

풍력자원 정밀조사 및 풍력단지 개발 기술 증진연구
Precise Investigation on Domestic Wind Resources and Research
on the Enhancement for the Windfarm Development Technology
in KOREA

김건훈(kkh4417@kier.re.kr)

한국에너지기술연구원(대전시 유성구 장동 71-2)

신재생에너지연구부 풍력연구센터

Tel : (042)860-3434 Fax : (042)860-3543

요 약

풍력발전기술은 전적으로 바람의 세기에 의존하는 신재생에너지원으로서 바람의 강도가 발전전력의 양과 풍력시스템의 효율성에 절대적인 영향을 미치게 된다. 따라서, 본 연구사업을 통해서 이루어지는 풍력자원의 조사는 풍력발전기술의 적용에 앞서 최우선적으로 수행되어야 함이 본 연구사업의 중요성이라 할 수 있다. 풍력자원에 대한 실측자료로서 풍력자원 특성의 분석이 가능하고 이에 따라 풍력발전기의 용량 및 수량과 적용방안 및 최종적으로 정량적인 의미에서의 경제성 분석도 가능하게 되었다. 본 연구에서는 장차의 본격적인 풍력발전기술의 적용에 앞서 기존 기상청의 풍력자료와 일정한 기준에 의하여 선정된 후보지점을 중심으로 도상검토 및 실사를 통해 1차년도에 9군데, 2차년도에 6군데 총 15개 지점에 대한 실측지점을 선정하여 실측기기의 설치와 풍력자료의 분석으로서 정밀한 풍력자원의 특성을 분석하고 향후 본격적인 풍력발전 단지 건설 사업추진에 대비하고자 수행된 연구사업이며, 아울러 개괄적인 국내 풍력자원 분포를 파악하기 위한 광역 풍력자원 분포도를 개발하였다.

1. 서 론

본 연구사업의 최종목표는 국내 풍력발전단지의 건설을 위한 후보지의 발굴과 이의 타당성 분석기술의 개발이라 할 수 있으며, 주요 연구내용으로는 기상청 자료를 포함한 기존 자료를 종합하여 분석하고, 이를 통해 계측지점 후보지를 선정하여 실측함으로써 풍력자료에 대한 신뢰도 향상을 이루고자 하였다. 결과적으로 1차년도의 9곳, 2차년도의 6곳에 대해 지속적인 풍력자원 조사 및 분석이 이루어졌고, 풍력자료 분석 S/W의 안정화를 통한 활용으로서 향후 풍력단지 개발과 관

련한 타당성 조사의 기본 기술로서 활용될 수 있도록 하였다.

또한, 가상적인 풍력단지의 기본설계로서 풍력단지의 운전성능과 효율등과 관련한 기초자료를 도출하며, 측정된 풍력자원 특성과 풍력발전시스템의 H/W적인 요소를 결합하여 풍력단지의 운전효율등과 건설 사전 타당성 기법을 개발하여, 많은 투자에 앞선 사전분석 기술의 개발을 기하였다. 아울러, 수집된 기존 자료나 실측된 자료의 분석을 통하여 국내 풍력자원 분포도의 신뢰도를 향상시키는 연구를 진행하였다.

2 본 론

가. 국내 기존 풍력자료의 분석

국내 전반적인 풍력자료의 분석과 이를 통한 풍력자원 유망 추정지역에 대한 실측 후보지의 도출을 위하여 국내 기상청 산하의 73곳의 측/관측소에서 측정한 1996년도에서 2004년도 까지 9년동안의 측정된 풍속, 풍향 자료를 수집 분석하였다. 9년동안의 기상청 측정자료를 이용하여 분석한 결과로서 연간 평균풍속, 주풍향 및 다시 언급될 풍력에너지 밀도등에 대한 최종 분석 결과는 <표 3-1>에서 볼 수 있고, 분석된 73지역중에서도 울릉도나 흑산도와 풍력단지의 건설에 적합치 못한 특수지역을 제외하고, 풍력자원량에서 우수한 것으로 분석된 평균 풍속이 높은 지역을 다음의 <표 1>과 같이 선별 하였다. 그러나, 이는 단순 풍속 자료만으로서 선별한 지역으로서, 본 연구사업에 필요한 후보지의 선정조건에 부합하며 현장방문을 통한 실사를 통해 실제 측정 후보지를 선정하였다.

선별지역에 대해서는 제주고층이 가장 좋은 풍력자원을 보였고, 대관령, 목포, 군산등의 순으로 풍력자원이 우수한 것으로 분석 되었다. 이 분석 결과 역시 기상청의 자료에서도 제주도와 한반도의 서남해안 및 동해안지역과 내륙의 고산지역이 풍력자원이 우수함을 단적으로 보이고 있어, 향후의 실측 후보지의 선정과정에서도 이를 감안하여 실측 후보지를 선정 하였다.

