

행원풍력발전단지의 전압 및 역률 분석

김 세 호*, 나 경 윤*

Analysis of Voltage and Power Factor in Hangwon Wind Generation Farm

Se-Ho Kim*, Kyoung-Yun Na*

ABSTRACT

In recent years wind turbine technology has undergone the rapid development in response to the demands for increased use of renewable sources of energy. Using wind turbines for production of electrical energy requires reliable operation. The increased share of wind power in electrical system makes it necessary to have grid-friendly interfaces between the wind turbines and the grid in order to maintain power quality. Increasingly wind turbines are being connected into electricity distribution system. The grid-connected wind power stations have many impacts on power systems such as voltage variations, harmonics. The paper investigates the influences of grid-connected wind power generation system on substation bus voltage and power factor

Key Words : Voltage Unbalance, Voltage Fluctuation Rate, Power Factor, Wind Generation Farm

1. 서론

풍력발전은 무한정의 청정에너지인 바람을 동력원으로 하므로 기존의 화석연료나 우라늄 등을 이용한 발전방식과 달리 발전에 의한 열 공해나 대기오염 그리고 방사능 누출 등과 같은 문제가 없는 무공해 발전방식으로 가장 유력한 대체 에너지원으로 인정을 받고 있으며 이미 전 세계적으로 약 32,154MW (2002년 말 누계기준)의

풍력발전 시스템이 설치 운전되고 있다. 국내에서는 제주도 행원에 10MW의 풍력발전단지가, 한경에 6MW의 풍력발전시스템이 건설되어 상업운전을 하고 있다[1]. 이러한 풍력발전시스템은 소규모인 경우에는 배전선로에 직접 연결될 수 있으나 운용이나 경제성 측면에서 대규모로 단지가 조성되어 전용선로를 이용하여 배전용 변전소에 직접 연계되어 있다. 그러나 풍력발전은 바람을 이용하는 것이므로 바람의 세기나 방향에 따라 출력 변동이 심하여 변전소로 직접 연계된다 하더라도 계통에 영향을 미칠 우려가 있다 [2,3]. 본 연구에서는 전력품질 측면에서 전압불평형 및 전압변동에 대해 행원풍력발전단지의

* 제주대학교 대학원 전자전기공학과, 첨단기술연구소
Electronic & Electrical eng. Research Institute of
Advanced Technology, Cheju Nat'l Univ.

전력품질이 기술기준을 만족하는 지를 고찰하고, 발전량에 따른 풍력발전단지의 역률을 분석하고자 한다[4, 5].

2. 본론

2.1 전력품질

풍력발전설비가 기존의 전력계통에 연계되어 운전될 경우, 원만하고 효율적인 계통연계운전을 하기 위해서 기존의 전력품질을 유지할 필요가 있다. 전력품질이란, 전력회사의 측면에서 보면 공급신뢰도로서, 수용가측면에서 보면 수용가의 전기설비에 공급되는 전력의 상태(또는 특성)로서 정의될 수 있다. 전력품질의 정도를 나타내는 평가지표로서는 일반적으로 주파수유지율, 전압 유지율 및 정전횟수(시간) 등이 사용되어 왔으나, 최근에는 미소외란에 대하여 민감하게 영향을 받는 고도부하기기들에 대한 대책마련의 일환으로서 순시전압저하, 순시전압상승, 고조파, 전압불평형, 순간정전, 서지와 같은 미소 외란의 요소들이 고려되고 있다[6, 7].

1) 전압불평형

전압불평형은 보통 3상 전압 또는 전류의 평균치에 대한 최대편차로 정의되며, 그 최대편차를 삼상 전압 또는 전류의 평균치로 나눈 비율(%)로 나타낸다. 또한, 이 전압불평형은 대칭분 요소를 사용하여 정의할 수 있는데, 정상분 요소에 대한 역상분 요소 또는 영상분요소의 비율에 의해 불평형률을 나타낼 수도 있다.

