



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

碩士學位論文

제주 가시리풍력발전단지의 1.5MW
풍력발전기 발전량 특성 분석

濟州大學校 産業大學院

電氣工學科

夫晶煥

2012年 12月

제주 가시리풍력발전단지의 1.5MW 풍력발전기 발전량 특성 분석

指導教授 金 一 煥

夫 晶 煥

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2012年 12月

夫晶煥의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ①

委 員 _____ ①

委 員 _____ ①

濟州大學校 産業大學院

2012年 12月

Analysis of the 1.5MW Wind Power Turbine Generation Output of the Jeju Gasiri Wind-Farm

Jeong-Hwan Boo

*Department of Electrical Engineering
Graduate School of Industry
Jeju National University*

Supervised by Professor Eel - Hwan Kim

Summary

This paper presents the analysis of power generation output of 1.5MW wind turbine system located in Gasiri wind farm in Jeju island.

In the wind farm, a large hill is located in neighborhood, and also the met-master is almost 2km away from there. To verify the characteristics of power output, comparative analysis with 6 month

actual data and the estimated data has been carried out.

In the comparison results, actual power out is always less than estimated data during 6 month. This means that there are some error in the wind farm design. For on of this main reason, we can be able to suppose that the used win data from the met-master is not suitable. Because this data must be affected by the hill. So we can conclude that it is necessary to consider how many install the met-master depend on the configuration of the ground for the best design of wind farm.

목 차

I. 서 론	1
II. 풍력발전단지 개발	3
1. 국내 풍력발전 현황 및 정책	3
2. 제주의 풍력발전 개발 정책	5
3. 풍력발전단지 개발방식	8
4. 풍력자원조사	14
5. 단지배치 시뮬레이션	17
6. 가시리 풍력발전단지 개요	21
7. 발전량 산정 이론	25
III 시뮬레이션 및 고찰	27
1. 각 호기별 실측 발전량 데이터 비교	27
2. 풍력발전단지 내 7기 실측 발전량 데이터와 비교	31
IV. 결 론	34
참 고 문 헌	35

그림 목 차

그림 1 국내 풍력발전 현황	3
그림 2 국내 풍력발전 설치 현황(2012년도 기준)	4
그림 3 제주지역 풍력발전 현황(2012년도 기준)	5
그림 4 전력수요량 및 풍력발전량(수요증가율 4%, 이용률 33%)	7
그림 5 풍력발전단지 개발 방식	8
그림 6 200kW 초과 상업용 전력계통연계 인허가 절차	9
그림 7 풍황 계측타워	16
그림 8 정밀 컵풍속계	17
그림 9 WindPRO 작업환경	18
그림 10 WindPRO용 제주지형도	19
그림 11 국립지리원의 수치지도	20
그림 12 거칠기입력지도	20
그림 13 가시리 풍력발전단지 전경	22
그림 14 국산화 풍력단지의 발전기 배치 및 풍황 계측기 위치	22
그림 15 7호기 예측 발전량 및 실측 발전량	27
그림 16 8호기 예측 발전량 및 실측 발전량	28
그림 17 9호기 예측 발전량 및 실측 발전량	28
그림 18 10호기 예측 발전량 및 실측 발전량	29
그림 19 11호기 예측 발전량 및 실측 발전량	29
그림 20 12호기 예측 발전량 및 실측 발전량	30
그림 21 13호기 예측 발전량 및 실측 발전량	30
그림 22 풍력발전기 7기에 대한 월간 예측 발전량 및 실측 발전량	31
그림 23 손실율을 적용한 예측 발전량과 실측 발전량의 비교	32

표 목 차

표 1 전력지역 전력소비 전망	6
표 2 전력수요량 및 풍력발전량 전망(풍력이용률 33% 적용)	7
표 3 행정절차에 따른 예상 소요기간	11
표 4 가시리풍력발전단지 기상환경	23
표 5 WTGS Class의 기준 파라메타	23
표 6 A사(1.5MW) 풍력발전시스템의 상세 사양	24
표 7 국산화 풍력단지 70m높이의 실측 풍속데이터	25
표 8 풍력발전기 7기의 예측 발전량과 실측 발전량	32
표 9 풍력발전기 7기의 예측 발전량과 실측 발전량(손실적용)	33

I. 서 론

최근 국가별 에너지확보를 소리 없는 전쟁과 함께 각 기업별로 지속가능한 성장을 위한 청정에너지 개발경쟁이 심화되는 등 기존 화석연료를 중심으로 한 에너지 패러다임이 녹색에너지 중심으로 재편되고 있다. 이에 발맞추어 전 세계 신재생에너지 보급 및 확대는 각국의 신재생에너지 장려정책 및 연구개발 등과 더불어 급속한 성장세를 보이고 있다. 98%의 에너지를 외국에서 수입하고 있는 에너지 빈국인 우리나라에서는 ‘저탄소 녹색성장’을 국정 최우선 과제로 선정함과 동시에 신재생에너지 산업기반 마련을 위한 발전차액지원제도를 통한 자발적인 형태의 보급에서 의무적으로 일정량을 신재생에너지로 발전해야 하는 신재생에너지 의무비율할당제(RPS; Renewable Portfolio Standards)를 통해 적극적인 신재생에너지 확대에 큰 노력을 기울이고 있다[1].

지구 온난화를 억제하기 위하여 국제협력사업의 일환으로 이산화탄소 배출량 억제를 골자로 한 세계기후협약(Kyoto 협정)에 힘입어 최근 5년간 전 세계 풍력발전기의 연평균 설치용량 증가율은 27.6%에 이르고 있다. 또한 2008년 말 기준으로 발전기 누적설치 용량은 122GW를 훌쩍 넘어섰으며, 2018년에는 800GW 이상이 될 것으로 예측되고 있다. 국내 풍력발전산업의 경우, 2001년 초 750kW급을 출발점으로 한국화이바, 효성, 유니슨 등 소수의 업체들이 연구개발을 주도하였으며, 2006년부터 두산중공업이 3MW급 해상풍력발전기를 개발하여 제주 월정해상에 실증 중에 있다[2].

풍력발전단지 지역은 풍속의 차이가 있으므로 에너지생산량의 편차가 크게 달라진다. 풍력발전단지의 에너지 생산량은 풍속의 세제곱에 비례하기 때문에 여러 가지 조건 중에서 가장 중요하다. 따라서 설치예정 지역에 대한 풍황 자료 분석 및 출력예측에 대한 정확한 연구가 필요하며, 풍력발전기의 연간 발전량을 예측하기 위해서는 측정된 풍황 자료를 이용하여 정확한 풍속특성 해석이 요구된다[3]. 우리나라의 경우 육상 풍력발전단지의 대부분이 높은 산지에 형성되어 있고 제주지역의 경우 오름군락에 둘러싸여 있기 때문에 복잡지형에 대한 풍

황 예측의 정확도에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

따라서 본 논문에서는 제주 가시리지역의 풍황 데이터를 분석하고 WindPro를 이용하여 가시리 국산화 풍력발전단지에 설치된 A사 기종인 1.5MW 풍력발전기의 월간발전량에 대한 예측을 하고 예측결과와 실제 월간 발전량을 정량적으로 비교 분석하였다.

II. 풍력발전단지 개발

1. 국내 풍력발전 현황 및 정책

우리나라 풍력발전 산업은 초기 단계로 각 지방자치단체에 의해 설치되어 운전 중인 풍력발전소는 2012년 기준으로 총 264기, 총 설비용량은 431MW, 총 발전량은 857GWh로 국내 풍 발전량의 약 0.19%를 차지하고 있다. 그림 1에서 보는 것과 같이 대부분 제주도의 동부지역과 서부지역, 강원도의 태백산맥 줄기에 집중되어 있다. 그림 2과 그림 3은 국내의 풍력발전기 현황을 나타낸다.

광역권 점유율



지역	기수 (기)	용량 (MW)	용량비 (%)
강원	93	160.44	37.22
제주	67	115.91	26.89
경북	69	105.36	24.45
그 외	35	49.3	11.44
총	264	431.01	100

그림 1 국내 풍력발전 현황

우리나라는 2012년 현재 전체 발전설비 용량 9000만kW 중 약 2.5%에 해당하는 2,250MW의 풍력설비 보급을 목표로 하고 있으며, 이러한 정부 보급 목표달성을 위해서는, 매년 평균 100 ~ 300MW의 신규 풍력시장이 형성되어야 하지만, 실제 최근 국내 풍력발전 보급현황을 고려하면 매년 50 ~ 70MW 규모의 신규 풍력시장이 형성되어 있으며 향후 매출 규모가 연간 약 1300 ~ 1800억원 수준이 될 것으로 예상된다. 최근 국내에서 풍력발전에 대한 관심이 고조되고 있으

며 지방자치단체, 민간기업 뿐만 아니라 외국 풍력발전단지 개발사가 주도하여 국내의 경제성 있는 풍력발전단지 발굴 및 개발에 적극적으로 참여함에 따라, 풍력발전단지 입지확보를 위해 많은 경쟁이 이루어지고 있다[2].

또한 정부와 민관합동으로 2030년까지 23GW의 설치용량과 50TWh의 발전량을 달성할 계획에 있으며 2020년까지 세계 3대 해상 풍력 강국을 목표로 2019년까지 약 10조 2천억원을 투자하여 총 2.5GW의 대규모 해상풍력발전단지를 건설할 계획이다.

