

풍황조사 분석 결과에 의한 풍력발전 시스템 설치 타당성 분석

김성주

서남대학교 컴퓨터 응용수학과

Feasibility study on installing wind turbine system based on the analysis of the wind characteristic

Kim, Sung Ju

Seonam University Department of Applied Mathematics

ABSTRACT

국내 발전 단지내 부지의 효율을 높이기 위해 계측설비를 설치하여 풍속, 풍향, 밀도 등의 원시자료를 확보하고, 풍력자원 분석을 수행하였다. 분석된 풍력자료와 기본 입지자료, 관련여건 등을 고려하여 풍력발전 시스템 건설에 지표가 될 수 있는 경제성 및 타당성 분석을 수행하였다.

1. 배경 및 목적

신·재생에너지는 석유, 석탄으로 대표되는 화석연료의 고갈과 기후변화협약 등의 국제환경규제 강화에 대비하여 세계적인 관심이 집중되고 있는 친환경적인 에너지원이다. 에너지 고갈과 환경오염 문제의 해결을 위해 에너지 사용을 억제하는 정책은 한계가 있기 때문에, 주요 선진국들은 신·재생에너지의 개발과 보급에 힘을 기울이고 있는 실정이다. 특히 신·재생에너지 중의 하나인 풍력발전시스템은 가장 경제성이 우수하고 유용성이 높은 기술로 입증됨에 따라 향후 기후협약에 대비한 청정에너지원으로서 현재 유럽은 물론 미국, 일본, 중국, 인도 등 전 세계적으로 개발과 보급에 많은 투자가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 한국남동발전(주)의 영흥화력본부를 대상으로 풍속, 풍향, 밀도 등의 원시자료를 획득하고, 풍황자료의 분석과 기본 입지자료를 확보하고 관련여건을 비교 분석하여 풍력발전단지 건설에 필요한 경제성 및 타당성 분석을 수행하여, 향후 풍력발전단지 건설의 기초자료로 사용하고자 하였다.

2. 본문

1.1 풍력자원 측정 지점 선정

풍력발전 단지를 건설하기위해 가장 선행되어야 하는 것은 올바른 풍력자원 측정 지점을 선정하는 것이다. 그림 1은 풍력자원 측정 지점 선정을 위해 고려된 대상발전소의 전경이다.



그림 1 영흥화력본부 전경

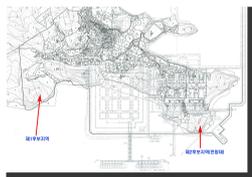


그림 2 계측설비 설치후보지역

1.1.1 풍황계측 설비 설치 지역 선정

풍력자원을 측정하기위해 풍황계측 설비를 설치할 지역을 선정하기위해 다음과 같은 조건들을 고려하였다.

- 가) 인근 지역의 기상자료 분석을 통한 후보지역의 대략적 풍속 및 풍향 예측
- 나) 지형적 특성을 고려한 풍속 및 풍향 예측
 - 바람터널 형성지, 평지, 해안가, 산등성이 등
- 다) 향후 풍력발전 시스템 설치 조건 고려
 - 운송을 위한 도로여건
 - 민원 발생 여부
 - 계통 연계를 위한 연계여건
 - 설치 용량/설치 대수
 - 설치부지 확보 여부

그림 2는 영흥화력본부내에 있는 부지 중 풍황계측 설비를 설치할 후보지역을 나타낸 것이며, 위에서 언급한 조건들을 고려하여 최종적으로 제1후보지역을 선정하였다.