<표 1 : 국내 기상자료 분석결과 선별 지역>

지 명	연평균 풍속 (m/sec)	주 풍향	풍력에너지 밀도 (W/m ²)
속 초	3.8	NW	81.4
대 관 령	5.8	W	231.7
인 천	3.9	NW	92.8
울 진	4.8	W	128.7
여 수	5.3	WNW	203.4
군 산	4.6	WNW	145.8
부 산	4.6	SW	122.5
목 포	5.1	N	184.6
제주고층	8.9	NNW	936.7

나. 실측 후보지점의 선정 및 실측

국내지역에 대한 풍력발전시스템의 설치에는 여러 가지의 조건적 요소가 필요하므로, 사전에 이에 대한 적절한 기준을 만들어 실측 후보지 선정단계에서부터 이를 적용하여야 한다. 따라서, 이를 위해서 우선 풍력단지로서의 선정 기준에 대한 검토가 사전에 있어야 하며, 이를 위해 별도의 객관적인 검토기준을 마련 하여야 한다. 예를 들어 지정학적인 요소, 건설환경 적인 요소, 행정 환경 적인 요소 및 전력연계망 관련요소 등 크게 3가지로서 구분하였고, 부지 확보 문제라든지 전력계통선의 인근 위치 등의 제반적인 여건을 풍력자원과 함께 고려하여야 실질적인 풍력시스템 설치 후보지로서의 객관적인 자원 분석과 건설 타당성 분석으로의 확장이 가능하게 될 것이다.

1) 실측 후보지점의 도출

앞에서의 제반 여건과 실사를 통하여 실측후보지점을 선정하였다. 우선, 인근의 풍력자원 우수지역을 토대로 후보지점을 선정 하였다. 국내의 기존 풍력자원 현황에 의해 검토된 선정된 지역은 총9개 지역으로서, 다음의 [그림 1]에 선정된 국내의 풍력자료 계측지점의 위치도를 보이고 있다.



[그림 1 : 국내 풍력자원 계측지점 위치도]

2) 풍력자료의 측정 및 분석

풍속/풍향 자료는 이미 설치된 측정 Pole에 의해 각각 지표상 30m와 15m높이에서 측정된다. 그러나, 실제의 중대형급 풍력발전기의 발전기 높이는 약 45~55m로서 실제 풍속이 측정 되는 실측 높이와는 차이가 나게 된다. 특히,

풍속은 측정 높이와 주변의 지형상태에 따라 변하게 되므로, 실측된 높이에서의 풍속을 풍력발전기 높이 까지 보정할 필요가 생기게 된다. 본 연구에서도 중대형급 풍력발전기의 전형적인 높이인 50m의 풍속을 30m 높이에서 실측된 실측 자료를 이용하여 보정(extrapolation)하였다.

일반적으로 정상적인 대기 경계층내에서는 다음과 같은 관계가 형성된다.

$$\frac{U(Z)}{U(Z_a)} = \left(\frac{Z}{Z_a}\right)^a \text{-----} (1)$$

여기서, U와 Z는 각각 보정 풍속과 보정 높이를 말하며, 첨자 a는 실측된 풍속계의 높이와 실측 풍속을 나타낸다. 그리고, a는 안정화된 난류경계층에서는 1/7에 수렴하는 값을 지니게 되나, 주변의 지형이나 높이 및 일사조건등 여러 가지의 요소에 의해 결정되며, 이에 대해서는 이미 많은 이론적 또는 실험적인 연구가 진행 되었다.

$$a = a + b \ln[U(Z_a)] \text{-----} (2)$$

$$a = \frac{1}{\ln(Z_g/Z_0)} + \frac{0.088}{1 - 0.088 \ln(Z_a/10)} \text{-----} (3)$$

$$b = \frac{-0.088}{1 - 0.088 \ln(Z_a/10)} \text{-----} (4)$$

여기서, $Z_g = \sqrt{Z \cdot Z_a}$ 는 기하학적 평균높이(m)이다.

풍속/풍향자료는 표준 측정방식에 의해 매시간 평균치를 매시간의 대표치로 산정하여 기록하게 되어 매시간의 풍속/풍향자료 변화치를 측정하여 획득할 수 있다. 획득된 기본 자료는 본 연구를 통해 이미 개발된 풍력자원 분석용 프로그램인 WEAP(Wind Energy Analysis Program)을 수정하여 이용하였으며, 여기에서는 임의의 실측자료인 풍속자료를 이용하여 확률적 분석방법에 대해 언급 코자 한다.