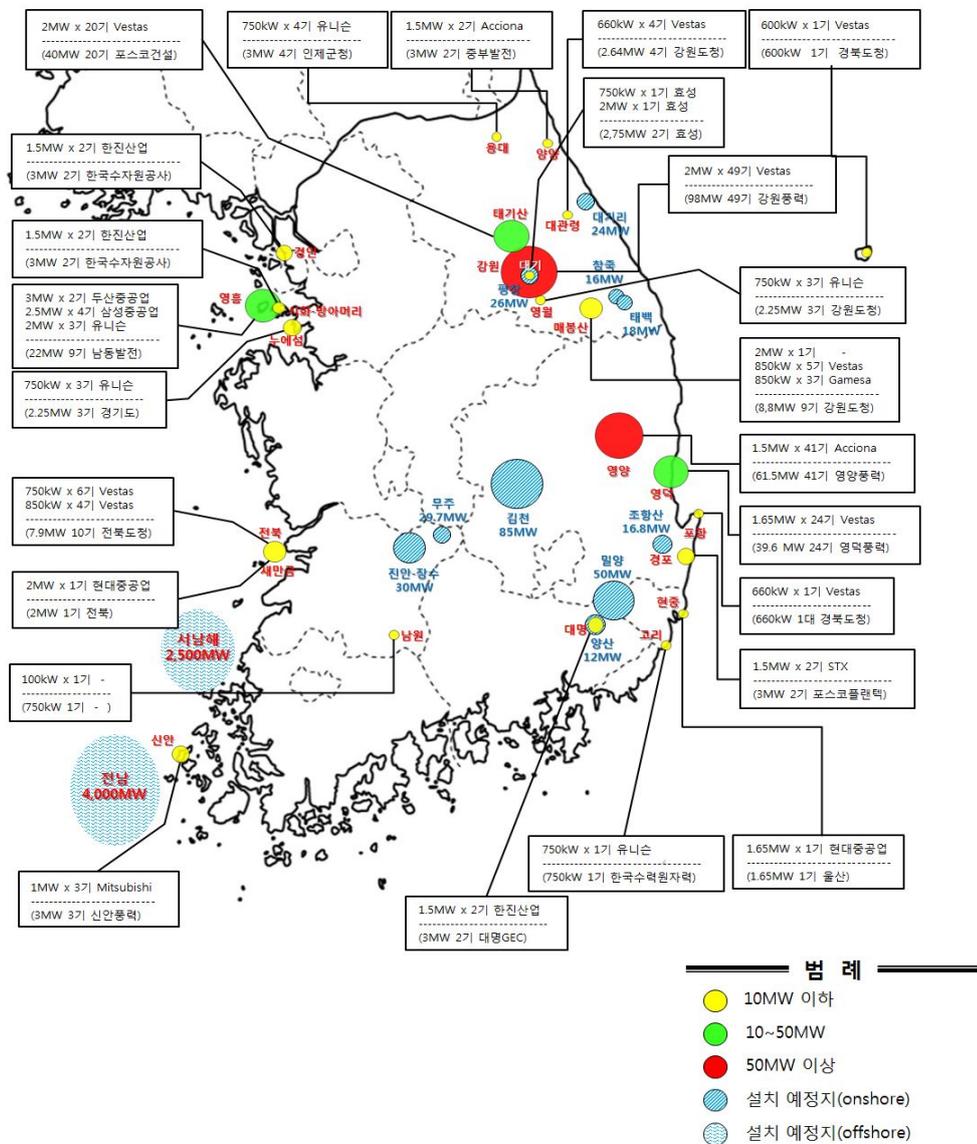


그림 2 국내 풍력발전 설치 현황(2012년도 기준)

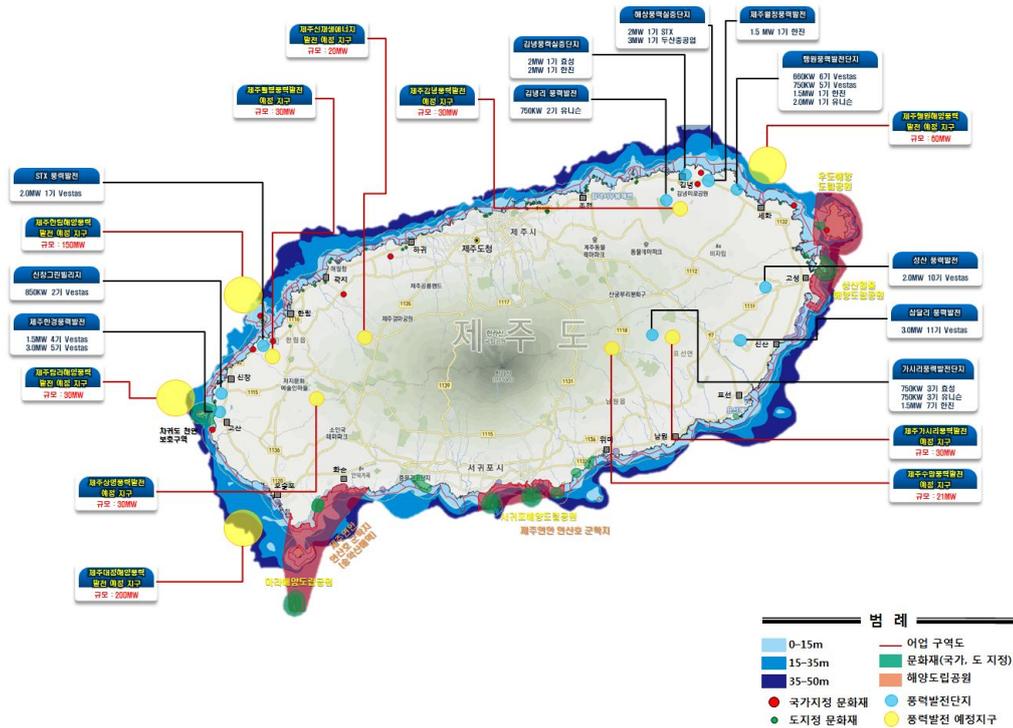


그림 3 제주지역 풍력발전 현황(2012년도 기준)

2. 제주의 풍력발전 개발 정책

현재 제주도는 풍력발전 등 신재생에너지를 통하여 2020년에는 도내 총발전량의 50%, 2030년에는 100%로 대처하기 위한 발전설비 증설을 계획 중이다. 제주도는 Carbon Free Island를 지향하고 추진 중인 풍력설비용량의 증설이 전체 제주도내 수요량을 표 1과 그림 4에 그림으로 나타내었다.

2.1 전력수요량에 따른 풍력점유율

표 1은 5차 전력수급계획('10 ~ '24기준)에 제시된 제주지역 전력소비량 및 증가율을 2년 단위로 표시한 것이다[5].

표 1 제주지역 전력소비 전망

연도	전력수요량(MWh)	증가율(%)
2012	4,205,013	4.2
2014	4,461,081	2.8
2016	4,659,510	2.0
2018	4,819,275	1.6
2020	4,930,726	0.9
2022	5,009,933	0.7
2024	5,080,318	0.7
2026	5,151,681	0.7
2028	5,224,069	0.7
2030	5,297,460	0.7

표 2 및 그림 4는 표 1에 나타내었던 향후 제주지역 전력수급 전망에 대하여 풍력이용률이 33%일 경우를 가정하여 제주지역의 전력소비량 및 풍력발전량, 풍력발전 점유율을 계산한 것이다. 표 1에서 나타난 바와 같이 향후 전력수요 전망에 대하여 2028년도에는 풍력점유율이 100%이상으로 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 제주도가 지향하는 Carbon Free Island 구축을 위하여 복잡한 제주 지형에 적합한 풍력발전단지를 건설하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 풍력발전단지 사업개발과 타당성조사 시 가장 중요한 풍황을 정확하게 예측하고 건설예정지역에 적합한 풍력발전단지를 구성하기 위하여 가시리 국산화 풍력발전단에 설치된 Metmast에서 측정된 바람데이터로 발전량을 예측하고 이를 실제 설비 발전량과 비교분석하는 것이 필요하다. 이를 통해 활발한 풍력발전단지 확대 및 사업개발에 있어 중요한 시사점을 제시하고자 한다.

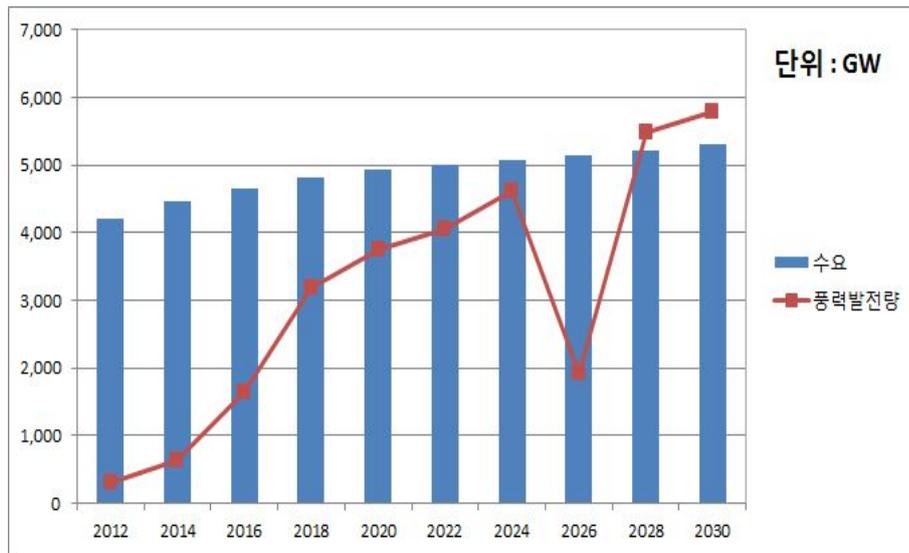


그림 4 전력수요량 및 풍력발전량(수요증가율 4%, 이용률 33%)

표 2 전력수요량 및 풍력발전량 전망(풍력이용률 33% 적용)

연도	전력수요량 (MWh)	풍력발전량 (MWh)	풍력발전점유율 (%)
2012	4,205,013	312,206	7.4
2014	4,461,081	638,866	14.32
2016	4,659,510	1,650,646	35.43
2018	4,819,275	3,179,880	68.98
2020	4,930,726	3,758,040	76.22
2022	5,009,933	4,047,120	80.78
2024	5,080,318	4,625,280	91.04
2026	5,151,681	4,914,360	95.39
2028	5,224,069	5,492,520	105.13
2030	5,297,460	5,781,600	109.14

3. 풍력발전단지 개발방식

풍력발전단지를 발굴하고 개발하기 위한 일반적인 절차는 그림 5에 도식화하여 나타내었다. 육상풍력발전단지 개발에 필요한 행정, 인허가 등을 포함하는 절차를 요약하면 그림 6과 같다.