1.2 풍황자원 계측 및 풍력자원 분석

1.2.1 풍황자원 계측 설비

풍력발전 후보지에 대한 풍황자료의 계측과 분석을 위해 해당지역의 실측자료는 매우 중요하다. 실제 풍력발전시스템 설치 시 운전효율이나 경제성에 결정적인 영향을 미치는 요소로서 선정된 풍황자원 계측 후보지에 대한 정확한 풍속, 풍향, 등 기초적인 자료를 가지고 자원량의 예측과 궁극적인 풍력발전시스템 신뢰성의 평가를 한다. 그림 3-4는 풍황계측에 사용된 설비들이다. 풍황 계측설비는 NRG system사의 제품을 사용하였다. 풍속은 20m, 30m 높이에 풍속계를 설치하고, 풍향은 30m 높이에 풍향계를 설치하여 측정하였다. 또한 대기압과 온도를 약 1.5m 높이에서 측정하였다. 센서들로부터 측정된 자료는 Symphonie Data Logger에 10분 평균값으로 저장된다. 저장된 자료를 일정주기로 습득하여 컴퓨터 분석과정을 거쳤다.



그림 3 Symphonie data logger



풍속계 풍향계 압력계 온도계
그림 4 풍황계측용 센서들

1.2.2 실측 풍황 분석

12개월간 계측된 풍황자원 원시데이터를 이용하여 평균풍속, 풍향, 에너지 밀도를 분석하였다. 분석은 NRG사의 Retriever, RISΦ의 WASP 및 코윈텍 자체제작 프로그램을 사용하였다.

가) 10분 평균풍속 및 풍향분포

획득한 실측자료 분석에 따르면 실측기간 내 30m와 20m 높이에서의 평균풍속은 각 4.87과 4.70m/s이다. 실측기간 중 최고 풍속은 06년 11월 6일 20시에 30m와 20m에서 각각 28.7m/s와 30.6m/s가 계측되었다. 최종 수집된 자료 분석을 통해 연간 평균풍속 분포는 그림 5와 같이 나타났다. 분석결과에 따르면 겨울철에 평균풍속이 높게 나타났으며, 가장 높은 월별 평균풍속 값은 06년 11월의 6.6m/s이다. 그림6은 월별 WindRose결과에 따른 측정기간 전체의 풍향분포를 보이고 있다. 측정기간 내 시간상 가장 많은 분포를 가지는 주 풍향과 가장 많은 에너지를 가지는 방향은 북북서(NNW) 방향으로 나타났다.

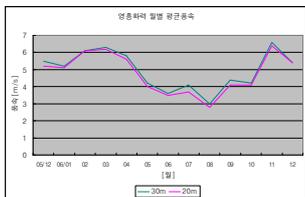


그림 5 연간 평균풍속

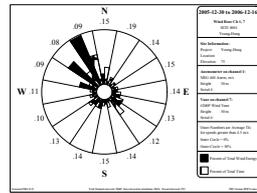


그림 6 연간 풍향분포

나) 대기압 및 대기온도 분포

영동화력본부 내 실측결과 연간 평균대기압은 1009.4mb, 연간 평균온도는 13.96°C의 값을 가지는 것으로 분석되었다.

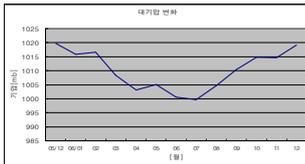


그림 7 연간 대기압 분포

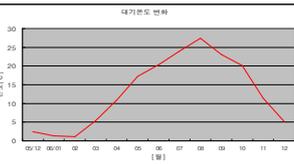


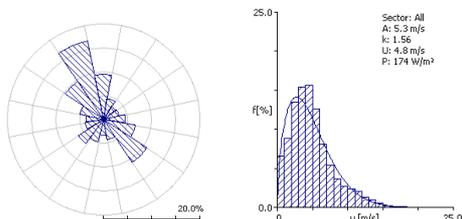
그림 8 연간 대기온도 분포

다) 풍력자원 분석/평가

표 1은 WASP를 통해 얻은 풍황분석 결과와 그에 대한 분석결과표이다. WASP의 결과로 계측기간 동안의 Weibull-fit 풍속은 30m 높이에서 4.80m/s임을 얻었으며, 에너지 밀도는 173.53W/m²의 값을 가지는 것으로 분석되었다.