임의의 측정 자료인 풍속자료의 분석은 자체 개발한 프로그램을 이용하는데, 분석시 풍속분포의 확률밀도를 2-Weibull 분포로서 가정하고 분포의 2변수치는 1차 및 3차 moment을 이용하여 계산하게 된다.

즉, 풍속분포의 수학적 모델중 가장 적절하게 이용되고 있는 2변수 weibull 분포 함수는 다음과 같다.

$$R(V) = \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right] \text{-----} (5)$$

여기서, V는 풍속을 나타내고 C는 Scale parameter로서 분포되는 풍속의 평균치와 관계하며, K는 Shape parameter로서 분포된 풍속의 편차와 관계하는 상수이다. 또한, 평균 풍속의 정의를 다음과 같이 정리하면,

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} R(V) \cdot V dV \text{-----} (6)$$

위의 관계에서 다음과 같은 일반식이 도출된다.

$$\bar{V}^m = C^m \Gamma(1 + \frac{n}{K}), 1 + (\frac{n}{K}) > 0 \text{-----} (7)$$

따라서, 위의 관계식에서 풍속의 측정된 \bar{V} 및 \bar{V}^3 값에 의해 C와 K의 값이 계산된다. 계산된 C와 K의 값을 알면 풍력에너지가 갖는 에너지 밀도를 다음의 식에 의해 계산 할 수 있게 된다.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A \int_0^\infty V^3 F(V) dV$$

$$= \frac{1}{2} \rho A C^3 \Gamma(1 + \frac{3}{K}) \text{-----} (8)$$

위에서 구해진 풍속 확률 밀도와 실제 풍력발전시스템의 성능자료가 입력되면 분석된 식(5)와 풍력발전시스템의 성능출력 곡선[$P_{wt}(V)$]에 의해 다음과 같이 평균 발전 출력이 계산되어 진다.

$$\bar{P}_{wt} = \int_0^\infty F(V) \times P_{wt}(V) dV \text{-----} (9)$$

따라서, 식(9)에서 구해진 평균 출력에 연간 시간 8760시간을 곱하면 해당 풍력발전시스템의 연간 발전량(kWh)가 계산되며, 평균 발전출력과 정격발전 출력의 비가 다음과 같은 이용률(CF)로서 계산된다.

$$CF = \bar{P}_{wt} / P_R \text{-----} (10)$$

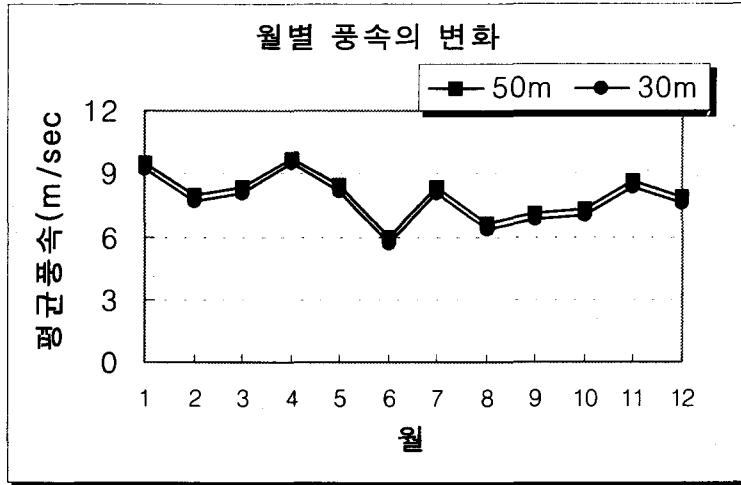
이상의 16개의 실측지점중에서 대표적으로 강원도 양구의 측정결과에 대한 분석은 다음과 같다. 양구 후보지에서 측정된 풍력자원 계측자료는 2004년 4월 21일부터 2005년 4월 20일까지, 총 7,992개의 시간평균 풍속자료와 풍향자료를 수집하여 분석하였다.