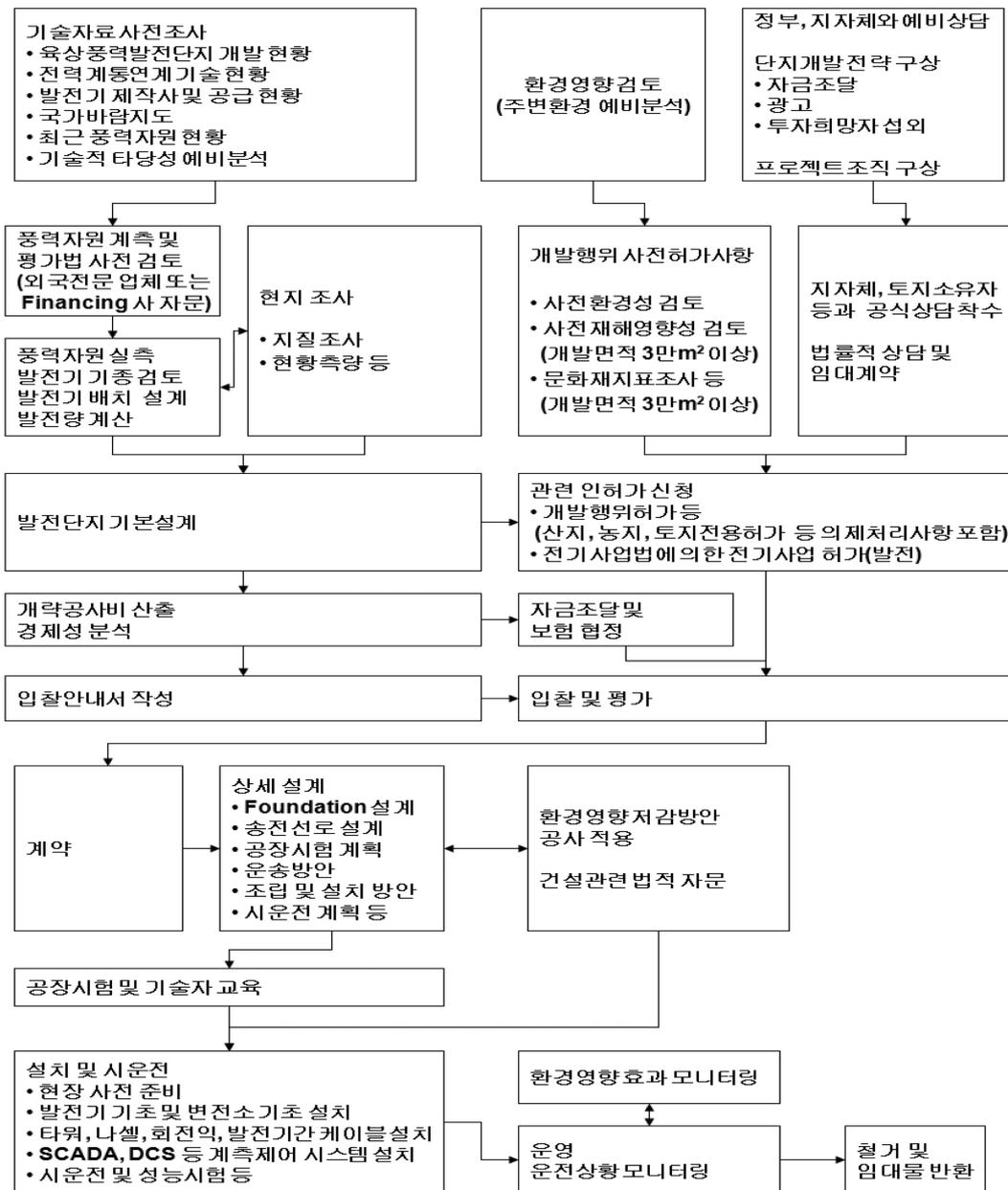


그림 5 풍력발전단지 개발 방식

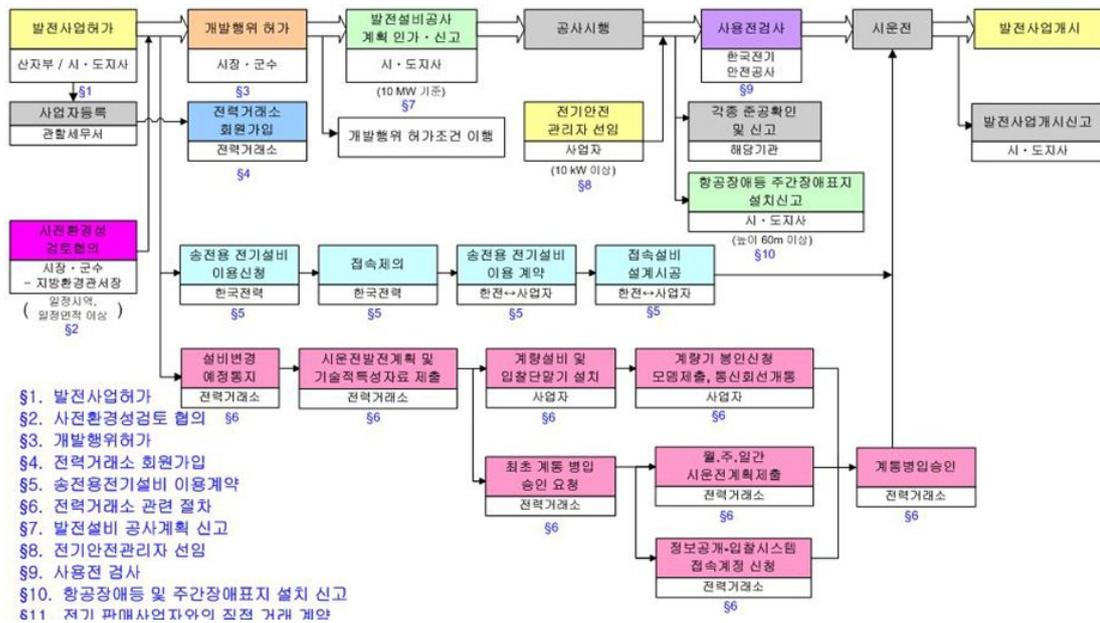


그림 6 200kW 초과 상업용 전력계통연계 인허가 절차

그림 6과 같이 풍력발전사업 추진시 주요 인·허가 절차는 전기사업(발전)허가, 송전용전기설비이용신청, 사업방안별 인·허가, 공사계획인가 등의 행정절차를 수행함을 원칙으로 하나, 대규모 풍력발전단지 개발사업은 전원개발사업, 개발행위허가, 도시계획시설사업으로 구분되고 있다. 그러나, 제주특별자치도인 경우에는 「제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법」, 「제주특별자치도 풍력발전사업 허가 및 지구지정 등에 관한 조례」, 「제주특별자치도 개발사업시행 승인 등에 관한 조례」에 의하여 풍력발전단지 지구지정 및 개발사업 시행으로 시행하게 된다.

- 1) 풍력자원 현황 및 정보수집 등을 이용한 예상 후보지 선정
- 2) 현지답사 및 기술적 타당성 예비분석
- 3) 지방자치단체와의 예비상담 및 양해각서 체결
- 4) 풍력자원조사 및 현지 정밀조사
- 5) 토지소유자 조사
- 6) 후보지 지역주민의 사업설명회
- 7) 사전환경성 조사 및 평가

- 8) 군사시설 보호구역이 포함될 경우 군작전성 검토
- 9) 사업타당성 예비조사 결과보고 및 발표
- 10) 전력수급계획신청
- 11) 개발행위허가 신청
- 12) 전기사업허가신청(발전)
- 13) 기타 인허가 신청
- 14) 기기 공급사 및 건설사 선정
- 15) 발전단지 상세 설계
- 16) 발전기 설치 및 시운전

위 행정절차에 따른 예상 소요기간은 사업타당성 예비조사에 약 9개월 정도가 소요될 것으로 예상된다. 군작전성 검토에는 약 3개월 정도가 소요될 것으로 예상되지만, 군작전상의 검토내용(레이다 기지, 비행장 등)에 따라 길게는 12개월 정도까지 소요될 수 있다. 그리고 군작전성의 검토는 지방자치단체장의 공식문서로 관할 해당부대에 신청하여야 한다. 사전환경성 검토서 작성에는 약 2개월 정도 소요되며, 사전환경성 검토서를 첨부하여 지방자치단체에 신청하고 신청서를 받은 지방 환경청에 평가를 의뢰하여야 한다. 소요되는 예상기간은 약 1~2개월 정도이다. 전기사업허가신청(발전) 후 허가시까지 소요되는 예상기간은 약 2개월 정도이며, 산지관리법에 의한 산지전용허가는 산림과에 신청하여야 한다. 소요 예상기간은 약 1~3개월 정도가 예상된다. 주요 내용은 표 3과 같다.

표 3 행정절차에 따른 예상 소요기간

항 목	소요기간 (개월)	비 고
사업타당성 예비조사	9	- 개발 경험이 있는 전문기관의 용역 수행으로 신뢰성 확보
군작성 검토	1~2	- 레이더 기지, 비행장의 경우 12개월 정도 소요가능 - 지방자치단체장의 공식문서로 관할 해당부대에 신청
사전환경성 검토서 작성 및 검토	4	- 보통 현지 전문용역업체에 의뢰 - 사전환경성 검토서를 첨부하여 지방자치단체에 신청
발전사업허가	2	- 발전사업허가 담당부서 : 산업자원부 총괄정책과
산지관리법	1~3	- 해당 지역 산림과에 신청(사유지)

3.1 개발방식에서의 주요검토 및 수행 항목

풍력발전단지 개발과정에서 검토 및 수행하여야 되는 주요항목은 아래와 같다.

1) 풍력자원 정보 수집

- ① 기 수행된 인근 풍속계측조사 보고서 수집
- ② 기상대, 군사기지, 공항, 농업기반공사, 농촌진흥청 등에서 측정한 풍속계
측자료 수집
- ③ 지식경제부 국가바람지도(한국에너지기술연구원, www.kier-wind.org)

2) 단지개발사업 관련 자료 수집

- ① 국내 발전단지 개발 관련 자료
- ② 해외 발전단지 개발 관련 자료
- ③ 풍력발전단지사업 관련 법안 및 표준 관련 자료
- ④ 풍력발전기 제작사 및 공급 현황
- ⑤ 전력계통연계 기술 현황

3) 기술적 타당성 예비분석

- ① 수집된 풍력자원 정보 분석
- ② 주변 전력 계통연계점
- ③ 인근지역 도로망 및 설치부지 현황
- ④ 토지 소유주 현황

4) 주변환경 예비 분석

- ① 거주지로부터의 이격거리
- ② 자연보호지역 현황
- ③ 고고학적 역사 유물 현황
- ④ 통신·전파 현황
- ⑤ 타기관에 의해 진행중인 주변 개발대상 현황
- ⑥ 항공선박 시설물, 군사시설물 등 제한구역 현황

5) 풍력자원 계측

- ① 사업대상지역내 최소 1기 이상의 계측타워를 설치하여, 최소 1년 이상 계측
- ② 허브 높이의 2/3 이상 높이에서 계측
- ③ 풍속계 교정은 MEASNET(International Measuring Network of Wind Energy Institutes) 절차서를 따름(권장사항)
- ④ 계측방법은 IEA 및 IEC61400-12-1에서 기술된 내용을 준수(권장사항)
- ⑤ 데이터 손실 없이 연속적인 데이터 획득
- ⑥ 계측 데이터의 불확실성 분석 및 평가
- ⑦ 10년 이상 장기간 계측된 풍속자료를 이용한 장기 풍자원 예측 또는 보정

6) 환경영향조사

- ① 주변거주지 소음도 예측
- ② 경관 시뮬레이션
- ③ 그림자효과
- ④ 주변 보호 동식물 조사

⑤ 조류비행경로 영향과악

7) 관련법규 저촉여부 사전조사

- ① 국토의 이용 및 계획에 관한 법, 초지법, 농지법, 산지관리법, 하천법, 건축법, 매장묘지에 관한 법
- ② 문화재보호법 : 문화재청
- ③ 환경정책기본법 : 환경부
- ④ 전기사업법 : 사업자원부
- ⑤ 산지관리법 : 산림부
- ⑥ 군사시설보호법, 군용항로기지법 : 관할부대

