

원격탐사장비를 이용한 도시형 풍력발전 가능성 검토

*김 동혁¹⁾, **이 화운¹⁾, 김 현구²⁾, 김 민정¹⁾, 박 순영¹⁾, 이 순환³⁾

Investigation of possibility for Urban Wind Power Using Surface-based Remote Sensing Instruments

*Donghyuk Kim, **Hwawoon Lee, Hyungoo Kim, Minjung Kim, Soonyoung Park, Soonhwan Lee

Abstract : In order to investigate of possibility for developing urban wind power, wind profile and wind power density are estimated using Sodar and Lidar based on surface. Since poor performance of Sodar and Lidar are often shown in a particular meteorological condition, inter-comparison and validation with radio-sonde for each of instruments are performed. As a result, Lidar shows a good performance and wind data from Lidar are used to analyze wind profile and wind power density. It can be found that a wind power system mounted tall building in urban area is very attractive.

Key words : Sodar, Lidar, Remote sensing, Urban wind

1. 서 론

본 연구의 핵심적인 동기는 풍력자원 조사이다. 즉, 과거의 소규모 발전부터 현시점에서의 대용량 및 대규모의 풍력발전 시스템으로 옮겨오면서 풍력자원의 조사범위가 수평 및 연직적으로 확대 되었다. 연직적인 풍력자원조사 범위의 확대는 고도의 증가에 따른 우수한 풍황 확보의 장점이 있는 이면에 블레이드 높이는 기상학적으로 지표층과 에크만층에 동시에 접하게 되므로 환경적 요인에 매우 민감하게 되었다. 따라서 반드시 정밀한 풍황조사가 선행되어야 할 필요성이 제기 된다.

또한 풍력발전분야에 있어 새로운 아이템의 발견이다. 즉 국가간 경쟁적으로 대단위 건축물이 들어서고 있고 건물 옥상에 풍력발전기를 장착한다면 이는 건설적인 측면에서 높은 수직타워를 세우지 않고도 풍력발전이 가능하고 에너지의 소비자와 바로 연결될 수 있는 큰 장점이 있다. 실제로 바레인 국제무역센터는 225kw 수직축 풍력발전기 3기를 건물에 장착하여 건물 내 전력소비량의 17%를 담당하고 있다. 이러한 유용한 시스템이 한반도에 적용가능성은 없는지 타진해보아야 할 것이다.

좁은 국토면적과 높은 인구밀도로 인해 풍력가용 면적에 제한이 많은 한반도의 경우 매우 적합한 시스템으로 판단되므로 궁극적으로 검토해 볼 필요가 있다. 따라서 대도시지역의 풍력발전 가능성을 예비적으로 검토해 볼 필요가 제기되며 이를 위해서는 반드시 관측을 통한 풍력자원조사가 선행되어야 한다.

풍력자원을 조사하기 위한 방법에 대해 살펴보면, 타워를 세우고 풍향풍속계를 장착하여 관

심고도에서 직접 측정하는 방법과 원격탐사를 통해 대상고도에서의 바람을 추정해내는 방법이 있다. 각각의 장점이 있으므로 상황에 따라 병행하여 이루어 질 수 있으나 원격탐사장비의 탁월한 비용절감 및 편리한 이동성, 높은 연직해상도 등에 의해 최근 풍력자원조사분야에서 적극적으로 이용되고 있는 추세이다⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾.

한편 원격탐사장비의 경우 선행연구에⁽³⁾ 따르면 기상 및 환경적 요인에 다소 민감하다고 알려져 있으며 하드웨어 및 소프트웨어의 발달로 많이 극복되었다만 풍력분야에서는 작은 기기적 오류와 자료의 오차가 사업자체의 성과와 직결되므로 반드시 사후검토가 이루어져야 하겠다.

