

풍력발전기 성능실증을 위한 단지교정 방법 Site Calibration for the Wind Turbine Performance Evaluation

남윤수* 유능수** 이정완***
Nam, Yoon-Su Yoo, Neung-Soo Lee, Jung-Wan

Abstract

The accurate wind speed information at the hub height of a wind turbine is very essential to the exact estimation of the wind turbine power performance testing. Several methods on the site calibration, which is a technique to estimate the wind speed at the wind turbine's hub height based on the measured wind data using a reference meteorological mast, are introduced. A site calibration result and the wind resource assessment for the Taekwanryung test site are presented using a one-month wind data from a reference meteorological mast and a temporal mast installed at the site of wind turbine. From this analysis, it turns out that the current location of the reference meteorological mast is wrongly determined, and the self-developed codes for the site calibration are working properly. Besides, an analysis on the uncertainty allocation for the wind speed correction using site calibration is performed.

키워드: 단지교정, 풍력발전기, 풍황자료, 풍속변환계수, 풍향분류영역

Key words: Site Calibration, Wind Turbine, Wind Resource Data, Flow Correction Factor, Wind Direction Sector

1. 서론

태양이 생성하는 총 에너지의 (1.5×10^{18} kWh) 2%만이 지구의 대기권 내부로 흡수되며, 또한 이 에너지의 0.013%인 4×10^{12} kWh의 에너지가 지구대기의 이동에 사용된다. 대기의 이동이 갖는 에너지, 즉 풍력 에너지(wind energy)는 연간 지구에서 생산하는 총 에너지량의 100 배에 해당한다[1]. 풍력 에너지는 고갈되지 않고 재사용할 수 있으며, 화석 에너지와는 달리 지구온난화의 주요 요인인 CO₂ 발생이 없는 청정 에너지이다. 따라서, 구미의 선진제국들은 풍력을 포함함 대체 에너지 기술개발

과 보급에 많은 투자를 하고 있다. 유럽연합의 경우, 풍력 에너지에 연관된 사업은 1993년부터 1998년까지의 자료를 기준으로 할 때 매년 40% 정도의 성장을 계속하고 있다. 또한, 전세계적으로 향후 25년 이내로 대체에너지가 지구 총생산 에너지의 10% 정도를 담당하게 될 것으로 예상되고 있다[2]. 우리나라도 80년대 중반이후 '대체에너지 기술개발 기본계획 ('88-'01)'을 수립하여 정부차원의 육성정책이 추진되고 있다. 특히, '97년도 선진국 온실가스 감축에 관한 '토요 의정서' 채택 이후, 대체에너지에 대한 중요성을 재인식하면서 '대체에너지 개발 및 이용보급 촉진법 개정 ('02. 3. 25)'을 통하여 이 분야에 관한 기술개발 활성화 및 제도개선에 많은 노력을 하고 있다[3]. 이러한 정부주도의 기술개발 활성화 사업중에 하나가 '풍력 실증연구 사업'으로서 강원도 대관령 지역에 풍력실증 연구 단지를 건설하고, 풍력 발전기에 관한 여러 기술분

* 강원대학교 기계 메카트로닉스공학부 부교수

** 강원대학교 기계 메카트로닉스공학부 교수

*** 강원대학교 기계 메카트로닉스공학부 조교수

야, 즉 시스템 성능 실증, 구조/ 진동/ 소음 해석, 그리고 전기 품질 및 계통연계, 등에 대한 연구를 수행하는 사업이다[4]. 이 사업은 현재 1차년도 연구사업이 진행중이며, 2004년도 10월에 종료된다.

1차년도의 주된 연구목표는 대관령 실증단지에 대한 풍황자료 분석, 풍력발전기에 대한 정확한 성능 실증을 위한 모니터링 시스템 구축 및 site calibration 완성, 그리고 풍력발전기 설치에 관한 연구이다. Fig. 1은 '02년도 하반기에 대관령 풍력실증단지에 설치될 프랑스 Jueмонт사의 750kW J48 풍력발전기에 대한 개략도이다. 발전기 날개(blade)의 실속(stall) 현상과 가변속 로터회전으로 발전기의 출력량을 제어하며, 또한 날개가 발전장치인 영구자석에 직결된 형태로 작동되는 직접구동형 풍력발전기 (direct drive WT (Wind Turbine)) 이다. Fig. 2는 대관령 단지의 지도이고, 여기에는 풍력발전기 및 기상관측 매스트(MM (Meteorological Mast))가 설치될 위치가 표시되어 있다. 또한, 이 그림에는 WT의 후류영향(wake effect)에 의하여 MM에 설치된 풍황센서가 영향을 받게되는 풍향영역(disturbed wind sector)이 함께 표시되어 있다. 즉, MM이 측정된 풍황 데이터중에 이 영역에 해당하는 데이터들은 풍력발전기의 성능 실증에 사용되지 않아야 한

다[5]. 풍력발전기의 성능 실증에 관한 연구는 풍력단지의 연간 에너지 산출량(AEP (Annual Energy Product))의 정확한 예측을 위한 중요 연구분야로서, WT 성능실증 절차 및 방법에 관한 모든 내용은 IEC (International Electrotechnical Commission)에서 규정한 규격서에 근거하여 수행된다[5].

