

WAsP을 이용한 복잡지형의 풍속 예측 및 보정

*윤 광용¹⁾, 백 인수²⁾, **유 능수³⁾

Wind Speed Prediction using WAsP for Complex Terrain

*Kwangyong Yoon, Insu Paek, **Neungsoo Yoo

Key words : WAsP, Wind Resource Assessment(풍황자원 평가), Complex Terrain(복잡지형), Wind Prediction Error(풍속예측 오차), Linear Flow Model(선형 유동 모델), Self-Prediction Error(자기예측 오차)

Abstract : A linear wind prediction program, WAsP, was employed to predict wind speed at two different sites located in complex terrain in South Korea. The reference data obtained at locations more than 7 kilometers away from the prediction sites were used for prediction. The predictions from the linear model were compared with the measured data at the two prediction sites. Two compensation methods such as a self-prediction error method and a delta ruggedness index (RIX) method were used to improve the wind speed prediction from WAsP and showed a good possibility. The wind speed prediction errors reached within 3.5 % with the self prediction error method, and within 10% with the delta RIX method. The self prediction error method can be used as a compensation method to reduce the wind speed prediction error in WAsP.

1. 서론

전 세계적으로 고유가와 지구 온난화 등으로 친환경적인 신·재생 에너지에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 신·재생에너지원 중 경제성이 좋은 풍력은 기존의 화석연료를 이용한 발전을 대체할 수 있는 에너지원으로 인식되어 현재 세계적으로 많은 연구가 수행되고 있다^(1,2,3).

최근의 풍력발전은 대규모 풍력발전단지(Wind Farm, Wind Park) 건설에 집중되고 있다. 풍력발전단지 건설을 위해서는 사전에 단지입지(Site)에 대한 보다 정확한 풍력자원조사가 필수적이다. 그러므로 실측된 데이터를 이용하여 단지입지에서의 풍황을 예측하게 하는 풍황예측 프로그램의 중요성은 매우 높다고 할 수 있다.

현재 국제적으로 많이 사용되고 있는 대표적인 풍황예측 프로그램으로는 포텐셜이론을 기반으로 하는 WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program)⁽⁴⁾과 Reynolds Averaged Navier-Stokes 식을 이용하여 정상상태에서의 3차원 유동장의 해를 구해내는 유한체적(Finite Volume)모델 CFD (Computational Fluid Dynamics) 프로그램인 WindSIM⁽⁵⁾을 들 수 있다.

선형 유동 모델을 모체로 하는 WAsP의 경우

갑작스런 지형적 변화를 포함하는 복잡지형에서 일어날 수 있는 유동박리(Flow Separation)는 풍속예측 결과의 오차요인으로 작용하게 된다. 이를 보정하기 위하여 지형의 경사율을 나타내는 척도인 RIX(Ruggedness Index)를 이용한 연구가 여러 논문들에서 진행되어 오고 있다.^(6,7,8)

이 논문에서는 복잡지형에 위치한 두 지점에 대하여 각각의 최 인근 기상대 관측데이터를 바탕으로, WAsP을 이용해 풍속예측을 하였다. 그리고 이 두 지점에 높이 40m 풍황계측타워(Meteorological Mast)를 설치해 풍속을 실측하여 예측한 풍속과 비교함으로써 WAsP의 예측정확성을 평가하였다.

또한 두 가지의 보정방법을 이용해 풍속예측 오차를 보정하였다. 첫 번째 풍속예측오차 보정

-
- 1) 강원대학교 대학원 메카트로닉스공학과 석사과정
E-mail : ykyless@kangwon.ac.kr
Tel : (033)250-6369 Fax : (033)257-4190
 - 2) 강원대학교 메카트로닉스공학과 교수, 공학박사
E-mail : paek@kangwon.ac.kr
Tel : (033)252-6379 Fax : (033)257-4190
 - 3) 강원대학교 메카트로닉스공학과 교수, 공학박사
E-mail : yooneso@kangwon.ac.kr
Tel : (033)250-6301 Fax : (033)257-4190

법은 WASP 프로그램을 이용한 풍속예측 과정에서 발생하는 자기예측오차(Self - Prediction Error)로 풍속을 보정하는 방법이고, 두 번째는 복잡지형에서 일어날 수 있는 유동박리(Flow Separation)에 대한 오차 즉, ΔRIX 에 의한 보정 방법이다. 보정된 풍속값들을 각 지점의 풍향 계측타워로부터 실측한 평균풍속과 비교함으로써 그 결과가 어느 정도의 예측성을 보이게 되는지 평가를 수행하였다. 여기서, WASP 프로그램의 유동박리에 대한 오차는 ΔRIX (예측지점 RIX와 기상대 관측지점 RIX의 차)를 이용한 보정법을 이용하였으며, 다른 저자들의 기존 논문에서 제시된 보정계수를 이용하여 국내 복잡지형에 적용이 가능한지 평가하였다⁽⁶⁾.

