

제주지역 풍력발전기에 의한 전력계통운영 영향분석

김영환, 최병천, 장시호, 김세호*, 좌종근*
한국전력거래소, 제주대학교*

Power Network's Operation Influence Analysis of Wind Power Plant in Jeju island

Kim Young-Hwan, Choi Byung-Chun, Jang Si-Ho, Kim Se-Ho*, Jwa Jong-Geun*
KPX Jeju Branch office, Cheju National University*

Abstract - Construction of wind power plant is increasing rapidly because Jeju island is known as the most suitable place for wind power plant. But wind power plant is difficult electric power control and it has a rapid electric power fluctuation. Such a problem has a bad influence on electric power network in small electric network like Jeju. Therefore, we forecast the amount of wind power plant construction by weather information and the rate of utilization for existing facility. We investigate the contribution degree for electric power demand, economic effect, the case of power network influence. So we forecast influence of wind power plant for Jeju power network's operation in the near future.

전력수요의 약 40%를 담당하고 있다. 남제주 내연 #1~4 호기와 제주기력 #2,3호기가 연계선과 함께 제주지역의 기저부하를 담당하고 있으며 동,하계 계통수요 증가 시에는 제주기력 #1호기, 남제주기력 #1,2호기가 운전되며 여름철 전력수요 피크시와 침두부하담당 발전기로는 한림북화력 발전기와 제주 가스터빈 #3호기가 운전되고 있다.

2005년 4월 현재 제주지역의 주송전선로는 154kV의 이중 환상망 구조로 되어 있으며, 9개 변전소를 잇는 주송전선로는 15개 구간 총 연장 348km 이다.

2.1.2 제주풍력설비 현황

제주지역의 풍력설비 현황은 <표1>와 같다. 2004년 12월 현재 제주지역 풍력설비의 총 용량은 15.8천kW 이다.

<표1. 풍력발전설비 현황 및 건설계획>

[단위 : 천kW]

구분	설비구성	설비용량	준공년월	시행사
현재 운영중	600kW×2기(덴, Vestas) 660kW×7기(덴, Vestas) 225kW×1기(덴, Vestas) 700kW×5기(NEG-Micon)	9.8	02.4	제주도청
	한경 1단계 1,500kW×4기(NEG-Micon)	6.0	04.3	남부발전
운전중인 풍력발전설비 합계		15.8	-	-
향후 건설	한경 2단계 2,500kW×4기 2,000kW×2기	14.8	06.6	남부발전
	제주 3,000kW×7기	21.0	06.3	제주풍력
계획	성산 2,000kW×10기	20.0	06.10	남부발전
	한경 해상 풍력 3,000kW×10기 (덴, Vestas)	30.0	07.10	(주)삼우
계획중인 풍력발전설비 합계		85.0	-	-

1. 서론

제주도청이 행원 풍력단지 내에 설치된 총 15호기의 풍력발전기에 의해 생산된 전력을 판매함으로써 풍력발전의 사업 가능성을 보여 주었으며, "신재생에너지 개발 및 이용 보급 촉진법"에 의한 정부의 적극적인 지원과 제주도가 풍력발전의 최적지로 알려짐에 따라 풍력발전기의 건설이 급증할 것으로 예상되고 있다. 그러나, 풍력발전기의 특성상 출력에 대한 조정이 어렵고 풍력발전기의 급격한 출력변동이 그대로 전력계통에 영향을 미치게 된다.

그러므로, 제주지역 풍력단지별 설비이용률 및 풍속 기상정보에 의한 풍력발전기 향후 건설가능성을 전망하고, 지난 1년간 풍력발전기에 의한 제주 전력수급에의 기여도와 전력생산비 절감, 제주 전력계통 영향을 분석하여 제주 전력계통 운영에 미칠 영향을 살펴보고자 한다.

