

측정용 마스트에 대한 풍속계의 위치 및 설치유류가 풍속자료 측정에 미치는 영향의 실험적 연구

김홍우, 주영철, 이동현, 이강수, 김건훈, 김은일
한국에너지기술연구원

Experimental Research on the Effects of Wind Data with the Erroneous Azimuthal and Attitudinal Position of the Wind Measurement Mast

H. W. Kim, Y. C. Ju, D. H. Lee, K. S. Lee, K. H. Kim and E. I. Kim
Korea Institute of Energy Research

Abstract- 본 연구에서는 실제 풍력 자원 측정용 Pole에 설치된 풍속계가 mast에 의한 후류와 풍속계 설치시 기울어짐에 의해 풍속 data가 어떠한 영향을 받는가에 대하여 고찰하였다. 먼저 mast은 직경 4", 6" Pipe에 대하여 각각 실험하였고, 측정 mast의 방위각은 풍속에 평행한 방향을 0°로 정하고 측정 mast 중심으로부터 0°~20°까지 5° 간격으로 측정하였다. 이 연구를 통해 실제 일정 두께를 갖는 mast에 설치되어 있는 풍속계에서의 풍속이 풍향에 대한 boom의 위치와 기울어짐에 따라 영향이 있음을 확인할 수 있었고, mast의 직경에 대한 영향도 크게 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구의 결과를 이용하여 향후의 풍력자원 자료 측정설비의 설치상의 정확도 검증이나 혹은 측정된 자료의 보정등에도 광범위하게 이용될 수 있을 것이다.



그림 1. 실험장치구성도

1. 서론

1. 연구배경

최근 유가상승으로 인하여 대체에너지의 개발 보급에 대한 국민적 인식이 확산되어 가면서 기업체나 정부 및 기초, 광역단체에서도 다양한 대체에너지원에 대하여 관심이 고조되고 있다. 그 중에서도 삼면이 바다로 둘러싸여 다풍지역인 우리나라 현실에 적합하고 설치 보급이 용이한 풍력발전 시스템 보급에 많은 관심을 보이고 있다. 따라서, 풍력발전기를 설치하기 위해서는 무엇보다도 설치하고자 하는 지역에 대한 풍력자원조사가 반드시 선행되어서 설치하고자 하는 지역의 풍력자원량을 계산하여야 하며, 또한 그 지역에 적합한 용량의 풍력발전기를 선택하여 설치하여야 한다. 통상적으로 풍속에서의 10% 정도의 오차는 이론적으로 풍력에너지에서는 30%의 오차를 나타내며, 실제 풍력발전기의 운전 발전량에서도 20% 정도의 차이가 있는 것으로 기존의 연구에서 밝혀진바 있다.

그러므로, 정확한 풍력자원의 측정은 매우 중요하며 풍력발전 시스템의 이용율과 가동율에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 정확한 조사가 필요하다.

본 연구에서는 풍속측정의 여러 변수들 중에서 방위각과 수직각도 및 풍속에 따른 풍속의 차이를 살펴봄으로써 풍속 측정의 정확성의 토대를 마련하고자 했다. 또한, 본 연구를 수행함으로써, 국내의 풍력자원 유망지역에 대한 정밀한 분포도 도출, 풍력 자원조사로 인한 국내 풍력건설 타당성 조사에 기여, 풍속 측정 시스템 설치시 pole과 풍속센서의 기울기와 각도에 대한 문제점 도출, 나아가서는 풍력 자원조사로 인한 풍속자료의 신뢰도 향상을 이룰 것으로 기대된다.

2. 실험 장치

2.1 실험장치의 구성

실험장치의 구성은 위의 그림과 같다. 실험장치는 파워서플라이, 차압센서, 피토투브, 풍속계, 벤치링크시스템, GPIB보드, Frequency/Voltage컨버터와 PC로 구성되어진다. 다음 그림은 전체 실험계통흐름도를 보여주고 있다.

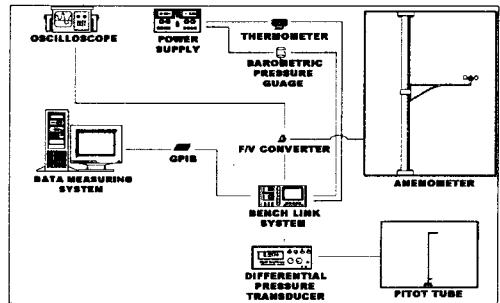


그림2. 실험계통흐름도

2.2 풍속계와 Pitot tube

실험에 쓰인 풍속계는 아래그림과 같다.