그리고 기상대 관측데이터가 주로 인근지역의 풍향자원에 대한 분석 및 해석을 하는 목적보다는 참조의 목적으로 사용되어왔지만⁽⁹⁾, 본 연구에서는 기상대 관측데이터를 복잡지형의 풍향예측에 적용해 봄으로써, 그 유용성을 함께 검토하고자 한다.

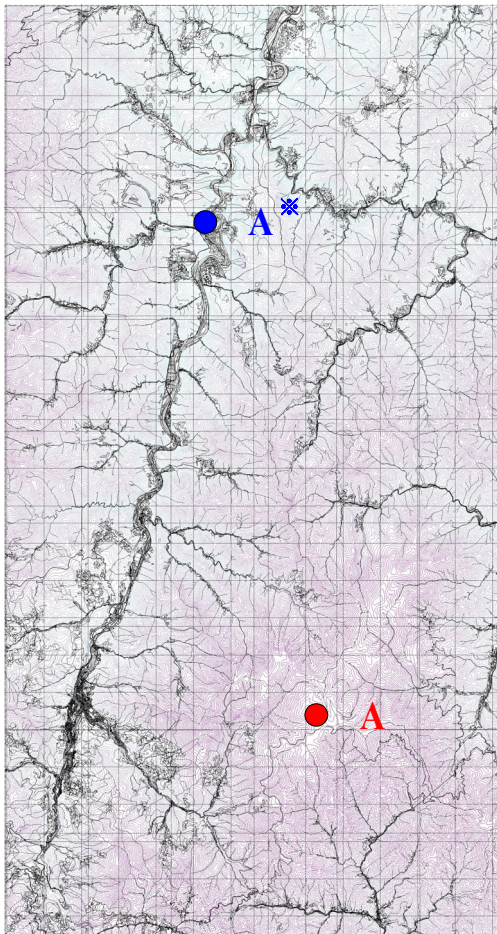


Fig. 1 A-A*지점의 전자지도 (A : 예측 및 실측지점, A* : 기상대)

2. 사용 데이터

2.1 데이터 구성

2.1.1 전자지도(Digital Map)

전자지도의 크기와 등고선 간격, 등고선 정확도(Contour-line accuracy), 수치지형모델(DEM ; digital elevation model)의 격자(Grid) 크기는 풍향예측 프로그램의 정확한 예측값을 산출하기 위해 중요하게 작용한다⁽⁷⁾. 본 논문에서 사용된 전자지도는 Fig. 1, 2에서와 같이 A-A*지점에 대하여는 가로 13.0km, 세로 24.8km 크기의 등고선 간격이 25m인 전자지도를 사용하였으며, B-B*지점에 대해서는 가로 10.9km, 세로 16.3km 크기의 25m 등고선 간격 전자지도를 사용하였다. 여기서 A와 B지점은 풍속을 예측하고 풍향계측타워를 설치해 풍향을 실측할 지점을 나타내며 A*과 B*은 A와 B지점에서 가장 가까운 각각의 기상대 위치를 나타낸다.

