

풍속 데이터 불확도 평가

김광득*, 김상엽*, 윤창열*

*한국에너지기술연구원 재생에너지연구본부
(kdkim@kier.re.kr), (sykim@kier.re.kr), (yuncy@kier.re.kr)

An Evaluation of Uncertainty for Wind Speed Data

Kim, Kwang-Deuk* Kim, Sang-Yeob* Yun, Chang-Yeol*

*Dept. of Renewable Energy Research, Korea Institute of Energy Research
(kdkim@kier.re.kr), (sykim@kier.re.kr), (yuncy@kier.re.kr)

Abstract

In this study, we measured the wind data as new and renewable energy resources and carried out the evaluation of uncertainty about these data with the authentic standards. These data collected at the 20 locations in Korea. We carried out the processing and evaluation about these data with standards as ISO, GUM, and IEC. Whereby these data become standards data and the credibility are gained. These data include some information as direction, humidity, pressure, temperature, and energy density. The annual average of wind speed(in Hamo) was measured as 9.5m/s, then the uncertainty was evaluated as $\pm 0.88\text{m/s}$. We judge the credibility of data by expression of reliability quantitatively. In addition, the standards data is able to approach anywhere and it will be used to support of related research and industry.

Keywords : 풍속(Wind speed), 표준화(Standardization), 불확도(Uncertainty), 신재생에너지(New and Renewable Energy)

기 호 설 명			
m/s	: 풍속측정 단위	$(u_{v,i})_B$: 풍속의 B형 불확도
ρ	: 공기의 밀도 (kg/m^3)	u_i	: 합성표준 불확도
A	: 공기의 투과면적(m^2)	U	: 확장 불확도
Γ	: Gamma 함수	k	: 포함인자
C	: 척도계수 (scale parameter)	1. 서 론	
K	: 형상계수 (shape parameter)	본 연구에서는 신재생에너지 데이터 중 풍력	
$(u_{v,i})_A$: 풍속의 A형 불확도		

투고일자 : 2011년 5월 26일, 심사일자 : 2011년 6월 1일, 게재확정일자 : 2011년 6월 20일
교신저자 : 김광득(kdkim@kier.re.kr)

에너지 데이터를 측정하고, 인증된 기준에 따라 데이터에 대해 불확도 평가를 수행하였다. 측정되는 데이터는 20개 측정지역의 풍속 데이터이다. 수집된 데이터에 대해 ISO 국제표준, GUM (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement) 및 IEC (International Electrotechnical Commission)의 기준에 의거하여 가공 및 평가를 수행하였으며, 이를 통해 측정된 데이터에 대한 신뢰성을 확보함과 동시에 표준 데이터로써 활용될 수 있을 것이다.

2. 풍력 데이터의 수집 및 가공

이 절에서는 풍력에너지 데이터 중 풍속에 대한 불확도 평가를 위해 데이터의 수집부터 가공에 이르는 절차 및 방법은 다음과 같다.

2.1 측정기기 및 측정방법

풍속, 풍향, 온도, 습도 등을 측정하기 위해 기상탑을 세워 측정을 실시하였다.

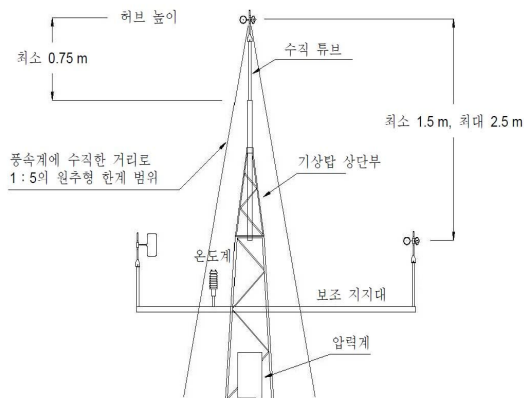


그림 1. 주 풍속계 및 제어 풍속계와 풍향계 등의 설치의 예

풍력자원 데이터 수집 및 측정에 상용되는 풍속계는 주위 환경에 견딜 수 있는 견고한 것으로 선정해야 하며, 설치 전에 KS C IEC 61400-12-1 혹은 MEASNET (International Measuring Network of Wind Energy Institutes)