풍력발전기 실증단지의 지형이 주변 건물이나 산과 같이 바람흐름에 영향을 주는 장애물을 포함하고 있다면, MM에 의하여 측정된 풍황 데이터와 WT에서의 풍황 데이터가 서로 다르게 된다. 따라서, WT에 대한 성능실증 연구를 시작하기 전에, MM 풍황 데이터와 WT에서의 풍황 데이터를 서로 연관시키는 단지교정(site calibration)에 대한 연구가 반드시 수행되어야 한다. 본 논문에서는 단지교정을 위하여 사용된 여러 방법들을 비교 연구하고, 이 방법들의 효용성을 검토한다. 이를 위하여 지금까지 측정된 대략 1개월간의 대관령 풍황 데이터가 사용되었다. 또한, 단지교정으로 결정된 바람속도 변환계수(flow correction factor)에 대한 신뢰도 분석이 수행되었다.

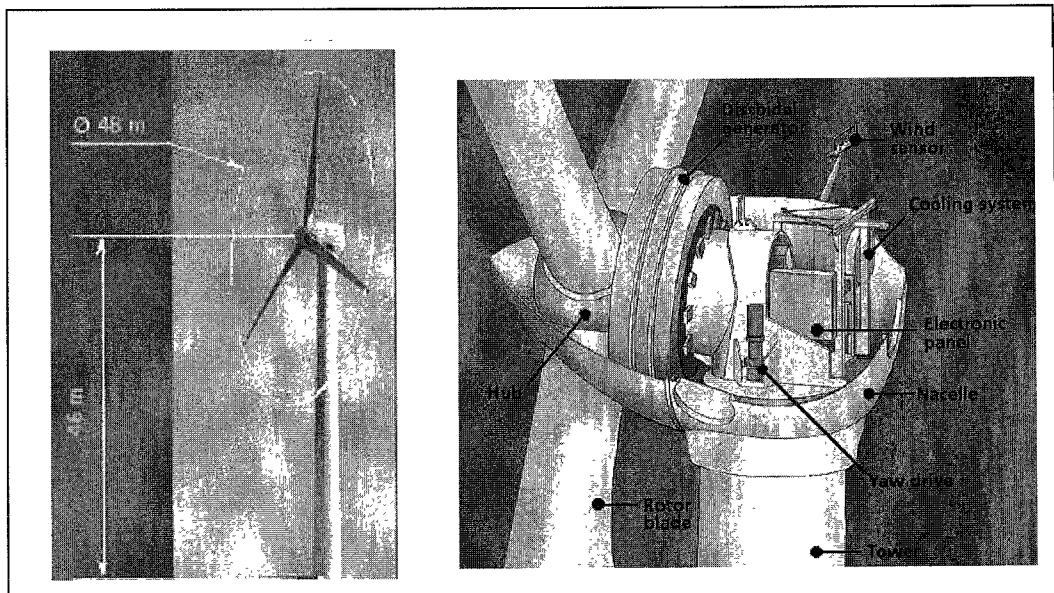


Fig. 1 Jeumont 750kW J48 Wind Turbine

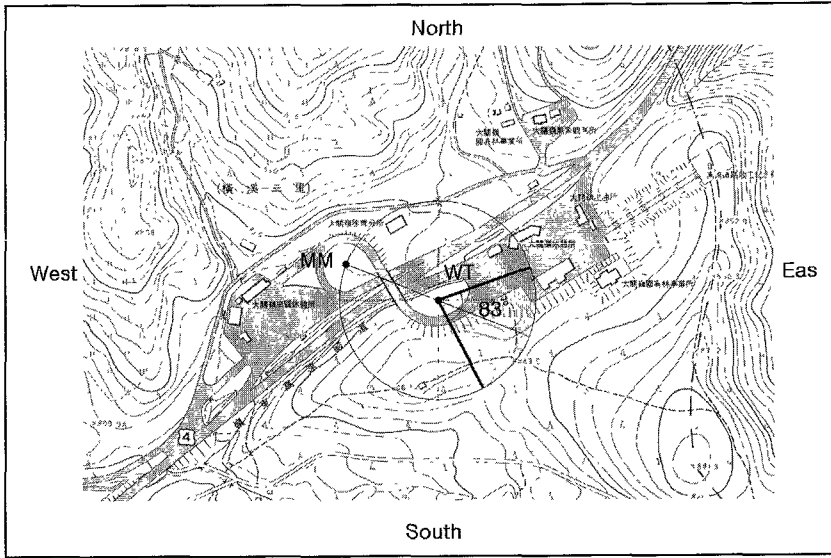


Fig. 2 Map of the Taekwanryung Test Site with MM & WT Location

2. 대관령 실증단지의 풍향자료

단지교정(site calibration)을 수행하기 위하여는 두 대의 MM(meteorological mast)가 요구된다. Fig. 2에 MM으로 표시된 매스트는 실증단지의 풍향을 측정하는 항구적인 기준계측 매스트이고, WT이 들어설 자리에 수 개월간 설치되어 운영되는 WT 매스트는 단지교정을 위하여만 임시적으로 사용된다. 즉, 단지교정이 완료되는 시점에 WT 매스트는 철거되고, 그 자리에 실증대상 WT이 설치된다. Fig. 3부터 6까지는 '02. 4. 30 ~ 5. 9, 그리고 '02. 6. 14 ~ 7 2 기간동안 위에서 설명된 두대의 MM으로부터 계측된 대관령 단지의 풍향 데이터를 정리한 것이다. 여기서, '02 5. 10 ~ 6. 13까지 대략 한달 정도의 데이터가 포함되지 않은 이유는 WT 매스트에 설치되어 풍향정보를 저장하는 메모리 카드가 이 기간동안 불량 작동되었기 때문이다. 따라서, 이 그림들에서 처음 10일간의 데이터는 '02. 5. 9까지의 데이터를, 그리고 나머지 부분은 6월중의 데이터를 각각 의미한다. 두 대의 MM에는 NRG사의 풍향계, 풍속계, 온도계, 압력계, 일사량계가 설치되어 있고, 이 신호들에 대한 10분 단위의 평균 값과 분산 값들이 각각의 메모리카드에 의하여 수집된다[6]. Fig. 3은 Ref. MM에 설치된 5개의 풍속계로부터 얻어진 데이터이다. #1 풍속계(anemometer)는 지상으로부터