이에 본 연구에서는 지상기반 원격탐사장비인 Sodar (Sonic detection and ranging)와 Lidar (Light detection and ranging) 풍황자료의 기상 민감도와 분석과 비교 검증과정을 수행하고 검증된 자료로부터 도시형 풍력발전 가능성을 검토해 보고자 한다.

2. 연구방법

2.1 관측정보

관측이 수행된 지점은 서울 송파구 잠실동 롯

- 1) 저자의 소속: 부산대학교 지구환경시스템
E-mail : heakee@pusan.ac.kr
Tel : (051)583-2651 Fax : (051)517-1217
- 2) 저자2의 소속: 부산대학교 지구환경시스템
E-mail : hwlee@pusan.ac.kr
Tel : (051)583-2651 Fax : (051)517-1217
- 3) 저자3의 소속: 한국에너지기술연구원
E-mail : hyungoo@kier.re.kr
Tel : (042)860-3376 Fax : (051)860-3543

데호텔 옥상입니다. 서울의 남동부에 위치하며 지리적으로 반경 5KM이내에 산이 존재하지 않는 낮은 비교적 평탄한 지역에 위치하고 있다(Fig. 1). 롯데호텔 옥상은 지상으로부터 140m이다. 같은 높이에 장애요소가 없는 쾌적한 관측환경을 나타낸다. Fig. 1에는 기상청에서 현재 관측 중인 송파지점의 AWS (Automatic Weather System) 도 함께 도시하였다.

참고로 원격탐사 장비는 지상기반(Surface based remote sensing)과 위성기반(Satellite based remote sensing)으로 나눌 수 있고 본 연구에서는 지상기반만을 언급하도록 하였다.

Sodar의 경우 대기경계층 연구에 널리 사용되어와 익숙한 장비로써 Scintec사의 MFAS기종이 사용되었다. Leosphere사의 LIDAR, 일명 Windcube의 경우 도플러 레이더의 일종으로 풍속 프로파일, 연직속도 및 난류측정이 가능한 풍력발전 연구에 최적화된 기기입니다. 더욱이 국내에 도입된 지 얼마 지나지 않았으며 이러한 기기를 이용함에 Sodar와 동시관측이 국내 최초로 시도된 점에 큰 의의가 있으므로 비교관측을 심도 있게 살펴볼 필요가 있다고 하겠다.

관측설계는 Sodar의 경우 최고고도 500m에 10m간격의 30분 자료가 수집 되도록하였고 Lidar는 500m고도까지 50m간격으로 10개 층으로 구성하고 10분단위로 자료가 수집되도록 하였다. 관측기간은 2009년 3월과4월이다.

Table 1. Measurement design including Sodar and Lidar .

	Sodar	Lidar
Resolution (Layer)	40-500/10m (45 layers)	50/500/50m (10 layers)
Averaging time	30/30 minutes	10/60 minutes
Period	2009/03/06 ~ 2009/04/30	
Access	Remote data control & collection	

2.2 풍력자원 분석

본 연구에서는 풍력자원 분석에 앞서 원격탐사장비의 기기특성을 살펴보고자 기상민감도 분

석을 수행하였다. Sodar와 Lidar의 주야간/강수일, 대기안정도에 따른 자료의 수신율을 살펴보았다. 또한 SODAR와 LIDAR의 정확도 평가하고자 고도에 따른 상관분석과 오산의 라디오존데 자료와 비교하였다.