기준안에 따라 교정을 받고 이후 약 1년마다 재교정을 수행해야 한다. 컵풍속계 교정은 MEASNET 인증기관에서 수행하는 것을 권장하고 있으나, 다른 기관에서 교정을 할 경우에는 국가 및 MEASNET 기준안을 따른다.

풍향계는 정확도가 5° 이내의 것을 사용하여야 하며, 복잡한 지형에서는 정확한 풍향 계측이 중요하므로 정확도 1° 이내인 풍향계를 사용할 것을 권장한다. 풍향계는 풍속계 아래쪽에 풍속계와 같은 방향으로 설치하여 간섭을 최소화하도록 하였다.

또한 온도센서, 대기압센서, 상대습도센서를 설치하여 온도, 대기압, 상대습도를 계측하고 이로부터 공기밀도를 계산했다. 온도센서는 태양복사광이 차단되는 곳에 설치했으며, 동결 유무를 확인할 수 있는 센서, 태양광복사 센서 및 강수량 센서도 설치하여 데이터를 수집하였다.

계측선서로부터 출력을 저장하는 데이터 수집 장치 (데이터 로거)는 주변 기후나 강수 등의 환경으로부터 견딜 수 있는 보호 장치를 설치하고, 내부 독립전원 또는 태양광 보조전원을 병행하여 사용하였다. 그리고 폭우 및 폭설 등의 자연재해에 의해 계측지점에 접근이 곤란할 경우를 대비하여 계측데이터 저장용량은 적어도 2개월 이상인 것을 설치하였다. 데이터 획득속도는 1Hz 보다 빠르며 10분 평균값을 수집하였다.

2.2 데이터의 생산 및 수집

데이터는 1Hz 또는 그 이상의 속도로 연속적으로 획득하여 저장하였다. 공기밀도, 대기압, 강수량과 풍력발전기의 운전 상태 등은 더 낮은 속도로 측정 가능하지만 최소한 1회/분의 획득속도는 유지되도록 했다. 자료처리 시스템을 이용하여 측정자료 혹은 평균값, 표준편차, 최대값 및 최소값 등의 통계자료를 저장하고, 자료군은 연속 측정된 자료의 10분 평균값을 기본으로 하였다.

(1) 풍속(Wind Speed)

풍속 측정은 정해진 기준을 충족시키는 컵형 풍속계를 사용하여 측정하였으며, 사용 전 보정이 필요하다. 보정절차 역시 정해진 기준에 준하여 수행하였다. 측정 이후에도 재보정이 반드시 이루어져야 하며, 두 보정결과와의 차이는 $\pm 0.1\text{m/s}$ 이하로 나타나야 정확하게 측정했다고 할 수 있다.

(2) 풍향(Wind Direction)

풍향은 기상탑에 수직하게 부착된 지지구조물 (boom)에 설치된 풍향계를 이용하여 측정하였다. 풍향 측정과 관련하여 보정, 작동 및 설치 각도와 관련된 복합 불확도를 5° 미만으로 하여 측정하였다.

(3) 에너지 밀도(Wind Energy Density)

풍력의 에너지 밀도는 측정되는 값이 아니라 측정된 풍속의 값을 이용하여 계산하여 나타낸다. 에너지 밀도의 식은 다음과 같다.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 P(V) dV \quad (1)$$

$$= \frac{1}{2} \rho A C^3 \Gamma(1 + \frac{3}{K})$$

여기서, P(V)는 풍속확률분포 또는 풍속의 출현률을 뜻한다.

