

풍속고도분포지수 산정 및 불확도 평가 - 제주도 사례

Calculation of Vertical Wind Profile Exponents and Its Uncertainty Evaluation - Jeju Island Cases

김유미* · 김현구**† · 강용혁* · 윤창열* · 김진영* · 김창기* · 김신영*

Kim You-Mi*, Kim Hyun-Goo**†, Kang Yong-Heack*

Yun Chang-yeol*, Kim Jin-Young*, Kim Chang Ki* and Kim Shin-Young*

(Received 20 January 2016; accepted 01 August 2016)

Abstract : For accurate wind resource assessment and wind turbine performance test, it is essential to secure wind data covering a rotor plane of wind turbine including a hub height. In general, we can depict wind speed profile by extrapolating or interpolating the wind speed data measured from a meteorological tower where multiple anemometers are mounted at different heights using a power-law of wind speed profile. The most important parameter of a power-law equation is a vertical wind profile exponent which represents local characteristics of terrain and land cover. In this study, we calculated diurnal vertical wind profile exponents of 8 locations in Jeju Island who possesses excellent wind resource according to the GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) to evaluate its uncertainty. Expanded uncertainty is calculated by combined standard uncertainty, which is the result of composing type A standard uncertainty with type B standard uncertainty. Although pooled standard deviation should be considered to derive type A uncertainty, we used the standard deviation of vertical wind profile exponent of each day avoiding the difficult of uncertainty evaluation of diurnal wind profile variation. It is anticipated that the evaluated uncertainties of diurnal vertical wind profile exponents at 8 locations in Jeju Island are to be registered as a national standard reference data and widely used in the relevant areas.

Key Words : 풍속고도분포지수(Vertical Wind Profile Exponent), 측정불확도표현지침(GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement), 불확도(Uncertainty), 시간대별(Diurnal), 제주도(Jeju Island)

**† 김현구(교신저자) : 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터
E-mail : hyungoo@kier.re.kr, Tel : 042-860-3376
*김유미, 강용혁, 윤창열, 김진영, 김창기, 김신영 : 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터
**† Kim Hyun-Goo(corresponding author) : New-Renewable Energy Resource Center, Korea Institute of Energy Research
E-mail : hyungoo@kier.re.kr, Tel : 042-860-3376
*Kim You-Mi, Kang Yong-Heack, Yun Chang-Yeol, Kim Jin-Young, Kim Chang Ki, and Kim Shin-Young : New & Renewable Energy Resource Center, Korea Institute of Energy Research.

기 호 설 명

V	: 풍속 (m/s)
Z	: 고도 (m)
α	: 풍속고도분포지수
t	: 시간
n	: 데이터 개수
u	: 불확도
s_d	: 표준편차
R	: 분해능
c	: 감도계수
U	: 교정성적서상 확장불확도
k	: 포함인자

1. 서 론

풍력자원 평가 또는 풍력터빈의 성능평가를 위해서는 통상 풍력터빈 허브(hub) 높이에서의 풍속을 측정하여야 한다. 만일 풍력터빈 허브 높이보다 낮은 기상탑을 설치하였다면 필수적으로 다중 높이에 풍속계를 장착하여 측정한 후 허브 높이에서의 풍속을 외삽(extrapolation) 추정하여야 한다. 최근에는 보다 정확한 풍력자원 평가를 위하여 풍력터빈 블레이드(blade)의 회전구간 전체에 대한 풍속분포를 요구하는 추세이며, 이때 다중 높이에 대한 풍속 측정값을 외삽 또는 내삽(interpolation) 추정할 수 있어야 한다.

풍력터빈 설계요구조건의 국제표준인 IEC 61400-1(육상풍력)¹⁾과 IEC 61400-3(해상풍력)²⁾에서는 풍속의 고도보정에 로그법칙(logarithmic law)과 함께 다음과 같은 지수법칙(power law) 형태의 풍속고도분포식을 사용하도록 권고하고 있다.

$$V(Z) = V_R \left(\frac{Z}{Z_R} \right)^\alpha \quad (1)$$

여기서 $V(Z)$ 는 높이 Z 에서의 평균풍속을, V_R 은 기준높이(reference height) Z_R 에서의 평균풍속이며, 풍속고도분포의 형상은 풍속고도분포지수(wind profile exponent) 또는 풍속전단지수(wind shear exponent, α)에 의해 결정된다.