① 월별 평균풍속의 변화

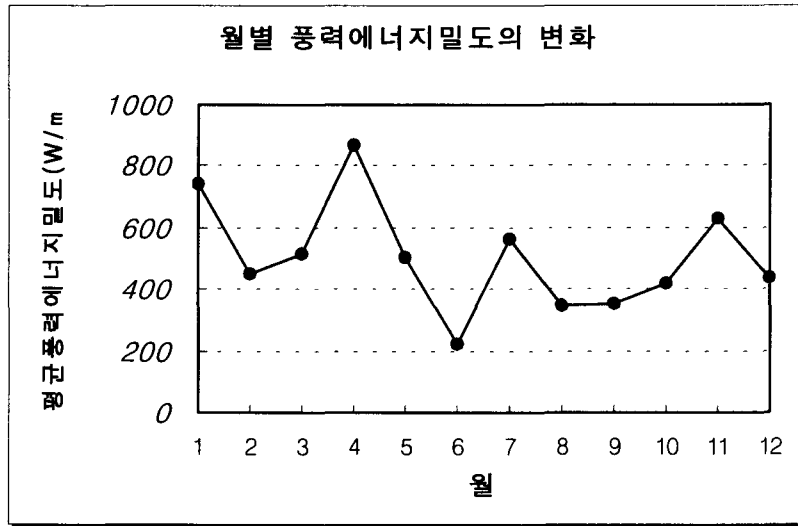
양구에서 측정된 시간별 평균 풍속과 풍향자료를 분석한 결과 다음의 [그림 2]에서와 같이 월별 평균풍속의 변화를 보이고 있다. 측정된 30m 높이에서의 측정된 평균 풍속은 7.6m/sec이며, 50m 높이로 보정된 평균 풍속은 7.9m/sec로 측정되어, 이 지역은 풍력발전 단지의 건설이 아주 우수한 가능성이 많은 지역이라 할 수 있다.

② 월별 풍력에너지 밀도의 변화

다음의 [그림 3]에는 양구 후보지에서 측정된 풍속자료로서 구해진 월별 풍력에너지 밀도의 변화를 보이고 있다. 측정된 자료로서 보정한 높이인 50m에서의 평균 풍력에너지 밀도는 503.8W/m²로서 아주 우수한 결과를 보이고 있다.



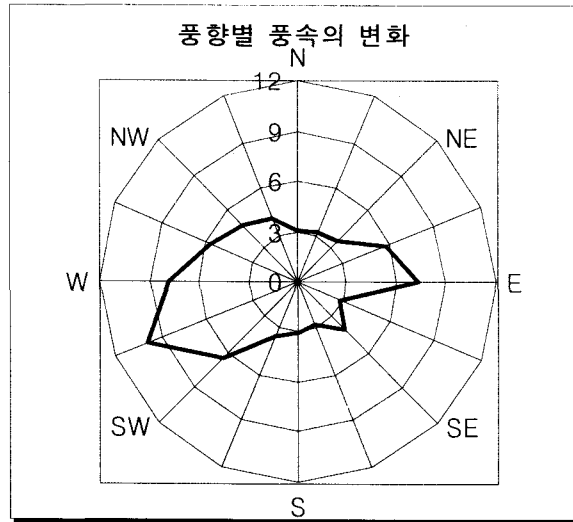
[그림 2 : 월별 평균 풍속의 변화]



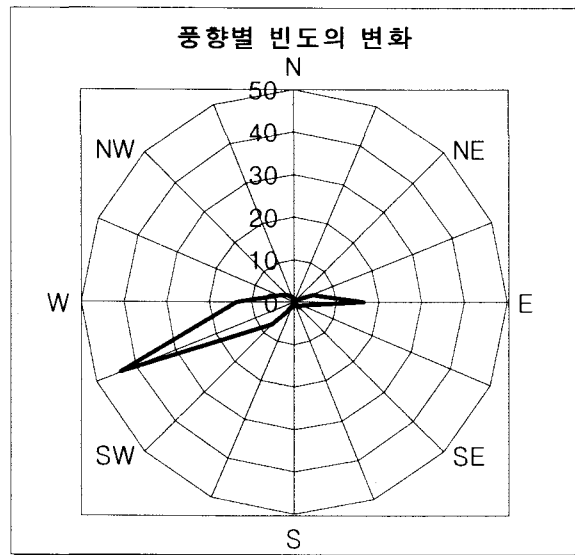
[그림 3 : 월별 평균 풍력에너지 밀도의 변화]

③ 바람장미의 변화

다음의 [그림 4] 및 [그림 5]에 양구 후보지에서 측정되어 보정된 높이 50m 지점에서의 바람장미를 보이고 있다. 방위별로 가장 강한 바람이 있었던 방위는 남서서쪽 방향으로서 9.91m/sec로 높은 평균 풍속을 기록하고 있고, 동쪽 방향에서도 평균 풍속이 7.3m/sec로 높은 풍속을 기록하고 있다. 풍향의 빈도수는 남서서쪽 방향이 전체의 44.1%를 차지하고, 서쪽 방위가 전체의 13.6%를 차지하며 동쪽 방위에서 16.4%의 측정 수치를 보이고 있다. 그러므로 남서서풍과 동풍이 주요한 풍향임을 알 수 있다.



