

행원풍력단지과 연계된 성산변전소 모선의 전기품질 분석

안재현, 고성민, 나경운, 김세호, 김호찬,
제주대학교, 전기전자공학부

김영환*, 최병천*
전력거래소 제주지사

Power Quality Analysis of Sungsan Substation Bus Connected to Hangwon Wind Farm

Ahn J.H, Ko S.M, Na K.Y, Kim S.H, Kim H.C,
Faculty of Electrical & Electronic Eng, Cheju Nat'l.Univ.

Kim Y.H,* Choi B.C.*
KPX Jeju Branch office

Abstract - The number of wind generation installations are growing substantially in Jeju, Korea. Many of these installations are significant in size and directly connected to the distribution system. In these distributed applications, it is not uncommon for the turbines to be connected near the end of a long rural distribution feeder from which end-users are served. Therefore, utility grid interconnection standards for interconnecting non-utility distributed generation systems are essential to both power system company and generation company. In this paper, it is investigated the power quality of Sungsan substation bus connected to Hangwon wind power generation farm.

저감하는 대책을 실시한다.

1. 서 론

분산전원의 계통연계에 따라 예상되는 전기가용고객들의 전력품질 저하와 신뢰도 저하에 대한 불안을 없애고 발전사업자에게는 명확한 기술검토 기준을 제공하기 위한 분산전원 계통연계 기준(안)이 제정되기에 이르렀으며 대체에너지 이용 발전가격의 차액보존제도와 제주도의 풍속자원에 대한 우수성으로 향후 2년 이내에 제주도에 70MW까지 풍력발전설비의 증설이 계획되어 있어 풍력발전시스템의 출력이 계통연계기술기준에 적합한지를 판단해야 하는 중요한 시점이 되었다.[1,2,3]

제주지역에는 현재 제주도청에서 조성한 행원풍력발전단지와 (주)남부발전에서 조성한 한경풍력발전단지가 있으며 600kW, 660kW, 750kW 등 총 15기의 풍력발전시스템으로 구성된 행원풍력발전단지는 총 용량 10MW로서 금강 24.6km의 전용선로(풍력 D/L)로 성산변전소에 연계되어 있다.[4,5]

본 연구에서는 행원풍력발전단지가 연결된 성산 변전소 모선의 전압변동, 송출전압 유지범위, 전압고조파, 전류고조파, 역률 등의 전기품질에 대해 분석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전기품질기준

2.1.1 전압변동

① 풍력발전설비의 연계로 인한 특고압 계통의 상시 전압변동(10분 평균값)은 2% 이하, 순시 전압변동(2초 이하)은 2% 이하로 한다.

② 풍력발전설비의 빈번한 출력변동과 빈번한 병렬 분리에 의한 전압변동으로 인하여, 특고압 계통의 상시전압이 한국전력공사의 [변전소 송출전압 유지기준]에 의한 선로별 공급전압 변동범위인 (23.5% ~ 22.4%)와 (23.8% ~ 22.7%)를 벗어날 우려가 있을 때는, 풍력발전설비의 설치자가 출력전압을 조정하고, 출력전압의 변동을 억제하면, 병렬 분리의 빈도를

2.1.2 고조파

전압고조파에 대한 한국전력의 제한 규정을 표 2.1에, 전류고조파의 국제규정을 표 2.2에, 국내의 계통연계기술기준상의 규정을 표 2.3에 표시하였다.

- ① 풍력발전용 제외된 국부 연계 계통이 1년 중 15분 최대 부하전류, 또는 (풍력발전기와 계통 연계 점 사이에 변압기가 있을 경우 이 변압기를 통과하는) 풍력발전 정격 전류 용량 중 큰값에 대한 고조파 전류의 비율이 위 표의 값 이하이어야 한다.
- ② 작수 고조파는 위의 각 구간별로 흡수 고조파의 25% 이하로 한다.

표 2.1 한국전력 고조파 제한 규정

기준	구분				
	지중선로가 있는 S/S에서 공급		가공선로만 있는 S/S에서 공급		
	전압변동률 (%)	등가방해전류 (A)	전압변동률 (%)	등가방해전류 (A)	
전압	66kV 이하	3.0	-	3.0	-
	154kV 이하	1.5	3.8	1.5	-

표 2.2 IEEE 519 고조파 전류 왜곡 한계(120V ~ 69,000 V)

I_{avg}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 36$	$36 \leq h$	TDD
~ 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 ~ 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 ~ 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 ~ 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
1000 ~	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

표 2.3 국내의 전류고조파 규정

고조파 차수	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h$	TDD
비율 (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

2.1.3 역률

① 역조류가 없을 경우, 풍력발전설비 설치자의 수전점 역률은 원칙적으로 90% 이상으로 유지한다.

