HeMOSU-1호 관측 자료를 이용한 해상풍속 산정오차 분석 Error analysis on the Offshore Wind Speed Estimation using HeMOSU-1 Data

고동휘* · 정신태* · 조홍연** · 김지영*** · 강금석***

Dong Hui Ko*, Shin Taek Jeong*, Hongyeon Cho**, Ji Young Kim*** and Keum Seok Kang***

요 지 : 본 연구에서는 해상풍력발전 후보지인 영광해상에 설치한 해상 기상타워 해모수 1호(HeMOSU-1)의 2011년 연간 풍속 관측 자료와 기상타워 해모수 1호 설치 지점에 인접한 부안, 고창, 영광 3개 지점의 육상 풍속자료를 이용하여 해상 임의고도에서의 풍속 산정 과정에서 발생하는 오차에 대한 분석을 수행하였다. 먼저 육상 풍속자료와 해상 풍속자료의 선형회귀분석으로 유도된 관계식을 이용하여 해상 기준고도(평균해수면 98.69 m)의 해상풍속자료를 추정하였다. 그리고, 추정된 해상풍속 자료는 관측자료를 통해 산출된 고도분포지수 값(≈ 0.115)과 멱법칙 풍속프로파일을 이용하여 87.65 m 높이로 고도보정하여 관측치와 비교하였다. 연구 수행결과, 공간보정오차는 1.6~2.2 m/s 정도이며, 고도보정오차는 0.1 m/s 정도로 공간보정오차의 약 5% 정도에 불과한 것으로 파악되었다. 육상자료를 환산하여 해상임의지점의 풍속을 추정하는 경우, 큰 오차가 발생하기 때문에 장기간의 해상자료를 확보하거나 정확도가 높은 모델링 자료를 이용하여야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 해상풍력, 풍속 프로파일, 멱법칙, 해모수 1호, 고도분포지수

Abstract : In this paper, error analyses on the calculation of offshore wind speed have been conducted using HeMOSU-1 data to develop offshore wind energy in Yeonggwang sea of Korea and onshore observed wind data in Buan, Gochang and Yeonggwang for 2011. Offshore wind speed data at 98.69 m height above M.S.L is estimated using relational expression induced by linear regression analysis between onshore and offshore wind data. In addition, estimated offshore wind speed data is set at 87.65 m above M.S.L using power law wind profile model with power law exponent(0.115) and its results are compared with the observed data. As a result, the spatial adjustment error are 1.6~2.2 m/s and the altitude adjustment error is approximately 0.1 m/s. This study shows that the altitude adjustment error is about 5% of the spatial adjustment error. Thus, long term observed data are needed when offshore wind speed was estimated by onshore wind speed data. because the conversion of onshore wind data lead to large error.

Keywords : offshore wind energy, wind profile, power law, HeMOSU-1, power law exponent

1. 서 론

풍력에너지의 개발을 위해서는 설치 대상 지역의 장기 바람 관측을 이용한 풍황 분석을 통하여 적정성 여부를 판단하여야 한다. 특히 터빈설계 및 발전량 예측을 위해서는 설치 지점의 풍속을 추정하여야 한다. 이러한 목적을 위하여 한국전력공사(Korea Electric Power Corporation: KEPCO)에서는 해상풍력단지 예정부지에 해상 기상타워인 해모수 1호(HeMOSU-1: Herald of Meteorological and Oceanographic Special Unit-1)를 건설하여 풍황 자료를 관측하고 있다.

대기 경계층 내의 풍속은 높이에 따라 변동하는 특성을 가

지고 있으며 변동성은 표면응력, 수직 열 흐름, 표면 거칠기(Surface roughness)의 영향을 받기 때문에 이의 특성을 검토하는 것은 매우 중요하다(Hsu, 1988). 실제 대기 경계층에서는 표면 거칠기에 의해 전단력이 발생하며 전단력의 영향으로 측정 높이에 따라 풍속의 연직 구배가 발생하게 된다. 이와 같은 표면의 거칠기를 나타내는 대표적인 인자로는 표면 조도가 있다(정·김, 2010). Wiering et al.(2001)은 대수법칙을 이용하여 대기 안정성과 표면 조도를 검토하였으며 Davenport에 의한 표면조도 분류법을 제시하였고 현재 많은 연구에서 사용되어지고 있다. 이와 같이 추정된 표면조도는 다른 지역의 비슷한 조건에서도 적용할 수 있는 장점이 있어 신뢰도 있