3상 전력계통에서 발전기, 변압기, 송전선과 배전선의 전기적 특성은 평형을 이루고 있어 평형부하전류가 흐르게 되면 계통의 상태는 평형을 이룬다. 부분적으로 송전선이나 배전선의 선로정수가 불평형을 이루고 있는 경우가 있으나, 불평형 정도가 매우 작아 실제적으로 평형을 이루고 있다고 가정하고 있다. 한편 전력계통에서 발전, 송전 및 배전계통은 평형을 취하고 있으나 전기를 사용하는 말단에서는 3상 유도전동기나

3상 전기로를 제외하고는 거의 단상 부하를 사용한다. 따라서 각 상에 걸쳐 있는 이러한 단상 부하들이 크기가 같고 역률이 같지 아니하면 부하불평형을 발생시키게 된다. 부하불평형의 영향은 크게 전기기기의 불평형 loading과 전압불평형으로 대별할 수 있다.

전기기기의 불평형 loading은 설비의 이용률을 저하시키는 원인이 되므로 전기사업자는 불평형 loading을 적극 억제하고 있다. 또한 불평형 loading은 평형 3상 전력회로에 역상 및 영상전류를 흐르게 함으로써 전압의 찌그러짐을 발생시켜 전력의 품질을 떨어지게 한다.

상용 3상 계통은 평형 3상 전압을 공급하도록 구성되어 있으나, 계통에 불평형 부하가 걸리는 경우 이로 인해 전압불평형이 발생하게 된다. 전압불평형은 영상전압 불평형과 역상전압 불평형으로 구분되나 후자에 의한 악영향이 크다. 전력계통에 역상전류가 흐르면 역상전류에 의한 전압강하가 발생하여 계통 전압삼각형이 찌그러지게 된다. 역상전류에 의한 전압강하는 계통의 역상임피던스에 비례하게 된다. 발전기의 역상임피던스는 과도 직축 리액턴스와 근사적으로 같고 선로와 변압기 등 정지기기의 역상임피던스는 정상임피던스와 거의 동일하므로 전압불평형은 불평형부하의 크기에 비례하고 계통단락 용량에 반비례하게 된다. 대칭좌표법을 이용하면 전압불평형은 다음 식(1)로 표현된다.

$$\text{불평형률} = \frac{\text{역상전압}}{\text{정상전압}} \times 100(\%) \quad (1)$$

전압불평형에 의한 피해는 주로 삼상 유도전동기의 과부하, 역상 토크, 역상전류에 의한 권선 가열로 나타나는데 IEC에서는 저압계통의 전압불평형율의 한계치를 2%로 보고 있다. 3.5%의 전압불평형율에 대하여서 중형유도전동기의 출력은 약 15% 감소하며 온도상승은 10도 이상 상승한다. 또한 손실은 4%증가한다.

한국전력공사의 전압 불평형률 기준 값은 전기설비기술기준에 의거하여 2시간 평균 3%이하

로 되어 있으며 CIGRE Working Group 37-34 (프랑스)의 풍력발전에 의한 전력계통의 불명형률은 1% 이하로 제한되어 있다.

2) 전압변동

전압변동(Voltage fluctuation)이란 일련의 랜덤한 전압변화로서, 그 크기는 ANSI C84.1-1982에서 규정된 변동범위인 0.9 p.u. ~ 1.1 p.u.를 벗어나지 않는 현상을 말한다. IEC에서도 여러 타입의 전압변동을 정의하고 있는데, 그중에서 IEC 1000-3-3 Type(d)인 일련의 랜덤 또는 연속적인 전압변화가 이에 해당한다고 할 수 있다. 풍력발전 설비의 전압변동은 다음과 같은 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\text{전압변동률} = \frac{22.900 - V_c}{V_c} \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서, V_c : 풍력발전단지의 수전단 전압

풍력발전설비의 계통연계 기술기준(안)에 의한 특별고압 계통의 상시 전압변동(10분 평균값)은 2%이하로 정하고 있으며, 특별고압 계통의 상시 전압이 한국전력공사의 변전소 송출전압 유지기준에 의한 선로별 공급전압 변동범위인 (23.5kV ~ 22.4kV)와 (23.8kV ~ 22.7kV)를 벗어날 우려가 있을 때는, 풍력발전설비의 설치자가 출력전압을 조정하고, 출력전압의 변동을 억제하며, 병렬분리의 빈도를 저감하는 대책을 실시하도록 되어있다.