46 m, #2는 45.6 m, #3와 #4는 23m, 그리고 #5 풍속계는 10m 위로 설치되었다. 풍향계는 지상으로부터 45.6m 지점에, 그리고 지상 4~5m 위치에 온도계, 압력계, 일사량계가 각각 설치되어 있다. WT MM도 이와 동일한 형상으로 각 센서들이 장착되어 있다. Fig. 3으로부터 고도 차이에 따른 wind shear 효과를 볼 수 있다. 또한, Fig. 4는 두 대의 MM에서 측정된 데이터를 풍향에 따른 풍속 분포도로 나타낸 것이다. 여기서, Fig. 4의 각도는 풍향을 나타내는 것으로서, 북풍을 의미하는 0°에서 시계방향으로 증가시킨 것이다.

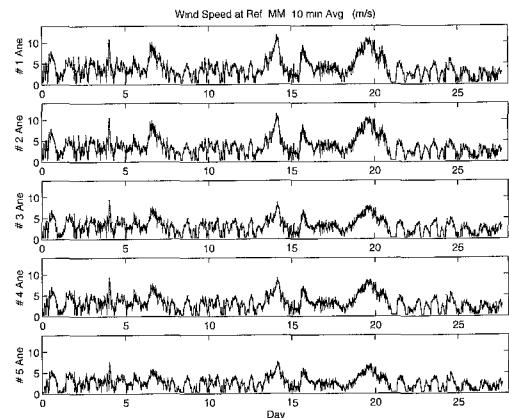


Fig. 3 Wind speed data at Ref. MM

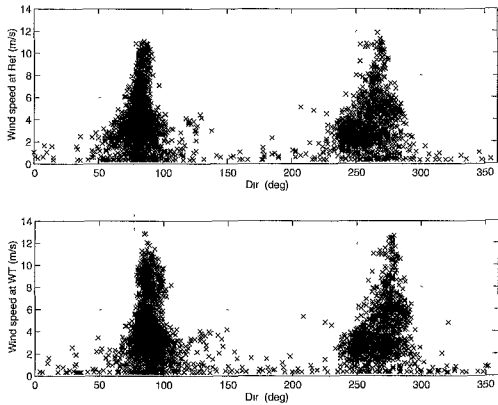


Fig. 4 Wind speed distribution for wind direction

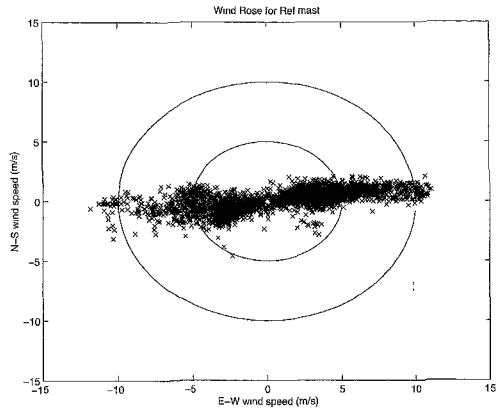


Fig. 5 Wind rose for Ref. met mast

따라서, 90° 는 동풍을 의미한다. 계절적인 변화가 있겠지만, 지금까지 측정된 풍황자료에 의하면 대관령 단지는 주로 동풍 및 서풍이 함께 우세한 지역임을 알 수 있다. Fig. 5와 6은 두 MM에서의 풍황자료를 wind rose 형으로 그려본 것이다. 이 그림들에서 큰 원과 작은 원은 바람속도가 10m/s, 그리고 5m/s인 조건을 나타낸다. Fig. 4부터 Fig. 6까지의 풍속 자료는 두 대의 MM에서 최고점에 설치된 풍속계들로 측정된 자료를 사용한 것이다. 한편, 이 그림들을 자세히 관찰하면, 두 MM에서 측정된 풍향 값이 대략 $7^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 정도 서로 벗어나 있음을 볼 수 있다. 이것은 두 대의 MM에 각각 장착된 풍향계(wind vane)들이 정확하게 진북(true north)으로 설치되어 있지 않았다는 것을 의미한다. 비전 이미지를 이용한 풍향계 장착오차 보정법을 사용하여, 위와 같은 풍향계 장착오차를 교정시키는 작업이 현재 진행중이다[7].