IEC 61400-1과 IEC 61400-3에서는 풍력터빈의 일반적인 가동상태인 표준바람조건(normal wind condition) 하에서의 표준풍속분포(normal wind profile) 모델식을 Eq. (1)로 정의하며, 육상은 $\alpha=0.20$, 해상은 $\alpha=0.14$ 의 값을 추천한다. 그러나 일반적으로 풍속고도분포지수는 해당 지역의 지면거칠기 및 대기안정도에 따라 그 변동폭이 매우 크기 때문에, 단지 육상과 해상에 대한 대표 상수값으로 풍속고도분포를 추정하는 것은 부적절하다고 사료된다.

문서정 등(2013)³⁾은 제주 북동부 연안의 풍력자원평가를 수행하며 IEC 61400-1에서 제시된 상수값을 풍속고도분포지수를 적용함이 부적합함을 지적하고, 기상탑 측정자료를 이용하여 해당지역의 풍속고도분포지수를 산정하였다. 그러나 이들은 측정불확도 표현지침(GUM; Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)⁴⁾에 따라 풍속고도분포지수를 산정하지 않았으므로, 제시된 값을 해당지역에 대한 참조표준 측정량(measurand)으로 채택하기는 어렵다.

‘참조표준’이라 함은 국가표준 기본법(제3조 7항)에 의거하여 측정 데이터 및 정보의 정확도와 신뢰도를 과학적으로 분석·평가하여 공인된 자료를 말한다. 이를 통하여 관련 분야에서 널리 지속적으로 사용되거나 반복 사용이 가능하다.

본 연구에서는 한국에너지기술연구원에서 수행한 제주도 내 다수 지점에서의 기상탑 측정자료⁵⁾를 이용하여 시간대별 평균 풍속고도

분포지수를 산정하되 측정불확도 표현지침에 따라 합성표준 불확도를 평가함으로써 풍력분야 및 풍공학분야에서 활용할 수 있는 공인자료로서의 참조표준을 제시하고자 한다.

2. 연구자료

본 연구에서는 2015년 국가참조 풍속고도분포지수 생산절차에 따라 측정된 풍속자료⁵⁾를 이용하였다. 즉, Fig. 1과 같이 제주도 내 8개 지점에 기상탑을 설치하고 지상 15 m와 30 m의 높이에 풍속계를 부착하여 계절 변동성을

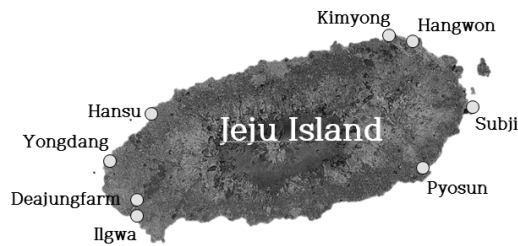


Fig. 1 Locations of wind resource measurement sites in Jeju Island

Table 1. Site details of wind resource measurement in Jeju Island

Site	Location	Measurement Period
Kimyong	33°33'36"N, 126°45'36"E	1999. 12. 30 ~ 2004. 04. 13
Hangwon	33°33'30"N, 126°48'40"E	1996. 05. 31 ~ 1997. 12. 29
Subji	33°25'43"N, 126°55'45"E	1998. 01. 01 ~ 1998. 12. 31
Pyosun	33°19'18"N, 126°50'47"E	1998. 01. 02 ~ 1999. 01. 02
Ilgwa	33°14'14"N, 126°13'49"E	1999. 05. 07 ~ 2000. 05. 06
Deajung	33°15'32"N, 126°13'37"E	1996. 05. 30 ~ 1997. 12. 12
Yongdang	33°20'21"N, 126°10'02"E	1996. 12. 01 ~ 2000. 06. 17
Hansu	33°25.38N, 126°15'56"E	2000. 09. 01 ~ 2001. 11. 13

파악하기 위한 최소기간인 1년 이상 측정을 수행하였다(Table 1). 1 Hz 혹은 0.5Hz 샘플링 주파수로 측정된 자료는 1시간 평균자료로 저장되었으며, 측정에 사용한 컵형 풍속계(cup anemometer)의 제품사양서(Specification)에 기재된 센서범위(sensor ranger)에 따라 1 m/s 이하의 풍속에서는 컵의 관성력 등으로 인하여 측정값의 신뢰도가 낮다고 판단하여 분석에서 제외하였다.