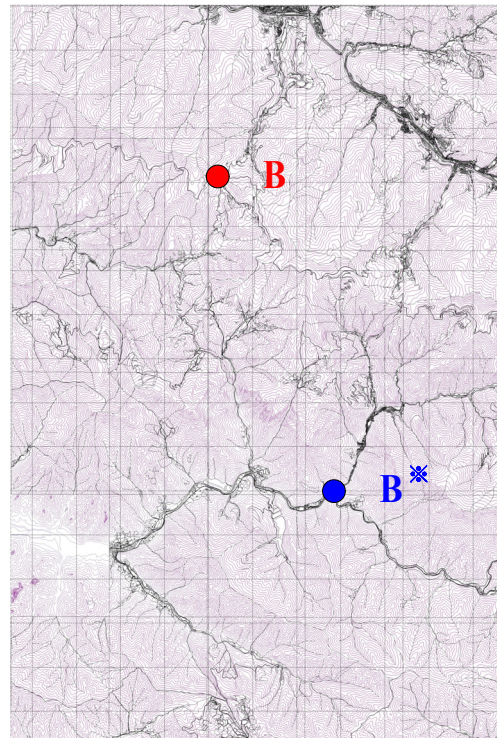


Fig. 2 B-B*지점의 전자지도 (B : 예측 및 실측지점, B* : 기상대)

2.1.2 풍향데이터와 관측정보

A지점의 풍속을 예측하기 위해, 기상대 지점 A*에서 관측된 2007년 10월 21일 ~ 2008년 6월 12일(약 8개월)의 10분 평균자료를 사용하였다. A*지점의 측정높이는 기상대의 자동기상관측장비(AWS ; Automatic Weather Station)의 통상적 높이인 지면으로부터 10m높이로 가정하였다. A*지점의 기상자료를 WASP에 입력하여 얻어진 A지점에서의 풍속예측값의 정확도를 알아보기 위하여 A지점에 지면으로부터 40m 높이 풍향계측타워

를 설치하여 기상자료와 동일한 측정기간에 대하여 10분 평균풍속을 측정하였다. A지점과 A*지점의 해발고도는 각각 1190.2m와 100.0m이며 두 지점간의 직선거리는 13.9km 이다.

B지점의 풍속예측은 기상대 B*에서 관측된 2007년 10월 22일 ~ 2008년 6월 12일(약 8개월)의 10분 평균자료를 사용하였고, 측정높이는 기상대 A*의 경우와 같이 10m로 가정하였다. 그 예측값과 비교하기 위한 실측값은 B지점의 지면으로부터 40m 높이 풍향계측타워에서 측정된 동기간의 10분 평균데이터를 사용하였다. B지점과 B*지점의 해발고도는 각각 1136.6m와, 550.1m이며, 두 지점간의 직선거리는 7.5 km 이다.

2.2 풍향 데이터

2.2.1 A*기상대 지점

기상대 A*의 평균풍속은 0.70m/s이며, 사용된 데이터 수는 33,754개이다.

풍속의 도수분포가 Weibull 분포함수에 따른다고 가정하면, 바람의 특성은 척도계수(Scale factor)와 형상계수(Shape factor) 두 파라미터에 대한 Weibull 분포함수 형태로 나타내어질 수 있으며, WASP 에서는 측정데이터가 Weibull 분포함수 형태로 변환되어 계산에 사용된다. 따라서 본 연구에서는 예측된 평균풍속과 비교를 위해서 관측 및 측정된 데이터를 Weibull 함수형태로 변환한 평균풍속(Weibull-fit)을 사용하였다.

A*기상대의 관측데이터의 평균풍속(0.7m/s)과 Weibull 분포함수로 변환한 평균풍속(0.82m/s)은 17.0%의 비교적 큰 불일치(Discrepancy)를 보인다. 이 값은 전체 데이터 중에서 풍속예측을 위해 사용 가능한 데이터 즉 데이터의 수집상태의 양호 여부를 나타내는 지표로서 짧은 기간동안 수집된 데이터 또는 계측기 오동작 등으로 인해 수집기간이 충분하지 않을 때 불일치도는 높아진다^(10,11).

Table 1은 A*지점의 Weibull 분포함수의 값으로, 확률밀도곡선의 모양 즉, 바람의 특성을 나타내기 위한 척도계수, 10분 평균풍속, 형상계수를 보이고 있다.

Table 1 A*기상대의 Weibull Data

| 척도계수 (Scale factor) | 10분 평균풍속 | 형상계수 (Shape factor) |
|------------------------|-------------|------------------------|
| 0.9 m/s | 0.82 m/s | 1.49 |

2.2.2 A 지점에서의 실측값

A지점은 능선의 정상부에 위치하고 있으며 주변이 10m 이상의 나무로 둘러싸여 있다. 풍향계측타워 40m 높이에서 측정된 평균풍속은 4.2m/s이며, 주풍향은 서북서(WNW)풍이다.