8) 발전단지 설계 및 기종선정

- ① 지형, 표면거칠기, 장애물을 고려한 지형도 구축
- ② WindPRO(EMD사)와 같은 풍력발전단지 설계 전문프로그램을 이용한 지형정보 및 풍속정보 입력
- ③ WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program)과 같은 전산유동 해석 프로그램을 이용한 풍속자원 분포도 계산
- ④ 풍력발전기 Type Class 선정
- ⑤ 공급 가능한 풍력발전기 조사
- ⑥ 발전기 배치 최적화 설계 수행
- ⑦ 연간에너지생산량 계산
- ⑧ 연간에너지생산량의 불확실성 검토(풍속데이터, 에너지생산량 예측방법, 발전기 성능곡선의 불확실성 등)

9) 경제성 분석

- ① 풍력발전기 사양, 공급가격 및 납기 조사
- ② 부지구입비 또는 임대료 산출
- ③ 공사비 및 공사 기간중 이자를 포함하는 공사기간 동안 투입되는 비용 예측

- ④ 자기자본 및 타인자본 비율 결정
- ⑤ 금융조건 분석(Interest rate, Repayment period 등)
- ⑥ 연간 투입비용 분석
- ⑦ 전력판매 수익분석
- ⑧ 경제성 분석 수행(IRR, NPV, 투자비 회수기간 등)

4. 풍력자원조사

발전단지의 연간 에너지생산량 예측은 대상지에서 계측된 풍속데이터를 이용한다. 풍력은 풍속의 3승에 비례하므로, 정확한 풍속데이터 계측은 정확한 연간 에너지생산량 예측에 필수적이다.

단지개발을 위해서는 풍속계측 등을 통한 에너지생산량 예측 및 경제성 평가를 수행하고 투자자들을 유치하여야 하는데, 발전단지 투자자들의 투자결정을 위해 발전단지 경제성을 평가하는데 있어서 결정적인 영향을 주는 풍속계측 결과의 신뢰도를 확보해야 한다. 신뢰성 있는 풍속계측이 수행되지 않았을 경우, 풍속데이터 검증에 대해 재측정을 요구하는 경우가 발생할 수 있다.

따라서, 풍속계측의 신뢰도 확보를 위해서는 MEASNET에서 제시하는 절차로 풍속계를 교정하고, IEA에서 제시하는 풍속계 선정 및 풍속계측 방법 또는 IEC61400-12-1에서 제시하는 풍속계측 방법에서 기술된 내용을 최대한 준수하는 것이 바람직하다.

4절에서는 MEASNET에 대해 간략히 소개하고, IEA와 IEC61400-12-1에서 제시하는 풍속계측 방법, 풍력자원 계측 및 분석을 수행하면서 얻은 경험, 그리고 발전단지 개발사들의 자문 등을 통하여 획득한 풍향계측 방법을 소개하고자 한다.

4.1 MEASNET 기준에 의한 풍속계 교정

MEASNET은 높은 품질의 측정, 기준 및 권고사항에 대한 일관된 해석 및 공통적으로 통용될 수 있는 계측결과를 보장하고자 하는 풍력에너지 분야에 종사하는 기관들로 이루어진 협력기구이다. MEASNET에서는 계측 절차서 작성과 참여기관들의 계측 신뢰성 등에 대한 주기적 검증 등을 수행하며, MEASNET에

서 인정된 참여기관들이 절차서에 따라 계측을 수행한다. 현재 MEASNET에서 인증하고 있는 계측 종류는 풍속계 교정, 성능곡선 측정, 소음 측정 및 전력 품질 측정이다.

풍속계 보정에 있어서 MEASNET은 일관성 및 정확성을 보증하기 위한 절차의 기준안을 제시함으로써 풍력단지 개발자 또는 투자자들의 풍속계측의 검증 요구 및 연간에너지 생산량의 예측 정확성 확보에 부응하고 있다. 풍속계 교정분야에서 MEASNET 인증기관들은 CRES(Greece), Deutsche Wind Guard Wind Tunnel Services GmbH(Germany), DEWI GmbH(Germany), WIND-consult GmbH(Germany), IDR/UPM(Spain), Svend Ole Hansen ApS Wind Engineering(Denmark), Ingenieurburo Dr.-Ing. Dieter Frey(Germany)가 있다.

MAESNET에서 요구하는 풍속계의 보정을 위한 풍동은 밀폐형 풍동 시험부의 경우, 난류강도 2% 이내, Blockage Ratio 0.05 이내, 유동 균일도 0.2% 이내, 풍속계 위치에서의 측방향 난류강도 2% 이내를 만족시키는 것이 요구되고 있다.

4.2 풍황 계측방법

대부분의 풍력발전단지 개발자들이 이용하는 풍황자원 조사방법은 컵풍속계와 풍향계를 장착한 계측타워를 이용하여 필요한 높이에서의 풍속을 연속적으로 측정하는 방법이다. 계측타워를 이용하여 풍속을 측정하는 방법에 대한 내용은 다음과 같다.

4.2.1 풍황 계측타워

풍력발전단지 예정지의 에너지생산량 예측을 위해서는 풍력발전기 허브높이에서 풍속을 측정하는 것이 가장 바람직하다. 그러나, 설치여건 및 비용 등의 제약으로 실제로는 허브높이 이하에서 계측한다. 보통 발전기 허브 높이의 2/3 이상의 풍황계측타워를 설치하여 풍속실측을 수행한다. 그림 7은 70m 높이의 계측타워의 도면과 실제 설치된 모양을 보여준다. 자세한 계측타워의 형상은 IEA 풍속계측방법과 IEC61400-12-1에 기술된 내용을 따른다.

예정지가 평탄한 지형인 경우에는 2km 마다 1개의 계측타워를 설치하고, 산지와 같이 복잡한 지형에서는 0.5 ~ 1km 마다 한 개의 계측타워를 설치하는 것을

권장한다.

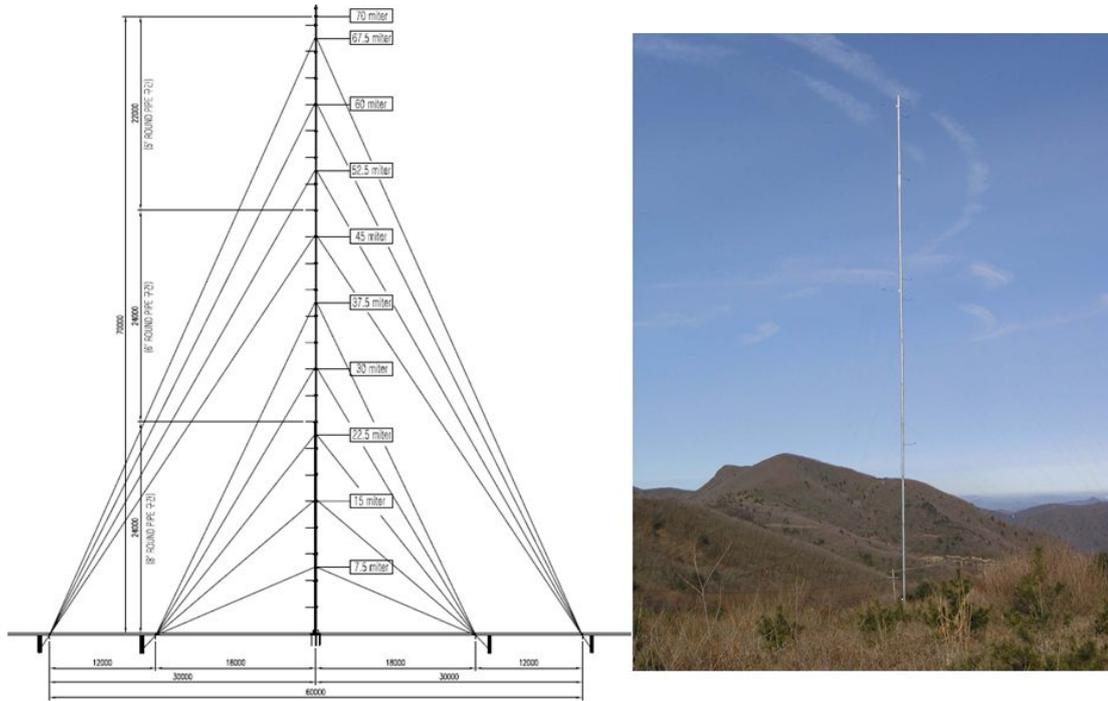


그림 7 풍향 계측타워

4.2.2 계측기간

계측타워를 이용한 풍향 실측은 계측기간이 길수록 풍력자원 예측의 정확도가 증가한다. 계측기간은 최소한 한국의 전형적인 4계절 기후를 포함하는 1년 이상이 되어야 한다. 그리고, 풍력발전단지 개발기간을 단축시키기 위하여 보통 1년 정도의 풍속측정 데이터를 이용하므로, 장기간의 풍속을 예측하기 위해서는 인근 기상관측소 등으로부터 과거 10년 이상의 풍속데이터를 확보하고, Measure-Correlate-Predict(MCP) 방법 등을 이용하여 계측타워 설치지점의 장기간 풍속을 예측해야 한다.

장기 풍속예측은 계측타워의 계측풍속과 상관관계가 큰 장기간의 풍속 데이터 확보 및 신뢰성 있는 예측방법 사용이 매우 중요하다. 우리나라에는 전국에 약 400여개의 기상관측소가 설치되어 있으나, 대부분 건물주변에 설치되어 건물에 영향을 받아 왜곡된 데이터들이 대부분이다. 기상관측소 데이터와 계측타워에서 측정된 데이터와의 상관관계가 높지 않을 경우에는, NCEP/NCAR 재해석 기상자

료를 장기간의 풍속 데이터로 이용하여 장기풍속예측을 수행하기도 한다.

4.2.3 풍속·풍향 계측기

계측타워에 고정되어 풍력자원을 1년 이상 연속적으로 측정하는 컵 풍속계는 주위 환경에 견딜 수 있도록 견고해야 한다. 정확도 향상을 위해서는 설치 전에 IEC61400-12-1 또는 MEASNET 기준 안에 따라 교정을 받고 이후 약 1년마다 재교정을 수행하여야 한다. 컵풍속계 교정은 MEASNET 인증기관에서 수행하는 것을 권장하나, 다른 기관에서 교정을 할 경우에는 국가 기준안 또는 MEASNET 기준안에 적합한 풍동을 이용하여야 한다. 풍력자원 계측의 신뢰도는 풍력발전단지 투자검토 단계에서 매우 중요한 검토사항이므로 높은 정밀도의 컵풍속계를 사용하는 것이 좋다. 그림 8은 독일 Thies Clima사의 정밀 풍속계측기인 Thies First Class 컵풍속계의 형상이다. 이 컵풍속계는 높은 정밀도로 인하여 덴마크 RISOE의 P2546A 컵풍속계와 함께 풍력발전기 성능시험에 널리 사용된다[2].