* 원광대학교 토목환경공학과(Corresponding author: Shin Taek Jeong, Department of Civil and Environmental Engineering, Wonkwang University, Jeonbuk 570-749, Korea. Tel: 063-850-6714, Fax: 063-857-7204, stjeong@wonkwang.ac.kr)

** 한국해양과학기술원, 해양환경 · 보전연구부(Marine Environments and Conservation Research Division, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Seoul 425-600, Korea)

*** 한국전력공사 전력연구원(KEPCO Research Institute, Daejeon 305-380, Korea)

는 관측 자료를 활용한다면 매우 유용한 정보가 된다(정 등, 2009).

풍속 분포를 추정하는 방법으로는 멱법칙(Power law)과 대수법칙(Logarithmic method)을 이용한 방법, 돌풍인자법(Gust method), 표준편차법(Standard Deviation Measurements), 측정환경 주위의 지형 및 지물을 이용한 계산법(Terrain Method) 등이 있다(Barthelmie et al., 1993; Sozzi and Favaron, 1997; 정 등, 2009). 한편, 공학적인 관점에서는 접근성이 용이하며 사용이 간편한 멱법칙을 주로 사용한다. 멱법칙은 풍속 분포가 지수분포를 따른다고 가정하고 있으며, 표면조도와 관련된 고도분포지수를 포함하고 있다. Kim and Choi (2002)는 풍향 실측자료를 이용하여 포항지역의 고도분포지수를 산출하였으며, Hsu(1982)는 열대 해안지역의 고도분포지수 산출에 대한 연구를 수행한 바 있다. 해상의 경우 IEC 61400-3에서는 0.14, American Society of Civil Engineers (ASCE) 7-93에서는 0.1, National Building Code of Canada (NBC)에서는 0.16의 고도분포지수 값을 제시하고 있다. 또한 일본 해상풍력발전 기술매뉴얼(박 등, 2011)에는 0.1~0.14의 값을 제시하고 있으며 일반적으로 멱법칙의 고도분포지수, α 값은 $0.05 < \alpha < 0.5$ 값을 사용하도록 권장하고 있다(IEC, 2009; Hsu, 1988; Simiu, 2011; Simiu and Scanlan, 1966). 한편, 해상에서의 관측은 많은 시간과 투자 그리고 위험이 따르기 때문에, 해상에서 장기간 측정된 바람 자료를 구하기는 매우 드문 실정이다. 이러한 이유로, 대부분의 경우 단기간의 해상관측자료를 이용하여 육상바람 관측자료와의 상관관계를 도출한 후, 도출된 관계식을 이용하여 기준고도에서의 장기바람자료를 생성하는 방법을 취한다. 이렇게 생성된 자료는 원하는 고도에서의 자료로 또 한번 환산하는 과정을 거치게 된다. 장기 바람 관측자료가 없는 해상에서는 이러한 방법으로 풍향을 분석하거나 장기간의 모델링 자료를 이용하여 분석하는 방법이 불가피하며 이때, 풍향 분석 자료는 환산에 따른 불확실성 오차 등을 감안하여야 한다. 따라서 모델링 자료를 이용하는 경우는 모델예측결과의 오차, 육상자료를 이용하는 경우는 공간보정과 고도보정오차 등을 정량적으로 검토하여야 한다.

본 연구에서는 HeMOSU-1호의 2011년 관측자료를 이용하여 육상자료를 해상 임의의 고도자료로 보정하는 공간보정오차와 고도보정오차를 분석하였다. 또한 인근 육상 풍속 자료를 활용하여 육상과 해상의 풍속 관계식을 산정하였으며, 고도분포지수를 산출하여 해상의 대기내 풍속 프로파일을 작성하였다. 마지막으로 모델의 검증에 위하여 각 방법에 의하여 고도별로 추정된 계산치와 관측치와의 오차를 분석하였다.

2. 자료 및 방법

2.1 관측자료

지식경제부는 국내 서남해안의 위도와 안마도 사이에 해상

Fig. 1. Photo of HeMOSU-1.