2.2.3 B*기상대

기상대 B*의 평균풍속은 1.31m/s이며, 사용된 데이터 수는 33,573개이다. 불일치도는 4.6%로 데이터의 수집상태는 A*지점보다 양호하다.

Table 2는 B*지점의 바람특성을 알 수 있는 Weibull 분포함수의 값을 보이고 있다.

Table 2 B*기상대의 Weibull Data

| 척도계수 (Scale factor) | 10분 평균풍속 | 형상계수 (Shape factor) |
|------------------------|-------------|------------------------|
| 1.5 m/s | 1.37 m/s | 1.37 |

2.2.4 B 지점에서의 실측값

B지점 40m 실측 평균풍속은 5.2m/s 이다. 능선의 정상인 이 지점을 중심으로 북쪽과 남쪽으로는 산봉우리가 있고, 남서방향으로 계곡이 형성되어 있어 주풍향은 남남서풍으로 지형의 영향을 받고 있다.

3. 예측방법

WASP에서, 풍향 예측을 위한 전체 계산영역에 대해 장애물은 없다고 가정하였고, 지표면은 평균적으로 10m 정도 높이의 잡목림으로 일정하게 덮혀있는 산림지역으로 가정하여 지표거칠기 길이(Roughness Length)를 0.5m로 적용하였다⁽¹³⁾. 또한 A지점과 A*지점, B지점과 B*지점은 동일한 기후영역에 해당한다고 가정하였다.

다음에 제시되는 Table 3~7, 10에서의 풍속은 관측 및 실측풍속(U_m)과 예측풍속(U_p)을 나타내며, U_m 은 관측 및 실측된 풍속의 Weibull-fit 평균풍속을, 그리고 U_p 는 기상자료를 이용하여 예측된 평균풍속이다.

또한 오차(Error)의 계산은 식 (1)을 적용하였다.

$$(U_p/U_m - 1) \times 100 = Error[\%] \quad (1)$$

WASP 프로그램에서의 풍속예측 과정을 보면 먼저 기상데이터의 Weibull 분포를 지형 및 장애물 거칠기의 영향을 받지 않는 Wind Atlas 형태로 변환하게 된다. 그리고 이 Wind Atlas를 동일한 기후영역에 해당하는 다른 지역에 대해 적용하고, 그 지역의 지형, 장애물, 거칠기의 정보를 이용하여 다시 역변환 함으로써 풍속을 예측하게 된다. WASP 에서의 자기 예측오차는 이런 변환과정에서 발생하는 오차를 나타내며, 이는 자기예측이 아닌 다른 지점에 대한 풍속예측을 수행할 경우에도 동일하게 오차를 발생시키게 된다. 따라서 자기예측 오차는 다른 지점에 대한 풍속예측을 위해 반드시 보정이 이루어져야 한다.

지형의 가파른 정도를 나타내는 RIX(Ruggedness Index)와 WASP에서의 평균풍속 예측 오차의 관계를 분석하면 유동박리(Flow Separation)에 의한 오차의 크기는 A와 A*지점 또는 B와 B*지점간의 지형의 가파른 정도에 비례한다고 알려져 있다. 이를 이용하여 유동박리(Flow Separation)에 의한 오차를 다시 보정하는 방법이 ΔRIX 에 의한 보정이다^(6,7,8).

각 지점의 RIX는 통상적으로 각 지점을 중심으로 반경 3.5 km의 원을 그린 후 5도 간격으로 나눈 총 72개의 방위영역(Sector)에 대해서 경사도가 0.3(16.7°) 이상인 방위영역에 대한 비율이며 전체 방위영역 수에 대한 백분율로 계산된다. 그러므로 RIX가 높은 지형일수록 유동박리가 일어

날 확률이 높게 된다.

WAsP을 이용한 예측의 오차는 A와 A*지점 또는 B와 B*지점간의 RIX 차이인 ΔRIX 의 절대값에 비례한다. 또한 RIX가 높더라도 그 차이인 ΔRIX 가 낮은 경우에는 WAsP을 이용한 예측 오차는 줄어들게 된다^(6,7).

하지만, $\Delta RIX[\%]$ 와 풍속예측오차(Wind speed prediction error[%])의 관계에 대하여, 국내의 지형을 이용한 연구결과는 아직 전무한 상태이며, 외국의 경우에 한하여도 그 수가 극히 제한적이다.