그림 8 정밀 컵풍속계

5. 단지배치 시뮬레이션

5.1 WindPRO S/W

풍황예측과 풍력단지설계를 목적으로 사용되고 있는 프로그램으로는 덴마크 RisØ 연구소의 WAsP과 EMD사의 WindPRO, 영국 Garrad Hassan사의 GH WindFarmer등이 있다. 우리나라에서는 예전부터 WAsP을 이용한 풍황 및 발전량 예측을 몇몇 기관에서 수행해 왔고, 현재는 WAsP과 연계하여 WindPRO를 운용하는 기관이 있다.

WindPRO는 실측된 바람데이터를 통계화 하는 STATGEN 모듈이 있으며, METEO, ATLAS, WAsP-Interface의 3가지 풍황 계산 모듈을 기반으로 사용자가 원하는 포인트 및 풍력발전단지의 풍황예측 및 발전량 예측을 실시한다.

본 논문에서 사용한 모듈은 측정된 풍황데이터를 통계화 하는 STATGEN 모듈과 풍황 계산을 위한 WAsP-Interface모듈과 풍력발전기의 발전량을 예측하는 PARK모듈을 사용하였다. 그림 9는 WindPRO의 작업환경을 보여주고 있다 [6].

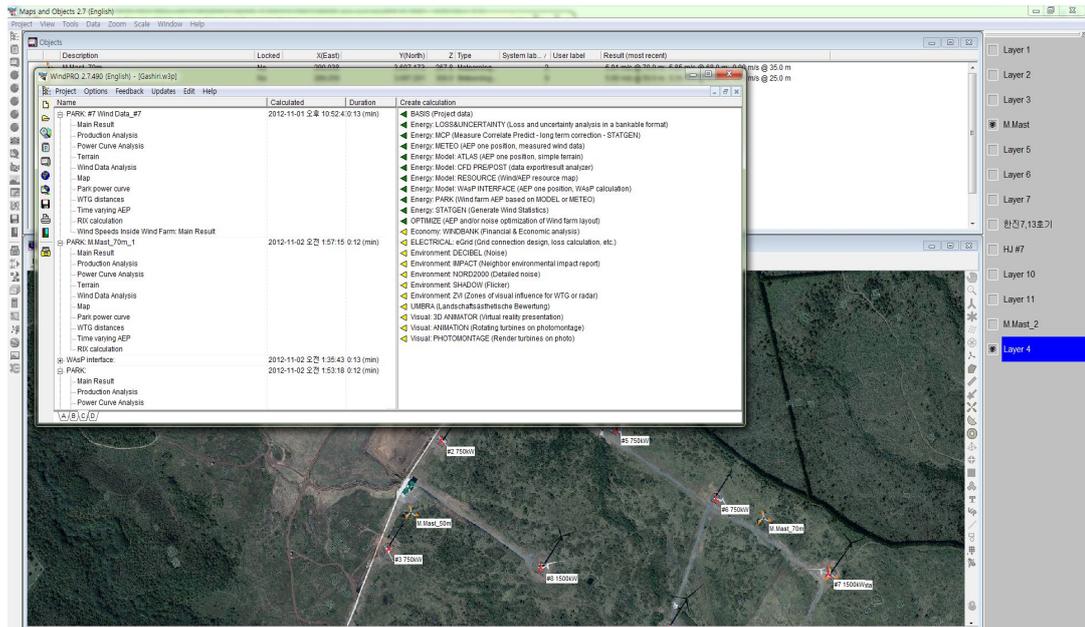


그림 9 WindPRO의 작업환경

WindPRO 내에는 ATLAS(Energy, one position, simple terrain), BASIS (Project data), MCP(Energy, one position, measured wind data), OPTIMIZE(Energy optimization of Wind farm), PARK(Energy, Wind Farm(ATLAS, WAsP, METEO or RESOURCE)),

RESOURCE(Energy, Resource map), STATGEN(Generate Wind Statistics), WAsP interface (Energy, one position, WAsP calculation) 라는 각각의 계산모듈을 이용하여 데이터를 분석하고, 통합하여 원하는 시뮬레이션을 수행하게 된다. WindPRO를 통해 각 지점의 기상측정마스트에서 측정된 데이터와 유동에 영향을 주는 지역적 특성을 분석하여 풍력에너지 자원량을 예측할 수 있고, 또한 최적화 배치를 통해 지역의 원하는 위치에 임의의 풍력발전기나 풍력 발전단지를 가상으로 조성하여 예상 AEP(Annual Energy Production)를 산출해 낼 수 있다.

5.1.2 WindPRO Siting 과정

특정 지점에서 측정된 풍력 자원량을 통해 넓은 지역에 대한 평균에너지의 자원량을 추정하고 발전기 기종에 대한 연간 에너지량을 예측하는 것을 마이크로 사이팅(Micro Siting)이라 한다.

① Georeference new map을 통해 background maps적용



그림 10 WindPRO용 제주지형도

이 단계에서는 포털사이트 다음(www.daum.net) 항공사진과 풍력발전기 위치를 background map으로 활용하여 분석하였다.

② Height Contours map적용

그림 11은 국립지리원에서 얻은 수치지도를 등고선만 따로 추출하여 추후 시뮬레이션을 통해 단지를 설계할 때 지형을 고려하기 위해 꼭 필요한 작업이다.

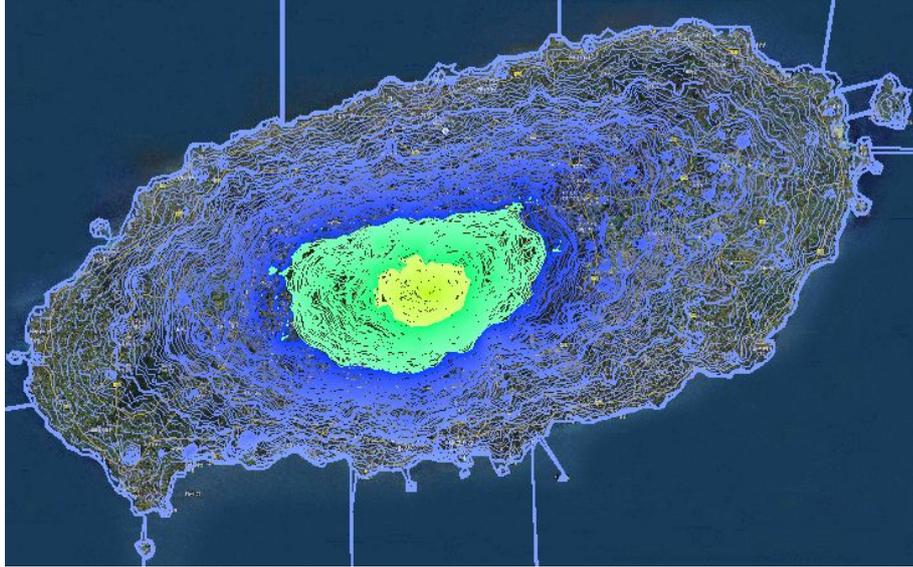


그림 11 국립지리원의 수치지도

③ 지형적 특성을 고려해 그 지형에 지면 거칠기를 입력



그림 12 거칠기입력지도

④ 기상측정마스트 측정한 풍력자원 데이터를 분석

계측된 시간별 wind data를 분석하여 통계를 낸다. 분석된 결과는 Weibull 분

포함수 그래프와 scale parameter, shape parameter, wind rose 등을 구한다. 이 결과를 바탕으로 wind map과 에너지 밀도 지도를 그리게 된다.

⑤ 실제 풍력단지조성 지역의 풍황 자료분석

실제 풍력단지 조성지역에서 WASP-interface 모듈 등 site data 모듈을 이용하여 풍력단지 설계를 위한 계산을 수행한다.

⑥ WASP과 연동하여 단지 지역에 에너지 밀도 map을 작성

STATGEN(Generate Wind Statistics)을 계산하여 Resource map을 그리게 된다. Resource map을 통해 단지 조성지역에 예상 풍력발전량을 예측하게 된다.

⑦ 풍력발전기를 설치할 지역에 풍력 발전단지 설계

각 풍력발전시스템 제조사에서 제공 되어진 풍력발전시스템을 이용하여 풍력 단지를 설계한다.

⑧ 풍력발전단지 평가

설계된 풍력발전시스템 출력 성능 곡선 값과 앞 모듈에서 계산된 값을 이용해 풍력단지 발전량을 예측 한다.

6. 가시리 국산화 풍력발전단지 개요

가시리 풍력발전단지는 제주특별자치도 서귀포시 표선면 가시리 산68번지의 가시리 공동목장 약 7,420,000m² 부지에 조성된 국내 최초 국산화 풍력발전단지로서 2009년 제주특별자치도청에서 국내 최초 부지선정 공모를 통해 국비와 제주특별자치도의 지방비를 가지고 사업을 착수하였다. 가시리 풍력발전단지의 기상환경[7]은 표 4와 같고, 국내 풍력발전기 제조사인 A사 1.5MW 7기, B사 750kW 3기, C사 750kW 3기로 총 15MW로 구성되어 2012년 3월부터 상업운전 중이다. 그림 14는 가시리 국산화 풍력발전단지의 풍력발전기 배치 및 계측기 위치를 보여주고 있다.