② 역조류가 있는 경우, 풍력발전설비 설치자의 수전점 역률은 원칙적으로 90% 이상으로 유지하며, 전압상승을 방지하기 위하여 불가피한 경우에는 수전점 역률을 80%까지 제어할 수 있다.

2.2. 전기품질분석

풍력발전단지가 변전소 모선의 전압에 미치는 영향을 분석하기 위해 성산변전소 구내의 풍력 D/L과 다른 변압기 배관에 속해 있는 D/L의 인출점에 계측 장비를 설치하여 지속적으로 데이터를 취득하였다. 계측장치는 (주)파에스디테크의 PQM(Power Quality Monitoring)장비로서 데

이터 취득은 10초마다 컴퓨터에 저장되도록 하였으며 순시정전이나 순간전압강하, 순간전압상승 등 전기품질의 이상징후 발생시에는 이벤트로서 저장된다.

전기품질에 대해 전압변동, 송출전압 유지범위, 전압고조파, 전류고조파, 역률 등을 풍력발전 계통연계 기준에 적합한지 분석하였다.

2.2.1 전압변동

성산변전소의 두 군데 D/L 인출점에서 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 출력변동이 심하거나 고출력인 경우에 해당하는 10월 1일, 10월 2일에 대한 풍력발전량 및 모선 전압의 전압파형을 그림 3.1 - 3.4에 표시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 전압의 크기는 규정범위내로 유지되고 있음을 알 수 있으며 전압변화가 급격한 곳은 표 3.1에 표시된 바와 같이 ULTC가 동작한 경우에 해당한다.

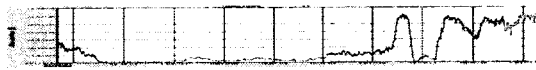


그림 3.1 풍력발전출력파형(10월 1일)

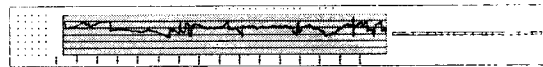


그림 3.2 풍력모선전압(10월 1일)

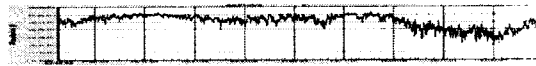


그림 3.3 풍력발전출력파형(10월 2일)

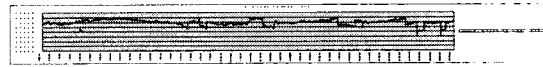


그림 3.4 풍력모선전압(10월 2일)

풍력 D/L과 풍력발전시스템이 연계되지 않은 성산 D/L의 상시전압변동을 분석하기 위하여 10분 평균전압이 전압변동을 규정을 위반한 횟수를 표 3.3과 3.4에 나타내었으며 표로부터 풍력발전시스템이 연계되지 않은 모선의 전압변동도 일부 규정을 위반하고 있음을 알 수 있다.

10분 평균의 전압변동률은 일부 2%의 규정을 벗어나는 부분이 나타나지만 전체 측정 데이터 수에 비하여 상당히 적은 편이므로 전압변동률은 대체적으로 기준을 만족한다고 평가할 수 있다.

표 3.1 ULTC 동작시간

	10월 1일	10월 2일
1	03:25:32	08:25:16
2	07:50:32	09:07:45
3	08:36:22	09:31:55
4	08:57:15	12:49:32
5	09:23:45	13:30:21
6	12:10:23	17:13:25
7	13:11:19	18:14:30
8	17:17:52	18:15:32
9	17:21:10	18:43:51
10	17:26:43	21:13:27
11	21:29:31	21:53:18
12	21:33:25	22:18:42
13	22:33:19	23:14:49
14	22:57:53	23:31:11
15	23:05:17	-
16	23:37:24	-

표 3.3 풍력 D/L 전압변동을 위반

날짜	10/22	10/23	10/24	10/25	12/22	12/23	12/24
규정위반횟수(%)	5 (3.4)	1 (0.6)	0 (0)	5 (3.4)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

표 3.4 성산 D/L 전압변동을 위반

날짜	10/22	10/23	10/24	10/25	12/22	12/23	12/24
규정위반횟수(%)	35 (24)	18 (12)	16 (11)	19 (13)	32 (22)	14 (9)	21 (14)

2.2.2 고조파

전압 고조파의 왜곡정도를 파악하기 위하여 풍력 D/L과 성산 D/L에 대해 10월(22일, 23일, 24일, 25일), 12월(22일, 23일, 24일)에 대해 전압고조파가 규정을 위반한 횟수를 표 3.5와 3.6에 표시하였다.