[그림 4 : 방위별 평균 풍속의 변화]



[그림 5 : 방위별 측정 빈도의 변화]

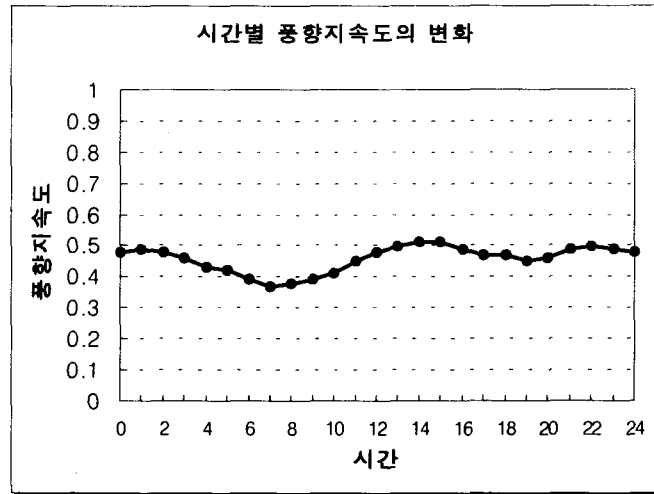
④ 풍향 지속도의 변화

아래의 [그림 6]에는 양구 후보지의 시간의 변화에 대한 풍향 지속도의 변화를 보이고 있다. 전체적으로 높은 지속도를 보이고 있고, 안정한 풍향지속도를 나타내고 있다.

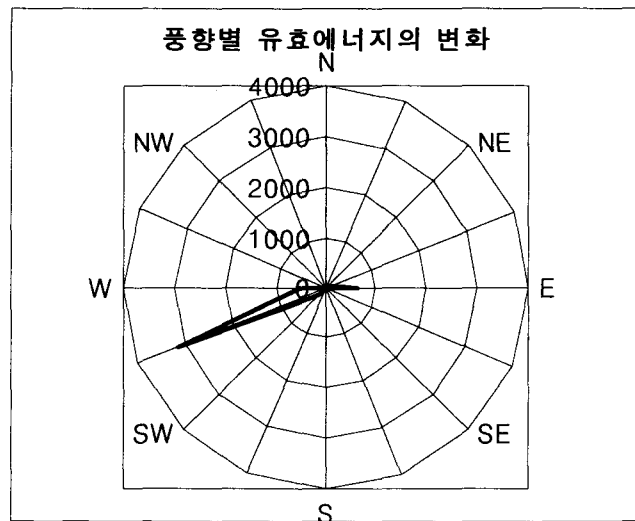
⑤ 풍향별 유효에너지의 변화

다음의 [그림 7]에는 양구 후보지의 풍향에 대한 바람이 갖는 연간 유효에너지량의 변화를 보이고 있다. 양구 후보지역은 유효 풍향은 남서서풍으로서 이 방향으로 3,171.7kWh/m²/년 내외의 유효 에너지량을 기록하고 있고, 동쪽으로도

619.4kWh/m²/년 내외의 유효 에너지량을 기록하고 있어, 남서서풍과 동풍에 많은 에너지가 존재함을 알 수 있다.



[그림 6 : 풍향 지속도의 변화]



[그림 7 : 풍향별 유효에너지량의 변화]

다. 풍력발전 단지 건설 여건 및 기기 설치(안) 선정 절차

1) 풍력발전단지 건설 여건

우선 대형 구조물인 풍력발전시스템의 건설을 통한 풍력발전단지 건설여건에 대해서는 다음의 <표 2>에 표시한 바와 같이 몇 가지의 조건을 만족하여야 한다. 우선 증장비의 출입이 원활하여야 하고, 작업공간과 작업시설물을 야적할 공간과 풍력발전 설비의 건설을 위해 적절한 지내력을 확보하여야 한다. 그밖에도, 주변의 장애물에 의해 바람이 크게 영향을 받지 않도록 장애물 높이의 약 5배에서 10배까지의 이격거리를 두어야 하며, 풍력발전설비간의 후류 영향으로 인해 대략 2MW이상의 기준으로 250-400m 내외의 이격거리를 두어야 한다.