3) 역률

배전계통에 있어서 역률유지는 선로의 전압변동, 전력손실 및 유효전력의 공급한계 등의 측면에서 대단히 중요하다. 따라서 현재 우리나라의 경우, 수용가의 역률유지 규정을 0.9(지상)~1.0 사이로 두고, 0.9이하의 경우는 전기요금추가,

0.9이상은 전기요금감액 등의 규정을 전기공급규정 제43조, 제44조에 두고 있다.

풍력발전설비의 계통연계 기술기준(안)에 인한 역률은 역조류가 없을 경우 풍력발전설비 설치자의 수전점 역률은 전압강하를 방지하기 위하여 원칙적으로 90% 이상으로 유지하게 규정되어 있고, 역조류가 있는 경우로서 저압 또는 특별고압 배전선로에 연계하는 경우에는 풍력발전설비 설치자의 수전점 역률은 원칙적으로 90% 이상으로 유지하며 전압상승을 방지하기 위하여 불가피한 경우에는 수전점 역률을 80% 까지 제어할 수 있도록 되어있다.

2.2 사례연구

1) 측정대상 계통

15기의 풍력발전시스템으로 구성된 행원풍력발전단지는 총 용량 10MW로서 공장 24.6km의 전용선로(풍력 D/L)로 성산변전소에 연계되어 있으며 성산변전소의 계통도를 Fig. 1에 표시하였다. 풍력발전단지의 전력품질을 분석하기 위해 성산변전소 구내의 풍력 D/L의 인출점에 계측장비를 설치하여 한달 정도 데이터를 취득하였다. 계측장치는 (주)피에스디테크의 PQM(Power Quality Monitoring)장비로서 데이터 취득을 위한 샘플링 시간은 5초로 설정하였고, 필요에 따라 데이터를 10분 평균값, 1시간 평균값으로 계산하여 사용하였다.

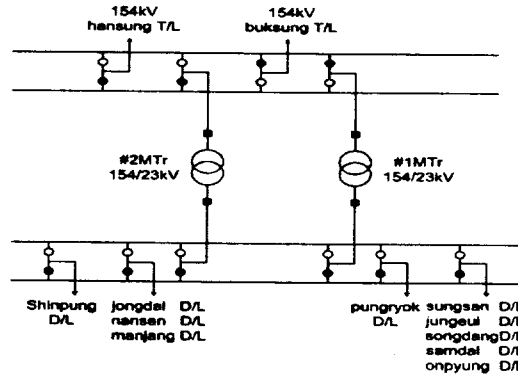


Fig. 1 Hangwon Distribution network

2) 전력품질 분석

행원풍력발전단지의 인출점에서 취득한 데이터를 이용하여 전압변동과 전압불평형이 규정대로 유지되는지와 행원풍력발전단지의 역률 특성을 분석하였다.

A. 전압불평형

5월 1일에서 31일까지의 전압불평형을 2시간 평균과 1일 평균으로 계산하여 Table 1과 2에 나타내었다. 5월 10, 11일은 계측장비의 이동으로 인하여 측정이 되지 않아 데이터가 생략되어 있다. Table 2에 나타난 바와 같이 모든 데이터가 2%이하로서 한국전력공사의 전압 불평형률 기준값인 2시간 평균 3%이하로서 풍력발전에 의한 전력계통의 불평형률은 규정을 만족하고 있음을 알 수 있다.

