

# 라이다 측정을 이용한 나셀 풍속계 보정식 제안

김현구\*, 안해준, 양승주, 박우재, 김석우\*\*

## Calibration Equation for Nacelle Anemometer Derived by LIDAR Measurements

Hyun-Goo Kim\*, Hae-Joon An, Seung-Joo Yang, Woo-Jae Park and Seok-Woo Kim\*\*

### Abstract

The nacelle anemometer mounted behind the blade roots of a wind turbine measures distorted wind speed comparable with free-stream wind because of the wake effects caused dependent upon the operation of the wind turbine and the rotation of its blades. The field campaign was carried out to measure free-stream wind speed at a height identical to the height of the nacelle anemometer by deploying a ground-based remote-sensing equipment, LIDAR. It is derived that a third-order polynomial equation for correcting wind speed measured by the nacelle anemometer to undistorted free-stream wind speed incident to a wind turbine. It is anticipated that the derived correction equation enables wind speed measured by the nacelle anemometer to be used as a precise input for a wind turbine performance test and for developing an active control logic.

### Key words

Wind Turbine(풍력터빈), Nacelle Anemometer(나셀 풍속계), LIDAR(라이다)

(접수일 2012. 10. 23, 수정일 2013. 2. 6, 게재확정일 2012. 3. 5)

\* 한국에너지기술연구원 신재생에너지자원센터 (Korea Institute of Energy Research / New & Renewable Energy Resource Center)  
■ E-mail : hyungoo@kier.re.kr ■ Tel : (042)860-3376 ■ Fax : (042)860-3462

\*\* 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부 (Korea Institute of Energy Research / New & Renewable Energy Research Division)  
■ E-mail : wemins@kier.re.kr ■ Tel : (042)860-3568 ■ Fax : (042)860-3543

## 1. 서론

현재 MW급 풍력터빈의 시동풍속(cut-in wind speed), 정지풍속(cut-out wind speed) 판단 및 요(yaw) 제어를 위한 풍향·풍속 정보는 풍력터빈 나셀 상단에 장착한 풍향·풍속계로부터 입력받는다. 일반적으로 나셀 풍속계는 컵 풍속계(cup anemometer)이며 여분을 포함 2개를 설치하기도 한다.

그런데 나셀 풍속계는 풍력터빈 블레이드 뿌리(blade roots) 후방에 설치되기 때문에 블레이드 회전에 의한 후류

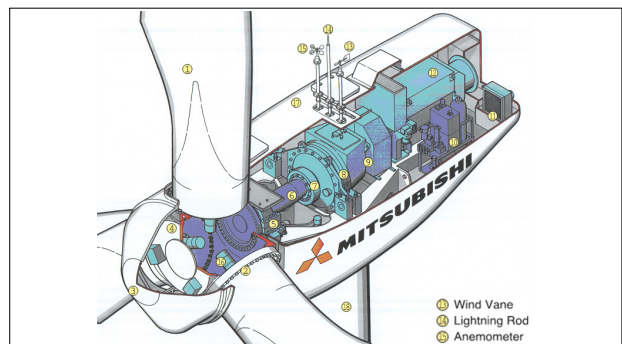


Fig. 1 Arrangement of nacelle anemometry on Mitsubishi MWT-1000A wind turbine

및 나셀의 형상에 의해 변형되는 풍속을 측정하게 된다. 이에 의해 풍향 민감도가 둔화되며 고풍속으로 갈수록 자연풍과의 풍속차가 커지게 되는 측정오차가 발생한다.

상업운전 중인 풍력터빈은 나셀 풍속계로부터의 입력신호를 기반으로 시스템의 운전을 제어하게 되며, 이때 측정 풍속값은 순시값이 아닌 1~10분 평균값으로 변환하여 운전제어에 활용한다. 즉, 회전자를 통과하면서 왜곡된 풍속값을 운전제어에 적용하게 됨에 따라 시스템 운전효율의 저하가 발생하게 되며, 운전소음 및 피로하중의 증가가 발생할 수도 있다.