3. 연구방법

3.1 풍속고도분포지수

본 연구에서는 기상탑의 지상 15 m와 30 m 높이에 설치한 컵형 풍속계에서 측정된 1시간 평균풍속을 Eq. (1)에 대입하여 그 시각에서의 풍속고도분포지수를 계산하였다. 즉,

$$\alpha(t) = \frac{\ln V_1(t) - \ln V_2(t)}{\ln Z_1 - \ln Z_2} \quad (2)$$

여기서 $\alpha(t)$, $V(t)$ 는 시각 $t(=1..24)$ 에서의 풍속고도분포지수와 평균풍속을, Z 는 지면에서의 높이를 나타낸다. 아래첨자 1과 2는 서로 다른 두 측정높이를 의미하며, 1시간 평균풍속을 사용하였기 때문에 풍속고도분포지수 역시 1시간 평균값에 해당한다.

본 연구에서는 평균 풍속고도분포지수와 함께 하루 중 시간에 따라 변화하는 풍속고도분포지수의 특성을 반영할 수 있도록 시간대별 풍속고도분포지수를 Eq. (3)과 같이 측정일수 n 에 대하여 해당 시간대 평균으로 산정하였다.

$$\bar{\alpha}_i(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i(t), \quad t=1, 2, \dots, 24 \quad (3)$$

3.2 불확도 산정

GUM⁴⁾에 따라 풍속고도분포지수의 불확도를 산정하는 방법을 Fig. 2에 순서도로 설명하였다. 즉, 불확도 산정을 위한 풍속고도분포지수의 수학적 모델식을 설정한 후 각각 A형 표준불확도와 B형 표준불확도로 구분하여 각각의 불확도를 계산하고, 이를 합성하여 합성표준불확도(combined standard uncertainty)를 산출한 후, 최종적으로 확장불확도(expanded uncertainty)로 확장한다.

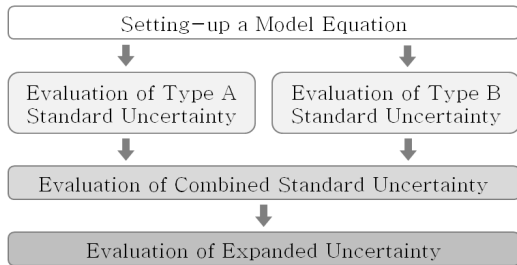


Fig. 2 Procedure of uncertainty evaluation

(1) 모델식 설정

불확도를 산정하고자 하는 풍속고도분포지수 α 에 대한 수학적 모델식을 Eq. (2)로부터 다음과 같이 설정하였다. 즉,

$$y = \alpha = \frac{\ln V_1 - \ln V_2}{\ln Z_1 - \ln Z_2} \quad (4)$$

(2) A형 표준불확도

모델식 Eq. (4)의 α 는 변동하는 매시간별 평균풍속과 측정높이에 의해 계산되는 값이므로 매시간별 표준편차가 다르다. 이 경우 GUM에서는 합동표준편차(pooled standard deviation)를 구하여 A형 표준불확도를 산정하는 것을 권장한다. α 를 결정하는 요소인 두 높이에서의 평균 풍속 및 측정높이에 대한 표준편차를 구하여

합성함에 있어서, 두 높이에서의 평균풍속은 서로 상관관계가 있으므로 상관계수를 고려해야 하고, 입력값에 대한 가중치를 반영하는 감도계수도 고려하여야하므로 매우 복잡한 식이 생산된다. 또한, 측정 날짜별 α 값의 불확실성을 고려할 경우 불확도가 충분히 중첩되지 않는다는 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 최종오 등(2003)^{6),7)}이 제시한 바와 같이 시간별로 구한 표준편차(s_d)를 불확도 산정에 준하여 사용하는 방법을 채택하였다. 다시 말해, 각 시간대에서 한 시간 평균 데이터의 표준편차에 비하여 다른 날에 측정된 동시간대의 평균값들 사이의 표준편차가 훨씬 클 경우, 불확도가 상대적으로 더 큰 후자만을 고려하는 것이다. 이에 따라 A형 표준불확도는 Eq. (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$u_A = \frac{s_d}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

(3) B형 표준불확도

풍속고도분포지수는 풍속계가 측정한 1시간 평균풍속(V)과 풍속계가 설치된 지면으로부터의 높이(Z)로 이루어진 모델식이다. 반복적 실험에 의한 통계적 요인을 제외한 B형 불확도는 이 풍속과 높이에 영향을 줄 수 있는 요인들을 합성하여 구할 수 있다.