풍력 실증단지 구축 연구의 일환으로 $126^{\circ} 07' 45.30''$ E, $35^{\circ} 27' 55.17''$ N 지점에 해상 기상타워인 해모수 1호를 설치하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 해모수 1호는 4개의 강판 파일에 의해 지지되는 자켓 기초에 사각 트러스 타워를 설치하였으며 평균해수면 기준으로 약 100 m 높이까지 바람정보를 관측할 수 있도록 설계하였다. 기상타워에는 8개 높이 지점에 풍속계와 풍향계를 설치하여 10분 간격으로 풍속과 풍향을 관측할 수 있도록 하였다.

풍속계는 Vector Instruments사의 A100M 제품을 사용, 총 8개 지점에 설치하여 풍속을 관측하였다. A100M 제품은 $250 \times 160 \times 160$ mm 크기로 $-55 \sim 55^{\circ}\text{C}$ 내에서 작동을 하며 $1\% \pm 0.05$ m/s의 정확도를 가지고 있다. 본 연구에서는 2011년 01월에서 2011년 12월까지, 총 1년간의 해모수 1호의 10분 평균 풍속 자료를 월평균으로 변환하여 사용하였다. 2011년 1~9월, 총 9개월 자료는 총 8개 지점에서 관측한 10분 평균 자료를 사용하였으며, 2011년 10~12월의 자료는 평균해수면 (MSL) (+)57.65 m 자료가 결측되어 7개 지점의 자료만 사용하였다. 대상지점의 평균해수면은 2011년 4월 12일에서 2011년 6월 17일까지 약 2개월 연속적으로 관측된 10분 조위 자료를 사용하여 산정하였다. 조화분석한 결과 대상지점의 평균해수면은 D.L(+) 3.16 m로 나타났으며 계측기별 관측 높이는 각각 MSL(+) 98.69, 97.65, 87.65, 77.65, 67.65, 57.65, 47.65, 27.65 m이다. 본 연구에서는 해상과 육상 기상자료와의 관계를 파악하기 위하여 기상청 홈페이지(<http://>

Fig. 2. A map of four Meteorological observation stations (HeMOSU-1, Buan, Gochang, Yeonggwang).

www.kma.go.kr)에서 해상기상타워 인근 3개 지역, 부안, 고창, 영광의 2011년 연간 기상자료를 분석하였다. Fig. 2와 같이 부안기상관측소와 영광 공동협력기상관측소는 무인관측소로서 해상기상타워에서 각각 약 60 km, 37 km 떨어진 지점에 설치되어있으며, 고창 기상대는 유인관측소로서 해상기상타워와 약 45 km 떨어진 지점에 설치되어있다. 또한 풍속계의 높이는 지상에서 10 m 위치에 설치되어 관측이 진행된다. 한편, 부안의 관측 자료는 30년 이상의 장기간 자료가 가용하지만, 영광과 고창은 장기간 자료가 확보되어 있지 않아 풍향 분석에는 부안의 장기관측 자료의 효용성이 더 높다고 볼 수 있다.

2.2 분석 방법

대상 지점의 환경 특성을 정확히 판단하기 위해서는 반드시 현장의 상황을 반영할 수 있도록 현장 관측이 수행되어야 한다. 해상 관측은 기상 타워 설치, 선박 또는 부이를 이용한 관측이 일반적이지만, 해상의 열악한 환경 속에서 발생

하는 고비용 및 운용의 문제로 해상 현장 관측이 아닌 육지 관측 데이터를 해상 공간으로 보정하여 사용하고 있다(Barthelmie et al., 1996). 이처럼 보정이 가능한 이유는 Fig. 3과 같이 해상의 풍속과 육상 풍속간의 경향이 대체로 비슷하고, 둘 사이의 관계식이 합리적으로 표현될 수 있기 때문이다.

Hsu(1988)는 육지와 해상 풍속 사이에 선형성이 있음을 파악하고, 식 (1)과 같은 관계식을 제안하였다.

$$U_{sea} = A + BU_{land} \quad (1)$$

여기서 A, B는 매개변수이다.