그림 13 가시리 풍력발전단지 전경

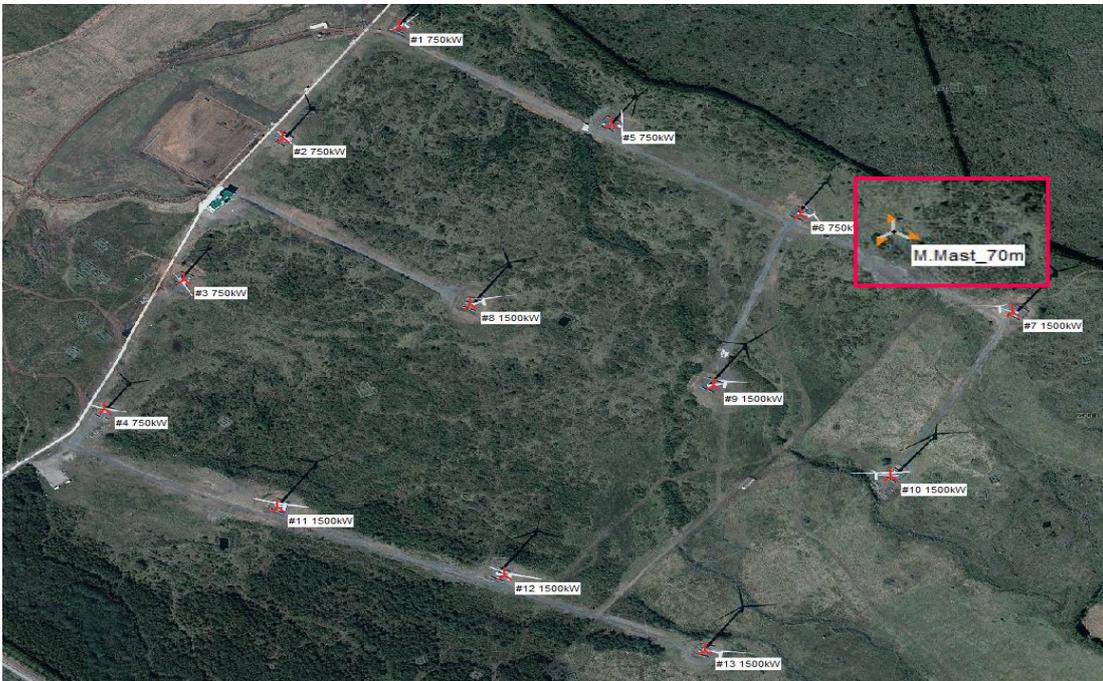


그림 14 국산화 풍력단지의 발전기 배치 및 풍향 계측기 위치

표 4 가시리풍력발전단지 기상환경

기상현황(10년간 기상현황)			
연평균 기온(°C)	15.7	연평균 풍속(높이 10m, m/s)	3.1
연평균 강수량(mm)	1,892.5	연평균 상대습도(%)	74
연평균 일조시간(hrs)	1,964.6	연평균 맑음(일)	48
연평균 흐림(일)	156	연평균 안개(일)	14
연평균 강수(일)	118	연평균 눈(일)	12
연평균 뇌전(일)	13		

본 논문에서 이용된 모델 풍력발전기는 A사의 1.5MW 발전기로 세부 정격사항은 표 6와 같다. 출력이 발생되기 시작하는 시동풍속(Cut-in speed)은 4.0m/s 이고 주기기 보호를 위한 정지풍속(Cut-out speed)는 25m/s 이며 정격출력인 1.5MW가 발전되는 풍속은 13.5m/s부터 정지풍속인 25m/s까지이다. 풍력발전기의 허브높이와 로터의 회전지름은 각각 70m와 77m이고 피치제어방식을 통해 출력을 제어한다. 풍력발전기의 표준형식은 IEC 61400-1 Wind turbine generator system - Part 1 : Safety requirements의 WTGS Class II-A 등급이며 등급 기준은 표 5와 같다[8].

표 5 WTGS Class의 기준 파라메타

WTGS class		I	II	III	IV	S
V_{ref}	m/s	50	42.5	37.5	30	설계자가 규정하는 수치
V_{ave}	m/s	10	8	7.5	6	
A	I_{15} (-)	0.18	0.18	0.18	0.18	
	a (-)	2	2	2	2	
B	I_{15} (-)	0.16	0.16	0.16	0.16	
	a (-)	3	3	3	3	

표 6 A사(1.5MW) 풍력발전시스템의 상세 사양

일반 사항	시동풍속(m/s)	4.0
	정격풍속(m/s)	13.5
	종단풍속(m/s)	25
	설계 수명(year)	20
	표준형식	IEC class II-A
	높이(블레이드 팁까지)(m)	107.5
로터	로터 직경(m)	77
	회전 면적(m ²)	3848
	블레이드 수	3
	로터 속도 범위(rpm)	16.5 - 17.2
	정격 속도(rpm)	17.2
블레이드	재료	LM/Equivalent
	총 블레이드 길이(m)	37.5
타워	타입	Tubular steel tower
	허브높이(m)	70
	섹션 수	3
발전기	정격 출력(kW)	1500
	형식	Squirrel cage rotor Three phase generator
	정격전압(V)	690
	정격전류(A)	1400
드라이브 트레인	형식	gear box
요잉 시스템	드라이브	electrical motor
	드라이브 수	4
	베어링	Flection slide bearing
	브레이크	Motor brake
발전기 타입		Geared Type
인증	형식 인증서	2007. 9. 27
	설계 인증서	2007. 9. 25

6.1 가시리 국산화 풍력발전단지 풍황분포

가시리 풍력발전단지 내의 풍황 계측기는 CAMPBELL SCIENTIFIC사의 Datalogger 계측장비를 사용하였으며, 계측 위치는 동 단지의 동북동 6호기와 7호기 사이에 위치하여 계측 높이는 1.5MW 풍력발전기 허브 높이와 동일한 70m 높이의 풍황 계측기를 사용하였다.

측정기간은 2012년 4월 1일부터 9월 30일 까지 6개월간 매 10분 측정 데이터이며, 실측 풍황데이터는 다음과 같다. 표 7은 국산화 풍력단지 내의 70m 높이에 측정된 풍황자료의 정보를 나타내고 있다. 6개월간 측정된 풍황 데이터의 평균 풍속은 5.97m/s, 주풍향은 동북동풍을 보이고 있으며, 풍력발전기의 발전 에너지 지표를 나타내는 풍력 에너지 밀도는 320W/m²를 나타내고 있어 제주 연평균 에너지 밀도 253.7W/m²보다 높은 에너지 밀도를 보이고 있다[7].

표 7 국산화 풍력단지 70m높이의 실측 풍속데이터

구 분	측정높이 (m)	평균풍속 (m/s)	풍력밀도 (W/m ²)	주 풍향 (평균풍속/빈도)
가시리	70m	5.97	320	ENE(12.1%)

7. 발전량 산정 이론

이론적으로 전력생산량은 단위 면적당 풍력자원량 즉, 평균축출력(API)에 관계하며 다음 식과 같이 정의하였다.

$$API = WTD \cdot A / A_{WT} \quad (1)$$

여기서,

API : 평균축출력(Average Power Intercepted, MW/km²)

WPD : 풍력밀도(Wind Power Density, MW/m^2)

$A = \pi D^2/4$: 풍력발전기 회전자 면적 (m^2)

D : 회전자 직경(m)

A_{WT} : 풍력발전기 단위차지면적(Unit area occupied by a wind turbine, km^2)

API가 산정되면 다음의 식으로부터 연간에너지생산량 (AEP; Annual Energy Production, TWh/yr)을 구할 수 있다.

$$AEP = API \cdot FLH \cdot CF \cdot \eta_a \cdot \eta_w \quad (2)$$

여기서,

FLH (Full Load Hour) : 8,760hr(년 중 총 시간수 : 24시간/일×365일)

CF : 설비이용률(Capacity Factor, %)

η_a : 설비가동률(Availability)

η_w : 배열효율(Array efficiency)

설비이용률은 풍력발전기의 성능곡선과 바람지도의 풍속빈도로부터 다음과 같이 계산된다.

$$CF = \frac{1}{WTC} \int_{V_{in}}^{V_{out}} f(V) \cdot P(V) dV \quad (3)$$

여기서, WTC (Wind Turbine Capacity)는 풍력발전기 정격출력이며, V_{in} 와 V_{out} 은 각각 시동풍속과 중단풍속이다[9].

여기서,

$f(V)$: 풍속 V 의 출현률(Wind Speed Frequency)

$P(V)$: 풍속 V 에서의 발생전력(Power curve)

Ⅲ 시뮬레이션 및 고찰

1. 각 호기별 실측 발전량 데이터 비교

가시리 국산화 풍력발전단지에 내의 70m의 풍향 데이터를 바탕으로 WindPRO 프로그램을 사용하여 풍력발전단지내의 A사 풍력발전기 7기에 대한 6개월 기간(2012년 4월 ~ 9월)의 발전량 분석 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 시 각 풍력발전기의 개별 발전량을 계산하기 위하여 발전기별(호기별, 위치별)의 시뮬레이션을 반복 수행하였으며, 풍력단지 내의 타 풍력발전기 영향에 의한 후류 손실은 적용 하지 않고 시뮬레이션을 실시하였다.

본 논문에서는 분석 시 발전기 가동율 및 발전기 배치효율은 손실율을 적용하였을때와 미적용 하였을 때를 비교하여 시뮬레이션 하였다.

그림 15에서부터 그림 21까지는 WindPRO에서 분석한 발전기별 발전량과 풍력발전기에서 발전된 발전량의 분포를 나타내고 있다.