2. 본론

2.1 제주지역 풍력설비현황 및 건설전망

제주도는 우리나라 최남단에 위치한 화산섬이며 태풍의 길목으로 태풍피해와 섬 지역으로 인한 염해가 극심한 지역이다. 또한 연평균 1,836.5mm의 국내 최대강수량과 낙뢰가 심한 특성을 가진 지역이라 자연재해에 의한 전력계통의 고장이 빈번하게 발생하는 지역이다. 제주 전력계통은 육지 전력계통과 해저케이블인 연계선으로 연결되어 있으나 이는 직류송전설비로서 제주전력계통은 육지 전력계통과는 독립적으로 운영되고 있다.

2.1.1 제주 전력설비 현황

2005년 4월 현재 제주지역 발전설비용량은 65만7천kW이다. 현재 제주지역 전력수급의 중추적인 역할을 하고 있는 연계설비는 정상적인 계통상황시 15만kW이내, 제주 전력수요의 50% 이내에서 운전되어 연평균 제주

현재, 풍력설비용량은 제주도내 발전설비용량 507천kW(연계선 제외)의 3.14%에 해당되며 최초로 수익성을 내고 있는 행원 풍력단지의 상업화 성공에 따라 앞으로 제주지역에 지속적인 풍력 발전소 건설이 이어질 것으로 보여 진다. 또한, 기후변화협약에 따른 온실가스 저감대책의 수단으로서 풍력설비 건설은 대안이 되고 있으며 정부의 신재생에너지 개발촉진 정책과 풍력설비의 내용량화와 관련기술의 발전으로 전통적인 에너지원과의 경쟁력을 갖출 것으로 전망되고 있다.

건설예정인 발전기가 모두 계획대로 건설된다면 2007

년 10월 이후에는 제주지역에 총 100.8천kW의 풍력발전설비가 운전되어 2007년도 제주지역 발전설비용량 707천kW(연계선 제외)의 14%에 달하게 된다.

2.1.3 풍력설비 건설전망

2.1.3.1 제주지역 풍황에 의한 건설전망

현재는 제주도 북동쪽에 위치한 북제주군 구좌읍 행원리의 행원단지과 제주 서부지역의 북제주군 한경면에 위치한 한경단지 등 제주도 동, 서부지역에 2개의 풍력단지가 운영되고 있지만 향후에는 <그림1>에서 보는 바와 같이 제주지역의 동,서부 지역에 평균풍속이 6~7m/s로 풍황이 좋은 것으로 조사되고 있어 제주도의 동부 지역인 성산포와 서부지역에 풍력발전기가 집중적으로 들어설 전망이다.

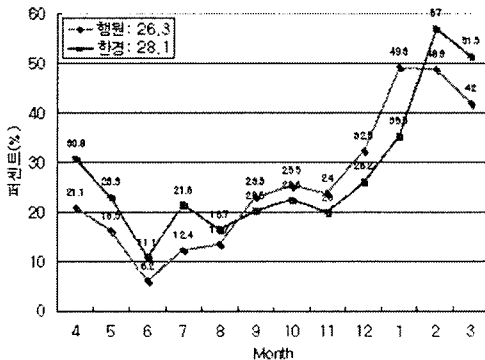
<그림1. 제주지역 Wind Map>



2.1.3.2 풍력발전기 이용률에 의한 건설전망

제주지역에서 현재 운영중인 풍력설비의 연평균 이용률은 <그림2>에서와 같이 행원풍력이 26.3%, 한경풍력이 28.1%로 높은 이용률을 보여주고 있으며 이는 세계적으로 유명한 풍력발전지역인 샌프란시스코 풍력단지의 평균 이용률이 15~20%인 것을 감안하면 바람 많은 제주지역 풍력발전의 경제성이 얼마나 높은 지역인지를 잘 말해주고 있다.

<그림2. 풍력발전기 월평균 이용률>



이러한 결과에 따라 이미 건설예정인 풍력발전소에 대한 건설추진은 물론 추가적인 풍력발전소 건설계획이 뒤따를 것으로 전망된다.