원격탐사장비의 자료검증을 수행 한 후 검증된 자료로부터 풍력자원을 분석하였습니다. 분석 요소는 평균풍속, 등급계수(c), 형상계수(k), 풍력에너지(WPD)이며 풍력에너지밀도의 계산을 위해 Weibull함수로부터 등급계수와 형상계수를 계산하였다.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right\}$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1.086}$$

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma(1+1/k)}$$

$$\text{Wind power density} = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma(1 + \frac{3}{k})$$

3. 결과

3.1 관측기기특성

풍력발전의 경우 시간 및 기상 구애없이 안정적인 공급이 중요하므로 기상상태에 따른 장비의 특성을 조사하였다. 늦은 오후인 16시와 자정, 강수일, 전체 수신율을 각각 Fig. 2에 나타내었다. 소다는 주간이 가장 저조하고 야간 및 강수일에 우수하였습니다. 라이더는 소다에 비해 큰 폭의 증감을 나타내지 못했습니다. 하지만 소다와 달리 오히려 야간에 다소 감소하는 형상입니다. 즉 대기경계층의 발달이 최고조에 달했을 때 대기는 연직적으로 온위가 일정하여 Sodar의 후방산란이 적게 나타났기 때문에 사료되며 환경적 요인인 주변 소음에 기인된 결과라 판단됩니다. 반면 라이더는 큰 증폭을 나타내지 않지만 야간의 수신율 감소는 대기청명도가 영향을 미친 것으로 판단된다.

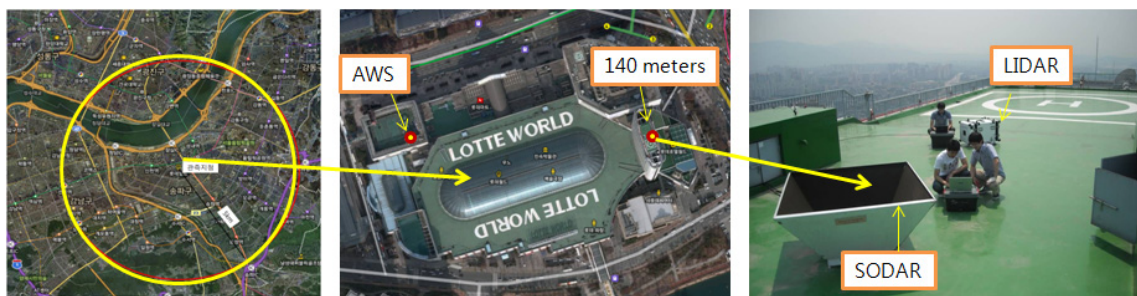


Fig. 1. Photographs of observing location and instruments.

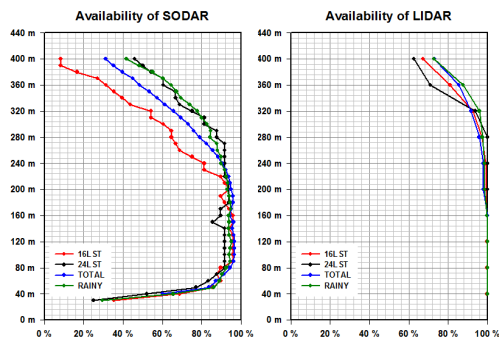


Fig. 2. Data availability for different meteorological conditions 1600 LST (red), 2400 LST (black), rainy day (green) and total period (blue).

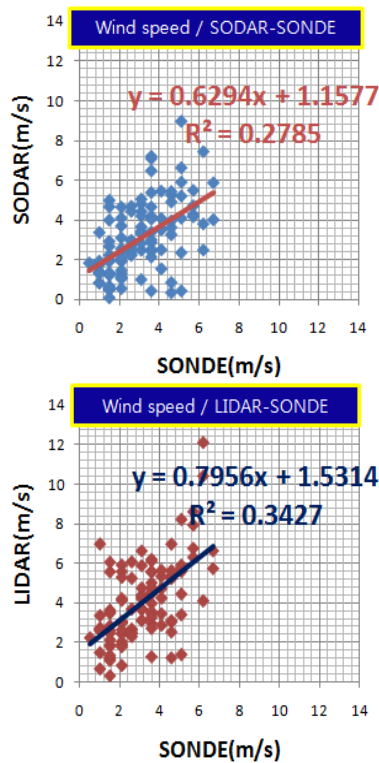


Fig. 3. Inter-comparison between surface-based remote sensing instruments for wind speed and wind directions