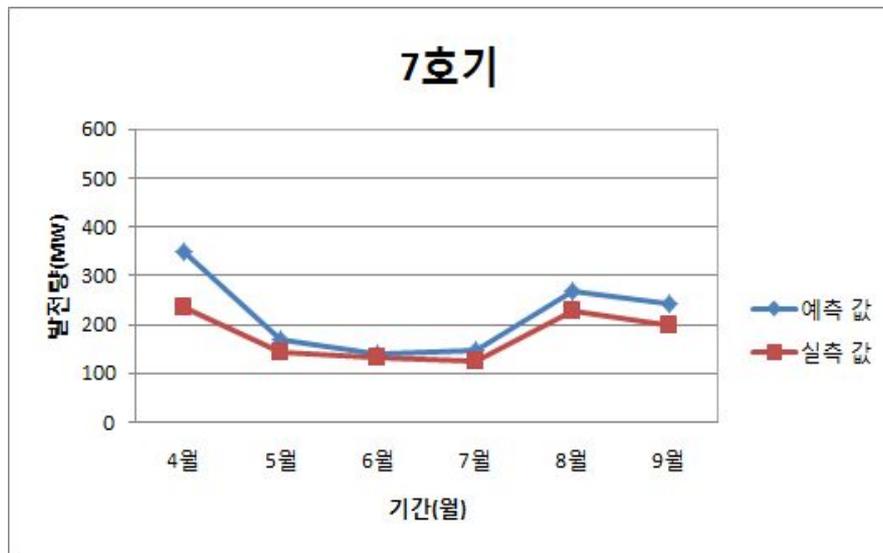


그림 15 7호기 예측 발전량 및 실측 발전량

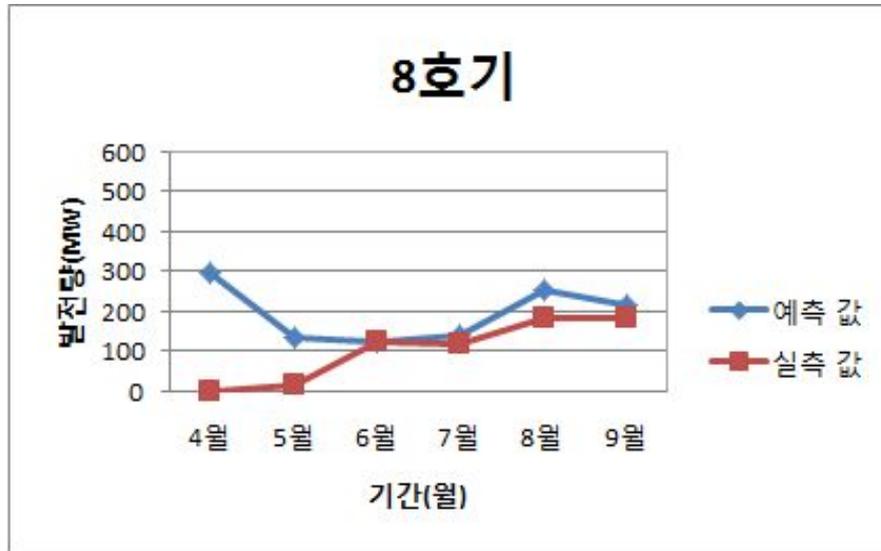


그림 16 8호기 예측 발전량 및 실측 발전량

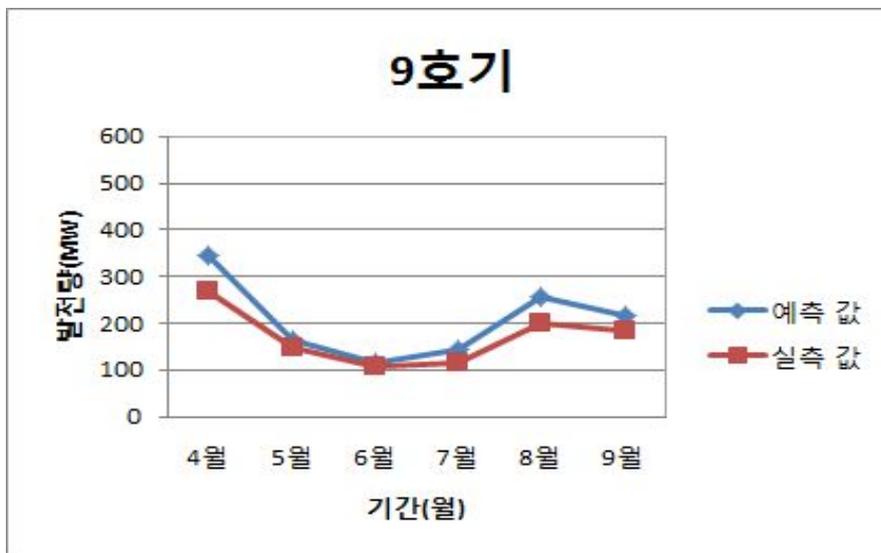


그림 17 9호기 예측 발전량 및 실측 발전량

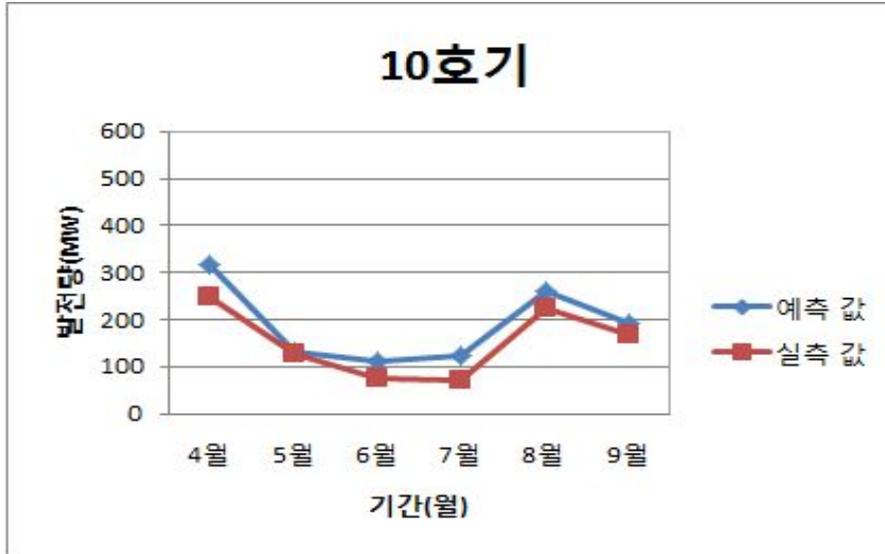


그림 18 10호기 예측 발전량 및 실측 발전량

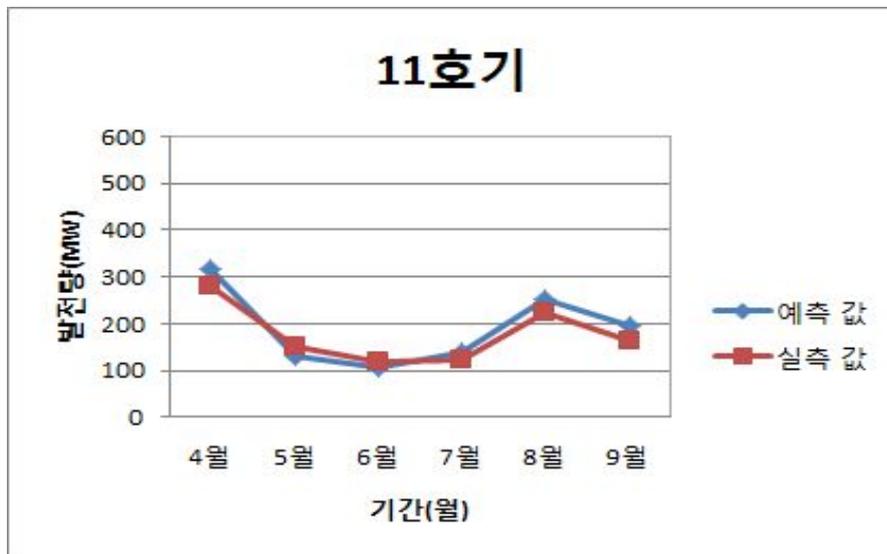


그림 19 11호기 예측 발전량 및 실측 발전량

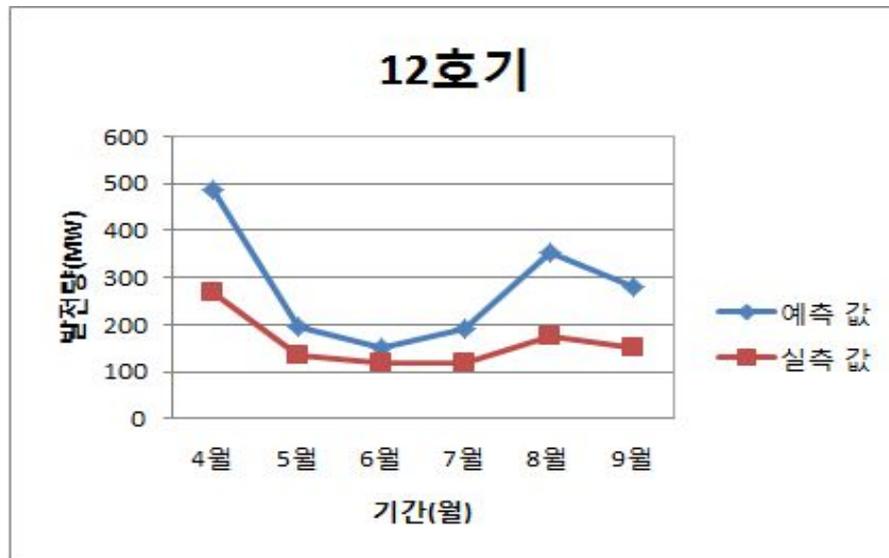


그림 20 12호기 예측 발전량 및 실측 발전량

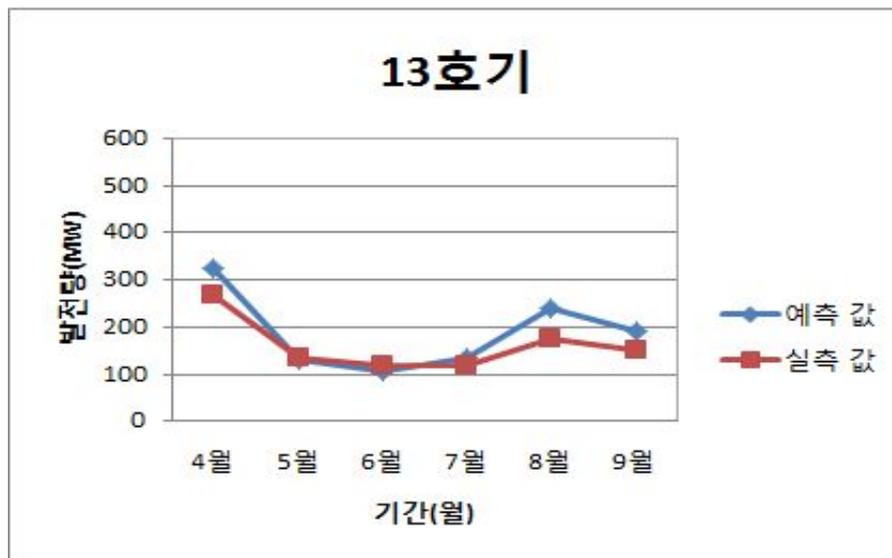


그림 21 13호기 예측 발전량 및 실측 발전량

그림 15 ~ 21에서 도형 ◆는 예측 발전량, 도형 ■는 실측 발전량을 나타내고 있다. 그림 16의 8호기 발전량 중 4, 5월 실측 발전량이 0에 가까운 값을 보이고 있으며 이 기간 동안 발전기 수리를 위하여 풍력발전기를 정지 하고 있었으며

이에 따라 예측 값과 큰 차이를 보임을 볼 수 있었다.

그림 20의 12호기의 예측 발전량과 실측 발전량이 큰 차이를 보였으며, 타 발전기가 미치는 후류손실이 클 것으로 예상이 되며, 인근 데이터와의 측정-상관관계-예측(MCP, Measure-Correlate-Predict)을 통한 자세한 예측 분석이 필요함을 알 수 있었다[10].

2. 풍력발전단지 내 7기 실측 발전량 데이터와 비교

그림 22는 국산화 풍력발전단지 내의 1.5MW의 풍력발전기 7기에 대한 월간 예측 발전량과 실측 발전량을 비교 하였다. 4월 발전량의 경우, 8호기의 가동 정지에 따른 발전량 차이가 큰 것을 확인 할 수 있었으며, 6월의 예측 발전량을 실제 발전량과 근접함을 확인할 수 있었다.

표 8은 국산화 풍력단지내의 7기에 대한 예측 발전량과 실측 발전량, 상대 오차를 비교하였다.