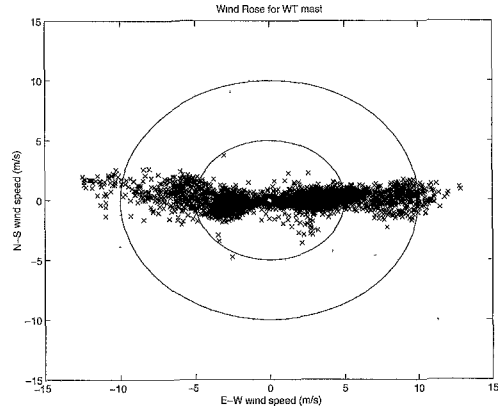


Fig. 6 Wind rose for WT met mast

지금까지 개측된 약 한달간의 풍황 데이터에 근거하여 얻을 수 있는 중요한 결론은 Fig. 2에 도시된 Ref. MM의 위치가 부 적절하게 선정되었다는 것이다. 대관령 실증단지는 서풍이 우세한 지역이라고 알려져 있지만, Fig. 5와 6에 근거할 때 동풍도 상당한 분포확률을 갖고 있다는 것이다. Fig. 2에서 표시된 WT 후류영향 영역 (disturbed wind sector)에 동풍이 포함되기 때문에, 추후 WT이 설치되어서 운영될 때 Ref. MM에서 측정되는 동쪽 방향 풍황 데이터는 부 정확한 자료가 되리라고 생각된다. 따라서, Fig. 2의 Ref. MM의 위치는 WT 위치에서 남북 방향으로 재 위치 되어야 한다.

3. 일반적인 단지교정 방법

WT와 Ref. MM간의 거리를 L이라 할 때, WT 설치 점을 기준으로 하여 2L부터 4L의 영역범위에 있는 산이나 건물의 높이가 5% 경사도를 초과하게 되면, IEC 61400-12에 의거 반드시 단지교정을 수행하여야 한다. 또한, Fig. 5와 6에서 볼 수 있듯이, 두 MM에서 측정된 풍속의 최대 크기는 서로 간에 상당한 차이가 있음을 볼 수 있다. 이것은 두 MM이 설치된 지면의 고도차에 의한 wind shear 효과에 의한 것이라 생각된다. 즉, 실증단지의 지형적 복잡성, 그리고 wind shear 효과를 보정하기 위한 단지교정이 요구된다. 먼저, IEC 61400 -12의

Annex B에 명시된 단지교정 방법을 Fig. 7을 이용하여 간략하게 정리한다. WT 실증단지에서 항구적으로 사용될 Ref. MM과 WT이 설치되기 전까지 임시적으로 사용되는 WT MM를 사용하여 WT 허브높이에서의 풍속과 풍향을 측정한다. WT 후류 영향권을 나타내는 교란영역(disturbed wind sector)이 제외된 측정가능 영역(measurement sector)에 대하여 30°이하의 각도로 세분화된 풍향분류 영역(wind direction sector)을 설정하고, 측정된 풍속 데이터를 각각의 해당 풍향 분류영역에 저장한다. Fig. 7에서 빗금친 영역이 후류에 의한 교란영역을 나타낸다. 신뢰성 있는 단지교정 결과를 얻기 위하여는, 각 풍향 분류영역별로 5m/s ~ 10m/s 사이의 풍속 데이터가 최소한 24시간에 해당하는 개수 이상으로 저장되어야 한다. 모든 풍향 데이터를 10분단위 평균으로 저장하는 NRG 메모리카드의 경우, 이것은 각 분류영역별로 144개의 풍속 데이터를 포함해야 한다는 것을 의미한다. 위와 같이 각 풍향 분류영역에 대하여 충분한 데이터가 수집되면, 적절한 방법을 사용하여 다음 식을 만족시키는 풍속변환계수(flow correction factor, K_{CF})를 결정하여야 한다[5].

$$V_{WT} = K_{CF} V_{REF} \quad (1)$$

위 식은 Ref. MM에서 측정된 풍속, V_{REF} 를 사용하여, WT 허브높이에서의 풍속, V_{WT} 를 추정하는 식을 나타낸다. IEC 61400-12의 Annex B에는 K_{CF} 를 결정하는 방법이나, 단지교정에 의한 신뢰도 결정방법에 대하여 구체적인 언급이 없으며, 단지교정 연구자가 적절한 기법을 개발하여 이들을 결정하여야 한다.

