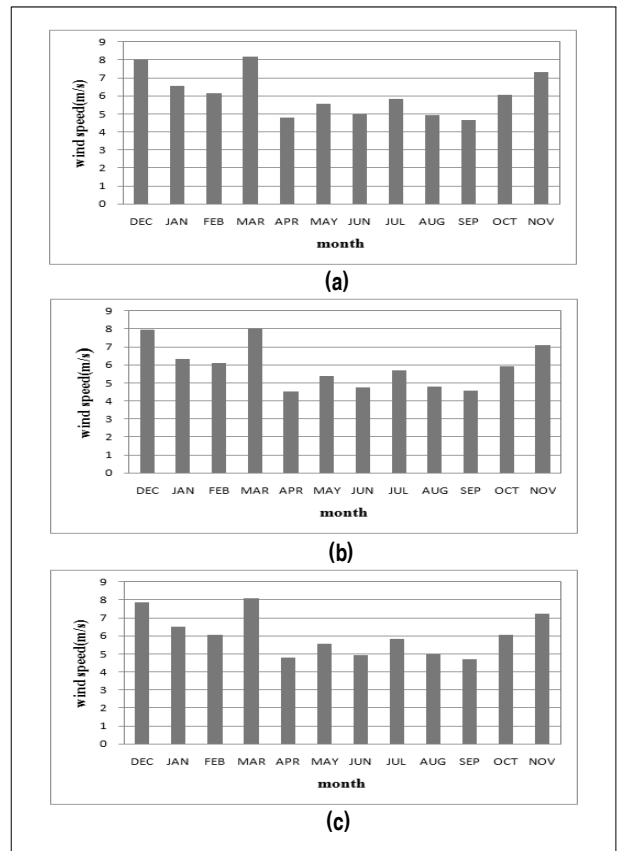


Fig. 5 Average wind speed in each month; (a) 1st point in height of 30m, (b) 2nd point in height of 30m, (c) height of 20m

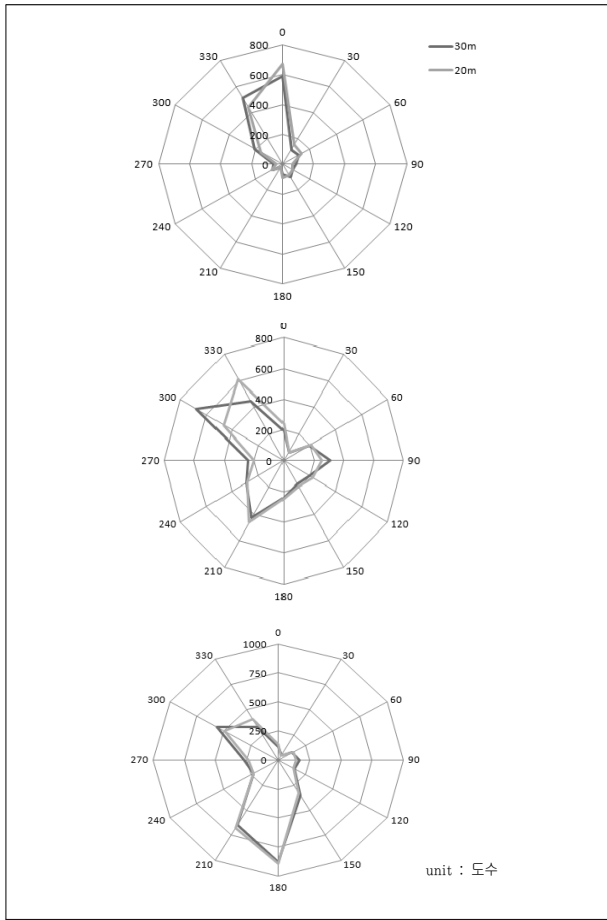


Fig. 6 Wind directions with months (December, April, and June from top to bottom)

주풍인데 1월에서 3월로 가면서 주풍이 북서풍으로 변화하고, 6월로 가면서 북서풍과 남서풍이 혼재하다가 여름에는 주풍이 남풍으로 변화한다.

이를 4계절 전체 연간 바람분포로 분석해보면 Fig. 7과 같이 북서풍 위주의 바람의 빈도가 제일 크게 나타나므로 빈도에 따른 주풍향은 북서풍계열이라 할 수 있다.