앞서 설명한 자기예측 오차보정법과 ΔRIX 에 의한 보정법을 예측된 값에 적용하였다.

4. 결 과

4.1 자기예측 오차보정

A*와 B* 기상대의 기상자료로 각각 A지점과 B지점의 풍속을 예측한 결과가 Table 3에 나타나 있다. 표에서 알 수 있듯이 오차는 84.3%와 -34.2%로 예측 되었다.

이와같이 풍속예측 오차가 큰 이유는 WAsP 프로그램이 예측을 수행 할 때 먼저 측정지점에서 측정 데이터의 Weibull 분포를 Wind Atlas 라는 데이터 형태로 변환하게 되는데 이때 오차가 발생하기 때문인 것으로 판단되어진다.

Table 3에서와 같이 측정지점에서 얻어지는 오차(자기예측오차)가 포함된 Wind Atlas 데이터를 예측지점에 적용하게 되므로 즉, A*와 B*지점에서의 Wind Atlas 계산과정상의 오차가 A와 B지점에 전달되어 예측이 수행되기 때문이다. 이런 오차로는 데이터의 수집상태에서 얻어지는 오차, 측정지점에서의 지표거칠기(Surface Roughness) 오차, 지형의 기울기를 고려한 Speed Up 효과를 계산 할 때의 오차 등을 들 수 있다.

Table 3 A*→A, B*→B 예측 [Height : 40m]

| Site | U_m [m/s] | U_p [m/s] | Error [%] |
|------|-------------|-------------|-----------|
| A | 4.26 | 7.85 | 84.3 |
| B | 5.12 | 3.37 | -34.2 |

이를 확인하기 위해, 먼저 기상대의 관측지점인 A*지점과 B*지점에 대한 WAsP 자기예측(Self-prediction)오차가 Table 4에서와 같이 각각 13.4%와 2.2%로 계산됨을 알 수 있다. 여기서 자기예측오차는 A*지점과 B*지점의 관측평균풍속 U_m 과 자신의 위치를 예측한 U_p 의 오차를 나타낸다.

Table 4 A*, B*기상대의 자기예측 (Height : 10m)

| Site | U_m [m/s] | U_p [m/s] | Error [%] |
|------|-------------|-------------|-----------|
| A | 0.82 | 0.93 | 13.4 |
| B | 1.37 | 1.40 | 2.2 |

Fig. 3과 4는 각 지점에 대한 풍향빈도에 대한 각 방위별 자기예측 오차이다. 빗금이 있는 영역은 예측의 결과를 나타낸다. 빗금이 없는 어두운 영역은 과도예측을, 빗금이 없는 어두운 영역은 과소예측을 나타낸다.

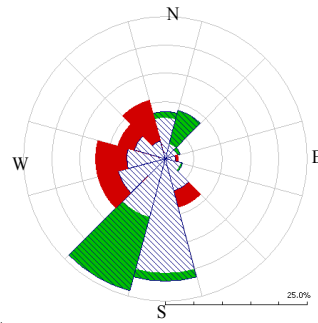


Fig. 3 A*기상대 자기예측 - 풍향빈도 (Height : 10m)

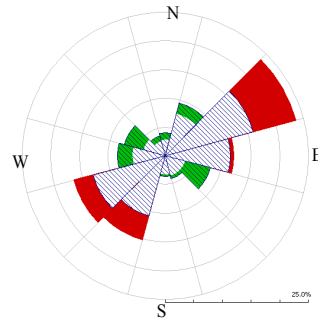


Fig. 4 B*기상대 자기예측 - 풍향빈도 (Height : 10m)

위와 같은 자기예측 풍향빈도 오차는 A*와 B*지점에서의 Wind Atlas를 계산할 때 지형(Orography)을 감안한 풍향의 편향(Deflection)을 계산하는 과정에서 발생하는 오차 때문인 것으로 판단된다. 따라서 이러한 풍향빈도 오차를 WAsP 프로그램에서 보정하면 Fig. 5, 6와 같이 오차가 크게 감소하게 됨을 알 수 있다.

