

제주 행원 풍력단지의 모델링 해석 및 전압, 전류 고조파의 실측 분석

윤기갑, 조민호, 김상준, 장상옥, 안정식
한전전력연구원 전력계통연구실

A study on the measurements and analysis of harmonics of Je-ju Hang-won Wind turbine

Gi-Gab Yoon, Min-Ho Cho, Sang-Jun Kim, Sang-Ok Jang, Jeong-Shik Ahn
KEPRI Power System Lab.

Abstract - 본 논문은 분산전원이 기존의 배전계통상에 도입되는 경우에 대하여 전압변동해석을 수행하기 위해 제주 성산 변전소를 선정하여 MATLAB 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 및 전압변동사항을 모의 분석하였고, 실제로 제주 행원풍력설비에서 발생하는 전압, 전류 고조파를 50조파까지 측정하여 전압 및 전류고조파 왜형률에 대한 분석을 시행하였다.

- 설비 발전 용량 : 9795 kW
- 풍력발전설비 운전조건
발전출력 : 100%(9795kW)
운전역률 : 0.99 (역률보상시) / 0.91~0.71(역률보상없음)

2.2 전압 변동해석 및 결과

(1)결과그래프

1. 풍력발전 미도입시

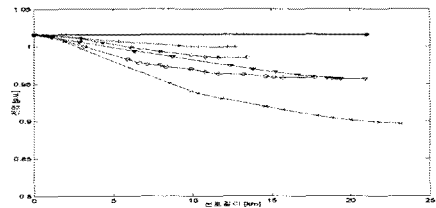


그림1 중부하시(풍력발전 미도입 시)

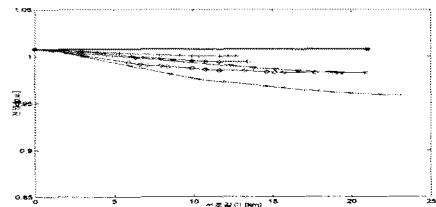


그림2 경부하시(풍력발전 미도입 시)

1. 서 론

최근 들어 다양한 대체에너지원을 이용한 발전형태 중 에너지 생산비용이 타 발전설비에 비하여 적은 풍력발전 시스템이 많은 주목을 받고 있다. 특히 향후에 건설되는 풍력발전기들은 과거 도서지역에 설치되어 운전되었던 독립 전원형태에서 벗어나, 계통에 연계되어 생산된 전력을 계통으로 공급하는 연계전원형태가 주가 될 것으로 예상된다. 풍력발전기의 연계운전 시에는 계통이 다양한 영향을 받을 수가 있는데, 이러한 영향을 최소화하기위해서는 풍력발전기기가 연계되어있는 배전계통에서 풍력발전기의 계통투입으로 발생하는 현상과 풍황의 변화에 따른 전력의 품질에 대한 연구가 필요하다.

본 논문은 배전계통에 도입되는 제주 행원 풍력발전단지에 대해 EMTDC를 이용하여 계통에 미치는 영향을 모의 및 분석하였고, 실제로 풍력설비에서 발생하는 전압, 전류고조파를 50조파까지 측정하여 전압 및 전류 고조파왜형률에 대한 분석을 시행하였다.

2. 본 론

2.1 계통분석 및 조건

분석 대상인 제주 성산 변전소는 MTr #1, #2 두 개의 주변압기로 구성되어 있으며, 여기서는 풍력발전단지가 도입되는 MTr #1에 대해서만 고려하기로 한다.

MTr #1에는 성산, 정의, 송당, 신평, 온평의 5개의 피더(D/L)가 연결되어 있으며, 주변압기 직하에 행원전용선로를 통하여 총 9795kW의 풍력발전단지가 도입되었다.

(1) 계통 데이터

- MTr 2차측 전압 : 중부하시 23.04kV
경부하시 23.01kV
- 최대/최소 전력 : 최대 38.7MW + 15.2MVA
최소 18.2MW + 6.5MVA

(2) 주변압기 데이터

- 용량 : 45/60 MVA
- 임피던스 : 14.45 %
- 전압조정장치 : DVM(Digital Voltmeter), AVR 사용 않음.
- 변압기 운전 허용 범위 : 23.36kV ~ 23.01kV (1.02 ~ 1.004 p.u.)