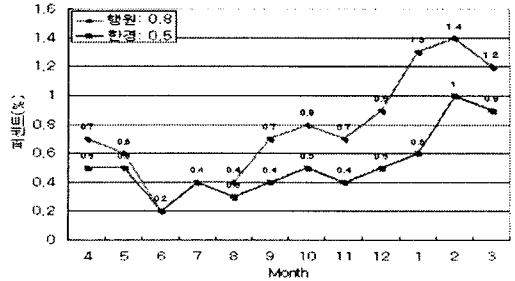
2.2 제주 전력계통운영에의 영향

2.2.1 제주지역 풍력발전기 전력수급 기여도 분석

행원풍력단지와 한경풍력단지의 풍력설비에 의한 월간 발전량 점유율은 <그림3>과 같이 연평균 1.3%의 점유율을 보이며 특히 겨울철에는 약 2% 정도의 높은 점유율을 보여주고 있다.

특히, 2005년 2월의 풍력발전량 점유율 2.4%는 풍력설비가 제주지역 전체 발전설비용량 3.14%에 불과하다는 점을 고려해 볼 때 이 달의 풍력설비 이용률은 매우 높았다는 것을 알 수 있다.

<그림3. 월간 풍력발전기 발전량 점유율>



현재 제주에서 상업운전중인 행원풍력단지와 한경풍력단지의 전력생산량은 <표2>과 같다. 2004년 4월부터 2005년 3월까지 1년 동안 양 발전단지에서 생산된 누계 발전량은 총 3,714만kWh로서 같은 기간 제주지역 총 전력수요량 285,260만kWh의 1.3%, 제주 발전기에 의한 발전량 169,584만kWh의 2.2%에 해당된다.

<표2. 제주지역 풍력발전기 전력생산량>

단위 : 만kWh

구분	2004년												2005년			누계
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3				
행원	149	120	44	90	100	165	186	169	237	360	322	306	2,248			
한경	133	104	48	97	74	88	101	86	117	158	230	230	1,466			
계	282	224	92	187	174	253	287	255	354	518	552	536	3,714			

제주지역 풍력발전기의 발전량은 하절기 보다는 동절기에 훨씬 높은 것으로 나타나고 있다. 계절별로는 겨울, 가을, 봄, 여름 순으로 발전량의 차이를 보이고 있다.

제주지역의 연중 전력수요 피크는 여름철 냉방부하가 급증하는 7, 8월에 이루어지는 데 풍력발전기의 전력생산은 오히려 최저 수준으로 떨어져 여름철 전력수급에 전혀 기여하지 못하고 있다.

반대로, 겨울철인 12월부터 3월까지의 높은 이용률을 보여주고 있다. 겨울철에는 난방부하의 증가로 전년도 여름철 전력수요의 90% 수준의 최대전력수요를 보이며, 바람이 잦고 그 세기가 커지는 겨울철에는 풍력발전기 이용률 또한 크게 높아져 풍력발전기의 출력과 전력수요의 관계는 동반상승으로 나타나 전력수급에 플러스 요인으로 작용한다.

특히 겨울철 온도가 하강하고 바람이 크게 불수록 난방부하는 증가하고 풍력발전기 출력 또한 증가하기 때문에 풍력발전기에 의한 겨울철 전력수급에 대한 기여도는 상당히 크다고 말할 수 있겠다.

2.2.2 전력생산비 절감기여도 분석

<표3>에서 제주지역 발전기의 월별 평균 연료비를 적용한 풍력발전기 전력생산비를 나타내었다. 제주지역 발전기 평균 연료비는 각 발전기별 발전량 가중치와 각 발전기의 월별 연료비를 고려하여 계산하였다.

조사기간인 1년 동안 풍력발전기에 의한 제주지역 발전기의 발전량을 대체한 연료절감액은 약 28억원이며 제주지역 전력생산에 사용되는 연료원이 모두 석유임을 고려해 볼 때, 에너지 수입의존도가 높은 우리나라의 국가경제적인 관점에서 풍력발전기는 크게 기여하고 있다고 말할 수 있다.