Table 1 Voltage unbalance rate per date (May 1th ~ May 18th) Unit : %

date time	5/1	5/2	5/31	5/4	5/5	5/6	5/7	5/8
0~2	0.320	0.263	0.199	0.300	0.314	0.200	0.211	0.217
2~4	0.293	0.383	0.200	0.300	0.308	0.200	0.260	0.200
4~6	0.306	0.300	0.195	0.300	0.283	0.200	0.215	0.200
6~8	0.306	0.300	0.223	0.300	0.310	0.200	0.212	0.201
8~10	0.300	0.305	0.205	0.300	0.285	0.244	0.260	0.241
10~12	0.273	0.339	0.198	0.301	0.290	0.262	0.264	0.274
12~14	0.283	0.300	0.206	0.307	0.296	0.299	0.213	0.248
14~16	0.272	0.261	0.215	0.293	0.319	0.399	0.208	0.251
16~18	0.283	0.236	0.246	0.274	0.352	0.342	0.207	0.289
18~20	0.323	0.234	0.332	0.339	0.233	0.265	0.223	0.372
20~22	0.376	0.277	0.286	0.376	0.223	0.283	0.219	0.387
22~24	0.419	0.228	0.307	0.370	0.226	0.230	0.200	0.341
average	0.313	0.286	0.234	0.313	0.286	0.260	0.224	0.268
date time	5/9	5/12	5/13	5/14	5/15	5/16	5/17	5/18
0~2	0.319	0.300	0.277	0.380	0.253	0.301	0.263	0.256
2~4	0.306	0.300	0.293	0.329	0.211	0.233	0.219	0.203
4~6	0.215	0.300	0.367	0.299	0.259	0.241	0.210	0.200
6~8	0.198	0.300	0.369	0.239	0.218	0.318	0.298	0.234
8~10	0.224	0.300	0.287	0.268	0.246	0.261	0.325	0.252
10~12	0.298	0.302	0.379	0.297	0.326	0.232	0.304	0.225
12~14	0.203	0.276	0.313	0.293	0.260	0.256	0.307	0.207
14~16	0.234	0.312	0.313	0.268	0.282	0.221	0.358	0.263
16~18	0.225	0.268	0.314	0.289	0.292	0.216	0.365	0.267
18~20	0.200	0.291	0.346	0.267	0.292	0.280	0.299	0.244
20~22	0.200	0.276	0.456	0.291	0.295	0.261	0.299	0.246
22~24	0.200	0.283	0.447	0.298	0.286	0.323	0.288	0.269
average	0.235	0.292	0.347	0.293	0.268	0.262	0.295	0.239

Table 1 Voltage unbalance rate per date (May 19th ~ May 31th) Unit : %

date time	5/19	5/20	5/21	5/22	5/23	5/24	5/25	5/26
0~2	0.230	0.268	0.225	0.245	0.323	0.287	0.251	0.270
2~4	0.239	0.208	0.202	0.259	0.238	0.270	0.201	0.257
4~6	0.198	0.201	0.221	0.301	0.337	0.255	0.219	0.199
6~8	0.226	0.249	0.213	0.224	0.229	0.237	0.234	0.207
8~10	0.274	0.259	0.293	0.234	0.267	0.285	0.209	0.234
10~12	0.345	0.219	0.310	0.287	0.242	0.294	0.261	0.319
12~14	0.390	0.279	0.376	0.275	0.218	0.306	0.288	0.331
14~16	0.380	0.261	0.402	0.287	0.240	0.281	0.297	0.291
16~18	0.340	0.239	0.347	0.270	0.256	0.281	0.223	0.221
18~20	0.352	0.235	0.311	0.275	0.312	0.393	0.243	0.222
20~22	0.355	0.329	0.345	0.239	0.441	0.362	0.267	0.233
22~24	0.264	0.332	0.304	0.269	0.336	0.335	0.249	0.226
average	0.300	0.257	0.296	0.264	0.286	0.299	0.245	0.251
date time	5/27	5/28	5/29	5/30	5/31			
0~2	0.203	0.279	0.296	0.253	0.345			
2~4	0.195	0.335	0.233	0.201	0.368			
4~6	0.238	0.340	0.223	0.200	0.295			
6~8	0.294	0.320	0.221	0.249	0.236			
8~10	0.272	0.327	0.276	0.259	0.310			
10~12	0.297	0.378	0.272	0.286	0.312			
12~14	0.277	0.342	0.287	0.286	0.294			
14~16	0.312	0.366	0.272	0.249	0.303			
16~18	0.291	0.378	0.276	0.265	0.314			
18~20	0.313	0.399	0.287	0.269	0.334			
20~22	0.380	0.426	0.276	0.298	0.334			
22~24	0.369	0.362	0.284	0.355	0.286			
average	0.287	0.354	0.267	0.264	0.311			