(3) 풍력단지 데이터

- 행원풍력 전용 선로 : 24km / OC-W 100SQ

2. 중부하

a. 100% 출력시

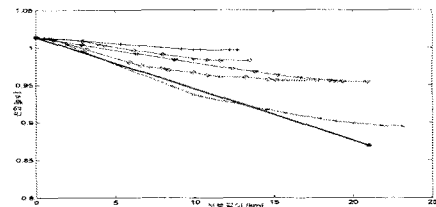


그림3 전상역률 0.71

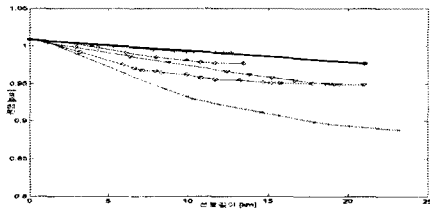


그림4 진상역률 0.91

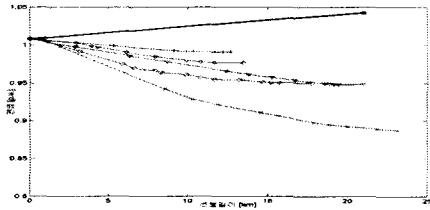


그림5 진상역률 0.99

3. 경부하

a. 100% 출력

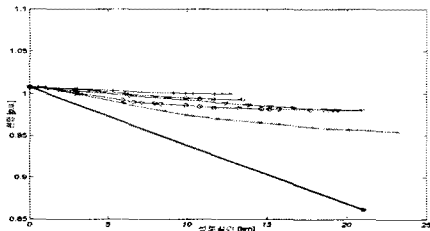


그림6 진상역률 0.71

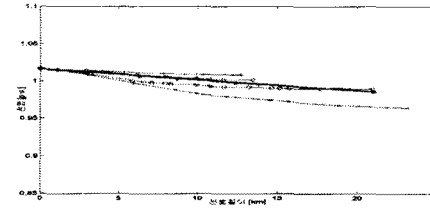


그림7 진상역률 0.91

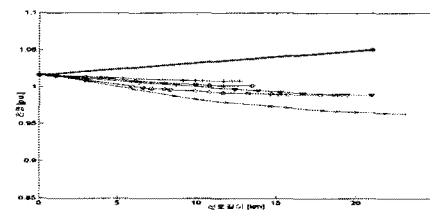


그림8 진상역률 0.99

(4) 결과 데이터

중부하시	송출전압	성상	정의	송당	신풍	온평	행원(풍력)
풍력단기미도입시	1.0159	0.95844	0.89684	0.95678	0.9989	0.98488	1.0159
출력 100%	pf = 0.71	1.0135	0.95606	0.89424	0.9544	0.99662	0.98257
	pf = 0.91	1.0084	0.95053	0.88819	0.94884	0.99134	0.97721
	pf = 0.99	1.008	0.95001	0.88762	0.94832	0.99085	0.9767
경부하시	송출전압	성상	정의	송당	신풍	온평	행원(풍력)
풍력단기미도입시	1.0122	0.98555	0.95964	0.98503	1.0042	0.99767	1.0122
출력 100%	pf = 0.71	1.0079	0.98106	0.95502	0.98054	0.99975	0.99324
	pf = 0.91	1.0166	0.99003	0.96426	0.98951	1.0086	1.0021
	pf = 0.99	1.016	0.98939	0.9636	0.98887	1.0079	1.0015

2.3 고조파 측정 및 분석

풍력발전은 발전 특성상 풍황의 변화에 따라 발생하는 고조파의 증가에 의해 여러 문제가 발생할 우려가 있다. 그림9는 행원풍력발전단지의 전압, 전류파형을 나타낸 것이다. 그림9에서와 같이 바람이 거의 불지 않을 때에는 그 전류파형도 고조파 성분을 많이 포함하고 있다.