풍력분야 대표 연구기관인 덴마크의 리소연구소(Risoe Laboratory)와<sup>(1)</sup> 미국의 재생에너지연구소(NREL)에서는<sup>(2)</sup> 풍황탑을 이용하여 나셀 풍속계의 측정풍속을 보정하기 위한 연구를 수행하여 오고 있다.

본 연구에서는 지상기반 원격탐사장비 라이다를 이용하여 풍력터빈 나셀 풍속계의 왜곡된 측정값을 자연풍 풍속으로 보정하는 보정식을 제안하고자 한다.

본 연구에서 제안된 보정식으로 나셀 풍속계의 측정풍속 왜곡도를 보정함으로써 풍력발전 시스템 운전제어 적용한다면 운전효율의 향상이 가능할 것으로 기대된다.

## 2. 라이다 원격탐사 캠페인

본 연구에서는 신안풍력발전소의 풍력터빈을 대상으로 라이다 원격탐사 캠페인을 실시하여 보정식 도출에 필요한 측정자료를 확보하였다.

신안풍력발전소는 세계 최대의 풍력발전용 윈드타워(WIND TOWER) 생산업체인 (주)동국S&C가 사업비 약 70억 원을 투자해 전라남도 신안군 비금면 구림리 명사십리해수욕장 인근에 총 3MW 규모로 조성한 해안 풍력발전소이다. 신안풍력발전소에는 Fig.2와 같이 Mitsubishi NWT-1000A 1MW 풍력터빈 3기가 해안선을 따라 동서로 배치되어 있다. Mitsubishi NWT-1000A는 허브높이 69m, 블레이드 직경 61.4m, 그리고 시동풍속 3m/s인 IEC Class IIA인 풍력터빈이다.

라이다 원격탐사 캠페인은 2009년 11월 30일부터 2010년 3월 17일까지 3.5개월간 수행되었다. 원격탐사 캠페인에 사용된 라이다는 프랑스 Leosphere WindCube LIDAR이며 풍



Fig. 2 Landscape of Shinan Wind Farm  
(No. 1, 2, 3 wind turbines from left to right)

력터빈 허브 높이인 69m를 포함하여 풍속 연직측정지점을 설계하였다.

본 연구에서 사용한 윈드큐브(WindCube) 라이다는 아시아 최초로 한국에너지기술연구원에서 도입한 이후 산지<sup>(3)</sup>, 도심지<sup>(4)</sup>, 평지<sup>(5)</sup> 등의 다양한 지형조건 하에서 음파를 이용하는 원격탐사장비인 소다(SODAR)와의 비교검증을 통하여 그 정확도를 입증하였으며, 라이다 측정자료의 입체분석 소프트웨어<sup>(6)</sup> 개발하여 기술이전 한 바 있다.

윈드큐브 라이다는 다수의 실측 캠페인에 의해 그 정확도가 충분히 입증되었다. 대표적인 사례로서 독일 풍력자원평가 컨설팅사인 윈드가드(WindGuard)가 수년간에 걸쳐 집중 캠페인을 수행한 결과에 의하면<sup>(7)</sup>, 135m 높이의 풍황탑과 윈드큐브 라이다 측정풍속은 평균편차  $-0.03\text{m/s}$ , 직선접합 기울기  $0.995 \sim 1.004$ , 결정계수  $R^2=0.996$ 로 그 정확도가 확인된 바 있다. 또한 라이다를 이용한 풍력터빈 성능곡선 평가에 앞서 덴마크 해안의 리소연구소 실증단지에서 풍황탑 대비 측정불확도를 산정한 바에 의하면<sup>(8)</sup>, 허브높이에서 라이다 측정결과는 직선접합 기울기  $0.999$ , 결정계수  $R^2=0.999$ 로 풍황탑 측정과 동일수준임을 확인한 바 있다.

본 연구의 캠페인 장소가 해안 평지임을 고려할 때 측정자료의 정확도는 통상의 풍황탑 수준 대비 동등 이상이므로 나셀 풍속계 보정을 위한 기준자료로 활용할 수 있다고 판단하였다.