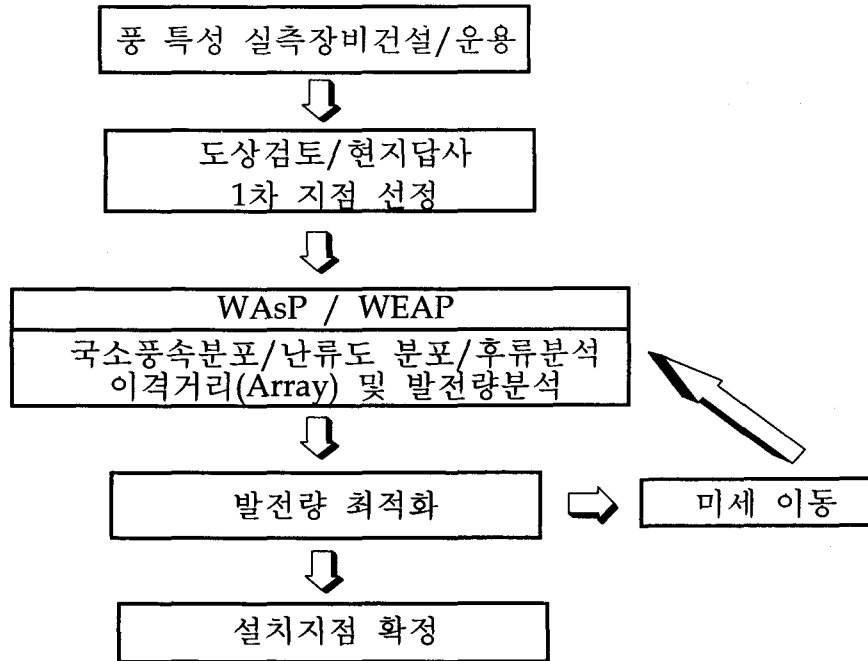
<표 2 : 대단위 풍력발전 설비 건설 여건의 조건>

설비 위치 기준(안)	위치가능 조건	발전단지 여건
증장비 출입	6m 내외의 포장도로 인근	후보지 인근 도로
작업공간 및 야적	대략 45m x 25m 내외공간	후보지내 인근 도로
지내력	기종에 따라 10~15톤/m ²	연약지반시 특수기초
바람장애물 회피	장애물 높이 5~10배	구조물인근 회피
이격거리	2MW이상기준 250~400m	발전단지내 공간 확보
전력연계	22.9kV 배전설비 (3,000kW이상시 전용선로)	인근 변전소 연계

2) 풍력발전시스템 설치지점 선정의 절차

풍력발전 기기의 선정절차는 풍력자원을 우선 조건으로 선정하면서도 부지의 확보성면에서 수월하면서도 도로 등의 기존 기반시설을 최대한 활용할 수 있는지 등을 현지답사를 통해 확인하였고, 특히 상호간의 후류영향이 적으면서 선로의 연계를 위해 이격거리가 많이 떨어지지 않도록 하여야 하는 등 여러 가지의 제한조건으로서 건설지점을 선정하게 된다.

- 풍력설비의 최적 설치 지점을 선정키 위해 현장에서의 풍력자원 실측장비(지상 30 또는 40m 마스트)의 운용을 통한 실측 자료 확보
- 도상 검토 및 현장실사에 의한 공사가능 여건, 현재의 부지 사용용도 및 부지 소유관계 등을 종합하여 우선적 설치지점 선정
- 우선적 선정지점에 대하여 지형정보를 갖고 있는 전자지도(digital map)와 실측 풍특성자료를 통한 WAsP(Wind Energy Analysis Program)을 통한 풍속 분포, 난류도 분포, 풍력에너지 밀도 및 최소 후류 손실을 감안한 단지 배열(array) 영향 분석
- 기존 풍력설비에 의한 영향, 국소 풍속분포, 난류도 분포 및 단지 배열을 고려하여 최적의 발전량을 낼 수 있는 설치 위치로의 미세 위치변경 분석 후 최종적으로 건설여건 등을 감안하여 최종적인 신규 또는 증설설치 지점 확정



[그림 8 : 풍력발전시스템 건설 지점의 선정 절차]

라. 풍력발전시스템 설치지점 설계(안) 및 성능 분석

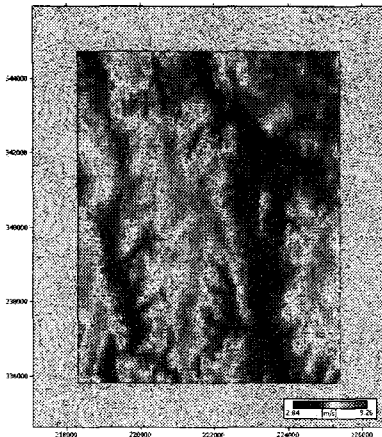
선정의 절차와 기준은 앞서 이미 언급 하였고, 각 지점별로 적정 용량에 맞고 적정한 용량의 풍력발전시스템으로서 세부적인 풍력발전시스템의 국소 위치를 설계 하여, 대표적으로 영양지역에 대한 분석결과는 다음과 같다. 경북 영양 요원리내의 각 세부적인 풍력발전시스템의 위치를 다음의 [그림 9]에서 보이고 있다. 요원리의 경우에도 가까운 거리내에는 큰 장애물이 없는 상태로서, 비교적 현지까지의 중량물 운송과 계통연계의 조건이 양호한 지역이다. 운송로로 사용될 도로 등이 포장도로로서, 인근의 목장등에 의해 기 개발되어 있어, 중대형의 풍력발전시스템의 운송에도 큰 문제가 없을 것으로 판단되는 지역이다. 배치는 역시 주 풍향에 연직방향으로 나아 있는 능선을 따라 배치하였고, 가급적 많은 능선을 따라 배치하여 최대한 많은 풍력발전시스템의 배치를 기하였고, 동시에 상호간의 후류손실이 최소화 하도록 배치 하였다. 따라서, 이렇게 배치 설계된 요원리의 각 풍력발전시스템의 TM좌표를 다음의 <표 3>에서 보이고 있다. 각 풍력발전시스템은 해발 400m에서 최고 700m까지에 위치하며, 우수한 풍력자원으로서, 가장 유망한 풍력발전단지의 후보지라 할 수 있다. 그러나, 대부분의 부지가 국유지로서 부지의 활용에 다소의 곤란함이 있을 수는 있으나, 영양군이 적극적인 자세로서 개발의 의지가 있는 상태로서 협의에 따라서는 부지의 확보에도 절대적인 장애가 있다고 볼 수는 없다.