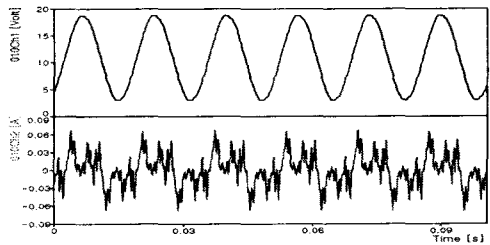


그림9 바람이 약할 때 전압, 전류 파형

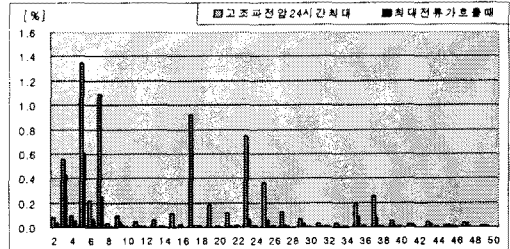


그림10 고조파전압 24시간 최대 및 가 최대전류가 흐를 때의 전압고조파 분포

그림10에서 고조파전압 24시간 최대는 하루 144개의 샘플 중에서 각 차수별로 최대치만 모아 나타낸 값이다. 최대전류가 흐를 때 당시의 고조파를 측정된 결과 3,5,7 조파가 0.6% 이하로 나타났으며 THD_v 는 0.8%로 적게 나타났다.

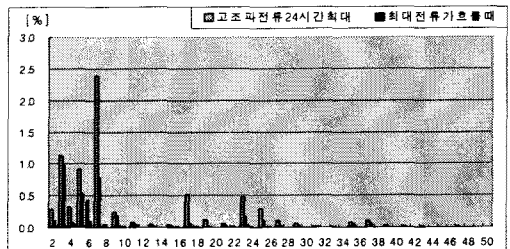


그림11 고조파전류 24시간 최대 및 최대전류가 흐를 때의 전류고조파 분포
최대전류가 흐를 때 고조파를 분석한 결과 THD_i , TDD_i 는 1.4%로 양호한 결과를 나타냈다.

22.9kV에서 강할 때 최대 23.6kV로 변동하였다.

3. 결 론

제주 생산 변전소 MTr #1 직하에 전용선로를 통해 풍력발전단지가 도입되는 경우에 대하여 시뮬레이션 결과 값 및 전압변동 그래프를 살펴보면, 풍력발전단지의 도입으로 인한 기존 배전계통 D/L에 대한 영향은 크게 나타나지 않는 편임을 알 수 있다. 이것은 여타 일반적인 배전계통들과는 달리, 제주 생산 변전소의 변압기 조정체계가 기존의 LDC방식에 DVM(Digital Voltmeter)를 이용하여 변압기 Tap 동작의 상/하한선을 고정시키는 방식을 동시에 사용하고, 풍력발전단지의 도입에 따른 전압 변동에 관계없이 항상 송출전압을 일정 범위안으로 유지시키도록 운전하고 있기 때문이다.

이러한 방식 하에서 오히려 문제가 되는 것은 풍력발전단지가 연결된 전용선로 자체이며, 전용선로상에 연결된 부하가 있다면 풍력단지의 운전방식에 따라 전압에 큰 변동이 나타나게 된다. 이에 대한 대책으로는 풍력발전단지를 출력에 관계없이 진상 0.91의 역률로 운전하여 전용선로 전압을 적정범위 안으로 유지시키도록 하는 것이다.

또한, 변압기 Tap의 운전 자체가 동작가능범위를 미리 고정시키고 그 범위 안에서만 동작하도록 하는 방식이기 때문에, 계통상의 부하 변동에 대해서는 유동적으로 대처하기가 힘든 단점을 가지고 있다. 만약 배전계통상에 부하량이 증가하여 송출전압이 낮아진다면 LDC 방식에 의해서 이를 보상하기 위해 Tap이 동작, 송출전압을 높여줘야 함에도 불구하고 지정된 범위 이상으로 Tap을 동작시키지 못하게 되어 배전계통상의 수용가에 저전압이 발생할 수도 있다. 이에 대한 대책으로는 변압기 Tap의 운전가능범위를 좀 더 넓게하여 배전계통의 부하변동에 대해 유동적이고 효율적으로 대처할 수 있도록 해 줄 필요가 있다.