① 풍속 불확도 요인

풍속계의 분해능과 풍속계 교정성적서상의 불확도에 의한 표준불확도를 산정하면 Eq. (6)과 같다.

$$u_B(V) = \sqrt{u^2(V_{Res}) + u^2(V_{UCC})} \quad (6)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{R}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U}{k}\right)^2}$$

여기서, $u_B(V)$ 는 B형 불확도, $u(V_{Res})$ 는 풍속계 분해능에 의한 불확도, $u(V_{UCC})$ 는 풍속계 교정성적서상으로부터의 불확도이며, R 은 풍속계의 분해능, U 는 교정성적서상에 표기된 확장불확도, k 는 포함인자(coverage factor)이다. 참고로 포함인자는 측정구간에 대해 요구되는 포함확률 또는 신뢰수준에 따라 정해지는 값으로 확장불확도를 구하기 위해 합성표준불확도에 곱하는 수치인자이다. 통상 신뢰수준 약 95 %일 때를 기준으로 $k=2$ 를 적용한다.

② 높이 불확도 요인

높이 요인에 의한 B형 표준불확도가 직사각형 분포를 따른다고 가정할 때 높이 요인에 의한 불확도는 Eq. (7)과 같이 표현된다.

$$u_B(Z) = \frac{\Delta Z}{\sqrt{3}} \tag{7}$$

여기서, ΔZ 는 풍속계를 설치하거나 측정할 때 발생하는 전체 측정오차의 반범위로써, 설치각도, 지반의 불안정성, 설치기사의 미숙도, 바람에 의한 기상탑의 변형 등 여러 가지 요인이 있을 수 있다. 그 중에서 설치각도에 의해 발생하는 불확도가 가장 우세하며 나머지 요인은 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정하였다. 기상탑 설치시 육안으로 수직여부를 구별할 수 있는 최소의 오차 각도는 2°라고 할 때, 풍속계의 높이에 대한 전체 오차의 반범위 ΔZ 는 Eq. (8)과 같이 산정된다.

$$\Delta Z = \frac{Z - \left\{ Z \cdot \cos\left(2 \times \frac{\pi}{180}\right) \right\}}{2} \tag{8}$$

③ B형 표준불확도 합성

위에서 구한 B형 불확도 요인들을 합성하여 Eq. (9)와 같이 B형 불확도를 구한다.

$$u_B = \sqrt{c_{V_1}^2 u_B^2(V_1) + c_{V_2}^2 u_B^2(V_2) + c_{Z_1}^2 u_B^2(Z_1) + c_{Z_2}^2 u_B^2(Z_2)} \tag{9}$$

식에서 감도계수(sensitivity coefficient) c 는 출력추정값이 입력추정값의 변화에 의해 영향을 받는 정도를 나타내며, 모델식인 Eq. (4)를 각 요소별로 편미분하여 Eq. (10)과 같이 감도계수를 산정할 수 있다.

$$c_{V_1} = \frac{\partial y}{\partial V_1} = \frac{1}{(\ln Z_1 - \ln Z_2) V_1} \tag{10}$$

$$c_{V_2} = \frac{\partial y}{\partial V_2} = -\frac{1}{(\ln Z_1 - \ln Z_2) V_2}$$

$$c_{Z_1} = \frac{\partial y}{\partial Z_1} = -\frac{(\ln V_1 - \ln V_2)}{(\ln Z_1 - \ln Z_2)^2 Z_1}$$

$$c_{Z_2} = \frac{\partial y}{\partial Z_2} = \frac{(\ln V_1 - \ln V_2)}{(\ln Z_1 - \ln Z_2)^2 Z_2}$$

(4) 합성표준불확도

계산된 A형 표준불확도와 B형 표준불확도를 합성하여 Eq. (11)과 같이 합성표준불확도를 산정할 수 있다.

$$u_c(\alpha) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \tag{11}$$

(5) 확장불확도

95 % 신뢰구간에서의 최종 불확도를 산정하기 위해 포함인자 $k=2$ 를 적용하여 Eq. (12)와 같이 확장불확도를 구한다.