3. 풍력 데이터에 대한 불확도 평가

이절에서는 불확도 평가에 대한 일반사항 및 평가방법에 대해서 기술하였다. 측정된 데이터는 ISO 지침 GUM에 따라 반드시 측정 불확도와 함께 제시하였다.

3.1 불확도 평가 기준

풍속 데이터에 대한 불확도를 평가하기 위해 IEC의 기준에 의거하여 불확도 평가식을

구성하였다.

(1) 풍속에 대한 A형 불확도

각각의 풍속구간에 대한 분포의 표준편차는 $S_{a,j}$ 이며, $\sqrt{N_j}$ 는 j번째 풍속구간에서의 측정횟수이다. A형 불확도는 다음과 같이 나타낸다. 여기서 측정횟수는 600번을 기본으로 한다.(10분 평균, 1Hz)

$$(u_{v,i})_A = \frac{S_{a,j}}{\sqrt{N_j}} \quad (2)$$

(2) 풍속에 대한 B형 불확도

B형 불확도는 풍속계의 보정, 작동특성, 유동왜곡 등의 측정과 관련된 요소들의 상관관계로 평가된다. i번째 풍속구간의 풍속에 대한 B형 불확도 $(u_{v,i})_B$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$(u_{v,i})_B = \sqrt{u_{v1,i}^2 + u_{v2,i}^2 + u_{v3,i}^2 + u_{v4,i}^2 + u_{dv,i}^2} \quad (3)$$

여기서,

- $u_{w1,i}$: i번째 풍속구간의 풍속계 보정 불확도
- $u_{w2,i}$: i번째 풍속구간의 풍속계 작동특성 불확도
- $u_{w3,i}$: i번째 풍속구간의 풍속계 설치로 인한 유동왜곡 불확도
- $u_{w4,i}$: i번째 풍속구간의 지형으로 인한 유동왜곡 불확도
- $u_{dv,i}$: i번째 풍속구간의 풍속에 대한 데이터 처리장치의 불확도

(3) 합성표준불확도

각각의 풍속구간에 대한 합성표준불확도는 다음과 같다.

$$u_i = \sqrt{(u_{v,i})_A^2 + (u_{v,i})_B^2} \quad (4)$$

(4) 확장 불확도

각각의 풍속구간에 대한 확장 불확도는 다음과 같다. (약 95%의 신뢰수준에서 $k=2$)

$$U = k \cdot u_i \quad (5)$$

3.2 불확도 평가 결과

풍속의 불확도 평가를 위한 측정 지역은 총 20개 지역이며 1년을 기준으로 평가를 수행하였다.

표 1. 풍력 데이터 측정지 및 기준년

측정지	기준년	측정지	기준년
유수지	2001.09~2002.08	신산	1999.08~2000.07
새만금	2000.10~2001.09	한수	2000.09~2001.09
비응도	1999.08~2000.07	고산	2001.02~2002.01
매봉산	2001.11~2002.10	목포	1999.05~2000.04
용당	1998.12~1999.11	구좌	2001.10~2002.09
섬지	1998.08~1999.07	영덕	2001.06~2002.05
우도	1999.01~1999.12	행원	2001.10~2002.09
일과	1999.06~2000.5	정동진	2001.11~2002.10
하모	1999.03~2000.02	태기산	2001.11~2002.10
김녕	1999.09~2000.08	삼양 2	2000.11~2001.11

표 2. B형 불확도 계산시 고려사항

u_{v1}	풍속계 보정 불확도 (m/s)	0.1
u_{v2}	풍속계 작동특성 불확도 (m/s)	$0.072+0.0072 \times v$
u_{v3}	풍속계 설치로 인한 유동왜곡 불확도 (m/s)	$0.01 \times v$
u_{v4}	지형으로 인한 유동왜곡 불확도 (m/s)	0
u_{dv}	데이터 처리장치의 불확도 (m/s)	0.001×30