B. 전압변동

행원풍력D/L의 5월 1일에서 9일까지의 전압변동을 Fig. 2에서 6에 나타내었고 Table 3에는 5월 3일, 5월 5일의 데이터를 10분 평균으로 계산한 전압 변동을 나타내었다. 5월 3일 3시에서 4시 사이, 5월 22시 정도에 규정을 벗어나는 부분이 있음을 알 수 있다. 그러나 Table 3에서 5월 3일과 5일의 데이터를 살펴보면 규정을 벗어나는 데이터의 수가 전체 측정 데이터 수의 0.12% 정도로 극소수 이므로 규정을 만족하는 것으로 분석하였다

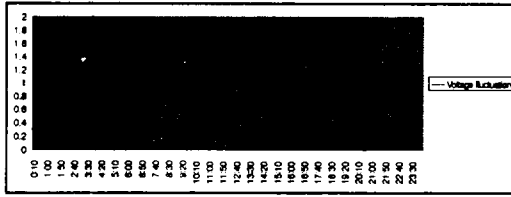


Fig. 2 Voltage fluctuation(May 1th)

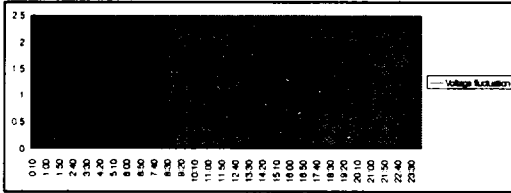


Fig. 3 Voltage fluctuation(May 2th)

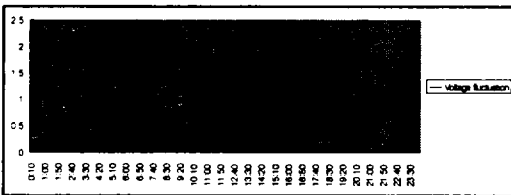


Fig. 4 Voltage fluctuation(May 3th)

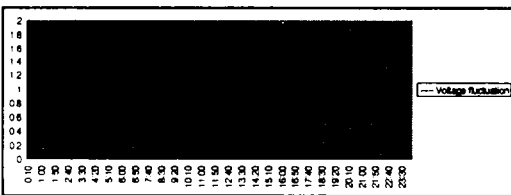


Fig. 5 Voltage fluctuation(May 4th)

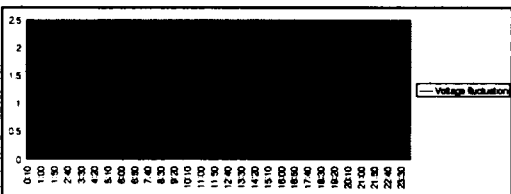


Fig. 6 Voltage fluctuation(May 5th)