$$U = k \cdot u_c(\alpha) \tag{12}$$

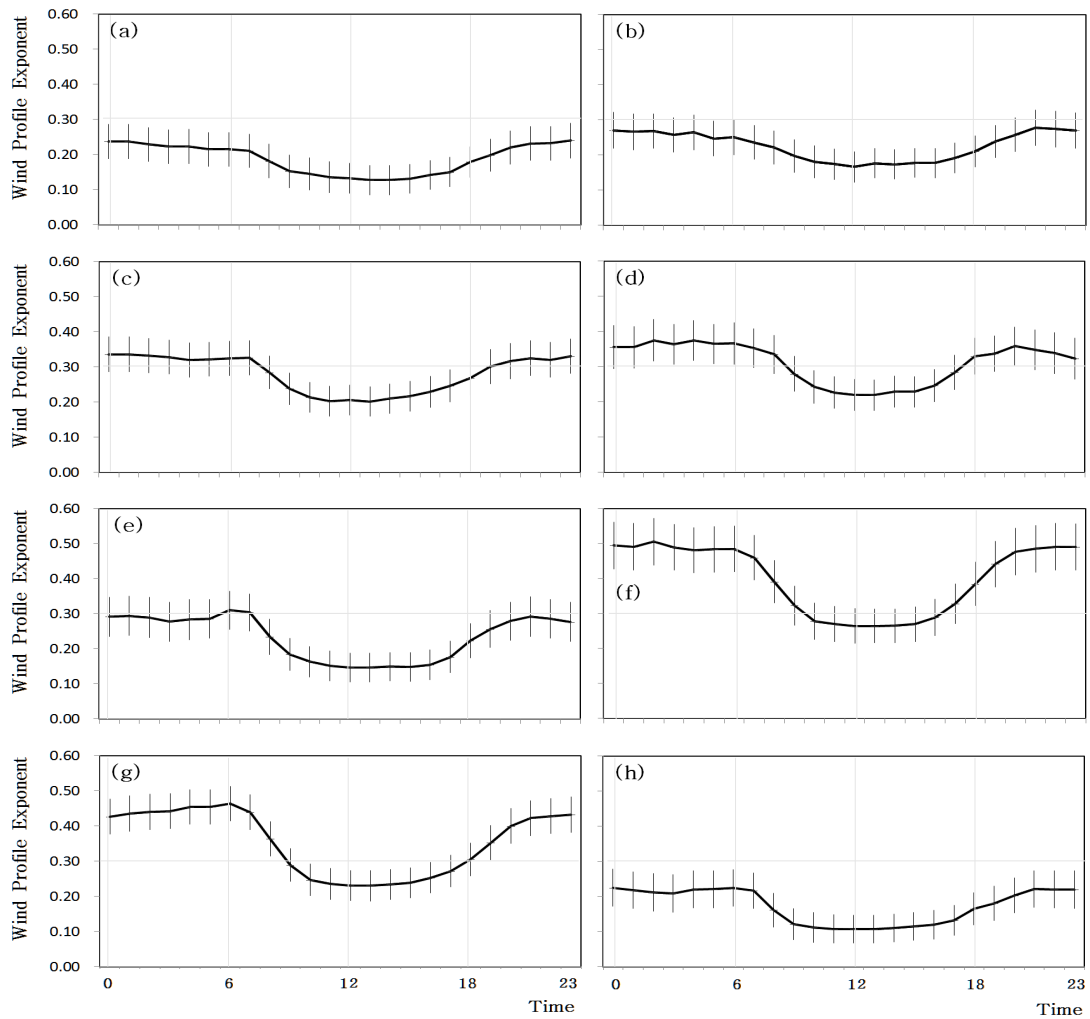


Fig. 3 Diurnal variations of vertical wind profile exponent at (a) Kimyong, (b) Hangwon, (c) Subji, (d) Pyosun, (e) Ilgwa, (f) Deajung, (g) Yongdang and (h) Hansu. Length of vertical bar represents the magnitude of expanded uncertainty.

Table 2. Statistics of vertical wind profile exponent by sites

Site	Vertical wind profile exponent, α				Roughness class	Landscape type
	Average	Max	Min	Max - Min		
Kimyong	0.19±0.04	0.24±0.05	0.13±0.04	0.11	1	Northeast coastal plain
Hangwon	0.23±0.04	0.28±0.05	0.17±0.04	0.11	2	Northeast coastal plain
Subji	0.28±0.04	0.34±0.05	0.20±0.04	0.14	1	East coastal plain
Pyosun	0.31±0.05	0.38±0.06	0.22±0.04	0.16	2	Southeast coastal plain
Ilgwa	0.23±0.05	0.31±0.05	0.15±0.04	0.16	2	Southwest coastal plain
Deajung	0.40±0.06	0.51±0.07	0.26±0.05	0.25	3	Southwest inland area
Yongdang	0.35±0.05	0.46±0.05	0.23±0.04	0.23	1.5	West coastal plain
Hansu	0.17±0.05	0.22±0.05	0.11±0.04	0.11	2	West coastal plain

4. 연구결과

4.1 시간대별 풍속고도분포지수

Fig. 3은 제주도 8 지점의 시간대별 평균 풍속고도분포지수의 측정량, 즉 ‘측정값의 평균 ± 확장불확도’를 그래프로 표현한 것으로, 굵은 선은 시간대별 측정값의 평균이며 수직막대는 확장불확도를 나타낸다.