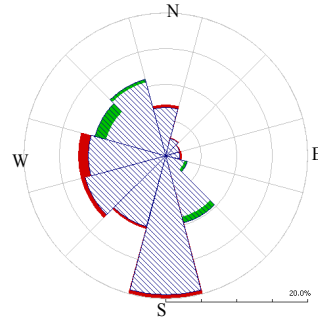


Fig. 5 A*기상대 자기예측 보정 - 풍향빈도 (Height : 10m)

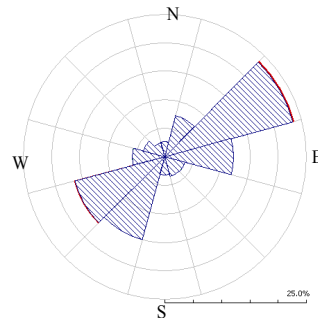


Fig. 6 B*기상대 자기예측 보정 - 풍향빈도 (Height : 10m)

Fig. 5, 6에서와 같이 자기예측 오차를 보정한 이후, A*와 B*지점의 재계산된 자기예측오차는 Table 4과 비교하여, Table 5에서 제시된 바와 같이 8.5%와 1.5%로 현저하게 줄었음을 알 수 있다.

자기예측시 풍향빈도오차를 보정한 결과를 이용하여, A와 B지점에 대한 풍속을 예측한 결과가 Table 6에 나타나 있다. 표에서 알 수 있듯이 A*와 B*지점의 데이터를 이용하여 A와 B점의 풍속을 예측한 오차는 각각 9.6%와 -2.0%로 실측값에 매우 근접한 결과를 나타내었다.

Table 5 A*, B*기상대 자기예측 보정 [Height : 10m]

| Site | U_m [m/s] | U_p [m/s] | Error [%] |
|------|-------------|-------------|-----------|
| A* | 0.82 | 0.89 | 8.5 |
| B* | 1.37 | 1.39 | 1.5 |

Table 6 보정에 의한 A*→A, B*→B 예측 [Height : 40m]

| Site | U_m [m/s] | U_p [m/s] | Error [%] |
|------|-------------|-------------|-----------|
| A | 4.26 | 4.65 | 9.6 |
| B | 5.12 | 5.02 | -2.0 |

자기예측 오차에 대한 2차적 보정으로, 풍속 오차에 대한 보정을 수행하였다.

Table 5에서 A*와 B*지점에서의 Wind Atlas를 이용한 자기예측오차(E_{self})가 8.5%와 1.5%로 과대예측이 되었고, 이 자기예측오차를 유발한 Wind Atlas가 A와 B지점에서 동일하게 작용을 한다는 가정을 할 수 있다.

그 오차(E_{self})만큼 예측풍속(U_p)을 보정하면, 새로 보정된 예측풍속(U_p')를 얻을 수 있다. 식 (2)는 자기예측오차 보정 관계식이다.

$$U_p' = U_p \left(1 - \frac{E_{self}}{100} \right) \quad (2)$$

식(2)를 적용한 결과가 Table 7에 나타나 있다. 표에서 알 수 있듯이 A와 B지점 오차는 각각 -0.23%와 -3.52%로 실측값에 거의 근접한다.

Table 7 자기예측오차에 의한 보정 [Height : 40m]

| Site | U_m [m/s] | U_p [m/s] | E_{self} [%] | U_p' [m/s] | Error [%] |
|------|-------------|-------------|----------------|--------------|-----------|
| A | 4.26 | 4.65 | 8.5 | 4.25 | -0.23 |
| B | 5.12 | 5.02 | 1.5 | 4.94 | -3.52 |

4.2 ΔRIX 에 의한 보정

A지점과 A*지점의 RIX를 계산해보면, Table 8에서 알 수 있듯이, A의 RIX는 39.70%, A*지점의 RIX는 36.50%로서 모두 0.3보다 높은 경사도를 갖는 복잡지형임을 알 수 있다. 또한 두 지점간의 $\Delta RIX(A-A^*)$ 는 3.2%임을 알 수 있다. 이는 ΔRIX 에 대한 예측오차가 선형함수의 형태를 띠게 되는 일반적인 오차(Error) 대비 ΔRIX 그래프를 고려할 때 예측지점의 평균풍속이 실제값보다 높게 예측됨을 나타낸다.