표 1 WASP를 이용한 풍황자원 분석 (30m, 위치: 37.15° N 126.26° E)

-	Unit	Measured	Weibull-fit	Discrepancy
Mean wind speed	[m/s]	4.87	4.80	1.47[%]
Mean power density	[W/m ²]	172.69	173.53	0.48[%]



A(Weibull-A) and U(mean speed) are given in [m/s], P(power density) in [W/m²] and F(frequencies of occurrence) in per mille and per cent (total).

라) 대기압과 대기온도를 고려한 풍력 자원 재평가

풍력자원을 평가할 수 있는 풍력에너지 밀도는 대기압과 대기온도에 따라 변하는 특징을 가진다. 대기압이 표준대기압보

다 높을 경우 같은 풍속일지라도 풍력에너지 밀도는 큰 값을 갖게 되며, 대기온도가 절대온도보다 높을 경우는 작은 값을 가지게 된다. 따라서 보다 정확한 풍력자원을 평가하기 위해서는 측정된 대기압과 대기온도를 고려하여야 한다. 본 논문의 대상지역의 경우 표 2에서 보이는 바와 같이 대기압과 대기온도에 대한 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

표 2 대기압과 대기온도를 고려한 풍력자원 재평가

측정 높이 [m]	풍력에너지 밀도 [W/m ²]		풍속 [m/s]		웨빌형상 계수 [K]	비고 [wind power class]
	대기압과 온도 무시	대기압과 온도 고려	측정평균 풍속	웨빌풍속		
30	174.1	174.0	4.87	4.80	1.56	1-2
연평균대기압: 1009.4[mb], 연평균온도: 13.96[°C]						

1.2.3 풍력발전 건설 타당성 분석

가) 적용 풍력발전 시스템의 선정

풍력발전 건설의 타당성 분석과 경제성 분석은 측정되어진 풍황 데이터의 분석 작업과 최적의 시스템 선정 및 경제적으로 고려되어야 할 여러 가지 변수들을 신중하게 고려함으로써 신뢰성 있는 결과를 기대할 수 있다.

타당성 분석 및 경제성 분석은 다음 과정으로 진행한다.

- 기존 기상데이터와 설문조사를 통한 건설 후보지 선정
- 풍력발전 건설 후보지에 풍황계측 설비 설치
- 최소 1년 이상의 풍황자료 획득 및 분석
 - 연간풍속분포 및 풍향분포 획득, 풍력에너지 밀도 계산
- 타당성 분석을 위한 시스템 선정 및 각종 입력 값 선정
 - 풍력발전 시스템 자료 확보 및 경제성 분석 변수 선정
- 풍력발전 건설 후보지의 풍황자원과 1단계 경제성 분석
 - 1단계 투자비 분석
 - 풍력발전 건설 타당성 검토
- 2단계 경제성 분석(1단계 분석을 통해 타당성을 확보 후)
 - 풍황특성을 고려한 단지 설계
 - 구체적인 각종 경제 변수 선정 및 적용
 - 선정 풍력발전 시스템 관련 상세 자료 확보 및 적용
 - 2단계 상세 투자비 분석

본 논문은 풍력발전 시스템 건설에 대한 타당성 분석의 과정에 속한다. 따라서 시스템 선정 및 단지 건설시 소요되는 비용들을 일반적인 범위에서 결정하고 1단계 투자비 분석 및 경제성 분석을 수행함으로 풍력발전건설 타당성 여부를 확인하였다. 풍력발전건설 타당성 및 경제성 분석에 앞서 풍력발전 시스템을 선정하였다. 본 논문에서는 일반적인 1.0MW급, VESTAS의 2.0MW급 및 GE의 1.5MW급 시스템을 경제성 분석에 사용할 시스템으로 선정하였다. 풍력발전 시스템은 풍황조건이 어떠한 지역에 설치하느냐에 따라 설계풍속과 주로 운용되는 풍속을 고려하여 선정할 수 있다. 풍력발전 시스템은 여러 가지 설계조건과 각 시스템별 특성이 다르고 소요되는 비용들도 차이가 있다. 선정된 풍력발전 시스템의 기종과 특징을 표 3과 그림 9에 나타내었다.