풍속고도분포지수의 일변화를 보면, 모든 측정지점에서 세숫대야와 유사한 형태의 덕커브(duck-curve)가 나타났다. 즉, 오전 7시를 전후로 하여 풍속고도분포지수가 감소하여 오전 11시부터 15시 사이에 최솟값에 이르고, 이후 다시 증가하여 최댓값을 회복하는 반복적인 주기성을 보여준다. 이러한 변화형태는 풍속이 강화되는 주간에는 중립대기의 영향으로 풍속고도분포지수가 최솟값이 되지만 반대로 풍속이 약화되며 온도차가 커지는 야간에는 대기상태가 안정으로 변하며 풍속고도분포지수는 증가하기 때문인 것으로 해석된다.

4.2 지점별 풍속고도분포지수

Table 2는 지점별 풍속고도분포지수의 측정량과 관련된 통계값, 즉 측정량의 일평균, 최댓값, 최솟값, 일간 최대 변동폭 등을 비교한 것이다. 또한 지점의 지형특성 및 해당 지형에 대응하는 거칠기등급을 같이 제시하였다. 참고로 거칠기등급(roughness class)은 측정지점의 전경사진을 참고하여 Table 3⁸⁾의 기준에 따라 판정하였다.

본 연구에서 분석한 8개 지점 중 유일한 내륙지역인 대정의 풍속분포지수가 가장 크게 나타났으며, 불확도 또한 가장 큰 값을 보였다. 이는 해안지역보다 내륙지역이 지형의 거칠기가 상대적으로 크기 때문으로 풀이된다. 또한 대정 풍속고도분포지수의 주야간 변동폭

이 가장 큰데, 이는 해안에 비해 상대적으로 비열이 낮은 내륙은 주야간 온도차에 의한 대기안정도의 변화폭도 크기 때문인 것으로 보인다. 제주도 북부 해안에 위치한 한수와 김녕, 행원은 상대적으로 풍속고도분포지수가 낮게 나타났으며, 시간대별 풍속고도분포지수의 일변화폭도 0.11로 가장 작게 나타났다.

IEC 61400-1과 IEC 61400-3는 풍력터빈의 설계상 표준 풍속 조건을 제시하기 위한 표준 수치로써, 육상과 해상의 풍속고도분포지수를 각각 0.20, 0.14로 제시하고 있다. 그러나 Table 2를 보면 제주도의 풍속고도분포지수는 평균값이 0.17~0.40의 넓은 범위로 나타났고, 일간 변동폭도 0.11~0.25로 매우 크게 나타났다. 즉 IEC에서 제시한 표준 수치와는 매우 상이함을 알 수 있다.

Table 3. Roughness class by landscape type

Roughness Class	Landscape Type
0	Water surface
0.5	Completely open terrain with a smooth surface, e.g. concrete runways in airports, mowed grass, etc.
1	Open agricultural area without fences and very scattered buildings. Only softly rounded hills
1.5	Agricultural land with some houses and 8 metre tall sheltering fences with a distance of approximately 1,250 m
2	Agricultural land with some houses and 8 metre tall sheltering fences with a distance of approx. 500 m
2.5	Agricultural land with many houses, shrubs and plants, or 8 m tall sheltering fences with a distance of approximately 250 m
3	Villages, small towns, agricultural land with many or tall sheltering fences, forests and very rough and uneven terrain
3.5	Larger cities with tall buildings
4	Very large cities with tall buildings and skyscrapers