본 연구에서는 식 (1)은 물론, 상수항을 제외한 식 (2)를 이용하여 분석을 실시하였으며, 이들의 결과를 비교 분석하였다.

$$U_{sea} = BU_{land} \quad (2)$$

또한, 식 (3)과 같은 멍함수 형태로 두 자료의 관계성을 살펴보았다.

$$U_{sea} = AU_{land}^B \quad (3)$$

해상에서의 풍속 수직 분포와 풍속 수직 전단에 대한 파악은 풍파, 해류를 발생시키는 원동력으로서 운동량 전달 뿐만 아니라 선박, 해상 구조물에 영향을 미치는 풍하중으로서 작용하기 때문에 매우 중요하게 고려해야 할 사항이다(Hsu et al., 1994). 따라서 위 식에 의해 추정된 풍속은 풍속 프로파일을 통해 고도별 풍속으로 변환할 수 있다. 일반적으로 풍속 프로파일 모델로는 멍법칙(Power law)과 대수법칙(Logarithmic law)이 많이 사용된다. 대수법칙은 조도길이, 대기 안정도 영향을 고려하기 때문에 멍법칙에 비해 정확하지만 복잡하고 사용의 어려움이 존재하기 때문에, 공학적인 관점에서는 멍법칙을 주로 사용한다.

(a) Offshore wind speed

(b) Onshore wind speed

Fig. 3. Time series plot of the wind speed data.

높이에 따른 평균 풍속 변동은 멱법칙에 의해 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 평균 풍속, $U(z)$ 는 지면으로부터의 높이, z 의 함수로서 높이 z 에 따른 평균풍속을 나타낸다 (Mwanyika and Kainkwa, 2006).

$$U(z) = U(z_{ref}) \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha \quad (4)$$

여기서 $U(z_{ref})$ 는 기준 높이 z_{ref} 에서의 평균 풍속이며, α 는 고도분포지수이다.

고도분포지수 α 는 대표적인 고도분포함수에서 사용되는 대수법칙의 조도길이(Roughness length)와 기준고도에서의 풍속과 풍속의 구배가 동일하다는 가정 하에서 두 매개변수 사이에 식 (5)와 같은 관계식이 성립됨을 알 수 있다.

$$\alpha = \left[\ln \left(\frac{z_{ref}}{z_0} \right) \right]^{-1} \quad (5)$$

3. 분석 결과

3.1 공간보정오차

3개 지점의 육상 자료와 해상기상타워 98.69 m 고도의 관측 자료 사이에 선형관계가 성립한다고 가정하여 식 (1), (2), (3)에 의해 회귀분석을 수행하였다. 부안, 고창 그리고 영광 지점에서 관계식의 매개변수 값을 Table 1에 나타냈다.

식 (1)을 사용한 결과는 식 (2), (3)을 이용한 식에 비하여 정도가 더 높으므로, 차후에는 식 (1)을 활용한 결과만을 검토하였다. 부안 기상관측소 자료의 결정계수, R^2 값은 0.51로 고창 및 영광 지점에 비해 상대적으로 낮았으며, 이는 다른 지점에 비해 부안 기상관측소의 위치가 해상기상타워에서 멀리 떨어져 있기 때문에 상대적으로 선형 관계성이 낮은 것으로 판단되었다. 부안, 고창, 영광 지리적 특성에서 오는 공간 오차는 각각 2.16 m/s, 1.63 m/s, 1.59 m/s로서, RMS 오차 측면에서는 영광 또는 고창지점의 바람자료를 이용하는 것이 바람직하지만, 30년이상 축적된 부안 장기 자료의 사용이 풍황 분석에는 불가피할 것으로 판단된다.

Table 1. Results of linear regression analysis

Fit type	Location	A	B	R^2	RMSE
Eq. (1)	Buan	2.913	2.283	0.51	2.16
	Gochang	1.886	1.848	0.73	1.63
	Yeonggwang	1.713	2.204	0.73	1.59
Eq. (2)	Buan	-	3.526	0.32	2.54
	Gochang	-	2.382	0.65	1.83
	Yeonggwang	-	2.770	0.68	1.76
Eq. (3)	Buan	4.921	0.642	0.50	2.18
	Gochang	3.323	0.752	0.73	1.63
	Yeonggwang	3.590	0.782	0.73	1.60

Fig. 4. The scatter plot between onshore and offshore wind speed data.