표 3 풍력발전 업체별 선정 기준

선택기준	System I	System II	System III
내용	General	Vestas V80	GE 1.5s
정격출력	1.0MW	2.0MW	1.5MW
허브높이	55m	78m	64.7m
원제작국	한국	덴마크	미국

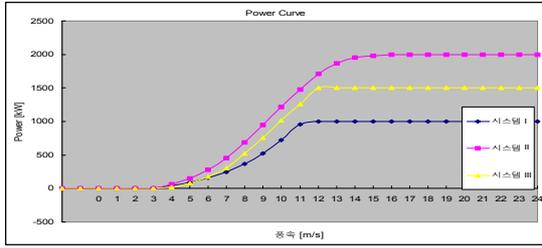


그림 9 시스템별 출력곡선

나) 풍력에너지 밀도 및 연간생산전력

계측된 데이터를 각 시스템의 허브높이에 맞게 보정 후 연간풍속분포를 고려하여 풍력에너지 밀도를 구하였으며, 연간풍속분포와 각 시스템의 출력곡선을 이용하여 각각의 연간생산 가능전력 값을 예측하였다.

표 4 시스템별 풍력에너지 밀도 및 연간생산전력

Annual Energy Production	System I		System II		System III	
	1.0MW (General)		V80 2.0MW		GE 1.5S	
	WT 용량 [kW]	WT 대수	WT 용량 [kW]	WT 대수	WT 용량 [kW]	WT 대수
	1,000	1	2,000	1	1,500	1
	Estimate Per Turbine	Estimate Total	Estimate Per Turbine	Estimate Total	Estimate Per Turbine	Estimate Total
Wind plant capacity [kW]	1,000	1,000	2,000	2,000	1,500	1,500
Unadjusted energy production [MWh]	1,517	1,517	2,737	2,737	1,995	1,995
Pressure adjustment coefficient [-]	1.00		1.00		1.00	
Temperature adjustment coefficient [-]	1.00		1.00		1.00	
Gross energy production [MWh]	1,516	1,516	2,736	2,736	1,994	1,994
Losses coefficient [%]	92.2%		89.4%		89.4%	
Renewable energy [MWh]	1,419	1,419	2,482	2,482	1,812	1,812
Wind plant capacity factor [%]	16.2%	16.2%	14.2%	14.2%	13.8%	13.8%
Wind Energy [W/m ²]	182.97		184.14		184.47	
Wind Energy (considering loss) [W/m ²]	186.04		187.16		187.53	

표 4는 대기압, 온도, 각종 손실들을 고려하여 계산한 풍력에너지 밀도와 연간생산 가능전력 값들을 보이고 있다. System I의 경우 풍력에너지 밀도 값은 186.0W/m²을 보였고, System III의 연간생산 가능전력은 1,812MWh로 계산 되었다.

다) 경제성 분석

다음의 조건들을 사용하여 경제성 분석을 수행하였다.

- 산자부 고시 가격으로 발생된 전력을 전량 판매가능
- 온실가스 저감에 따른 수익 발생
- 정부에서 총 공사비의 29[%]를 무상 지원 등
- 할인율 5[%] 적용
- 환율 1달러 당 980원 적용