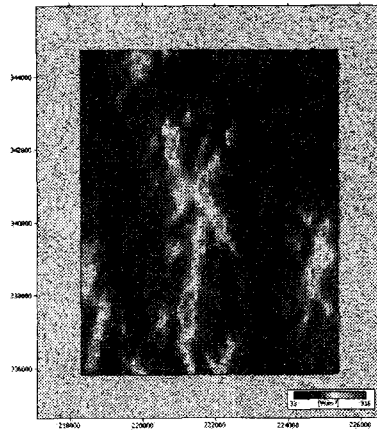
[그림 9 : 경북 영양 요원리 풍력발전시스템 배치도]

<표 3 : 경북 영양 요원리 풍력발전시스템의 위치(TM좌표)>

경북영양 Wind farm (38.371 GWh)									
Settings Statistics Site list									
Site ID	Site x [m]	Site y [m]	El [m]	Ht [m]	U	GrS [GWh]	Net. [GWh]	Wk [%]	
Turbine site 1	220907.1	341318.9	703.0	67.0	7.44	6.047	6.038	0.14	
Turbine site 2	221962.9	340560.6	651.0	67.0	7.38	5.973	5.955	0.29	
Turbine site 3	222517.3	339451.7	618.0	67.0	6.48	4.471	4.458	0.31	
Turbine site 4	222563.5	338204.2	400.0	67.0	4.91	2.161	2.149	0.55	
Turbine site 5	221962.9	336956.8	407.0	67.0	5.04	2.359	2.326	1.4	
Turbine site 6	221177.5	336078.9	572.0	67.0	7.35	5.958	5.942	0.27	
Turbine site 7	223210.3	335524.5	401.0	67.0	5.08	2.436	2.383	2.19	
Turbine site 8	223995.7	334277	451.0	67.0	5.20	2.588	2.559	1.12	
Turbine site 9	220576.9	335108.7	553.0	67.0	5.14	2.447	2.418	1.18	
Turbine site 10	219652.9	334046	548.0	67.0	6.21	4.147	4.143	0.09	



[그림 10 : 영양 요원리의 연간 평균 풍속분포]



[그림 11 : 영양 요원리의 풍력에너지밀도 분포]

경북 영양 요원리의 풍력발전단지에 대해, 측정된 풍속/풍향자료와 앞서 언급된 바와 같이 2,000kW 풍력발전시스템과 앞서의 풍력발전시스템의 세부위치 등을 적용하여 분석한 결과를 도출하였다. 우선, 다음의 [그림 10]에 요원리지역의 67m 높이에서의 연 평균 풍속의 분포와 [그림 11]에는 67m 높이에서의 풍력에너지밀도의 분포를 보이고 있다.

이상의 평균풍속의 분포와 평균 풍력에너지 밀도의 분포와 함께 앞서의 풍력발전시스템의 출력곡선과 세부배치(안)으로서, 예상발전량을 분석하였다. 다음의 <표 4>에는 2,000kW 10기를 건설하였을 때의 연간 예상 발전량을 보이고 있다.

<표 4 : 영양 요원리의 연간 예상 발전량>

	총 발전량	기당 평균발전량	기당 최소발전량	기당 최대발전량
총 연간발전량 (GWh/년)	38.587	3.859	2.161	6.047
순 연간 발전량 (GWh/년)	38.371	3.837	2.149	6.038
후류손실률 (%)	0.56	-	-	-
(순)이용률 (%)	21.9	21.9	12.3	34.5

3. 결 론

국내 기상청의 자료를 수집하여 분석한 결과, 총 72개의 관측결과 중에서 다음과 같은 풍력자원 우수 관측자료를 분석 하였다. 내륙에서는 고지대, 서남해안지역과 제주도 일원에서 우수한 기상청 풍력자원 관측자료가 분석 되었다.