라이다는 신안풍력발전소 풍력터빈 2호기 동쪽 100m 위치에 설치하였기 때문에 풍력터빈 2호기와 동일선상에서 해풍



Fig. 3 LIDAR setup for remote sensing campaign

인 주풍향을 측정할 수 있도록 배치하였다.  
 캠페인 기간 중 라이다 측정 바람장미와 국가바람지도인<sup>(9)</sup>

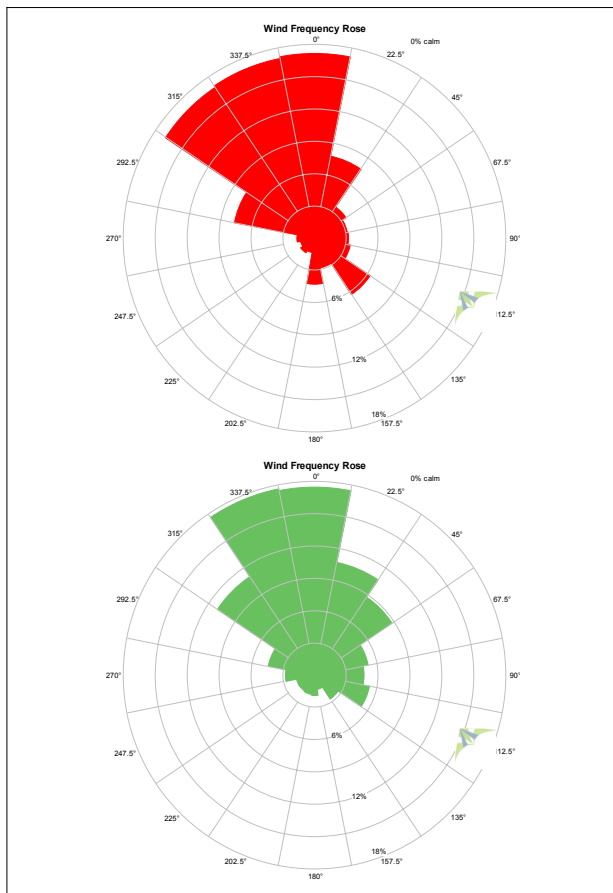


Fig. 4 Winter time(Dec., Jan., Feb.) wind rose  
 (top: LIDAR, bottom: KIER-WindMap™)

KIER-WindMap™의<sup>(10)</sup> 11월부터 3월까지 동계기간의 바람 장미를 보면 탁월한 북북서풍이 주풍향으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 캠페인 기간 중 북북서풍이 탁월하게 불었기 때문에 풍속 보정식 도출 시 풍향변화에 따른 변동요인은 제거된 것으로 판단할 수 있다.