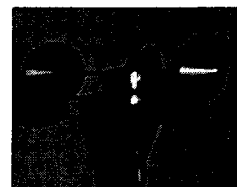


그림 3. 풍속계

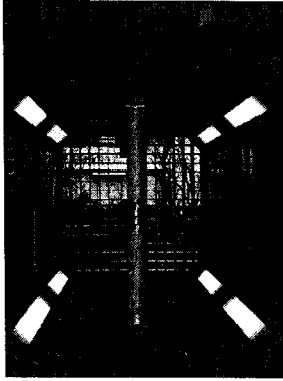


그림 4. 풍동실내의 풍속계

또한, 실험에 쓰인 Pitot tube는 아래그림과 같다.

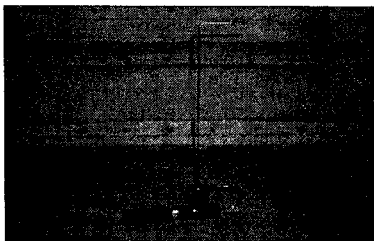


그림 5. 풍동실내의 Pitot tube

2.2 실험풍동의 제원

실험을 수행한 풍동실의 제원은 그림. 6과 같다.

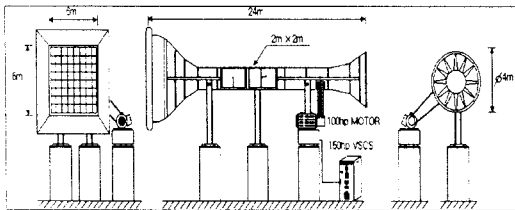


그림 6. 풍동제원

실험에 쓰인 인버터의 제원은 다음 표와 같다.

표.1 인버터 제원

모델명	SV-110iH-40DB (LG 산전)
용량(kVA)	170
정격전류(A)	223
최고주파수(Hz)	400
출력전압(V)	380-460
입력전압(V)	380-460 (±10%)
입력주파수(Hz)	50-60 (±5%)
조작전압(V)	AC 220 (±10%)
최대 적용 전동기	150hp
설치 사용중인 전동기	100hp

2.3 실험 방법

측정 mast의 방위각은 풍속에 평행한 방향을 0° 로 정하고 측정 pole 중심으로부터 0° ~20° 까지 5° 간격으로 측정하였다. 풍속은 5m, 10m, 15m, 20m에 대하여, 그리고 수직각도는 측정 mast 중심으로부터 -10° ~ +10° 까지 5° 간격으로 설정하여 데이터를 분석하였으며, 측정 mast의 두께는 4 inch와 6 inch 의 2가지 형태의 mast에 대하여 실험하였다. 실험의 개략도는 다음 그림과 같다.

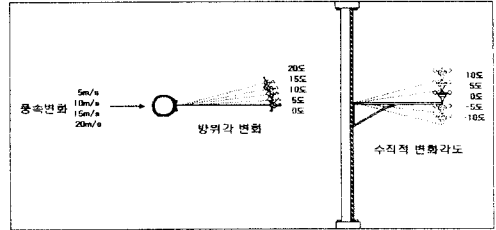


그림 7. 풍동실험

3. DATA ANALYSIS

3.1 4인치 mast의 분석

3.1.1. Case 1- 풍속과 방위각의 변화에 따른 풍속 계와 Pitot tube의 풍속차이 (수직각도0°)

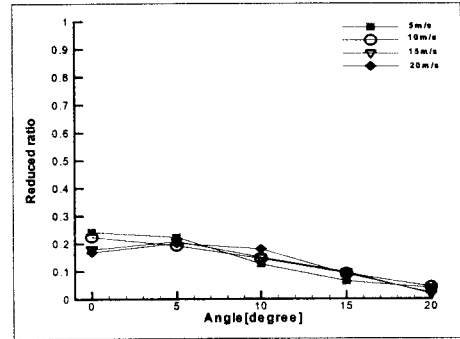


그림 8. 풍속과 방위각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (수직각도0°)

Case 1은 4" mast에서 수직각도는 0° 로 고정시키고, 풍속과 방위각이 변할 때, 실제 풍속과 풍속계의 풍속이 어떤 차이를 보이는지를 살펴보았다. 먼저 전체적인 경향은 방위각이 커질 때 reduced ratio가 감소하였다. 즉, 방위각이 mast로부터 멀어질수록 reduced ratio가 적다. 방위각이 20° 에서는 거의 실제 풍속과 차이가 없음을 graph에서 볼 수 있는데 이는 4" mast에서 20° 이상의 방위각에서는 실제 풍속과 차이가 없다는 것을 말해준다.