Table 3 Voltage fluctuation data
(average each 10 minute) Unit : %

date time	5/3	5/5	date time	5/3	5/5	date time	5/3	5/5
0:10	1.95	1.72	8:10	0.76	0.52	16:10	1.11	0.94
0:20	1.65	1.81	8:20	0.64	1.29	16:20	0.99	1.01
0:30	0.90	1.97	8:30	0.48	1.22	16:30	1.07	1.11
0:40	1.03	0.91	8:40	1.50	1.00	16:40	1.00	1.21
0:50	1.18	0.99	8:50	1.42	0.89	16:50	1.02	1.34
1:00	1.22	0.87	9:00	1.39	0.63	17:00	0.99	1.34
1:10	1.36	1.60	9:10	1.40	0.53	17:10	1.06	1.46
1:20	1.44	1.67	9:20	1.32	1.21	17:20	1.00	1.69
1:30	1.53	1.73	9:30	1.18	1.37	17:30	1.00	1.69
1:40	1.63	1.89	9:40	1.15	0.98	17:40	0.89	0.75
1:50	1.72	1.50	9:50	1.69	0.87	17:50	0.76	0.93
2:00	1.64	1.41	10:00	1.68	0.98	18:00	0.70	0.93
2:10	1.59	1.50	10:10	1.59	0.81	18:10	0.90	1.11
2:20	1.60	1.62	10:20	0.83	0.82	18:20	0.90	1.23
2:30	1.71	1.56	10:30	0.62	0.90	18:30	0.88	1.22
2:40	1.72	1.62	10:40	0.97	1.51	18:40	0.77	1.20
2:50	1.80	1.73	10:50	1.53	1.64	18:50	0.82	1.03
3:00	1.89	1.76	11:00	1.72	1.55	19:00	1.27	0.88
3:10	1.95	1.70	11:10	1.77	1.52	19:10	1.18	0.59
3:20	1.99	1.69	11:20	1.79	1.61	19:20	1.11	1.69
3:30	2.01	1.81	11:30	1.84	1.54	19:30	0.93	1.46
3:40	2.02	1.83	11:40	1.76	1.60	19:40	0.73	1.13
3:50	2.03	1.88	11:50	1.89	1.74	19:50	0.65	1.63
4:00	2.00	1.92	12:00	1.91	1.78	20:00	0.71	1.74
4:10	1.99	1.88	12:10	1.14	0.99	20:10	0.78	1.65
4:20	1.97	1.94	12:20	0.95	0.95	20:20	0.82	1.60
4:30	1.98	1.95	12:30	0.92	0.97	20:30	0.92	1.57
4:40	1.93	1.93	12:40	1.13	0.92	20:40	0.97	1.63
4:50	1.92	1.93	12:50	1.42	0.87	20:50	0.99	1.67
5:00	1.88	1.94	13:00	1.29	0.80	21:00	1.05	1.68
5:10	1.82	1.89	13:10	1.16	0.69	21:10	1.19	1.68
5:20	1.83	1.84	13:20	0.88	0.44	21:20	1.22	1.77
5:30	1.89	1.94	13:30	0.84	0.99	21:30	1.39	1.80
5:40	1.85	1.98	13:40	0.80	1.69	21:40	1.54	1.93
5:50	1.82	1.92	13:50	0.85	1.59	21:50	1.61	1.82
6:00	1.76	1.88	14:00	0.84	1.60	22:00	1.61	1.76
6:10	1.67	1.87	14:10	0.95	1.59	22:10	1.40	1.82
6:20	1.58	1.89	14:20	0.92	1.59	22:20	1.11	1.80
6:30	1.44	1.01	14:30	0.94	1.70	22:30	1.07	1.82
6:40	1.32	1.15	14:40	0.90	1.75	22:40	1.06	1.98
6:50	1.23	1.26	14:50	1.00	1.75	22:50	1.24	2.08
7:00	1.10	1.15	15:00	0.98	1.77	23:00	1.41	1.24
7:10	1.50	1.28	15:10	1.07	1.79	23:10	1.02	0.84
7:20	1.02	1.18	15:20	1.03	1.87	23:20	0.96	0.68
7:30	0.93	1.09	15:30	1.04	1.41	23:30	1.00	0.74
7:40	0.90	1.06	15:40	1.07	0.77	23:40	1.19	0.91
7:50	0.92	0.95	15:50	1.00	0.81	23:50	1.28	1.03
8:00	0.85	0.84	16:00	1.02	0.87	24:00	1.35	1.12

측정점에서 취득한 데이터를 이용하여 모선의 상시전압이 한국전력공사의 변전소 송출전압 유지기준에 의한 선로별 공급전압 변동범위인 (23.5kV ~ 22.4kV)와 (23.8kV ~ 22.7kV)를 유지하고 있는지를 알아보기 위하여 2일(5월 3일, 5월 7일)에 대한 모선전압의 전압파형을 Fig. 7과 8에 나타내었다. Fig. 7과 8에서 보는 바와 같이 전압의 크기는 5월 3일 22,780V ~ 23,430V, 5월 7일 22,950V ~ 23,400V로 규정범위내로 유지되고 있음을 알 수 있다.

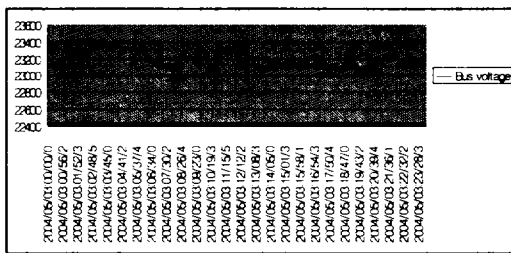


Fig. 7 Bus voltage of Pung-Ryuk D/L (May 3th)

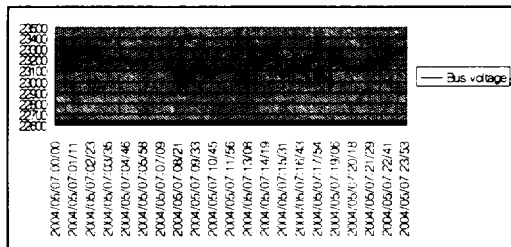


Fig. 8 Bus voltage of Pung-Ryuk D/L (May 7th)

Table 4에는 5월 3일과 5월 7일의 1시간 평균에 따른 모선전압을 나타내었고, Fig. 9와 10에는 1시간 평균에 따른 전압 데이터가 막대그래프로 표현되어 있다.