### 3. 나셀 풍속 보정식 산출

풍력터빈 나셀 높이(지상 69m)에서 측정된 라이다 풍속 ( $V_L$ )과 나셀장착 풍속계에서 측정된 풍속( $V_N$ )의 산포도를

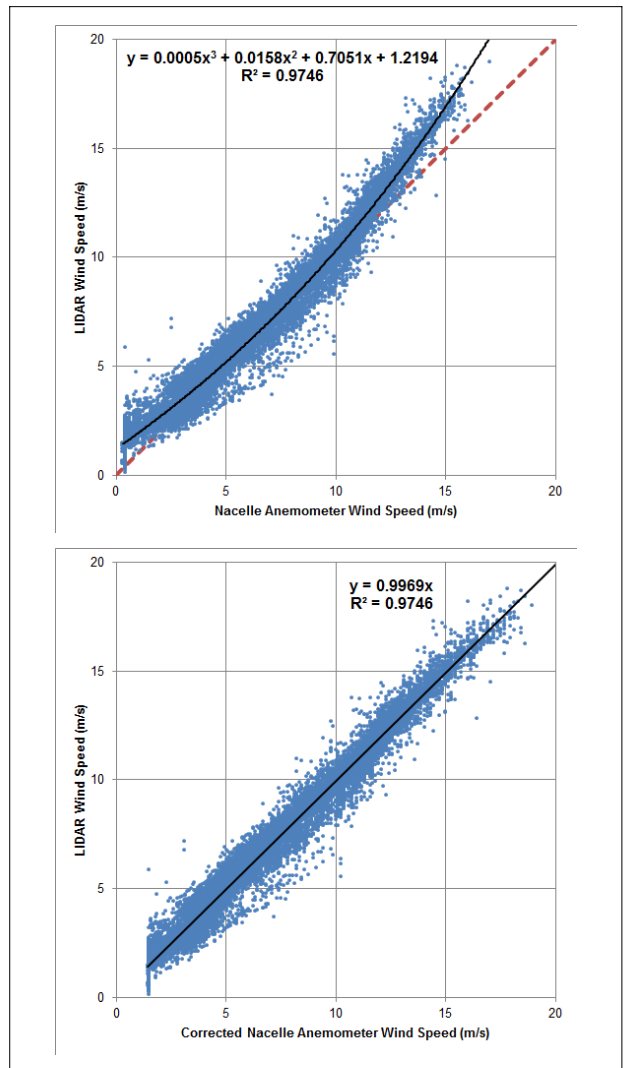


Fig. 5 Scatter plot between nacelle wind speed and LIDAR wind speed (top: before correction, bottom: after correction)

Fig. 5에 도시하였으며, 다항식으로 곡선적합하여 나셀 풍속 보정식을 도출하였다. 참고로 풍속은 10분 평균으로 환산하였다.

$$V_L = 0.0005 V_N^3 + 0.0158 V_N^2 + 0.7051 V_N + 1.2194$$

(단,  $V_L > 0$ )

나셀 풍속 보정식의 결정계수( $R^2$ )는 0.975로 매우 높은 접합도를 보였으며, 3차 이상에서는 더 이상 결정계수가 향상되지 않았기에 보정함수의 다항식 차수는 3차로 결정하였다. 도출된 보정식을 적용하게 되면 나셀풍속과 자연풍인 라이다 풍속의 피어슨(Pearson) 상관계수는 보정전 0.983에서 보정 후 0.995로 1.2% 향상되었다.

## 4. 결론

풍력터빈 나셀에 장착된 풍속계는 풍력터빈의 운전상태 및 블레이드 회전에 따른 후류효과로 자연풍과는 다른 왜곡된 풍속을 측정한다.

본 연구에서는 풍력터빈 나셀 장착 풍속계의 보정을 위해 풍향탐 대비 동등 이상의 정확도가 확인된 지상기반 원격탐사 장비 라이다를 활용하여 나셀 풍속계가 설치된 동일 높이에서의 풍속을 측정하였다. 그리고 나셀 풍속을 풍력터빈에 입사되는 자연풍 풍속으로 보정할 수 있는 3차 다항식 풍속 보정식을 도출하였으며, 결정계수  $R^2 = 0.975$ 의 높은 접합도를 보였다.

제안된 보정식을 이용하면 나셀 풍속계의 풍속 측정값은 풍력터빈 성능평가 및 능동제어를 위한 정확한 입력자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 단, 풍력터빈에 따라 나셀 형상이 상이하므로 본 연구에서 도출된 나셀 풍속 보정식은 신안풍력발전소의 Mitsubishi NWT-1000A 1MW 풍력터빈에 대해서만 유효하다.

한편 제안된 보정식의 정확도에 대한 추가적인 검증으로는 보정 전후의 나셀 풍속계 측정값 대비 풍력터빈 출력, 즉 성능곡선의 접합도를 이용할 수 있을 것이다.