위의 조건들을 사용하여 각 시스템들의 연차별 현금 흐름을 계산하였다. 그림 10은 현금 흐름표의 누적금액을 그래프로 나타낸 것이며, 그림 11은 현금 흐름표의 누적금액을 정부의 무상 지원이 없다는 가정 하에 계산한 결과 그래프이다. 손익분기점은 누적금액이 양의 값을 가질 경우를 가지고 정의하기도 하나 현실적으로 할인율을 적용하는 NPV값을 기준으로 정의하는 것이 바람직하며, 또한 초기투자비에 대한 이익 크기를 정의하는 즉, 경제적 가치를 평가할 때 역시 NPV값의 사용이 타당하다. 풍력발전 시스템을 20년이라 가정할 때, 모든 경우에 대해서 예상되는 수입은 음(-)의 값을 가졌다. NPV 값을 기준으로, System I의 경우 20년 후 경제적으로 38.92[%], System II의 경우 19.03[%], System III의 경우 32.87[%]의 손해를 보게 되는 것으로 분석되었다. 세 시스템간의 차이는 어떤 시스템이 더 우수하다고 판단할 수 있는 근거는 되지 못한다. 1기의 풍력발전 시스템을 세울 경우 주변 여건이 같다고 가정하면, 용량이 클수록 제품단가 및 초기투자비용이 상대적으로 작고, 아울러 생산하는 에너지가 많기 때문에 판매이익이 커져 경제적 이익이 커지기 때문이다.

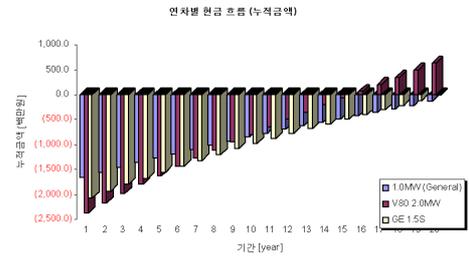


그림 10 각 시스템의 연차별 현금 흐름 (누적금액, 정부 무상 지원 29% 적용 시)

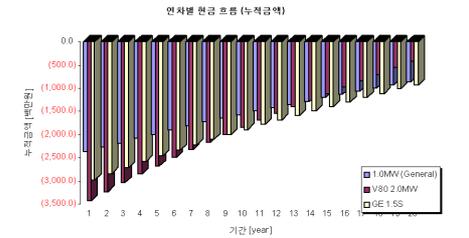


그림 11 각 시스템의 연차별 현금 흐름 (누적금액, 정부 무상 지원 29% 비적용 시)

3. 결론

본 논문에서는 “풍력발전 건설 타당성 조사용역”사업을 통해 풍황자료 계측장비 설치를 시작으로, 실측 풍황자료와 관련자료를 획득한 후 실측 풍황자료 및 기타 관련 자료들을 토대로 분석작업을 수행하였다. 풍력발전 건설 타당성 분석의 객관성을 유지하도록 노력하였으며, 체계적인 자료분석을 위해 신뢰성있는 보정방법을 사용하였다. 이로써 얻어진 분석자료에 의해 대상발전소의 풍황자원량이 미약한 것으로 분석결과 나타났다. 아울러 분석된 풍황자원과 적절한 시스템의 선정, 다양한 경제 변수들을 고려하여 경제성을 분석하였다. 경제성분석 결과 풍력발전 시스템에서 통상적으로 보증하는 20년 수명기간 이내에서 손익분기점이 나타나지 않았다. 따라서 대상지역에서는 풍력발전 건설 타당성을 확보할 수 없었다.

풍황자원이 대체로 열악한 국내의 현황을 볼 때 정부의 일정 비율의 무상지원금 및 발전전력구매제도 없이는 풍력발전 건설을 통해 발전이익을 창출할 수 있는 곳은 매우 제한적임을 재확인 할 수 있었다.

이 논문은 한국남동발전(주)의 용역사업에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 산업자원부 “육/해상 풍력실증연구단지 조성 기획 연구”, 2005.08.
- [2] 채윤근 “LEAP model을 이용한 풍력발전의 환경적·경제적 평가에 관한 연구”, 연세대학교 2004.12.
- [3] 하정우, 김수덕 “대관령 풍력발전지의 풍력발전량 및 경제성 분석” 아주대학교
- [4] 한국에너지기술연구원 “강원도내 풍력발전 유망지역 건설 타당성 조사 연구” 강원도 2001.11.
- [5] <http://www.awea.org/>
- [6] <http://www.ewea.org/>