Table 4. Bus voltage data (average each 1 hour) Unit : V

time \ date	5/3	5/7
00:00	23207.25	23264.08
01:00	23260.83	23247.57
02:00	23300.21	23272.53
03:00	23367.6	23192.68
04:00	23353.93	23200.74
05:00	23326.42	23175.96
06:00	23222.74	23252.72
07:00	23135.38	23198.29
08:00	23138.94	23045.46
09:00	23226.01	23116.88
10:00	23180.69	23085.54
11:00	23325.69	23129.11
12:00	23164.78	23211.43
13:00	23106.61	23178.78
14:00	23119.35	23240.53
15:00	23140.33	23121.44
16:00	23138.14	23137.82
17:00	23108.29	23227.5
18:00	23113.14	23101.58
19:00	23104.92	23183.51
20:00	23112.94	23113.93
21:00	23231.58	23159.51
22:00	23181.46	23203.36
23:00	23162.23	23274.74

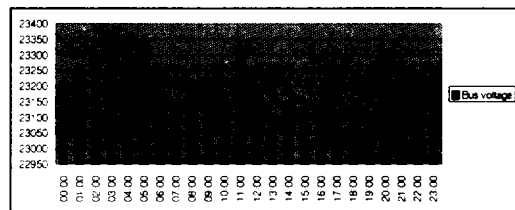


Fig. 9 Bus voltage (May 3th)

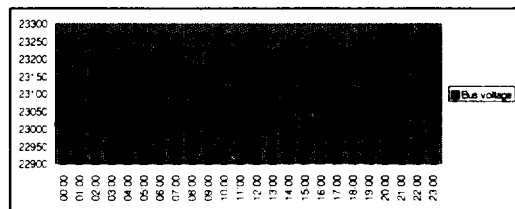


Fig. 10 Bus voltage (May 7th)

3) 역률

풍력발전기의 출력에 따른 역률의 변화를 알아보기 위하여 풍력발전기의 유효전력을 풍력발전기의 정격으로 나눈 값 즉, 풍력발전기의 출력을 X축으로 하고 백분율로 계산한 역률의 변화를 Y축으로 하여, 풍력발전기의 출력에 따른 역률특성 곡선을 Fig. 11과 12에 나타내었다. Fig. 11과 12를 살펴보면 풍력발전기의 출력이 어느 정도 이상인 값을 가지면 역률이 90% 이상인 되는 것을 알 수가 있다.

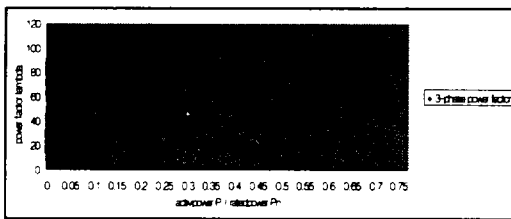


Fig. 11. Characteristic of power Factor (May 2th)

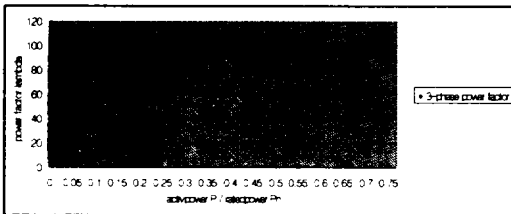


Fig. 12. Characteristic of power Factor (May 3th)

Table 5에는 5월1일에서 9일까지의 풍력발전기의 출력에 따른 평균역률 값을 나타내었다. 풍력발전설비의 계통연계 기술기준(안)에 인한 역률은 역조류가 없을 경우 풍력발전설비 설치자의 수전점 역률은 전압강하를 방지하기 위하여 원칙적으로 90% 이상으로 유지하게 규정되어 있는데 Table 5를 살펴보면 풍력발전기의 출력이 0.02 p.u. (유효전력/정격출력) 이상일 경우에 평균역률이 90% 이상으로 나타나는 것을 알 수 있다.