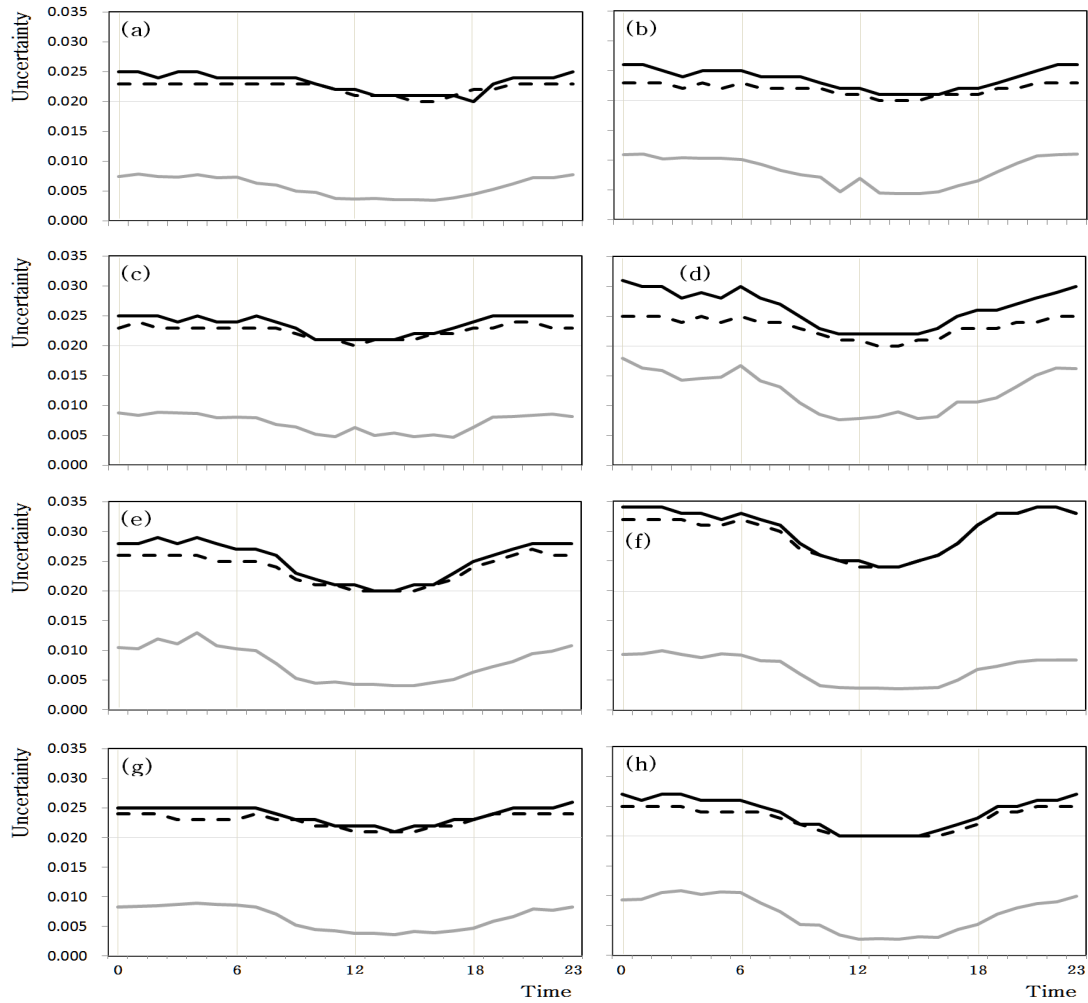


Fig. 4 Same as Fig. 3 except of uncertainty. Grey line, dashed line, and black line represent Type A standard uncertainty, Type B standard uncertainty, and combined uncertainty respectively.

Table 4. Contribution ratio for combined standard uncertainty by sites

Site	Minimum (in day time)		Maximum (in night time)	
	u_A^2/u_c^2	u_B^2/u_c^2	u_A^2/u_c^2	u_B^2/u_c^2
Kimyong	0.03	0.97	0.10	0.90
Hangwon	0.04	0.96	0.18	0.82
Subji	0.06	0.94	0.11	0.89
Pyosun	0.14	0.86	0.34	0.66
Ilgwa	0.04	0.96	0.20	0.80
Deajung	0.02	0.98	0.08	0.92
Yongdang	0.03	0.97	0.10	0.90
Hansu	0.02	0.98	0.16	0.84

4.3 불확도 요인분석

Fig. 4는 풍속고도분포지수의 불확도 요인 별로 분리하여 나타내었다. 즉, A형 및 B형 불확도가 풍속고도분포지수의 불확실성에 얼마나 기여하는지를 보여준다.

Fig. 4에서 점선으로 표현된 B형 불확도를 보면 모든 지점에서 0.02을 전후한 값을 나타내는데, B형 불확도는 모든 측정에서 사용된 동일한 측정장비 정밀도에 영향을 받기 때문이다. 다만 대정농공의 경우, 야간에 주간 대비 최고 37% 높은 0.033의 불확도를 보였다. B형 불확도의 감도계수 변수 중에 평균풍속이 포함되는데, 대정농공과 같은 내륙지역은 야간에 평균풍속이 낮아지기 때문이다.

전반적으로 시간대별 불확도는 평균값과 마찬가지로 덩커브 형태로 나타났다. A형 불확도는 측정일별 풍속고도분포지수의 표준편차에 의해 결정되며, 표준편차가 주간보다 야간에 더 커짐을 확인할 수 있다. B형 불확도는 위에서 언급한대로, 야간에 평균풍속이 낮아짐에 따라 상대적으로 감도계수의 값이 커지는 경향을 보인다.