또한, 풍력발전기 운전에 의한 전력생산량의 대부분이

새벽 일부시간을 제외하고는 전력 생산원가가 높은 소용량 기력발전기(10MW급)와 한림복합, 가스터빈의 발전량을 대체하고 있는 것으로 조사되었다.

2.2.3 풍력발전기에 의한 계통영향 분석

제주에서의 풍력발전기의 설비용량 점유율은 3.14%로 미미하지만 연중 계통수요가 가장 낮은 봄철(4,5월)에 풍력발전 설비가 전 출력으로 운전된다고 가정해 보자. 2004년도 최저 수요는 2004년 5월30일 05:30분에 236.8MW이며 이 때에 제주 풍력발전기가 전 출력(16MW)로 운전 되었다면 그 기간 중 풍력발전기에 의한 최대 점유율은 6.7%에 달하게 된다. 실제, 2004년 4월부터 2005년 3월까지 1년 동안 풍력발전기에 의한 순간점유율을 조사하였더니 풍력설비용량의 전 출력 운전이 잦은 겨울철에 풍력발전기에 의한 시간대별 점유율이 2-4%로 비교적 높게 나타났으며, 2004년 9월 11일 4시에 기록된 5.54%가 가장 높은 것으로 나타났다.

겨울철에는 풍력발전기의 전 출력운전이 잦아 평균 점유율은 높게 나타났지만 바람이 강하게 부는 날새만큼 난방부하가 상승하여 단위 시간당 최고 점유율을 기록하지는 못하였다.

<표4. 풍력발전기 운전 점유율(2004년9월11일)>

시간	계통수요	행원	한경	풍력합계	점유율
1시	291.7	8.3	5.7	14.0	4.80
2시	272.9	7.8	6.0	13.8	5.06
3시	261.8	8.4	6.0	14.4	5.50
4시	252.8	8.0	6.0	14.0	5.54
5시	250.8	7.7	5.9	13.6	5.42
6시	249.3	6.6	3.5	10.1	4.05
7시	255.4	0.1	1.2	1.3	0.51
8시	271.2	1.2	2.2	3.4	1.25
9시	282.0	0.4	2.3	2.7	0.96
10시	295.4	2.3	0.8	3.1	1.05
11시	307.3	3.9	0.9	4.8	1.56
12시	314.0	3.8	4.2	8.0	2.55
13시	312.2	4.9	5.2	10.1	3.24
14시	319.1	5.6	5.5	11.1	3.48
15시	321.2	6.0	5.4	11.4	3.55
16시	317.0	5.3	5.5	10.8	3.41
17시	316.4	4.1	5.2	9.3	2.94
18시	317.9	4.0	5.2	9.2	2.89
19시	332.7	4.9	5.5	10.4	3.13
20시	358.3	5.1	5.7	10.8	3.01
21시	356.6	5.9	5.5	11.4	3.20
22시	344.7	6.6	5.5	12.1	3.51
23시	338.8	6.4	5.7	12.1	3.57
24시	319.4	6.1	5.8	11.9	3.73
평균	302.45	5.1	4.6	9.7	3.25

단위 시간당 최고점유율이 9월로 나타난 것은 봄, 가을철에는 전력계통수요가 낮게 나타나는 수요특성과 풍력발전기의 전력생산 조건인 풍속의 세기 조건이 봄철보다는 가을철이 높다는 풍력발전기 조건이 맞아 떨어지는 9월에 가장 높은 점유율을 기록하게 되었다.

풍력발전기 운전 점유율이 5%이면 갑작스런 출력의 큰 변동이나 계통에서 탈락했을 때 전력계통에 영향을 줄 수 있다고 볼 수 있다. 그러나, 조사 대상인 2004년 4월부터 2005년 3월까지 1년 동안 풍력전용 송전선로의 탈락 2회 등 부하의 급변동 상황이 여러 차례 발생하였지만 풍력발전기에 의해 계통이 영향을 받았다고 말할

수 있는 경우는 발생하지 않았다.