같은 방법으로 B지점과 B*지점의 RIX를 계산해보면, B의 RIX는 37.17%, B*지점의 RIX는

45.63%로서 역시 예측지점과 실측지점 모두 0.3보다 높은 경사도를 갖는 복잡지형임을 알 수 있다. B지점과 B*지점의 ΔRIX 는 -8.46%로서 A지점과 A*지점의 경우와 반대로 실제 값보다 낮게 예측됨을 알 수 있다.

Table 8 각 지점의 RIX Radius에 따른 ΔRIX [%]

| 구분 | Radius | RIX | ΔRIX |
|----|--------|-------|--------------|
| A | 3500m | 39.70 | 3.20 |
| A* | 3500m | 36.50 | |
| B | 3500m | 37.17 | -8.46 |
| B* | 3500m | 45.63 | |

Table 7에 대한 풍속비 U_p'/U_m 의 대수인 $\ln(U_p'/U_m)$ 와 ΔRIX 의 관계는 최근 연구된 결과에 의하면, 1차함수의 회귀선에 의해 근사되어지며, 식 (3)으로 표현될 수 있다⁽⁶⁾.

$$U_m = \frac{1}{\exp(\alpha \times \Delta RIX)} U_p' \quad (3)$$

여기서, α 는 회귀선(regression line)의 기울기, U_p' 는 예측풍속, U_m 은 A 또는 B 지점에서 실측된 데이터의 Weibull Fit 평균풍속값을 나타낸다.

뉴질랜드의 복잡지형의 5개 지점에 대한 연구 결과⁽⁶⁾ α 값은 1.508로 제안되었으며, 이 값을 이용하여 Table 7에서의 예측풍속인 U_p' 을 식(4)를 이용하여 보정하고 그 결과를 Table 10에 제시하였다.

$$U_p'' = \frac{1}{\exp(\alpha \times \Delta RIX)} U_p' \quad (4)$$

여기서, U_p'' 은 ΔRIX 로 보정된 예측풍속, U_p' 는 Table 7의 예측풍속, α 는 1.508이다.

Table 9 ΔRIX 에 의한 보정 [Height : 40m]

| Site | U_m [m/s] | U_p' [m/s] | ΔRIX [%] | U_p'' [m/s] | Error [%] |
|------|-------------|--------------|------------------|---------------|-----------|
| A | 4.26 | 4.25 | 3.20 | 4.05 | -4.93 |
| B | 5.12 | 4.94 | -8.46 | 5.61 | 9.57 |

Table 9에서 알 수 있듯이 ΔRIX 를 이용하여 보정한 결과가 Table 7의 보정전 결과보다 예측오차가 증가하였다.

5. 토 의

Table 9의 오차 증가의 원인으로서는 다음의 두 가지 경우로 판단되어진다.

첫 번째로 만일 α 가 기상대 관측지점과 예측지점의 절대적 기울기인 RIX 값들에 따라 변화하는 함수일 경우, 동일한 ΔRIX 를 갖는 지점들이라도 각각의 RIX 값들의 범위에 따라 다른 α 가 존재하기 때문이다. 따라서 대부분 지점의 RIX 값들이 35% 이상인 국내 복잡지형에 뉴질랜드 복잡지형에서 얻어진 1.508의 α 값이 맞지 않을 수 있다고 판단된다. 하지만, ΔRIX 를 이용한 보정

에서 α 가 RIX 값에 따라 변화한다는 연구사례는 아직 전무한 실정이다.

두 번째로는 Δ RIX에 대한 보정과정이 복잡지형에서 발생하는 WAsP의 풍속예측에 관한 자기예측오차의 부분도 이미 포함하기 때문이다. 따라서 본 논문의 경우 앞의 자기예측오차에서 많은 부분 오차보정이 된 결과에 대해 다시 Δ RIX에 대한 보정방법을 적용하게 되는 경우, 이전 논문에서 얻어진 α 와는 다른 α' 로 표현 되어야 하며, 그렇지 않을 경우는 오차를 증가 시키는 요인으로 작용될 수 있을 것으로 판단된다.

이번 논문에서 제시된 풍향빈도 및 풍속 자기예측오차를 이용한 풍속예측을 보정하는 방법에 대한 기존의 연구사례는 아직 찾아볼 수 없었다. 이 방법은 복잡지형에 대해 취약한 선형프로그램인 WAsP의 풍속 예측에 대한 오차를 다소 줄일 수 있는 방법이라고 판단되어 진다. 하지만, 단지 두 복잡지형에 적용되어 얻은 결과이기 때문에 현재의 결과에 만족하기는 힘들다. 그 효용성을 정확히 판단하기 위해서는 차후 여러 다른 복잡지형의 경우를 적용하고 그 결과를 면밀히 분석하는 것이 필요하다고 사료된다.