Table 4는 A형 불확도와 B형 불확도의 정량적인 기여도를 정리한 표이다. 즉, 각 지점 별로 불확도가 최대 및 최소인 시각을 선택하여 불확도 제곱의 백분율 비로 기여도를 계산하였다. 주간에는 B형 불확도의 기여도가 90% 이상으로 지배적인 영향을 보이는 반면, 야간에는 측정일별 풍속고도분포지수의 표준편차가 커짐에 따라 A형 불확도의 기여도가 10%~30% 수준임을 알 수 있다.

5. 결 론

풍력분야 뿐만이 아니라 대기환경, 건축풍공학 등에서 중요도 및 활용도가 높은 측정량

인 풍속고도분포지수를 측정불확도표현지침(GUM)에 의거하여 산정하였다. 제주도 8 지점에 대해 시간대별 풍속고도분포지수를 산정하며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) A형 표준불확도를 산정할 때, 최종오 등(2003)^{6),7)}이 제시한 바와 같이 시간대별로 구한 표준편차(s_d)로 불확도를 산정하였다. 이를 통해 두 높이에서의 평균풍속 및 측정높이에 대한 표준편차를 구해 합성표준불확도를 평가할 때 시간대별 풍속고도분포지수의 불확도가 충분히 중첩되지 않는다는 문제를 해결하였다.
- (2) 모든 지점에서 B형 표준불확도에 의한 불확실성이 지배적이며, A형 및 B형 표준불확도는 덩커브 형태의 일변화 형태를 나타냄을 확인하였다. 이는 야간의 경우, 주간에 비해 평균풍속이 낮아질 뿐 아니라 표준편차가 더 커지기 때문이다.
- (3) 시간대별 평균 풍속고도분포지수는 제주도 모든 측정지점에서 동일한 일변화 형태로 나타났다. 풍속고도분포지수의 최소값은 주풍향 풍상부의 지면거칠기가 주영향을 미치며, 풍속고도분포지수의 최댓값과 최솟값의 차이 즉 일간 변동폭은 내륙과 해안의 지역적 특성이 영향인자임을 확인하였다.
- (4) 본 연구에서는 풍속고도분포지수의 A형 불확도 평가시 1년간의 측정자료를 이용하여 시간대별 풍속고도분포지수의 표준편차를 \sqrt{n} 으로 나누어준 표준오차 방법을 사용하였다. 이는 무한 측정의 평균값을 추정하는 GUM의 우연오차 산정방법으로, 다른 1년간을 측정할 경우 측정량이 불확도 범위 내에 있을 것이라는 추정의 근거가 된다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업 (B6-2427) 및 표준화기술개발사업(B6-7601)을 재원으로 수행한 연구과제의 결과입니다.

본 연구 수행시 불확도 산정에 대한 조언을 주신 한국표준과학연구원 최중오, 강주식 박사께 감사를 표합니다.

Reference

1. International Electrotechnical Commission, Wind turbines - Part 1: Design requirements, International Standard IEC 61400-1, 2005.
2. International Electrotechnical Commission, Wind turbines - Part 3: Design requirements for offshore wind turbines, International Standard IEC 61400-4, 2009.
3. Moon, S.-J., Ko, J.-W. and Lee, B.-G., Power Law Exponent in Coastal Area of Northeastern Jeju Island for the Investigation of Wind Resource, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 21, No. 4, pp. 65-71, 2013.
4. Joint Committee for Guides in Metrology, Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995), ISO/IEC Guide 98-3:2008, 2008.
5. Kim, H.-G., Jang, M.-S. and Lee, E.-J., Meteor-Statistical Analysis for Establishment of Jejudo Wind Resource Database, Journal of Environmental Sciences, Vol. 17, No. 6, pp. 591-599, 2008.
6. Choi, J.-O., Hwang, E., So, H.-Y. and Kim, B., An Uncertainty Evaluation for Multiple Measurements by GUM, Accreditation and Quality Assurance, Vol. 8, pp. 13-15, 2003.
7. Choi, J.-O., Hwang, E., So, H.-Y. and Kim, B., An Uncertainty Evaluation for Multiple Measurements by GUM II, Accreditation and Quality Assurance, Vol. 8, pp. 205-207, 2003.
8. Troen, I. and Petersen, E. L., Wind Energy Resources & Computing Wind Turbine Energy Output, European Wind Atlas, Risoe National Laboratory, Denmark, 1991.