전압고조파에 대한 표를 분석해 보면 풍력발전이 연계되어 더 많은 전압고조파를 발생한다고 할 수 없으며 이러한 사실은 성산변전소의 부하에서 고조파를 발생시킨다고 할 수 있다.

표 3.5 풍력 D/L 전압고조파(1일 144개 기준)

날짜	10월 22일	10월 23일	10월 24일	10월 25일	12월 22일	12월 23일	12월 24일
규정위반 횟수(%)	8 (5.5)	33 (22.9)	18 (12.5)	43 (29.8)	33 (22.9)	45 (31.2)	39 (27.8)

표 3.6 성산 D/L 전압고조파(1일 144개 기준)

날짜	10월 22일	10월 23일	10월 24일	10월 25일	12월 22일	12월 23일	12월 24일
규정위반 횟수(%)	14 (9.7)	16 (11.1)	24 (16.6)	13 (9.0)	18 (12.5)	23 (15.9)	20 (13.8)

전류고조파를 해석하기 위해 10월 1일 0시와 03시 10분의 풍력D/L 전류고조파를 그래프로 그림 3.5와 3.6에 나타내었으며 고조파 규정 위반의 정량적 분석을 위해 10월과 1일에 대해 규정을 벗어난 횟수를 표 3.7과 3.8에 표시하였다. 고조파 규정 위반의 해석은 계통연계기술기준에서 제시하고 있는 조파별로 위반여부를 판정하여 종합하였으며 단락전류와 부하전류의 비율에 따른 IEEE 519 규정을 함께 비교, 분석하였다.

전류고조파가 규정을 벗어난 표를 분석해 보면 다소 많은 부분에서 규정에 위반되고 있으며 이런 현상이 풍력발전시스템에 의한 것인가를 분석하기 위해 풍력발전 출력이 없는 11월 4일 11시 10분, 11월 5일 23시 20분에 대한 전류고조파 분석 데이터를 그림 3.7과 3.8에 나타내었으며 풍력발전의 출력이 없는 날에 대해 규정을 위반한 횟수에 대한 분석을 표 3.9에 수록하였다.



그림 3.5 전류고조파(8월 1일 00:00)



그림 3.6 전류고조파(8월 1일 03:10)

표 3.7 전류고조파(10월)

기준	날짜	위반횟수
IEEE 519 ($I_{L1} < I_{L2}$)	10/01	61
	10/02	67
	10/08	113
IEEE 519 ($50 < I_{L1} < I_{L2}$)	10/01	25
	10/02	32
	10/08	83

표 3.8 전류고조파(1월)

기준	날짜	위반횟수
IEEE 519 ($I_{sc}/I_L < 20$)	1/01	67
	1/02	56
	1/03	71
	1/04	66
IEEE 519 ($50 < I_{sc}/I_L < 100$)	1/01	37
	1/02	32
	1/03	40
	1/04	30

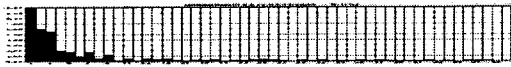


그림 3.7 출력이 없는 경우의 전류고조파(11월 4일 11:10)

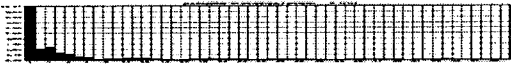


그림 3.8 출력이 없는 경우의 전류고조파(11월 5일 23:20)

표 3.9 발전출력이 없는 경우의 전류고조파

기준	날짜	위반횟수
IEEE 519 ($I_{sc}/I_L < 20$)	11/04	56
	11/05	49
	11/08	27
IEEE 519 ($50 < I_{sc}/I_L < 100$)	11/04	34
	11/05	27
	11/08	27

풍력발전이 출력을 발생시키지 않는 경우에 대해서도 전류 고조파가 발생하는 것으로 보아 성산변전소의 부하에서도 고조파를 발생하고 있음을 알 수 있다.