6. 결론

국내 복잡지형에 위치한 두 지점에 대하여 각각의 최 인근 기상대 관측데이터와 WAsP 프로그램을 이용하여 풍속을 예측 하였다. 그리고 두 가지 보정방법을 적용하여 풍속예측의 정확도를 향상시킬 수 있는지를 검토하였다. 첫 번째로 풍향빈도와 풍속에 대한 기상대 관측지점에서의 자기예측오차(Self-Prediction Error)를 이용한 보정법으로 풍속 오차가 약 3.5% 이내로 실측값과 거의 근사한 값으로 보정할 수 있음을 확인하였다. 두 번째로 기존 논문에서 연구된 Δ RIX와 예측오차에 대한 상관관계에 의한 보정법을 적용하여, 약 10%의 오차를 발생시키는 것을 확인하였다.

국내에서는 대부분 포텐셜 이론을 기반으로 하는 선형 프로그램인 WAsP를 이용하여 풍속예측을 한다. 하지만 유동박리(Flow Separation)가 발생할 수 있는 복잡지형이 대부분인 우리나라에서는 아직 복잡지형에 대한 WAsP 프로그램의 예측오차와 관련된 연구가 미비한 실정이다.

본 논문에서의 풍향분석이 두 지점으로 국한되어 있으므로 앞으로 더 많은 다른 지형에서의 검증이 필요하다 하겠다. 하지만 이 연구에서 제시된 자기예측오차를 이용한 보정법은 국내의 복잡지형에 대한 풍속예측에 있어서 선형 프로그램으로부터의 예측오차를 감소시킬 수 있는 한 가지 방법으로 사용될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- [1] 변수환, 고경남, 허종철, “행원 풍력발전단지의 WAsP 적용 및 평가”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.24, No. 3, 2004.
- [2] 윤정은, 경남호, 김성완, “선형이론에 의한

복잡지형 내 난류 특성의 예측”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.25, No. 1, 2005.

- [3] Erik Berge, Arne R. Gravidahl, Jan Schelling, Lars Tallhaug, Ove Undheim, "Wind in complex terrain : A comparison of WAsP and two CFD-models", European Wind Energy Conference, Athens, 2006.
- [4] Risoe Laboratory, <http://www.wasp.dk/>
- [5] WindSim AS, <http://www.windsim.com/>
- [6] Niels G. Mortensen, Anthony J. Bowen, Ioannis Antoniou, "Improving WAsP Predictions in (too) Complex Terrain", Proceedings of the 2006 European Wind Energy Conference and Exhibition, Athens, Greece, 2006.
- [7] Niels G. Mortensen, Erik I. Petersen, "Influence of Topographical Input Data on The Accuracy of Wind Flow Modelling in Complex Terrain", European Wind Energy Conference & Exhibition 1997, Dublin, Ireland, October 1997.
- [8] Anthony J. Bowen, Niels G. Mortensen, "Exploring The Limits of WAsP : The Wind Atlas Analysis And Application Program", European Union Wind Energy Conference, 20-24, May 1996.
- [9] NREL(National Renewable Energy Laboratory), "Wind Resource Assessment Handbook: Fundamentals for Conducting a Successful Monitoring Program", AWS Scientific, Inc., April 1997.
- [10] Bernhard Lange, Jorgen Hojstrup, "Evaluation of the wind-resource estimation program WAsP for offshore applications", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89, 2001.
- [11] 경남호, 윤정은, 허종철, 장동순, “복잡지형에서의 WAsP 예측성 평가”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.23, No. 1, 2003.
- [12] Helmut P. Frank, Erik L. Petersen, Reijo Hyvonen, Bengt Tammelin, "Calculations on the Wind Climate in Northern Finland: the Importance of Inversions and Roughness Variations during the Seasons", Wind Energy., 2, 113-123, 1999.
- [13] J. F. Manwell, J. G. McGowan, A. L. Rogers, "Wind Energy Explained: Theory, Design and Application", JOHN WILEY & SONS, LTD, England, pp.33-50, 2002.