풍황에 따라 전압은 약할 때 22.9kV에서 강할 때 최대 23.6kV로 변동하였다. 행원풍력단지의 THD_v 는 최대 1.98%로 국내 전압고조파 관리기준 3.0%이하로 안정되며, TDD 는 2.67%로 국내에는 아직 제한치가 규정되어 있지 않으나 국제기준 IEEE Std.519의 5%이하로 양호한 값을 나타냈다. 또한 50조파까지 고조파분석을 행하여 25조파 이후는 0.2% 이하의 값을 나타내어 계통에 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std. 519
- [2] "풍력발전 계통연계 기술지침 및 연계선로 운영기준 제정에 관한 연구" 중간보고서, 산업자원부, 2003
- [3] 풍력발전 규정 JEAC 5005-2001, 일본전기협회
- [4] 일본의 고조파 관리현황. 2002. 11

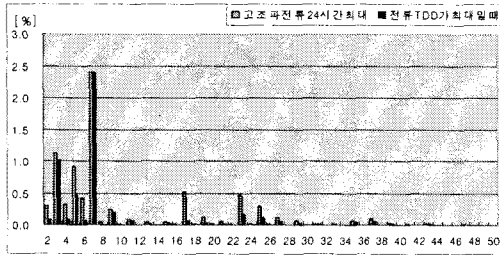


그림12 고조파전류 24시간 최대 및 TDD_v 가 최대일 때의 전류고조파 분포

그림12에서 TDD_v 가 최대일 때 그 값은 2.67%로 양호한 값을 나타냈다.

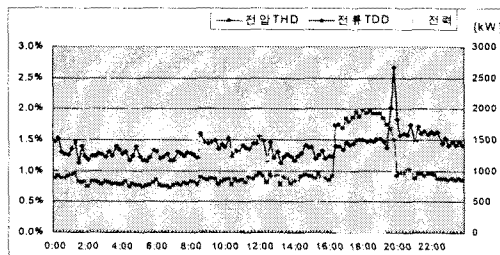


그림13 전력변화에 따른 THD_v , TDD_v 의 변화

그림8에서 일반적으로 THD_v 는 바람의 세기가 약한 17시부터 20시까지 THD_v 가 약간 증가한 경우 2.0%를 제외하고 0.8%~1.0%내외로 국내기준 3%이하로 양호한 결과값을 나타냈다.

TDD 는 전체적으로 전력의 세기와 관계없이 1.3%~2.6%로 IEEE Std. 519 기준 5%이하인 양호한 결과값을 내었다.

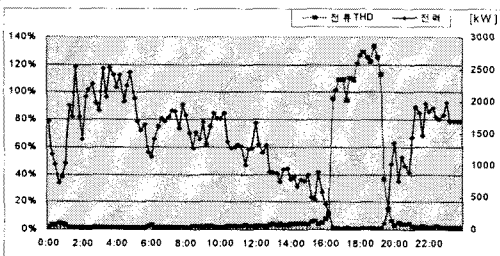


그림14 전력변화에 따른 THD_i 의 변화

그림14에서 THD_i 는 전력이 큰(즉, 바람의 세기가 강한) 시간에는 낮은 값을 나타냈으나 전력이 낮은 시간에는 최대 130%까지 증가했다.

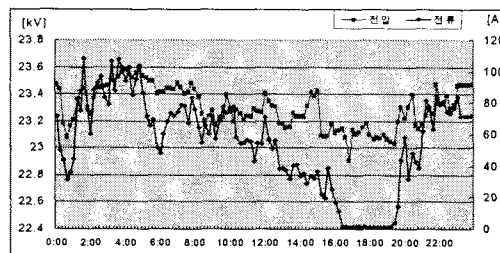


그림15 전압, 전류의 변동

그림15에서 전압은 바람의 세기가 매우 약할 때 최소