4. 새만금 해상지역의 풍자원 분석

측정된 풍속과 풍향자료를 근거로 와이블 분포와 에너지 밀도 분석 등의 분석을 수행한다. 풍속(v)의 속도 구간(m/s)은 1m/s단위로 지정하였으며, 구간별 도수를 이용하여 풍자원 분석을 시행한다.

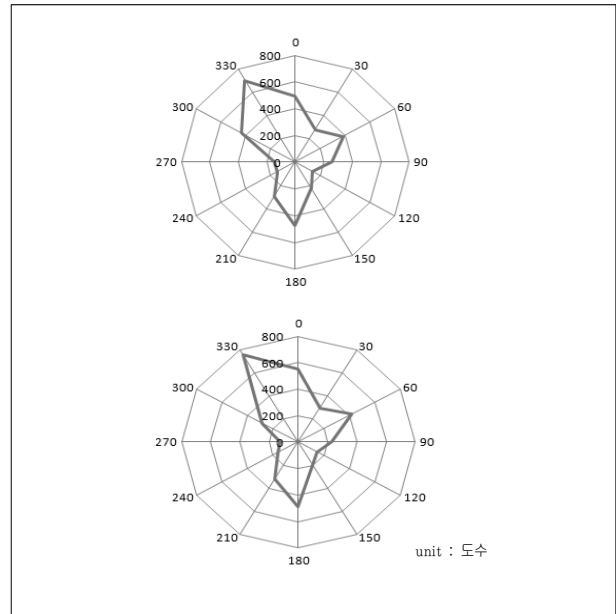


Fig. 7 Annual distribution of wind directions in the height of 30m (upper) and 20m (lower)

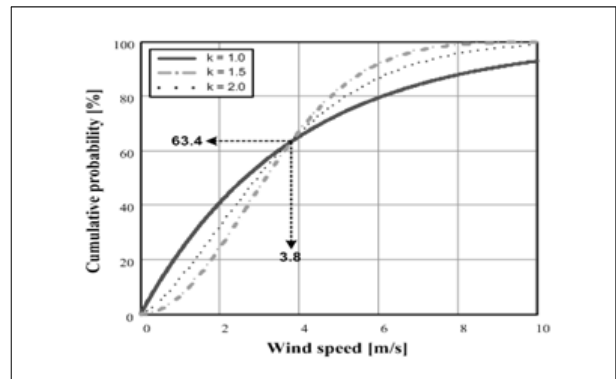


Fig. 8 Cumulative probability of Weibull distribution

풍속이 어느 특정 풍속 V일 확률을 표시하는 확률밀도함수는 다음과 같이 표현된다⁽⁷⁾.

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

여기에서 c는 척도계수(scale factor)로 분포되는 풍속의 평균치와 관계하는 상수이고 k는 형상계수(shape factor)로 분포된 풍속의 형상과 관계되는 상수이다. 분포함수의 계수 c, k를 구하면 임의의 속도에 대한 f(V)가 산출되므로 이 c, k값으로 측정지역의 풍속 특성을 나타낼 수 있다.

척도계수는 Fig. 8의 와이블 분포 누계출현 그래프에서 누계출현율이 63.4%에 달하는 지점의 속도 값으로 결정하고, 형상계수는 속도분포에 가까운 값을 시행착오 법으로 찾아낸다.

에너지 밀도는 특정지역에서 작동하는 풍력발전 시스템의 설계 지점을 결정짓는 중요한 요소이다. 에너지밀도 분석은 바람이 가지는 시간당에너지를 단위면적 단위로 표현하는 분

석을 말하는데 공기밀도(ρ), 풍속(v), 면적(A)을 근거로 식 (2)와 같은 방법에 의해 구해진다⁽⁷⁾.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 f(V) \quad (2)$$

여기서 공기밀도(ρ)는 $1.225\rho(kg/m^3)$ 로 사용되었다.

4.1 풍속 분포 분석결과

Fig. 9는 연간 풍속분포를 높이별로 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 연간 최빈속도는 약 4.5m/s 정도 되는 것으로 나타났다. 이를 분석하여 얻은 평균풍속과 와이블 분포의 척도계수와 형상계수는 Table 2와 같다.

