

풍력발전 시스템의 계통연계에 따른 전력품질 모니터링 및 진단

장석명 이성호 윤인기 조한욱 윤기갑*
 충남대 전기공학과 한국전력연구원*

Power Quality Monitoring and Diagnosis for the Distribution System Interconn of Wind Turbine

S.M. Jang S.H. Lee I.K. Yoon H.W. Cho K.K. Yoon*
 Chungnam National Univ. KEPRI*

Abstract - Various measures of power quality are addressed, specifically power factor, power variability, electrical transients, flicker and harmonics. This paper presents the measurement criteria for monitoring and diagnosis of power quality according to the distribution system interconnection of wind turbine.

1. 서 론

대체에너지원으로서 풍력발전 시스템은 에너지원의 다양화나 에너지 절약 등의 측면에서 고무적으로 받아들여지고 있으며, 또한 발전시스템을 위한 제한적인 기술력이 확립되어 발전단가가 낮아져 전력생산 단가 면에서도 화석 연료와 경쟁이 가능하며, 더욱이 생산된 에너지는 환경 친화적인 무공해 에너지라는 이점으로 인해, 전 세계적으로 보급이 급속도로 확대되고 있는 실정이다.

그런데 풍력발전을 포함한 대체에너지원들은 기술적인 특성상, 단독운전보다 기존의 한전계통에 연계하여 운전하는 것이 경제성 및 자원의 효율적 이용, 수용가의 공급안정성 확보면 등에서 유리하므로 계통연계운전이 필수적이나, 계통연계시의 기술적인 과제 즉, 전력품질, 보호협조, 단독운전시의 안정성, 안정성 등에 관련된 문제점들을 해결해야 한다. [1][2]

따라서, 본 논문에서는 풍력발전 시스템을 계통에 연계시 해결해야 하는 기술적인 과제 중 전력품질 유지대책을 위해 선행 연구·개발되어야 하는, 전력품질 평가 기준에 대한 모니터링 및 진단에 관한 내용들을 제시하고자 한다.

2. 풍력발전 전력품질 모니터링

전력품질 모니터링은 수용가 측의 전력기기들에 대한 손상을 방지하고, 정확한 동작을 할 수 있도록 전력에너지가 공급되어야 한다는 점과, 전력회사의 송배전 시스템에서 공급하는 전력 및 전력기기들의 손상방지와 정확한 동작에 관한 공급 신뢰도 확보를 위해 필수적으로 요구되는 사항이다. 풍력발전 전력품질 진단은 풍력에 의해 발생하는 전력의 질을 평가하는 것을 일컫는다. 일반적으로 행해지는 전력품질 진단을 위한 측정방법은, 풍속 의존성 등과 같은 풍력발전 전력품질에 영향을 미치는 복잡한 연계성분들과, 전력을 흡수하는 것이 아닌 생산한다는 점에서 풍력발전 시스템에 모두 적용될 수 있는 것은 아니다. 따라서 아직 풍력발전 시스템에 의해 생산되는 전력 품질을 평가하기 위한 일반적 측정법이 확립되지 않은 상태이다.

2.1 전력품질의 측정 및 제한

전력품질은 일반적으로 전력레벨의 변동 또는 전압/전류 변동을 야기시키는 여러 요소들과 관련지어 고려된다. 이러한 요소들은 보통 다른 시간척도에서 발생되

로 이들의 측정 및 측정결과들을 정확히 해석하는 것은 아주 중요한 일이다. 일반적으로 다음과 같은 사항을 포함하여 전력품질이 측정된다.

- 무효전력과 역률
- 전력피크
- 전력의 변동
- 스위칭에 따른 과도현상
- 플리커 현상
- 고조파

전력회사는 정의된 제한 내에서 전력을 배전해야 하며 다양한 전력품질에 제한을 두는 이유는 다음 표 1에서 설명된다.