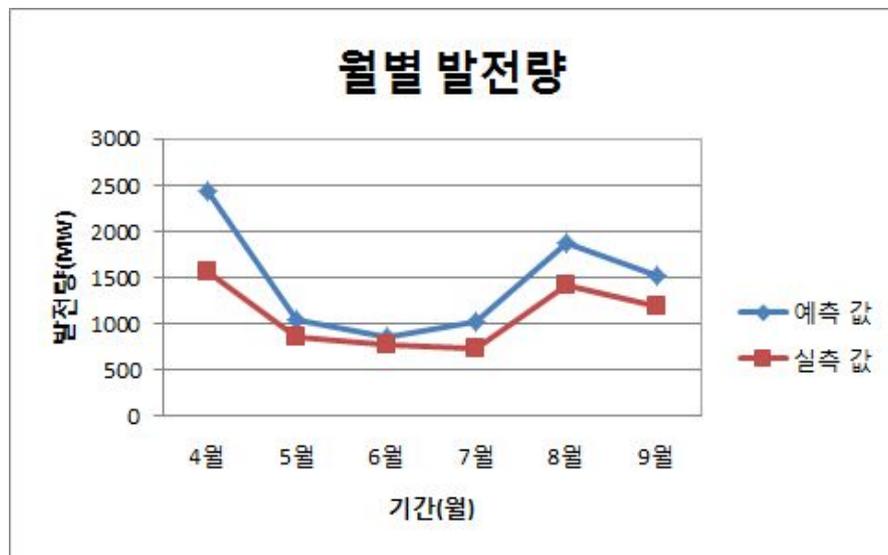


그림 22 풍력발전기 7기에 대한 월간 예측 발전량 및 실측 발전량

표8 풍력발전기 7기의 예측 발전량과 실측 발전량

구 분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	총발전량
예측값 (MWh)	2,434	1,052	858	1,013	1,882	1,528	8,769
실측값 (MWh)	1,566	848	779	729	1,419	1,188	6,529
상대오차 (%)	35.6	19.4	9.2	28.1	24.6	22.2	25.5

8호기가 정지되어 4, 5월의 발전량을 제외하고, 6~9월까지 4개월의 오차는 약 20%의 분포를 보이고 있으며, 발전량 예측 시 풍력발전단지 내 후류손실을 약 10%, 배치효율 95%, 가동율을 95%로 가정 한다면 6개월의 오차는 약 8.8%이며, 6~9월까지의 총 발전량 오차는 약 6.4%로 실제 발전량과 매우 근접하게 발전량이 예측됨을 볼 수 있다.

그림 23과 표 9는 풍력발전단지 손실율을 적용 하였을 경우의 예측 발전량과 실측 발전량의 비교를 나타내고 있다.

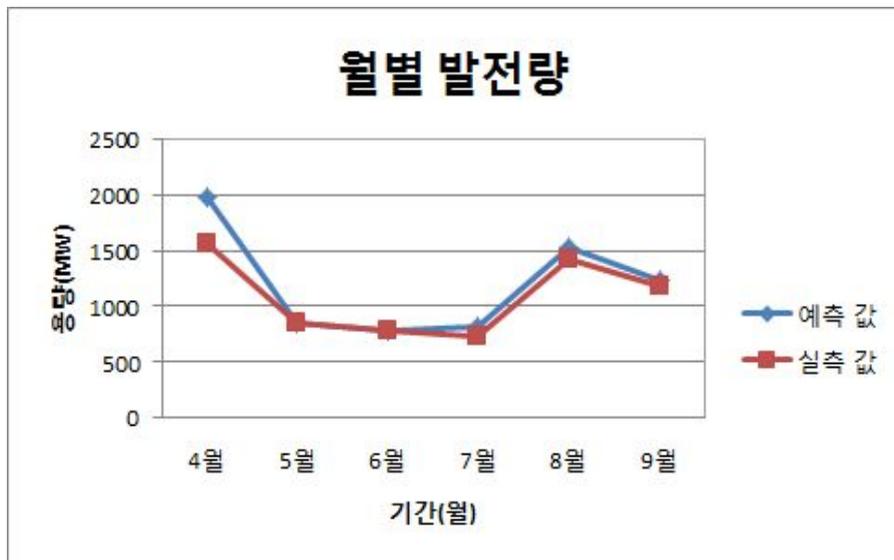


그림 23 손실율을 적용한 예측 발전량과 실측 발전량의 비교

표 9 풍력발전기 7기의 예측 발전량과 실측 발전량(손실적용)

구 분	4월	5월	6월	7월	8월	9월	총 발전량
예측값 (MWh)	1,977	855	782	823	1,529	1,240	7,122
실측값 (MWh)	1,566	848	779	729	1,419	1,188	6,529
상대오차 (%)	26.3	0.9	0.5	12.9	7.7	4.54	8.8

IV. 결 론

본 논문에서는 제주지역 가시리의 국산화 풍력발전단지 내에 설치된 70m계측기와 동 단지의 주를 이루는 1.5MW 풍력발전기를 WindPRO 프로그램으로 시뮬레이션을 실시하였으며, 6개월간의 발전량을 예측하고 실제 발전량과의 비교 분석을 실시하여 WindPRO 프로그램의 예측성능을 평가 하였다.

시뮬레이션 결과 풍력발전단지의 후류손실, 배치효율, 가동율을 적용한 발전량 예측은 6개월간 총 발전량은 약 8.8%의 오차가 발생함을 확인 하였고, 8호기 가동이 정지되었던 2개월간의 기간을 제외한 오차는 약 6.4%로 실제 발전량과 매우 근접함을 확인 할 수 있었으나, 전체적으로 7, 8월 발전량 비교 데이터에서 오차를 보임을 확인 할 수 있었다.

특히, 12, 13호기 발전량 비교 데이터에서는 큰 오차를 보여주고 있음에 따라 추가 인근 풍속데이터와의 MCP 기법 및 불확실성이론을 적용한 분석 등 세밀한 분석이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 본 논문에 사용된 데이터는 하절기 6개월의 데이터로만 분석을 하였으나, 우리나라 특성상 동절기에 풍력발전기 출력이 집중 분포될 뿐만 아니라, 주풍향이 달라질 수 있으므로 동절기의 데이터가 포함된 발전량 분석이 반드시 실시되어야 한다.

이상의 결과를 토대로 풍력발전사업을 실시하기 이전에 해당 부지에 신뢰성 높은 정확한 풍황 계측을 위하여 단지 예정지의 계절별 주풍향, 대지의 고저, 주변의 장애물 등으로 인한 영향에 대하여 사전 시뮬레이션을 통한 면밀한 검토를 실시하여야 하며, 특히, MCP 기법 및 불확실성에 대한 분석이 되도록 풍황계측기 위치 및 설치 대수를 결정하여야 한다.

향후 국내 풍력발전단지 건설 예정시부터 풍력발전에 대한 전력공급 및 수요 예측, 경제성 분석, 대체에너지 효과 등을 보다 정확하게 분석할 수 있을 뿐만 아니라, 풍력발전 건설 완료후 20년이상 풍력 유지보수 관리운영에도 기여할 것으로 예상됨에 따라 국내 풍력발전 확대 보급 기반에 기여하고 국산화 풍력발전 산업 육성 및 전력공급 안정화에도 크게 기여할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 고병욱, 문승재, 유호선, “풍력발전단지의 예측이용율과 실제이용율 비교분석에 관한 연구”, 플랜트저널, 제7권, 제1호, pp. 40-48, 2011.
- [2] 김용환, 임희창, “육상 풍력발전단지 개발 및 에너지생산량 예측기법에 대한 고찰”, 한국풍공학회논문집, 제14권, 제1호, pp. 9-17, 2010.
- [3] 김진한, 권일한, 백인수, 유능수, “국가바람지도와 WindSim을 이용한 영양풍력발전단지 연간에너지 발전량 예측”, 한국풍력에너지학회 춘계학술대회 초록집, pp. 91, 2012.
- [4] 성진기, “Current Status of Wind Power Industry & Offshore Wind Project in Korea”, KETEP, 2012.
- [5] 지식경제부, 제5차 전력수급기본계획(2010~2024년), <http://mke.go.kr>, 2010.
- [6] 오현석, “제주북동부지역을 대상으로한 WindPRO의 예측성능 평가”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 29, No. 2, pp. 22, 2009.
- [7] 제주지방기상청, <http://jeju.kma.go.kr/>, 2012.
- [8] IEC, IEC 61400-1 ed.2 Wind turbine generator system - Part 1 : Safety requirements, IEC, 1999.
- [9] 김현구, “남한 풍력자원 잠재량의 예비적 산정”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 28, No. 6, pp. 3, 2008.
- [10] 김대현, “제주 금악지구의 풍속 특성 분석”, 풍력에너지저널, 제1권, 제2호, pp. 5~9, 2010.

감 사 의 글

논문을 마치고 ‘감사의 글’을 접하고 보니 지난 대학원 생활이 주마등처럼 떠오릅니다. 회사와 학교, 두 마리 토끼를 놓치지 않으려고 노력했던 제 모습과 그 모습에 지지와 격려를 아끼지 않으셨던 가족과 지인들과 더불어 감사에 마음으로 2012년, 뜻 깊은 한해를 마감하고 있습니다.

우선, 오늘의 결실을 얻기까지 끝까지 저를 지도해 주시고 이끌어 주시고, 마지막 논문을 마치기까지 함께 도와주신 김일환 교수님께 진심으로 존경과 감사의 마음을 올립니다. 또한 대학원과정에서 전문지식과 삶의 지혜를 가르쳐 주신 좌종근 교수님, 오성보 교수님, 김세호 교수님, 이개명 교수님, 김호찬 교수님, 김호민 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

그리고, 공직에서부터 풍력발전을 접하게 만들어 주시고 이제는 회사에서도 든든한 버팀목이 되어 주시고 항상 격려해주시는 김동성 대표님께 고개 숙여 감사드립니다.

특히, 창립한지 얼마 되지는 않지만 국내 유일의 풍력서비스 전문기업으로 육성하기 위하여 불철주야 고생하는데도 불구하고 본 논문을 쓰는데 적극 지원해준 김대현과장, 양형찬선임연구원, 박의장대리와 모든 직원 여러분들께 감사드립니다.

적지 않은 세월인 공직 생활에서부터 풍력발전 경험과 기반을 바탕으로 이제 또 다른 환경에서 다시 시작하는 마음으로 제주지역 풍력 전문기업 육성 및 후배 양성에도 끊임없이 노력하고 정진하여 풍력발전을 사랑하는 風力人 모두가 즐거움과 행복을 같이 할 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

끝으로 언제나 옆에서 사랑과 믿음으로 저를 여기까지 있게 해준 가족들에게 진심으로 감사드리고, 모두 건강하시기를 기원합니다.

2012년 12월 감사의 마음으로 한해를 접으며,
부 정 환 올림