풍속의 대한 각 방위각에 의한 reduced ratio의 차이는 다음 표와 같다.

풍속 \ 방위각	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s
0°	0.242	0.225	0.179	0.169
5°	0.223	0.192	0.208	0.201
10°	0.125	0.146	0.150	0.180
15°	0.064	0.092	0.096	0.090
20°	0.040	0.044	0.017	0.021

3.1.2. case2- 풍속과 수직각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (방위각0°)

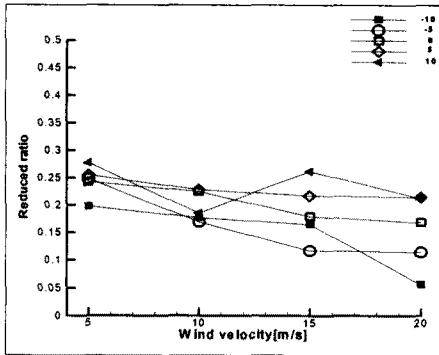


그림 9. 풍속과 수직각에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (방위각0°)

Case 2에서는 4" mast에서 방위각은 0°로 고정시키고 풍속과 수직각도가 변할 때 실제 풍속과 풍속계에서의 풍속의 차이를 살펴보았다. 먼저 전체적으로 방위각이 0°일 때 풍속의 reduced ratio는 매우 큰데 이는 풍속계가 mast뒤에 위치함으로써 mast에 의한 wake의 영향이 큼을 말해준다. 그리고 수직각도에 대하여는 방위각을 0°로 고정시킨 후 각 수직각도에 대하여 측정된 결과 reduced ratio의 차이는 다음 표와 같다.

풍속 \ 수직각	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s
-10°	0.198	0.177	0.164	0.057
-5°	0.248	0.169	0.117	0.114
0°	0.243	0.225	0.179	0.169
5°	0.255	0.228	0.217	0.215
10°	0.278	0.185	0.262	0.213

3.1.3. case3- 풍속과 수직각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (방위각20°)

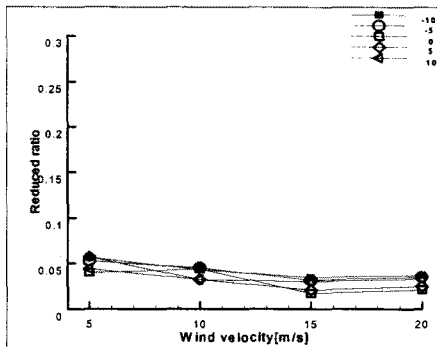


그림 10. 풍속과 수직각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (방위각20°)

Case 3에서는 4" mast에서 방위각은 20°로 고정시키고 풍속과 수직각도가 변할 때 실제 풍속과 풍속계에서의 풍속의 차이를 살펴보았다. 전체적인 경향은 방위각이 0°일 때의 reduced ratio과 큰 차이를 보임을 알 수 있는데 이는 mast의 영향을 벗어난 영역에 위치해 있음을 예상할 수 있다. 그리고 수직각도에 의한 차이도 미미한 것을 볼 수 있는데 여기에서 알 수 있는 것

은 풍속의 측정에 있어서 pole에 의한 영향이 적을 때 수직각도의 차이는 미미하다는 결론을 내릴 수 있다. 또한 하나의 수직각도에 대해 풍속(5~20m/s)에 의한 reduced ratio의 차이는 수직각도가 -10°일 때 1.9%, -5°일 때 2.2%, 0°일 때 2.3%, 5°일 때 3.3%, 10°일 때 1.5%의 차이를 보였다.

각 풍속과 수직각에 의한 reduced ratio의 차이는 다음 표와 같다.