이 값은 Table 1에 조사된 다른 지역의 풍속에 비해 매우

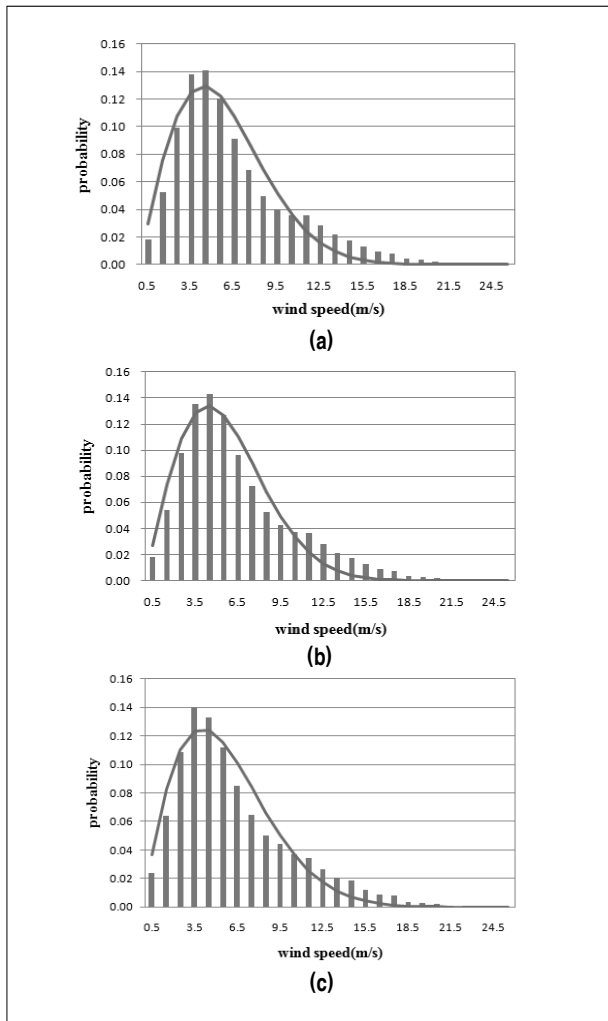


Fig. 9 Distribution of air speed; (a) 1st point in height of 30m, (b) 2nd point in height of 30m, (c) height of 20m

Table 2. Mean wind speed and parameters of Weibull distribution

| height [m] | mean speed [m/s] | K [-] | C [m/s] |
|------------|------------------|-------|---------|
| 30_1 | 6.08 | 1.90 | 6.41 |
| 30_2 | 6.05 | 1.96 | 6.30 |
| 20 | 5.93 | 1.79 | 6.40 |

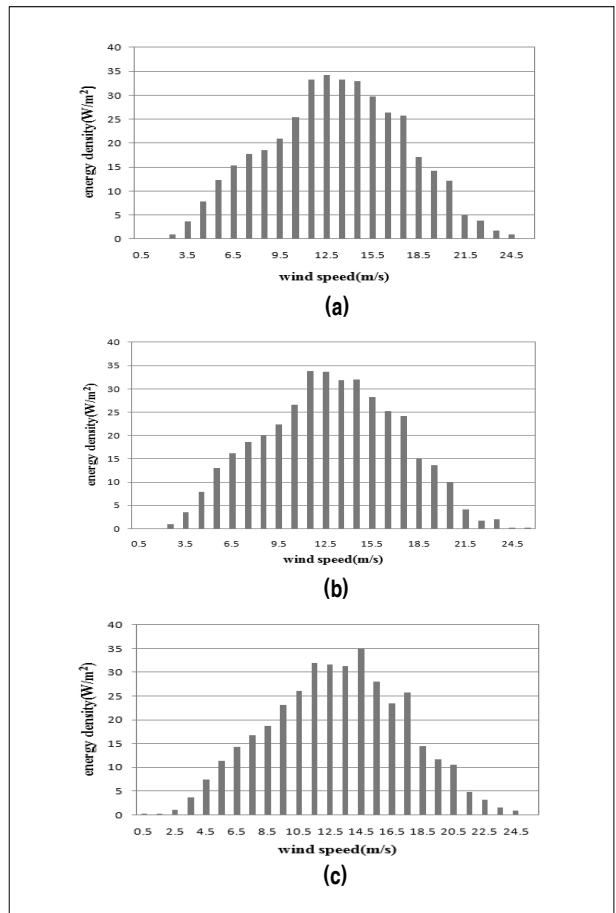


Fig. 10 Distribution of power density; (a) 1st point in height of 30m, (b) 2nd point in height of 30m, (c) height of 20m

높은 수준이며 우리나라에서 바람이 좋다고 알려진 제주도 월령지역과 유사한 수준으로 나타났다⁽⁴⁾.