IEC 기준에 의거하여 B형 불확도 평가를 수행할 때 고려되는 사항은 표 2와 같다. 풍속계 보정의 표준 불확도는 일반적으로 0.1m/s로 가정하며, 풍속계의 설치로 인한 유동왜곡 표준 불확도는 풍속의 1%이다. 측정 채널의 풍속

범위가 30m/s이고 데이터 처리장치의 불확도는 이 풍속 범위에 대해 0.1%이므로 0.03m/s이다. 풍속에 대한 불확도 평가에서는 지형으로 인한 유동왜곡 불확도는 고려하지 않는다. 이에 따라 측정에 사용된 풍속계는 복잡지형에 대한 일반적 영향 요소 범위를 갖는 등급인 2.5B등급 풍속계를 사용하였다.

표 3은 태백 매봉산의 데이터이며, 이를 바탕으로 A형 불확도를 구하면 0.30m/s이다. B형 불확도는 0.19m/s로 계산되며, 합성표준불확도를 구하면 0.36m/s이고 95%의 신뢰수준 ($k=2$)에서 확장불확도는 0.71m/s이다.

이를 바탕으로 측정지역 20곳에 대해 불확도 평가를 수행한 결과는 표 4에 나타내었다. 측정지역에 대한 확장 불확도는 $\pm 0.39 \sim 0.88$ m/s 사이의 값으로 나타났다.

그림 2는 측정지역의 평균 풍속을 나타낸 것이다. 제주도 하모지역이 강한 바람이 부는 것으로 측정되었으며 가장 약한 바람이 부는 지역으로는 목포이다. 목포지역의 정확한 측정지는 전라남도 무안군 몽탄면 달산리 산 257-1이다. 이 지역은 구릉성 산지인 특성 때문에 풍속이 20개 측정지역 중 가장 낮게 측정되었다.

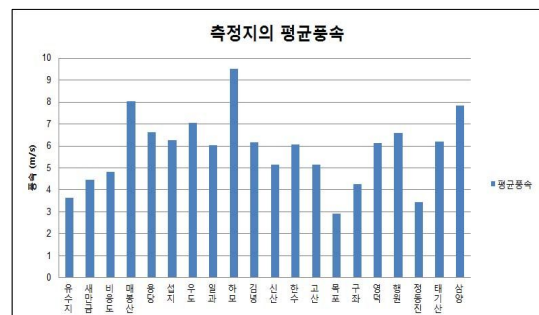


그림 2. 측정지의 평균풍속

도출된 결과는 다른 측정자가 측정했을 때 비교할 수 있는 대상이 되며, 불확도 범위 안으로 측정되었을 때 정확하게 측정했다고 할 수 있다. 즉, 표준 데이터로써의 역할을 수행할 수 있다.

표 3. 태백 매봉산 지역의 측정 데이터

YEAR	MONTH	WS(M/S)	ENERGY D.(KWH/A)	TEMP(DEG. C.)	PRESS(hPa)	HUMIDITY(%)
2002	11	8.93	622.20	0.31	87.21	37.56
2002	12	9.61	678.10	-6.95	87.27	40.38
2002	1	12.11	1170.30	-7.39	86.69	44.17
2002	2	9.54	630.50	-4.87	87.08	14.36
2002	3	10.55	999.70	0.51	86.80	38.47
2002	4	9.63	814.70	7.17	87.01	21.10
2002	5	6.04	209.60	10.61	86.14	14.87
2002	6	5.88	254.00	14.42	85.95	10.96
2002	7	6.23	248.50	17.54	86.85	14.74
2002	8	6.04	253.40	16.43	86.42	14.07
2002	9	4.81	140.90	12.71	86.63	23.13
2002	10	8.07	494.10	6.63	87.24	49.78
평균		8.04	543.00	5.59	86.77	26.97
표준편차		5.26	풍속에 대한 불확도이므로 고려하지 않음			