Table 6. Average power factor data (May 1th ~ May 9th)

5/1		5/2		5/3	
generating power (%)	average power factor (%)	generating power (%)	average power factor (%)	generating power (%)	average power factor (%)
0 ~ 1		0 ~ 1	36.99	0 ~ 1	2.45
1 ~ 2		1 ~ 2	80.43	1 ~ 2	17.03
2 ~ 3	96.1	2 ~ 3	90.04	2 ~ 3	91.67
3 ~ 4	97.36	3 ~ 4	94.40	3 ~ 4	97.85
4 ~ 5	96.23	4 ~ 5	96.22	4 ~ 5	97.14
5/4		5/5		5/6	
generating power (%)	average power factor (%)	generating power (%)	average power factor (%)	generating power (%)	average power factor (%)
0 ~ 1		0 ~ 1	4.91	0 ~ 1	2.44
1 ~ 2		1 ~ 2	87.76	1 ~ 2	83.86
2 ~ 3	98.47	2 ~ 3	95.01	2 ~ 3	96.81
3 ~ 4	98.03	3 ~ 4	96.24	3 ~ 4	97.98
4 ~ 5	97.55	4 ~ 5	98.48	4 ~ 5	98.02
5/7		5/8		5/9	
generating power (%)	average power factor (%)	generating power (%)	average power factor (%)	generating power (%)	average power factor (%)
0 ~ 1	21.84	0 ~ 1	74.27	0 ~ 1	16.11
1 ~ 2	86.77	1 ~ 2	85.44	1 ~ 2	79.83
2 ~ 3	92.73	2 ~ 3	93.78	2 ~ 3	90.09
3 ~ 4	95.93	3 ~ 4	96.45	3 ~ 4	93.38
4 ~ 5	97.22	4 ~ 5	97.44	4 ~ 5	95.70

3. 결론

본 논문에서는 풍력발전 계통연계 기술기준안 중 전력품질 측면에서 전압불평형 및 전압변동에 대해 행원풍력발전단지의 전력품질이 기술기준을 만족하는지와 풍력발전단지의 역률 특성을 분석하였다. 전압불평형은 측정된 데이터가

모두 3%이하로 규정은 만족하고 있다. 전압변동률의 경우 풍력발전설비의 연계로 인한 특별고압 계통의 상시 전압변동(10분 평균값)은 2%이하로 규정하고 있는데 거의 대부분의 데이터가 이 범위를 만족하고 모선전압의 크기 역시 공급 전압 변동범위인 23.5kV ~ 22.4kV와 23.8kV ~ 22.7kV를 만족하고 있다. 또한 역률의 경우 풍력발전기의 출력이 2%이상인 경우에는 평균역률이 90% 이상으로 규정을 만족하며 양호한 역률 특성을 보인다.

본 연구는 한국 전력거래소 제주지사의 지원으로 수행된 결과의 일부이며 한전 제주지사 제주 전력소의 협조에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 한국남부발전, 2002. 7. 제주 풍력건설 타당성 보완조사, p. 71 ~ 138
- 2) P. D. Ladakakos, M.G. Ioannides, 1998. 10 Assessment of Wind Turbines on the Power Quality of Autonomous Weak Grids, 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, pp. 900 ~ 905
- 3) Paul S. Wright, 2001. 4, An Overview of harmonic and flicker emission standards and their associated measurements, Power Engineering Journal, pp. 87 ~ 93
- 4) 제주도, 2003. 6, 제주도내 풍력발전단지 성능 모니터링 및 평가II, pp. 17 ~ 24
- 5) 한국전력공사, 전력연구원, 2003. 8, 풍력발전 계통연계 기술기준(안) 공청회 자료집, pp. 59 ~ 91
- 6) J. Arrillaga, D. A. Bradley, P.S. Bodger, 1985, Power System Harmonics, John Wiley & Sons, pp. 110 ~ 130
- 7) Wilson E. Kazibwe, Musoke H. Sendaula, 1993, Electric Power Quality Control Techniques, Van Nostrand Reinhold, pp. 1 ~ 31