단지교정에서 K_{CF} 를 결정하는 방법은 크게 두 가지로 분류된다. 첫 번째 기법은 두 대의 MM으로부터 얻어진 각 풍향분류영역에 속한 모든 풍속

데이터에 대하여 풍속의 평균 값을 구하고, 그 비(ratio)를 해당 풍향 분류영역에 대한 K_{CF} 로 사용하는 것이다[8, 9]. 즉, 이 평균 값들이 식 (1)에서 V_{WT} 와 V_{REF} 으로 사용된다. 두 번째 방법은 각각의 풍향 분류영역에 대하여, WT MM과 Ref. MM에서 측정된 풍속 데이터 집합에 관한 선형 관계를 구하는 것이다. 최적의 선형 관계식을 얻기 위하여 최소자승법(least square method)이 사용된다[10, 11]. 이 때, V_{WT} 와 V_{REF} 간의 관계는 다음 식에 의하여 표시된다.

$$V_{WT} = K_{CF} V_{REF} + V_{WT0} \quad (2)$$

위 식에서, K_{CF} 와 V_{WT0} 는 최소자승법으로 얻어진 선형식의 기울기와 V_{WT} 절편 값을 나타낸다.

4. 대관령 실증단지의 단지교정

앞 절에서 소개된 두 가지 방법을 사용하여 대관령 실증단지에 대한 단지교정을 수행하였다. 현재까지 얻어진 풍향 데이터는 대략 한달 정도의 데이터로서, 신뢰성있는 단지교정 결과를 위하여는 충분한 양은 아니다. 그러나, 대관령 실증단지의 단지교정을 위하여 자체 개발된 s/w를 검증하고, 위에서 설명된 두 단지교정 방법을 비교 연구하는 작업을 위하여는 충분하다고 판단된다.

먼저, 다음과 같은 방법으로 총 55개의 풍향분류영역을 설정하고, 측정된 데이터를 각 영역별로 분류하였다. 대관령 단지는 동풍과 서풍이 주된 바람 방향이기에, 동풍(70° ~ 110°)과 서풍 방향(250° ~ 300°)은 각각 2°단위로, 그리고 나머지 방향은 20°단위로 풍향분류 영역을 설정하였다. Fig. 8과 9는 분류 영역 # 37(260° ~ 262°)부터 #45(276° ~ 278°)까지의 풍향 데이터, 즉 서풍 방향의 데이터를 각각 나타내고 있다. Fig. 8에서 Ref. MM에서 측정된 데이터는 'o', 그리고 WT MM에서의 데이터는 'x'로 표시되어 있다. Ref. MM의 풍향을 기준으로 하여 풍향영역을 분류하기 때문에, 'x'로 표시된 WT MM 데이터는 분산되어 나타나고 있다. 특히, 5m/s 이하의 풍속에서 이러한 분산은 더욱 심화되는데, 그 이유는 이 크기의 느린 바람속도 영역에 대하여 풍향 측정기의 작동능력이 악화되기 때문인 것으로 생각된다. 한편 Fig. 9는 각 풍향분류 영역에 존재하는 Ref. MM 및 WT MM 풍속 데이터를 짝(pair)으로 그린 것이다. 이 그림에서 실선은 두 풍속 데이터간의 관계를 최소자승법으로 표시한 것이다. 각 분류영역에 대하여 서로 다른 기울기와

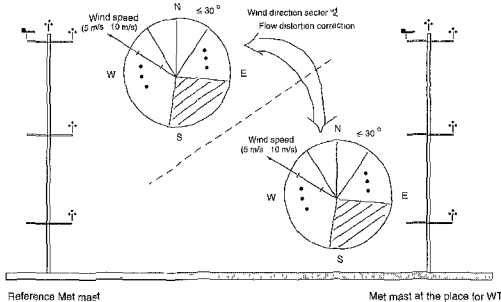


Fig. 7 Schematics of Site Calibration Procedure

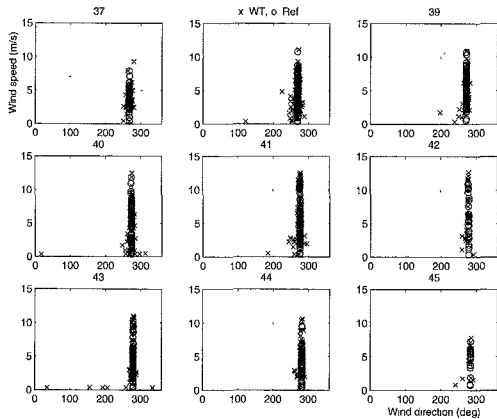


Fig. 8 Wind data for each wind direction sector (#37 ~ #45) for a bin-averaging ratio method

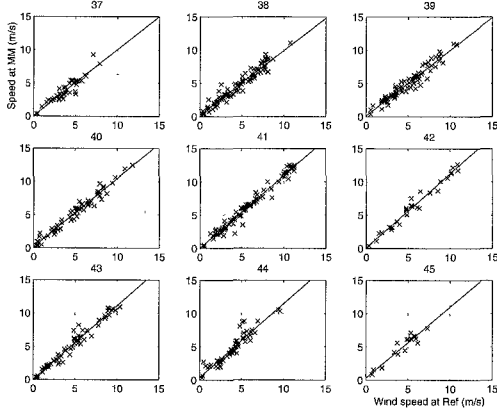


Fig. 9 Wind data for each wind direction sector (#37 ~ #45) for a least square method

y-절편 값을 갖고 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 Fig. 8과 9에 근거하여 얻어진 풍속변환 계수(flow correction factor, K_{CF})를 주풍(main wind) 방향으로 나타낸 것이다. Fig. 10의 상위 두 플롯은, 앞 절에서 설명된 첫 번째 방법, 즉 각 풍향분류 영역에 존재하는 Ref. MM과 WT MM의 풍속 데이터들의 평균비(average ratio)를 사용하여 풍속변환 계수를 구하는 방법으로 결정된 K_{CF} 를 각각 동풍과 서풍 방향으로 나타낸 것이며, Fig. 10의 하위 두 플롯은 최소자승법을 사용하여 얻어진 결과를 보여 준다. 평균비를 사용하여 구한 K_{CF} 값은 모든 주풍 방향에 대하여 대략 1보다 큰 값을 갖게 된다. 그