Fig. 4에 선형관계에 대한 결과를 도시하였다.

3.2 고도보정오차

본 연구에서는 2011년 해상기상타워 관측 자료를 이용하

여 식 (4)에 따라 비선형 회귀분석(regression analysis)을 수행하여 고도분포지수를 산정하였다. 2011년 풍속 자료를 분석한 결과 고도분포지수 평균 값은 Table 2에서와 같이 평균 0.115로 나타났다. 한편 추정된 고도분포지수 값에 대하여 전술한 식 (5)와 $z_{ref} = 98.69$ m를 적용한 결과, 대수법칙에서 사용하는 조도길이 의 값은 0.016 m로 나타났다.

지상 10 m에서 관측한 풍속 자료를 이용하여 식 (1)에 의

Table 2. Estimated optimal power law exponent using monthly mean HeMOSU-1 data

Month (2011)	α , Power law exponent	R^2	RMSE
Jan	0.097	0.904	0.116
Feb	0.085	0.892	0.081
Mar	0.099	0.928	0.090
Apr	0.175	0.979	0.079
May	0.206	0.988	0.069
Jun	0.160	0.979	0.063
Jul	0.194	0.982	0.088
Aug	0.128	0.889	0.122
Sep	0.083	0.828	0.104
Oct	0.047	0.442	0.146
Nov	0.070	0.880	0.085
Dec	0.033	0.537	0.114
Mean	0.115	0.852	0.096

해 해상 공간 98.69 m에서의 풍속을 추정할 수 있다. 또한 추정된 해상 풍속을 기준으로 고도분포지수 값에 의해 고도별 풍속 분포를 작성할 수 있다. 추정된 풍속을 평가하기 위해 98.69 m, 87.65 m의 추정 값을 관측 값과 비교해 보았으며 이 두 값의 오차 정도를 나타내기 위해 평균제곱근 오차(Root Mean Square Error: RMSE)를 사용하였다. 평균 고도보정오차는 0.096 m/s 수준으로 나타났으며, 앞 절에서 언급한 불안 공간보정오차 2.16 m/s는 고도보정오차의 22.5배 수준으로 대부분의 오차는 공간보정오차에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 비교적 공간 상관관계가 높은 고창, 영광자료의 경우에도 공간보정오차는 1.59~1.63 m/s 수준으로 대략 16.6~17.0

Table 3. Summary of the estimation error at each elevation

(Unit: m/s)				
Site	Altitude (m)	HeMOSU-1	Buan	Gochang Yeonggwang
	98.69	-	1.234	0.641 0.976
	97.65	0.189	1.244	0.658 0.854
	87.65	0.182	1.223	0.657 0.839
	77.65	0.187	1.219	0.664 0.836
	67.65	0.117	1.238	0.686 0.966
	57.65	0.227	1.247	0.721 0.729
	47.65	0.275	1.254	0.748 0.876
	27.65	0.446	1.348	0.894 1.013

Fig. 5. Mean observed and predicted wind speed profiles using power law exponent for each month(• Observed, — HeMOSU-1, - - - Buan, - - - Gochang, Yeonggwang).

배 수준으로 파악되었다. 따라서 해상풍력 발전을 위한 풍황 분석은 고도보정오차보다는 공간보정오차의 영향이 크기 때문에 공간보정오차를 줄이기 위한 연구 및 장기 해상 관측 자료 축적이 요구된다.

Table 3은 공간보정과 고도보정을 통하여 각 지점의 풍속을 추정하였을 경우에 발생하는 오차를 고도별로 정리하였다. 기준 고도 98.69 m에서의 풍속은 식 (1), (2), (3)에 의해 산정할 수 있으므로 RMS 오차는 공간보정오차만 포함하고 있다. 반면, 다른 고도는 공간보정과 고도보정 과정을 모두 거치기 때문에 RMS 오차에 공간보정오차와 고도보정오차를 모두 포함하고 있다. 공간보정을 한 기준고도 98.69 m 인근 높이에서 작은 오차를 보인 반면, 고도가 해수면으로 접근할수록 오차는 점차 커지고 있다. 이는 고도보정의 영향이 점차 커지기 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

Fig. 5에 각 자료에 따른 풍속 프로파일의 차이를 도시화하였다.