풍속 \ 수직각	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s
-10°	0.057	0.043	0.035	0.037
-5°	0.053	0.045	0.032	0.035
0°	0.040	0.044	0.017	0.021
5°	0.057	0.032	0.021	0.025
10°	0.044	0.032	0.030	0.033

3.2 6인치 mast의 분석

3.2.1. case 4- 풍속과 방위각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (수직각도0°)

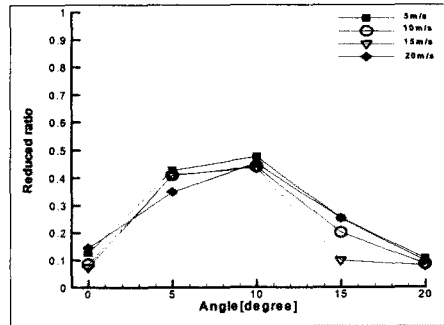


그림 11. 풍속과 방위각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (수직각도0°)

Case 4는 6" mast에서 수직각도는 0°로 고정시키고, 풍속과 방위각이 변할 때, 실제 풍속과 풍속계의 풍속이 어떤 차이를 보이는지를 살펴보았다. 먼저 4" mast에서와 똑같은 상황이지만 data에서는 상이함을 볼 수가 있는데, 먼저 reduced ratio가 가장 큰 방위각은 10°이며 그때의 reduced ratio는 40%에 달한다. 또한 방위각이 20°인데도 불구하고 10%정도의 reduced ratio가 발생한다는 것은 4" mast일 때와는 달리 pole에 의한 영향이 매우 크고 그 범위도 20° 이상임을 알 수 있다.

풍속에 대한 각 방위각에 의한 reduce ratio의 차이는 다음의 표와 같다.

풍속 \ 방위각	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s
0°	0.126	0.086	0.074	0.146
5°	0.429	0.410	0.411	0.350
10°	0.477	0.442	0.439	0.454
15°	0.254	0.201	0.098	0.253
20°	0.106	0.086	0.080	0.096

3.2.2. case 5- 풍속과 수직각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (방위각0°)

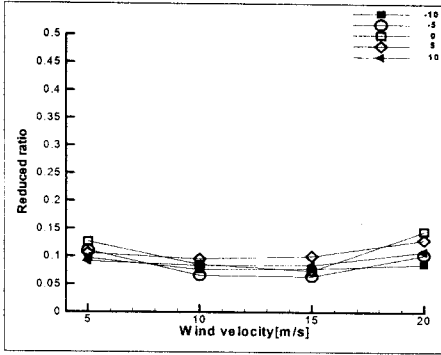


그림 12. 풍속과 수직각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (방위각0)

Case 5는 6" mast에서 방위각을 0°로 고정시키고, 풍속과 수직각도를 변화시키면서 reduced ratio를 관찰하였는데 수직각도와 풍속의 변화에 대한 reduced ratio의 감소율이 오히려 4" mast보다 작게 나타났다. 이는 방위각이 0°일 때 mast에 의한 영향이 두꺼운 6"일 때보다 4"일 때가 더 큼을 말해 주는 것이다. 또한 6" mast에서 풍속과 수직각도에 대한 reduced ratio의 차이가 4"일 때보다 작은 차이를 보이는데 이것은 mast의 두께에 기인한 흐름의 차이 때문이라고 사료된다.

각 풍속과 수직각에 의한 reduced ratio의 차이는 다음 표와 같다.

풍속 \ 수직각	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s
-10°	0.097	0.077	0.078	0.086
-5°	0.111	0.066	0.064	0.103
0°	0.126	0.086	0.074	0.146
5°	0.106	0.096	0.101	0.130
10°	0.091	0.084	0.085	0.109

3.2.3. case6- 풍속과 수직각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (방위각20°)

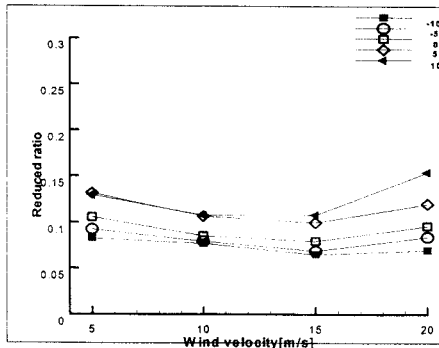


그림 13. 풍속과 수직각의 변화에 따른 풍속계와 Pitot tube의 풍속차이 (방위각20°)