2.2.3 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 10월 1일과 2일에 대하여 그림 3.9와 3.10에 나타내었으며 10월 1일부터 8일까지의 풍력발전기의 출력에 따른 평균역률 값을 표 3.10에 나타내었다.

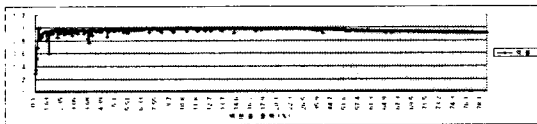


그림 3.9 역률(10월 1일)

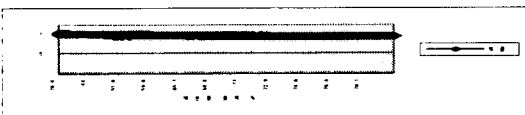


그림 3.10 역률(10월 2일)

풍력발전기의 출력에 따른 역률특성 곡선 및 평균역률 데이터로부터 풍력발전기의 출력이 저출력인 경우를 제외하면 역률이 90% 이상이 되는 것을 알 수가 있다.

표 3.10 평균역률

% 출력	10/01	10/02	10/03	10/04
0 ~ 1%	0.77	x	0.42	x
1% ~ 2%	0.92	x	0.84	0.90
2% ~ 3%	0.95	x	0.92	0.97
3% ~ 4%	0.95	x	0.96	0.97
4% ~ 5%	0.96	x	0.97	0.96
> 5%	0.96	0.94	0.97	0.98
% 출력	10/05	10/06	10/07	10/08
0 ~ 1%	0.79	0.77	0.79	0.84
1% ~ 2%	0.89	0.91	0.90	0.92
2% ~ 3%	0.94	0.95	0.94	0.96
3% ~ 4%	0.96	0.96	0.95	0.96
4% ~ 5%	0.97	0.97	0.96	0.97
> 5%	0.98	0.98	0.99	0.98

3. 결 론

660kW 풍력발전기, 10MW의 풍력발전단지의 출력 및 전기품질에 대한 데이터를 측정하여 전기품질을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 전압크기는 변전소 송출유지기준을 항상 만족하고 있으며 상시전압 전압변동률은 일부 규정에 위반되는 사례가 발생하였으나 대체적으로 2%이하를 유지하고 있다.
- 전압고조파는 풍력발전단지과 부하 모두에 대해 나타나고 있으며 전력회사의 입장에서 전압 고조파에 대한 대책을 수립하여야 할 것이다.
- 전류고조파는 풍력발전기가 저출력인 경우가 고출력에 비해 많이 발생하고 있으며 대체적으로 고조파 규정을 위반하는 사례가 발생하고 있어 지속적인 분석 및 저감대책이 행해져야 한다.
- 분산형전원 계통연계 기술기준(안)의 고조파 전류에 대해서는 풍력발전사업자의 입장에 유리하게 단락전류 대 정격전류의 비율에 따라 차수별로 적용시키는 IEEE 519의 전류왜형률 기준을 적용시키는 것이 합당하다고 생각된다.
- 풍력발전기의 역률은 저출력의 경우를 제외하면 90% 이상을 항상 유지하고 있다.

풍력발전시스템의 전기품질은 전압크기, 전압변동률, 변전소 송출유지기준, 역률 등은 기준에 적합하다고 분석할 수 있으나 고조파 부분에 대해서는 규정을 위반하는 사례가 다수 발생하고 있고 특히 저출력인 경우에 대해서는 규정위반이 심하므로 고조파 저감 대책을 시행해야 한다. 또한 전압변동을 정성적으로 표현하는 플리커에 대해서는 측정이 이루어지지 않아 분석에서 제외되었지만 향후 플리커에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 한국 전력거래소 제주지사의 지원으로 수행된 결과의 일부이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대한전기학회, 전기의 세계, 2005. 3.
- [2] 한전전력연구원, 풍력발전 계통연계 기술 지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구, 2004. 8.
- [3] 대한전기협회, 신재생에너지분야의 기술기준 개발방안 워크샵 및 계통연계기준(풍력) 공청회, 2004. 4.
- [4] 한국남부발전, 제주풍력건설 타당성 보완 조사, 2002. 7.
- [5] 제주도, 제주도내 풍력발전단지 성능 모니터링 및 평가, 2004. 6.