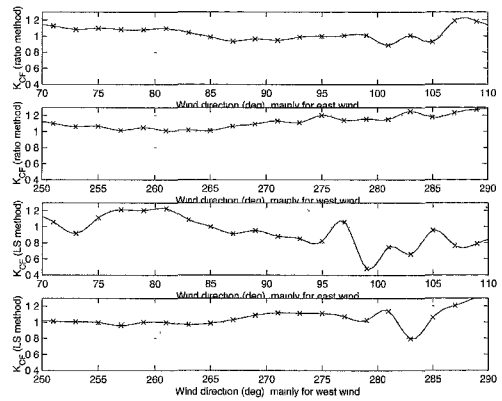


Fig. 10 Flow correction factor for each bin

이유는 WT MM의 지상높이가 Ref. MM의 지상높이보다 5 m정도 높기 때문에 발생한 wind shear 효과 때문인 것으로 생각된다. 한편, 최소자승법을 사용하여 얻어진 K_{CF} 의 값은 풍향 변화에 따라서 그 값이 비교적 크게 변화하고 있음을 볼 수 있다.

위에서 얻어진 단지교정 결과의 정확성을 시험하기 위하여, 주풍 방향의 풍향 데이터에 대하여 아래와 같은 해석이 수행되었다. 즉, 식 (1)과 (2)에 기준하여, Ref. MM에서 측정된 풍향 데이터만을 사용하여 WT MM에서의 풍속을 추정하여 보고, 그 결과를 실제 WT MM으로부터 측정된 풍속 데이터와 비교함으로써 그 정확성을 검증하였다. 이에 대한 결과가 Fig. 11과 12에 있다. Fig. 11은 동풍에 대한 시험 결과이며, Fig. 3에서 17일 ~ 20일 사이의 풍향데이터에 해당한다. 또한, Fig. 12는 서풍에 대한 결과이며, Fig. 3의 12.9일 ~ 14.5일 사이의 풍향 데이터에 대한 것이다. Fig. 11과 12의 첫 번째 플롯은 Ref. MM과 WT MM에서의 풍향데이터를 나타낸다. 두 데이터간에 대략 10° 정도의 편차가 있는 것을 볼 수 있으며, 여기서 큰 값을 갖는 풍향데이터가 WT MM에서 측정된 데이터이다. 두 MM에서 측정된 풍향이 서로 편차를 갖는 것은 두 대의 MM에 설치된 풍향센서(wind vane)의 진북이 정확하게 일치하지 않기 때문에 나타난 결과이다. 앞서 언급된 비전 데이터를 사용한 진북교정 방법을 적용하여 이 편차를 상당히 줄일 수 있으리라 생각된다. 이 그림들에서 두 번째 플롯은 WT MM과 Ref. MM에서 측정된 풍속 데이터를 나타낸다. 큰 크기를 가진 데이터가 WT MM에서 측정된 풍속에 해당한다. 세 번째 플롯은 풍속의 평균 속도

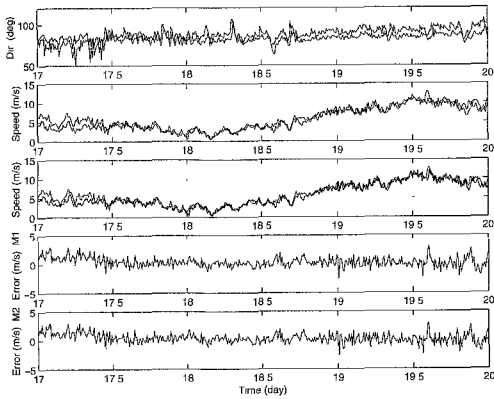


Fig. 11 Flow correction results for an east wind

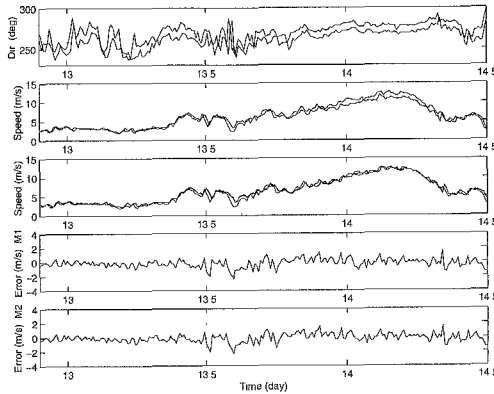


Fig. 12 Flow correction results for a west wind

비를 사용하는 단지교정 방법으로 추정된 WT 허브 높이에서의 풍속을 실제 측정된 데이터와 함께 그린 것이다. 특히, Fig. 12의 14일 근처 풍황에 대하여 단지교정의 효과를 확인할 수 있다. 그리고, 네 번째 및 다섯 번째 플롯은 단지교정 방법으로 추정된 WT에서의 풍속과 실제 풍속간의 오차를 나타낸다. 네 번째 플롯은 평균 속도비를 사용하는 방법, 그리고 다섯 번째는 최소자승법을 사용하는