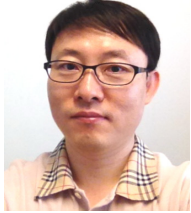
## 후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 2012년도 주요사업인 「대형 풍력터빈 제어 시뮬레이터 및 모니터링 시스템 개발」의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] Antonius, I., Pedersen, T.F., Nacelle Anemometry on a 1MW Wind Turbine: Comparing the Power Performance Results by Use of the Nacelle or Mast Anemometer, Risoe-R-941 (EN), Risoe National Laboratory, Denmark, 1997.
- [2] Smith, B., Link, H., Randall, G., McCoy, T., Applicability of Nacelle Anemometer Measurements for Use in Turbine Power Performance Tests, NREL/CP-500-32494, National Renewable Energy Laboratory, US, 2002.
- [3] 김현구, 정진화, 안해준, 지영미, 풍력자원평가용 윈드큐브 라이다와 웹텍 소다의 비교·검증 - 포항가속기 원격탐사 캠페인, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 31, No. 2, pp. 63-71, 2011.
- [4] 김현구, 김동혁, 전완호, 최현정, 풍력자원평가용 윈드큐브 라이다와 씰텍 소다의 비교·검증 - 잠실 원격탐사 캠페인, 한국신재생에너지학회지, Vol. 7, No. 2, pp. 43-50, 2011.
- [5] 김현구, 조강표, 안해준, 전완호, 풍력자원평가용 윈드큐브 라이다와 메텍 소다의 비교·검증 - 김제평야 원격탐사 캠페인, 한국풍공학회지, Vol. 16, No. 1, pp. 23-49, 2011.
- [6] 김현구, 이종혁, 전완호, KIER-LidarWind™를 이용한 LIDAR 측정자료 입체분석, 풍력에너지저널, Vol. 3, No. 2, pp. 54-59, 2012.
- [7] Albers, A., Janssen, A.W., Mander, J., German Test Station for Remote Wind Sensing Devices, European Wind Energy Conference 2009, Marseille, France, 2009.
- [8] Wagner, R., Courtney, M., Gottschall, J., Marsden, P.L., Accounting for the Speed Shear in Wind Turbine Power Performance Measurement, Wind Energy, Vol. 14, pp. 993-1004, 2011.
- [9] 김현구, 강용혁, 한반도 풍력자원지도 - 2010년판, 한국풍공학회지, Vol. 16, No. 4, pp. 167-172, 2012.
- [10] 한국에너지기술연구원, 국가버람지도 웹서비스, KIER-WindMap™, www.kier-wind.org

**김 현 구**



1997년 포항공과대학교 기계공학과 공학박사  
1998년 미국 아이오와대학교 IIHR 연구원  
2000년 포항산업과학연구원 책임연구원  
2005년 한국에너지기술연구원 책임연구원

현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지지원센터  
(E-mail : hyungoo@kier.re.kr)

**안 해 준**



2008년 한국에너지기술연구원 위촉연구원  
2012년 고려대학교 전자전기공학과 공학박사  
2012년 한국에너지기술연구원 Post-doc 연구원

현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부  
(E-mail : joon@kier.re.kr)

**양 승 주**



1980년 한양대학교 기계공학과  
1983년 한양대학교 산업대학원 기계공학 석사  
2007년 (주) 일진글로벌/풍력사업본부장  
2009년 (주) 윈앤피(Win&P) 대표이사  
2011년 (주) 동국S&C 대표이사  
2011년 (사) 한국풍력산업협회 이사회 이사

현재 (주) 동국S&C 대표이사, 사장  
(E-mail : sjyang@dongkuksnc.co.kr)

**박 우 재**



2004년 목포대학교 전기공학과 공학사  
2006년 원당중공업(주) 전기시설 관리팀  
2009년 이오전기(유)  
2011년 신안풍력발전(주)

현재 신안풍력발전(주) 발전소장  
(E-mail : lachacha@dongkuksnc.co.kr)

**김 석 우**



1996년 Rensselaer Polytechnic Institute  
항공공학과 공학박사  
1997년 현대엔지니어링 발전플랜트사업본부  
2002년 한국에너지기술연구원 책임연구원

현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구본부  
(E-mail : wemins@kier.re.kr)