Table 2. Wind resource characteristics at various heights from Lidar measurement

	40 meters	80 meters	120 meters	360 meters
Mean wind speed	4.06	4.39	4.56	5.68
Scale parameter	4.60	5.00	5.20	6.40
Shape parameter	1.85	1.84	1.81	1.87
Wind Power Density	89	113	127	232

Sodar와 Lidar사이에 다소 오차가 존재함을 확인하였기 때문에 인근 연직관측소인 오산존데 자료와 지상 200m 고도 풍속을 기준으로 각각 통계분석을 수행하였습니다. 풍속과 풍향의 상관도가 모두 Lidar가 높았습니다. 즉 Sodar의 경우 고도에 따라 수신을 저하뿐만 아니라 정확도에 있어서도 라이더보다 저조하므로 본 연구에서는 Lidar 자료를 이용하여 풍력자원을 분석하고자 한다.

3.2 풍력자원 분석

풍력자원을 분석해 Table 2에 나타내었습니다. 평균풍속과 등급계수(c), 형상계수(k) 풍력에너지밀도를 구하였습니다. 고도에 따라 형상계수가 1.8정도로 평균풍속의 집중도가 높은 가운데 형상계수의 증감이 뚜렷하지 않았고 평균풍속 및 등급계수의 증가로 말미암아 풍력에너지 밀도가 3배정도까지 증가하였습니다. 이를 통해 풍력자원이 상당히 우수하고 도시형 풍력발전가능성이 충분함을 확인 할 수 있었다.

반면에 본 연구는 관측기간이 2009년 3월과 4월에 한정되기 때문에 수치모의를 통한 다년간의 풍향자료의 확보가 필요하겠다.

4. 결론

본 연구에서는 도시형 풍력발전 시스템의 가능성을 검토하고자 원격탐사장비를 이용하여 서울에서 상층바람 직접관측을 실시하고 그 결과를 제시하였다.

첫째로 관측기기의 특성을 살펴보고자 Sodar와 Lidar의 기상상황에 따른 수신감도를 조사하고 라디오존데자료와 비교분석 하였다. 전반적으로 대기안정도 및 강수일등의 기상상태에서 Sodar보다는 Lidar가 월등히 높은 수신율을 나타내었고 존데자료와 풍속비교하에서도 우수한 성능을 나타내었다.

둘째로, 검증된 Lidar자료를 통해 서울 도심지 상층의 풍력자원을 분석하였다. 주풍이 서풍계를 보이는 가운데 고도가 높아짐에 따라 남서풍으로 변하였고 빈도는 비슷했다. 고도의 증가에 따라 탁월한 풍속의 증가를 나타내었고 지상 약 500m 고도에서 232 W/m²의 풍력에너지밀도를 나타내었다.

본 연구는 바람의 입체적 직접관측을 통한 풍력발전가능성의 예비검토 측면과 그 활용가능성 제고에 의의가 있다. 반면에 관측기간 및 지역의 확대 필요성이 제기되며 수치모델링과의 병행연구가 추후 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사업인 「한반도 해역 고해상도 풍력자원지도 구축 및 단지개발 적합성 평가시스템 개발」 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 김현구, 이화운, 정우식, 2004, " 한반도 바람 지도 구축에 관한 연구 I. 원격탐사자료를 이용한 해상풍력자원 평가", J. KOSAE Vol.21, No.1, pp.63~72.
- [2] Antoniou I, Courtney M., 2006: Latest developments on Remote Sensing using LIDARs and SODARs. Riso report 21-11-2006.
- Kelley, N.D., B.J. Jonkman, G.N. Scott, and Y.L. Pichugina, 2007: Comparing pulsed Doppler LIDAR with SODAR and direct measurements for wind assessment. AWEA 2007 Windpower Conf. Los Angeles, California. NREL/CP-500-41792.