3.3 조위 변동의 영향

본 연구에서는 실측 조위의 변동성이 고도분포지수 산정에 미치는 영향을 분석하기 위하여 1) 평균해수면을 기준으로 하여 고도분포지수를 산출한 경우(Case 1)와 2) 시간별 조위에 따라 높이를 재수정하여 고도분포지수를 산출한 경우(Case 2)로 나누어 분석하였다. 해상기상탐에서 관측한 조위 자료를 이용하여 조화 분석을 수행한 결과, M_2 , S_2 , O_1 , K_1 분조의 진폭은 각각 187.7 cm, 71.29 cm, 31.24 cm, 25.86 cm로 나타났으며 대상 지점의 조석형태수는 0.22로 산정되었다. 따라서 이러한 조위 변동이 고도분포지수에 미치는 영향을 살펴보았다.

2가지 경우에 대하여 고도분포지수를 산출한 결과, Case 1의 경우 0.0228~0.1901, Case 2의 경우 0.0228~0.1898 값의 범위를 보였다. 한편 Case 1과 Case 2의 평균 고도분포지수 값의 차이는 0.0005로 거의 동일하였으며, 따라서 조위

의 변동성이 대기경계층 내의 풍속 분포에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 사료되었다.

한편, 고도분포지수를 이용하여 특정 시점(2011년 5월 3일 13시)의 풍속 프로파일을 작성하였으며, 이를 관측 자료와 비교하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 평균해수면을 기준으로 분석한 결과가 약간 큰 값을 보였지만 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 해상 임의 높이에서의 풍속 산정 방법에 대하여 고찰하고, 오차를 분석하였으며, 이를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 공간보정오차는 1.59~2.16 m/s이며, 고도보정오차는 0.096 m/s로 공간보정오차의 약 5%정도에 불과한 것으로 파악되었다. 따라서, 육상자료를 활용하여 해상자료를 추정할 경우, 큰 오차가 발생하기 때문에, 장기간의 해상관측자료를 확보하거나, 장기간의 해상풍 모델링 자료를 이용하는 것이 요구된다. 그러나, 실질적으로는 장기 해상풍 관측자료 부족, 고관측 비용 소요 등으로, 공간 오차가 가장 적은 지점의 육상자료를 이용하여 추정하여야 한다.

(2) 육상 풍속과의 관계식 (1)~(3)을 이용하여 해상 풍속을 산출하였다. 식 (1)을 사용하여 해모수 1호 자료와 부안, 고창, 영광 자료의 선형식을 산정한 결과, 선형식의 RMS 오차는 각각 2.16, 1.63, 1.59로 나타났다. 부안, 고창, 영광의 기상 관측소는 해모수 1호 지점에서 각각 약 60 km, 45 km, 37 km 이격되어 있으며, 영광 자료가 상대적으로 작은 오차를 보이는 반면, 부안 자료의 오차는 크게 나타났다. 이는 대상지점에서 가장 멀리 떨어진 부안의 지리적 위치 때문에 선형성이 떨어지는 것으로 판단된다.

(3) 해모수 1호의 연간 관측 자료를 이용하여 멱법칙의 고도분포지수를 산출하였다. 본 연구에서 산출한 고도분포지수 값은 0.115로 나타났으며, IEC 61400-3에서 제시한 0.14 ($\approx 1/7$), ASCE 7-93에서 제시한 0.1 값들과 큰 차이를 보이지 않았다.

(4) 식 (1)~(3)과 Table 1의 추정된 매개변수 값을 이용하여 MSL(+) 98.69 m 지점의 해상 풍속을 추정하였다. 또한, 분석한 고도분포지수, $\alpha \approx 0.115$ 를 이용하여 풍속프로파일을 작성하였으며 MSL(+) 98.69, 97.65, 87.65, 77.65, 67.65, 57.65, 47.65, 27.65 m(총 8개) 고도의 풍속을 추정하였다. 추정된 값의 정확도를 판단하기 위해 관측치와의 평균제곱근 오차(RMSE)를 분석하였다. 해모수 1호에 가장 인접한 고창과 영광의 RMS 오차는 평균 0.71과 평균 0.89인 반면, 부안의 경우는 평균 1.25의 RMS 오차를 보였다. 따라서 육상 자료를 이용하여 해상 풍력자료를 추정할 경우, 고창 또는 영광 자료가 가장 적합할 것으로 파악되었다.