본 연구사업을 통해 1차년도와 2차년도의 조사단계를 거쳐서 최종적으로, 15개의 우수 지역을 선정하여 측정 분석하였다. 풍력발전과 같은 신재생에너지 전원개발 사업은 현지 점에서의 경제적 가치뿐만 아니라 미래가치가 커질 것으로 예상되고 있는 만큼 풍력에너지 지원에 대한 적극적인 투자개발이 필요할 것으로 판단된다. 더욱이, 풍력에너지 개발을 단순 경제논리로만 보아서는 안되며, 풍력에너지원이 갖는 친환경적인 요소나 환경보전적인 요소의 가치는 향후 점차 증가될 것이기 때문이다. 아울러, 우리나라도 OECD 가입국가로서의 국제적 환경보전 의무와 지구환경 보전을 위한 온실가스 배출 저감이라는 국제 사회의 일원으로서의 책임의무 등이 주어질 것이며, 우리 스스로도 국내 삶의 질을 향상시키기 위한 환경보전과 부존자원의 개발활용을 통한 에너지 해외의존도의 저감이라는 자발적인 국가적 사명의식으로서 풍력에너지원의 개발을 서둘러야 할 시기라 판단된다.

그밖에도, 최근 발효된 교토의정서에 의해 우리나라의 입장에서도 온실가스의 배출저감에 대한 압박은 점차 가시화될 것이기 때문에 발전회사로서 이에 대응하는 청정 신재생 에너지원인 풍력에너지원에 대한 개발 및 투자는 이시대의 필연적인 의무라 할 수 있다.

<표> 풍력자료 실측 및 분석 결과

지역 \ 분석 결과	측정높이 연 평균 풍속(m/sec)	보정 높이 연 평균 풍속(m/sec)	풍력에너지 밀도(W/m ²)	주 풍향 (풍속기준)	주 풍향 (빈도기준)
안산 쪽박섬	4.3	4.6	132.4	NW	NW
안산 누에섬	4.9(15m)	5.7	243.3	WNW	NW
강원 양구	7.6	7.9	503.8	SSW	SSW
강원 횡성	3.3	3.6	61.1	E	WNW
강원 영월	5.1	5.4	182.8	WNW	W
강원 평창	6.6	6.9	351.8	ENE	SSW
충남 태안	4.5	4.7	149.4	NW	NNW
충북 단양	3.2	3.9	74.7	W	WNW
전남 여수	4.2(25m)	4.8	137.5	WNW	WNW
경북 울진	4.6	4.9	173.0	NNE	W
부산 다대포	6.2(40m)	6.3	299.1	SW	NNW
부산 가덕도	4.4	4.7	150.7	WNW	NW
경북 영양	7.0	7.3	333.5	W	SSW
제주 봉개	5.7	5.9	286.2	NW	NW
제주 대신목장	6.5	6.8	342.1	N	NNW

* 측정 높이 : 30m, 보정 높이 50m

<표> 풍력발전 단지의 환경개선 효과

지역 \ 비 교	총 용량(kW)	순 발전량 (GWh/년)	에너지대체효과 (TOE/년)	온실가스 저감효과 (TC)
누에섬, 양구, 영월, 평창, 태안, 울진, 다대포, 가덕도, 영양, 대신목장	127,850	436.772	109,193	91,400

* 편익비가 1이 넘는 지역

* 1 TOE = 4MWh 및 1 TOE = 0.8374 TC 적용

참 고 문 헌

1. Paul Gipe, "Wind Energy Comes of Age", John Wiley & Sons, Inc., 1995.
2. M.J.M. Stevens, "The estimation of Parameters of the Weibull Wind Speed Distribution for Wind Energy Utilization Purpose", Wind Engineering Vol. 3, No, 2, 1979.

3. G.J. Bowden et al, "The Weibull Function and Wind Power Statistics", Wind Engineering Vol. 7, No. 2, 1983
4. David A. Spera, "Wind Turbine Technology, Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering", The American Society of Mechanical Engineering Press, 1994.
5. 김건훈외, "전라북도내 풍력발전 건설 타당성 조사연구", 전라북도, 2000년 12 월
6. 김건훈외, "강원도내 풍력발전 유망지역 건설 타당성 조사", 강원도, 2001년 11 월
7. 김건훈외, "충청남도 풍력발전단지 건설 타당성 조사", 충청남도, 2002년 5월
8. 김건훈외, "태백시 풍력자원 조사 연구", 태백시, 2002년 7월
9. 송진수의 "대체에너지 실용화 및 건설 타당성 조사보고서", 1997년 8월
10. AWEA, "Comparative Air Emissions of Wind and Other Fuels", Wind Energy Fact Sheet
11. 김건훈외, "태안/서인천/군산 풍력발전 건설 타당성 조사", 최종 보고서, 2004년 9월