방법에 대한 결과이다. 또한, Table 1은 Fig. 11과 12의 단지교정 결과를 수치 통계적으로 정리한 것이다. 이 테이블에는 동풍 및 서풍 풍황 데이터에 대하여 적용된 두 가지 단지교정 결과에 의한 WT 위치에서의 풍속 추정오차의 평균 및 분산 값들이 정리되어 있다. 특히, 이 테이블의 두 번째 및 세 번째 열에 있는 수치 데이터는 Ref. MM과 WT MM에서 측정된 풍속데이터 편차에 관한 평균 및 분산 값들이다. 현재까지 축적된 데이터를 기준으로 할 때, 두 방법의 우열을 논하기는 어렵다. Fig. 11과 12의 결과로부터 추정할 수 있는 결과는 풍향 변화가 심한 영역에서는, 즉 Fig. 11에서 17일 근처, Fig. 12에서 13.6일 근처, 두 MM(Met mast)에서 측정된 데이터간의 풍속 편차가 크고, 또한 단지교정을 사용해도 그 편차가 크게 줄지 않는다는 것이다. 따라서, 풍황 변화가 큰 터블런스(turbulence) 조건에서의 풍황 데이터에 대한 처리가 추후 연구되어야 한다.

5. 단지교정의 불확실성

이제 단지교정을 사용하여 WT 허브 높이에서의 풍속을 추정할 때, 어느 정도의 추정오차를 할당해야 하는가에 대한 논의를 하여 보자. WT 파워 특성은 풍황특성에 직접적으로 영향을 받는다. 따라서, IEC 61400-12에서는 풍속계측에 관한 불확실성 정도(uncertainty amount)를 정량화시킬 것을 요구한다. 즉, i -번째 풍속분류 영역(wind speed sector)에 대하여 풍속계측에 대한 불확실성 정도, $U_{v,i}$ 는 아래의 식 (3)으로 결정된다. 이 때, 풍속분류 영역은 WT의 성능곡선(power curve)이나, 연간 에너지 산출량(AEP: Annual Energy Product)을 계산할 때, 사용되는 개념으로, 단지교정에서 언급된 풍향분류 영역(wind direction sector)와는 서로 다른 개념을 갖는다.

$$U_{v,i} = \sqrt{U_{V1,i}^2 + U_{V2,i}^2 + U_{V3,i}^2 + U_{V4,i}^2 + U_{Vd,i}^2} \quad (3)$$

여기서, $U_{v,i}$ 는 풍속계측 센서 자체의 불확실성으로서, 센서 제작사의 규격서에 명시된 비선형성의 최대한도 값이 된다. $U_{V2,i}$ 는 풍속계측 센서의 작동한

Table 1. Statistical data for site calibration

wind dir. \ data(m/s)	error in wind speed (WT - Ref.)		ratio method		least square method	
	average	std. dev	average	std. dev	average	std. dev
east wind	0.4864	0.9928	0.3516	0.8852	0.3526	0.9027
west wind	0.2451	0.7402	-0.1991	0.5892	-0.1380	0.5846

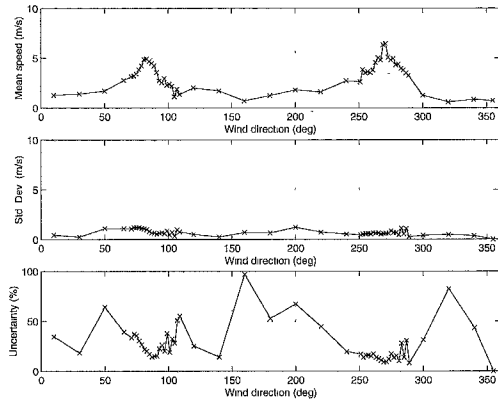


Fig. 13 Uncertainty allocation for a flow correction (results for a ratio method)

경, 즉 대기 온도, 날씨변화등에 따라 결정되는 값이며, $U_{V_{3,i}}$ 는 풍속센서의 장착효과에 기인한 불확실성 정도이며, 주로 풍속계가 WT 허브높이에 설치되지 않은 경우에 대한 것이다. 또한, $U_{V_{4,i}}$ 는 단지교정효과에 의한 풍속추정 오차에 관련된 량이며, $U_{V_{5,i}}$ 는 데이터 수집기(data acquisition system)에 할당된 오차 특성을 의미한다.