(5) 식 (5)에서 제안한 고도분포지수 α 와 조도길이 Z_0 와의

Fig. 6. Mean wind speed profile variation due to tidal level.

관계식을 이용하여 본 지점의 조도길이를 산정하였다. 본 연구에서 기준고도로 설정한 98.65 m와 추정된 고도분포지수 0.115를 이용하여 Z_0 를 추정할 경우, 조도길이는 0.016 m로 나타났다.

(6) 본 지점의 조석 형태수는 0.22로서 전형적인 서해안의 조석형태를 띠고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 조위의 변동성을 고려하여 시간별 계측기 높이를 재산정하여 분석하였으며 그 결과, Fig. 6과 같이 조위의 변동성이 풍속 프로파일에 미치는 영향은 크지 않는 것으로 나타났다.

장기간 해양 관측 자료가 결여된 국내 사정을 고려하였을 때, 단기 관측 자료 및 모델링 자료를 해상풍력단지 설계를 위하여 활용하는 것은 불가피하다. 따라서 해당 해역에 대한 설계 풍속은 ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 바람 모델링자료, JMBSC(Japan Meteorological Business Support Center) 바람 모델링자료 등과 비교·분석을 수행하여 신뢰성 높은 자료를 구축하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제 기술혁신사업인 “서남해 2.5 GW 해상 풍력 개발을 위한 실증단계 연구(과제번호:20113040020010)”와 해양에너지 및 자원이용기술개발사업인 “해양에너지 전문 인력 양성사업(과제번호:20110020)”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 기상청(2011). <http://www.kma.go.kr>
 박우선, 이광수, 정신탉, 강금석, 안희도 (2011). 해상풍력발전 기술매뉴얼. 한국해양연구원.
 정태윤, 김현구 (2010). 언덕지형과 지표상태에 따른 대기경계층 풍속분포 관측·분석. 한국풍공학회 학술대회발표집, 한국풍공학회, 216.

- 정태윤, 임희창, 김현구, 장문석 (2009). 월령 연안지역 대기경계층의 유동특성과 대기 안정성에 대한 고찰. 한국환경과학회지, 18(8), 857-865.
 Barthelmie, J.P. and Palutikof, J.P. (1996). Coastal wind speed modelling for wind energy applications. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 62, 213-215.
 Barthelmie, J.P., Palutikof, J.P. and Davies, T.D. (1993). Estimation of sector roughness lengths and the effect on prediction of the vertical wind speed profile. Boundary-Layer Meteorology, 66, 21-34.
 Hsu, S.A. (1988). Coastal Meteorology. Academic Press, Inc.
 Hsu, S.A. (1982). Determination of the power-law wind profile exponent on a tropical coast. Journal of Applied Meteorology, 21, 1187-1190.
 Hsu, S.A., Meindl E.A. and Gilhousen D.B. (1994). Determining the power-law wind-profile exponent under near-neutral stability conditions at sea. Journal of Applied Meteorology, 33, 757.
 International Electrotechnical Commission (2009), IEC61400-3, IEC, 22.
 Kim, H. G. and Choi, J. O. (2002). Calculation of wind profile exponent in Pohang area. 한국풍공학회지, 6(1), 47-52.
 Mwanyika HH. and Kainkwa RM. (2006). Determination of the power law exponent for southern highlands of tanzania. Tanzania Journal of Science, 32, 104.
 Simiu. E. (2011). Design of Buildings for Wind, 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc., 121-123.
 Simiu. E. and Scanlan. R.H. (1966). Wind Effects on Structures, 3rd edition. John Wiley & Sons, Inc., 39-46.
 Sozzi, R. and Favaron, M. (1997). Method for estimation of surface roughness and similarity function of wind speed vertical profile. Journal of Applied Meteorology, 37, 461-465.
 Wieringa, J., Davenport, A.G., Grimmond, C.S.B. and Oke, T.R. (2001). New revision of Davenport roughness classification. 3rd European & African Conf. Netherlands, 1-8.

원고접수일: 2012년 9월 25일
 수정본채택: 2012년 10월 17일
 게재확정일: 2012년 10월 17일