이용 가능한 바람에너지는 척도계수와 형상계수에 따라 크게 변화한다. 예를 들어, 와이블 분포에서 척도계수가 4.6에서 6.4로 변화하면 이용 가능한 에너지는 약 270%정도 증가하며, 형상계수가 1.9로 감소하면 6%정도 증가하게 된다. 형상계수 2.0, 척도계수 4.6인 바람분포보다 약 두 배정도의 많은 에너지를 가지고 있는 분포라고 할 수 있다.

4.2 에너지 밀도 분석결과

Fig. 10은 에너지 밀도를 나타낸다. 에너지 밀도의 최댓값은 30m인 경우 풍속 12~13m/s 사이에 존재하고, 20m인 경우 풍속 14.5m/s 정도에서 나타났다.

에너지 밀도의 분포도를 살펴보면 최댓값을 기준으로 오른 쪽으로 치우친 형상을 나타내는 데 이것은 풍속을 고려하여 계산된 바람에너지 밀도에 풍속빈도확률분포를 곱한 결과이다.

5. 결론

본 논문에서는 새만금 방조제 중심부 유역에 위치한 고군산군도의 한 섬에 풍자원조사 탑을 설치하고 1년 동안 측정된 자료를 분석하였다.

이 지역의 월별 바람분포를 검토한 결과, 10월에서 익년 3월까지 바람에너지가 매우 풍부한 것으로 나타났고 나머지 달에서도 4.6m/s 이상의 평균 풍속이 꾸준히 유지되는 것으로 나타났으며, 연중풍향은 북서풍이 빈도가 높게 나타나 주풍인 것으로 조사되었다.

그리고 바람의 방향을 측정한 결과, 겨울철 북풍 혹은 북서풍에서 여름철 남서풍 혹은 남풍으로 계절에 따라 변화는 특

성을 보이는 것으로 나타났다.

바람분포를 분석한 결과, 최빈속도는 4.5m/s로 나타났으며, 연평균 풍속은 약 6.0 m/s 정도로 나타났고 와이블 분포의 형상계수와 척도계수는 각각 1.9와 6.4 정도 되는 것으로 분석되었다. 이 결과는 우리나라에서 바람이 좋다고 알려진 제주도 월령지역과 유사한 수준이다.

이 지역에 풍부한 바람에너지가 정량적으로 계측되고 알려진 만큼, 향후 새만금 유역의 풍력발전단지 개발 및 신재생산업 단지 개발에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다 (신재생에너지원천기술센터사업-No.2009T100100576 / 5MW급 대형해상풍력발전시스템개발-No.2008NWD12P0200002009).

References

- [1] Sinisa Stankovic, Neil Campbell, Alan Harries, "Urban wind energy", Earthscan, 2009.
- [2] IEC 61400-1, 2005, "Wind turbines - Part 1: Design requirements".
- [3] IEC 61400-2, 2006, "Wind turbines - Part 2: Design requirements for small wind turbines".
- [4] 장문석 외, 2005, "육/해상 풍력실증연구단지 조성 기획 연구 보고서", 산업자원부.
- [5] 기상청 자료 관리 서비스팀, 기술노트, 2007-9, "풍력자원지도 개발 연구보고서", 11-1360000-000355-14.
- [6] <http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/tables/A-8T.html>
- [7] Sathyyajith Mathew, 2006, "Wind Energy", Springer.

심애리



2008년 충남대학교 물리학과 이학사

현재 군산대학교 풍력기술연구센터 연구원
(E-mail : tatatoto@naver.com)

최연성



1982년 중앙대학교 전자공학과 공학사
1984년 중앙대학교 대학원 전자공학과 공학석사
1989년 동 대학원 전자공학과 공학박사

현재 군산대학교 정보통신공학과 교수
(E-mail : yschoi@kunsan.ac.kr)

이장호



1988년 서울대학교 농업기계 공학사
1995년 포항공과대학교 대학원 기계공학과
공학석사
2004년 포항공과대학교 대학원 기계공학과
공학박사

현재 군산대학교 풍력기술연구센터장, 군산대학교 기계자동차공학부 교수
(E-mail : jangho@kunsan.ac.kr)