표 4. 측정지에 대한 불확도 평가결과

측정지	풍속 (m/s)	A형 불확도 (m/s)	B형 불확도 (m/s)	확장 불확도 (m/s)
유수지	3.65	0.14	0.15	0.40
새만금	4.46	0.16	0.15	0.45
비용도	4.82	0.17	0.16	0.46
매봉산	8.04	0.30	0.19	0.71
용당	6.61	0.23	0.17	0.57
섬지	6.26	0.20	0.17	0.52
우도	7.04	0.23	0.18	0.58
일과	6.02	0.18	0.17	0.50
하모	9.50	0.39	0.20	0.88
김녕	6.15	0.22	0.17	0.56
신산	5.14	0.16	0.16	0.46
한수	6.08	0.20	0.17	0.52
고산	5.14	0.16	0.16	0.46
목포	2.90	0.13	0.14	0.39
구좌	4.26	0.17	0.15	0.45
영덕	6.14	0.18	0.17	0.50
행원	6.59	0.24	0.17	0.60
정동진	3.44	0.13	0.15	0.39
태기산	6.19	0.21	0.17	0.53
삼양 2	7.85	0.33	0.18	0.75

그림 3은 측정지역의 불확도 범위를 도식화한 것이다. 최대 풍속과 최소 풍속 사이의 값이 측정되었다면 그 측정값이 유효한 값이라고 할 수 있다.

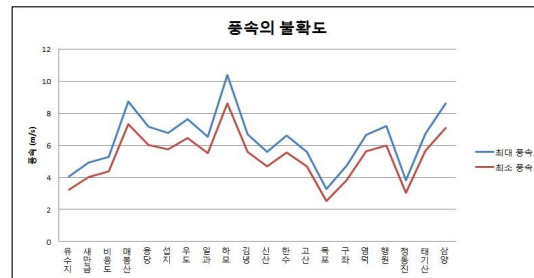


그림 3. 측정값의 불확도 범위

4. 결 론

본 연구에서 풍력에너지 중 풍속 데이터에 대한 불확도 평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

- (1) 20개 풍력발전 가능지역을 대상으로 측정된 풍력 데이터에 대해 ISO, GUM 및 IEC의 기준에 의거 불확도 평가를 실시했으며, 측정값에 대한 신뢰성을 확보하였다.
- (2) 측정지역에 대한 확장 불확도는 $\pm 0.39 \sim 0.88\text{m/s}$ 사이의 값으로 평가되었으며, 제주도 하모지역의 경우에는 신뢰도 95%수준에서 풍속에 대한 불확도는 $(9.5 \pm 0.88)\text{m/s}$ 로 평가되었다. 풍속은 제주 하모지역이 가장 높으며 목포 지역이 가장 낮게 측정되었으나 확장불확도를 %분율로 표시하면 하모는 9.3%, 목포는 13.4%이므로 하모

지역이 낮은 비율을 보인다.

- (3) 불확도 평가를 통해 측정결과의 신뢰도를 정량적으로 표현함으로써 측정 데이터에 대한 신뢰성을 판단할 수 있다. 불확도 외에 에너지밀도, 온도, 대기압, 습도 등의 데이터를 제공함으로써 향후 풍력에너지량 환산에 필요한 인자로서 활용된다. 또한 일련의 절차를 거쳐 생산된 풍속 데이터는 국가참조표준센터를 통해 등록되어 표준 데이터로서 활용된다.

참 고 문 헌

1. "IEC 61400-12-1 Wind turbines (1st ed.) - Part 12-1-1 : Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 2005.
2. "MEASNET Power Performance measurement Procedure, Version 5, 2009.
3. "측정불확도 표현 지침(GUM)", 한국표준과학연구원, 1999.
4. "3MW 풍력발전시스템 출력 성능시험 및 불확도 분석", 김건훈 외, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.30, No. 6, 2010.