Fig. 13은 평균 속도비를 사용하는 단지교정 방법에 대하여, $U_{V_{4,i}}$ 를 결정하는 데에 이용될 수 있는 중요 데이터이다. 즉, 이 그림의 첫 번째 플롯은 전체 풍향분류 영역에 대한 WT에서 측정된 풍속의 평균값을 나타낸다. 당연히 Fig. 4의 두 번째 플롯과 유사한 형상을 갖게 된다. Fig. 13의 두 번째 플롯은 WT에서의 실제 풍속 측정값과 Ref. MM에서 측정된 풍속데이터에 근거하여 단지교정으로 추정된 WT에서의 풍속 추정값 사이의 편차에 대한 분산 값(standard deviation)을 전체 풍향분류 영역에 대하여 나타낸 것이다. 마지막으로, Fig. 13의 세 번째 플롯은 각 풍향 분류영역의 풍속 평균 값에 대한 추정편차 분산 값의 비(ratio)를 %단위로 표현한 것이다. 주풍 방향인 동풍 및 서풍에 대하여 이 비율 값은 대략 20 % 이하이며, 다른 방향의 바람에 대하여는 20 % 이상의 값을 갖게 된다. 이와 같은 현상이 나타나게 된 것은 다음과 같은 충실하지 못한 조건에서 단지교정이 수행되었기 때문인 것으로 생각된다. 첫째, 단지교정에 사용된 풍향 데이터의 수가 충분하지 않았다. 둘째, 5 m/s ~ 10 m/s 범위의 풍속 데이터를 사용하여 단지교정을 수행해야 하지만, 본 연구에서는 전 범위의 풍

속 데이터가 사용되었다. IEC 61400-12 규정에 의거한 데이터 수집이 만족된다면, Fig. 13의 세 번째 플롯에 표현된 단지교정의 불확실성 정도가 수% 이내로 감소되리라고 생각된다.

6. 결론

WT(Wind Turbine)의 출력성능을 정확하게 평가하기 위하여는 WT 허브높이에서의 풍속 정보가 매우 중요하다. WT에서의 풍속을 결정하기 위한 일반적인 방법은 기준 풍향 계측타워 (Ref. MM: Reference Meteorological Mast)를 WT 근처에 설치시키고, 이 계측타워로부터 측정된 풍속을 WT 허브높이의 풍속으로 변환하는 것이다. 특히, WT이 설치된 곳의 지형이 복잡하게 되면, 국소적인 지형효과에 의하여 Ref. MM에서 측정된 풍향데이터와 실제 WT에서의 풍향데이터간에는 많은 편차가 생길 수 있다. 이러한 편차를 최소화시키는 방법을 단지교정이라 한다. 본 논문에서는 대관령 실증단지에서 계측된 약 한 달간의 풍향 데이터를 분석하여 보았다. 이 결과 기준 풍향 계측타워의 위치가 부적절하게 설정되어 있는 것이 밝혀졌다. 또한, 이 풍향 데이터를 기준으로 하여 자체 개발된 단지교정 s/w의 완성도에 대한 검증을 수행하였다. 아울러, 단지교정에 의하여 발생하는 풍속 추정오차에 대한 정량적인 해석이 수행되었다. 사용된 풍향 데이터의 분량이 적기 때문에 완벽한 단지교정이 수행되지는 않았지만, 자체 개발된 s/w가 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 에너지관리공단의 풍력실증연구사업 지원연구비로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] Hau, E., "Windturbines Fundamentals, Technologies, Application and Economics," Springer, 2000
- [2] Wagner, A, "Prospects for Wind Energy in the European Union by 2010," '99 European Wind Energy Conference, pp.13-17, 1999
- [3] 원장목, "대체에너지 기술개발 및 실용화 전략 (풍력중심)," 제1회 풍력실증연구 Workshop, 강원대학교, 2002

- [4] 유능수, 김석현, 남윤수, 이정완, 김병희, 김광호, “대관령단지 풍력 실증연구,” 풍력기술연구회 2002년도 춘계 학술회의, 한국 에너지기술연구원, 2002
- [5] “Wind Turbine Generator Systems. Part 12. Wind Turbine Power Performance Testing,” 1st Ed., IEC 61400-12, 1988
- [6] NRG systems, Inc., “9300SA Stand Alone Logger Customer Guide,” 1996
- [7] 이정완, 남윤수, 유능수, et. al., “풍향 계측타워 설치시 카메라를 사용한 진북맞추기 기법,” 풍력기술연구회 2002년도 춘계 학술회의, 한국 에너지기술연구원, 2002
- [8] Hunter, R., et. al, “European Wind Turbine Testing Procedure Developments, Task 1: Measurement Method to Verify Wind Turbine Performance Characteristics,” Riso National Lab., 2001
- [9] Antoniou, I., Mouzakis, F., Albers, A., Follrichs, U., “Identification of Variables for site calibration and Power Curve Assessment in Complex Terrain (Project JOR3-CT98-0257),” 2001 European Wind Energy Conference, pp 17-22, 2001
- [10] Ferreira, M., Rodrigues, A., Ribeiro, L, “Evaluation of the Influence of the Installation of a Wind Turbine over the Results of a Nearby Measuring Station,” 1999 European Wind Energy Conference, pp.1185-1188, 1999
- [11] Curvers, A., “Site Calibration at the ECN Test Site,” 1999 European Wind Energy Conference, pp.638-640, 1999