그 주된 이유는 2005년 4월 현재까지 제주에 설치되어 있는 풍력설비 용량이 총 16MW(설비점유율 3.14%)로 운전되는 계통수요 범위인 300MW-400MW에 비해 아직까지는 낮은 수준이고 연계선이 주파수모드로 정상 운영되는 한 풍력에 의한 출력변동을 모두 받아 주기 때문이다.

하지만, 연계선이 주파수모드로 운영된다고 해서 풍력발전기의 급격한 출력변동을 모두 받아들일 수 있는 것은 아니다. 향후, 제주지역에 2007년 10월까지 약 101MW의 풍력설비 건설과 지속적인 증가가 예측되기 때문에 제주 전력계통수요가 낮으면서도 풍력의 운전가능성이 매우 높은 가을철을 기준으로 풍력설비의 점유율이 제주 전력수요(350-400MW)의 20%를 넘어설 것으로 전망되어 풍력설비에 관련된 계통운영경토와 풍력발전 회사의 적극적인 협조가 요구되고 있다.

풍력발전기 특성상 발전기 출력이 수 초 단위로 급격히 변하는 단주기 출력변동은 연계선이 주파수 모드로 정상 운전되는 조건하에서 거의 모든 출력 변동량이 연계선 수전 전력량 조정으로 흡수되어 제주 전력계통에 영향을 미치지 않는다.

만약, 연계선이 정지중이거나 운전조건이 정전력 모드인 경우 풍력발전기 출력변동은 현재 운전 중인 발전기의 지속기 응동(Gov Free)에 의해 일부 흡수되고, 흡수되지 않은 대부분의 출력은 그대로 주파수 변동 요인으로 나타날 것이다.

풍력발전기에 의한 장주기 출력변동은 일차적으로 연계선이 받아 주지만 전력계통운영 담당자에 의하여 침투 부하를 담당하는 발전기에 점차 전이될 것이다. 풍력설비 점유율이 3.14%에 불과한 현시점에서 풍력설비의 운전가능성은 전력계통운영 담당부서의 일일 운영발전계획 수립 시 고려대상이 되고 있으며, 향후 1-2년 내에 이루어지는 풍력설비의 급격한 증가는 일일 계통운영계획 수립에 절대적으로 중요한 검토항목이 될 것이다.

물론 실시간으로 계통운영을 담당하는 급전운영자 입장에서도 풍력설비의 운전 가능성과 발전량 예측은 매우 중요해질 것이므로 풍력단지가 위치한 각 지역별 풍속에 대한 기상예측 정보관리와 풍력발전량 예측이 추가로 요구되어지고 있다.

3. 결 론

제주지역에서의 풍력발전소 건설은 건설부지가 확보되는 한 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 제주 전력계통에서 현재 운영중인 풍력발전기에 의한 단위시간당 발전량의 최대점유율은 5.54%를 기록하였으며, 풍력발전단지의 갑작스런 출력변동에 의해 제주 전력계통운영에 심각한 영향을 주는 경우는 없었다. 그러나, 향후 2년 내에 풍력발전기에 의한 단위시간당 발전량 최대점유율은 20%대까지 기록될 것으로 예측되어 제주지역 전력계통 운영에 심각한 영향을 끼칠 것으로 전망된다.

그러므로, 제주에서 일일 전력계통 운영계획 수립 시 풍력발전기의 갑작스런 출력변동이나 계통탈락에 대비한 대책 수립은 물론 풍력발전기에 의한 전력 생산량 예측은 필수요소라 하겠다. 향후 제주지역에 설치될 풍력설비 특성조사, 풍속과 풍력발전량의 관계 등에 대한 지속적인 조사와 연구가 이루어져야 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] 제주도, "제주도내 풍력발전단지 성능 모니터링 및 평가(II)", 2003.6
- [2] 한전전력연구원, "풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구", 2004.8