Case 6에서는 6" mast에서 방위각을 20°로 고정시키고 풍속과 수직각도가 변할 때 실제 풍속과 풍속계에서의 풍속의 차이를 살펴보았다. 전체적인 경향은 4" pole과는 달리 방위각이 0°일 때의 reduced ratio와 큰 차이가 없음을 볼 수 있는데 이는 6" mast에서는 방위각 20°에 대해서도 mast이 풍속에 영향을 준다는

것을 예상할 수 있다. 수직각도와 풍속에 의한 차이는 수직각도 0°와 비교해 볼 때 3%내의 차이를 보인다. 각 풍속과 수직각에 의한 reduced ratio의 차이는 다음 표와 같다.

풍속 \ 수직각	5m/s	10m/s	15m/s	20m/s
-10°	0.083	0.077	0.065	0.070
-5°	0.093	0.080	0.069	0.085
0°	0.106	0.086	0.080	0.096
5°	0.131	0.107	0.010	0.120
10°	0.129	0.108	0.108	0.154

4. 결과 및 고찰

본 실험은 4"와 6" mast에 대하여 풍속과 방위각 및 수직각도에 변화를 주면서 실제 풍속과 풍속계에서의 풍속 차이를 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 내렸다.

첫째, 풍속 측정에서 방위각과 mast의 두께의 영향은 매우 큰데 mast의 wake에 의한 영향은 4" mast에서 20°까지이고 6" mast에서는 20° 이상이다. 즉, 4" pole을 사용할 때는 주풍향에 대하여 20° 이상의 방위각을 유지하도록 설치하여야 하고, 6" mast를 사용할 때는 그 이상의 방위각이 필요함을 알 수 있다. 그러므로 양질의 풍속 data를 얻기 위해서는 되도록 직경이 작은 mast를 사용함이 바람직하다. 그러나 방위각 0°에서는 오히려 mast에 의한 wake의 영향의 강도가 6" mast일 때보다 4" pole일 때 reduced ratio가 약 10% 더 크다.

둘째, 방위각이 고정되었을 때 수직각에 대한 영향은 먼저 4" mast에서 방위각이 0°일 때 수직각 0°를 기준으로 5%내의 편차를 보이고, 방위각이 20°일 때는 그 영향이 2%미만이다. 그리고 6" mast에서는 수직각에 의한 영향이 미미한데 이는 수직각에 의한 영향보다 mast에 의한 영향이 지배적임을 보여준다.

셋째, 4" mast에서 풍속의 차이에 의한 영향을 살펴보면 다음 표와 같다.

조건	수직각도 0° (방위각 0~20°)	방위각 0° (수직각도-10~10°)	방위각 20° (수직각도-10~10°)
4" pole 두께	-0.4~4.6%	-7~21.5%	-0.4~3.5%
6"	-15.5~10.3%	-0.39~4.5%	-4.6~9.7%

먼저 4" mast에서는 방위각을 0°로 고정시키고 수직각도를 변화시켰을 때 풍속에 의한 reduced ratio가 가장 큰 차이를 보였고, 6" mast에서는 수직각도를 0°로 고정시키고 방위각에 변화를 주었을 때 풍속에 의한 reduced ratio가 가장 큰 차이를 보였다.

넷째, 이와 같은 결과로부터 좀더 풍속 측정의 정확성을 기하기 위해서는 mast를 설치하여 풍속을 측정할 때에 한 지점에 풍속 센서를 2개 이상 대각선상으로 설치하여 측정된 후 데이터 중의 상위 데이터를 가지고 분석하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

<참고문헌>

[1] 김건훈외, "풍력발전 유망지역의 풍력자원 정밀조사(III)", 한국에너지기술연구원 연구보고서 KIER-971224, 1997년 12월

- [2] "Global Installed Wind Power Capacity", Wind Power Monthly Vol 12 No 10, October 1996
- [3] Paul Gipe, "Wind Energy Comes of Age", John Wiley & Sons, Inc., 1995
- [4] David A. Spera, "Wind Turbine Technology, Fundamental concepts of Wind Turbine Engineering", the American Society of Mechanical Engineering Press, 1994
- [5] WINDATLAS SYSTEM manual, Energi- og Miljodata, April 1993