표 1 전력품질에 대한 제한 요인

| Time Scale (전력품질측정) | 제한요인 |
|----------------------|--|
| 정상상태(전압증가) | 실효전압은 소비자에게 안정성 보장과 배전계통의 보호를 위해 한계값을 가져야 한다. |
| 0 - 30Hz (Flicker) | 플리커 현상에서 주파수 한계는 전력수요자에게 편안함을 보장하기 위해 주어지고(예: 빛의 명멸제한), 전력기기의 오동작을 방지한다. |
| 60 - 2500Hz (고조파 왜곡) | 단일 정수 주파수로 정의된 제한은 전력수요자에게 편안함과 네트워크 운용의 안정, 전력기기들의 안전한 운전을 보장한다. |

일반적인 전력품질 측정법을 사용했을 경우, 풍력발전 전력품질은 풍력 및 송전계통 의존성을 고려해야 한다.

2.2. 풍력발전에 의한 송전계통에의 영향

표 2는 풍력발전이 계통에 연계되었을 경우, 나타날 수 있는 전력품질에의 영향을 나타낸다.

표 2 풍력발전 계통연계에 따른 전력품질에의 영향

| 계통에서의 영향 | 풍력발전에 관계된 요인 |
|-----------|---|
| 실효전압치의 상승 | 평균 발전전력의 상승 |
| 전압변동 | 발전전력변화를 야기시키는 풍속의 변동, 발전모터의 시동/정지, 풍력발전시스템의 불연속적인 스위칭 동작 |
| 전압/전류 플리커 | 출력전력의 변동 요인: · 풍속의 감소 · 편요모차 · 로터 날개각의 부적절한 정렬 · 급격한 풍속 강도 변화 · 스위칭 동작 |
| 고조파 | 전기적설계/발전시스템의 운용: · 정류기/인버터시스템 · 싸이리스터 소프트 스타터 디바이스 · 역률보상기(스위칭동작) |

3. 전력품질 측정을 위한 계측기기

전력품질 측정을 위한 계측기는 크게 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 전력품질 분석기(과도기록기)
- 외란 분석기
- 전력계(변환기)

아직까지 이러한 모든 기능을 제공하는 측정기기는 없으며, 열거된 계측기를 사용한 측정을 통해 전력품질의 평가를 위해서는 다음과 같은 다양한 성분들이 반드시 측정되어야 한다.

- 전압[V]
- 전류[A]
- 주파수[Hz]
- 유효전력[W]
- 무효전력[VAR]
- 평균치
- Flicker
- 고조파 성분
- 과도 효과

4. 전력품질 평가중의 풍속 측정

풍력발전의 전력품질은 계통, 기계의 전기적인 설계 및 기후의 의존성이 매우 높다.

가) 측정시간

일반적으로 풍속 측정은 평균 30초 정도이며 약간의 초과시간을 수용하는 풍속기를 사용한다. 강도가 센(규정된 풍속에 대한 표준풍속의 비율) 바람의 경우, 최소 1분의 측정시간을 필요로 한다. 주파수 해석이 요구되지 않는 문제라면, 0.5Hz의 샘플링이면 충분하다.

나) Cup 풍력측정법

풍속과 풍향의 측정은 풍력발전의 전력시험에 관한 표준 규격 IEC1400에서 다루어진다.

다) 터빈의 전력특성을 사용한 풍속의 근사측정

만일 발전기 출력전력과 풍력발전의 특성을 알 수 있다면, 터빈의 회전자로부터 풍속을 검출하는 것이 가능하게 된다. 이러한 방법들은 보통 전력 품질 파라미터의 측정시간이 매우 짧거나(5-30초), 매우 긴 시간에 사용된다. 표 3은 풍력발전 전력품질 평가를 위해 풍속 측정이 요구되는 경우를 도시한다.

표 3 풍력발전 전력품질 평가를 위한 풍속측정이 요구되는 경우

| 전력품질 | 풍속 측정의 필요성 | 바람의 세기 측정의 필요성 | 풍속측정방법 | 비고 |
|--------|------------|----------------|-------------------|-----------------------------|
| 낮은전압변동 | N | N | N/A | 전력레벨에서 충분한 기준 |
| 역률 | N | N | N/A | 상동 |
| 무효전력 | N | N | N/A | 상동 |
| 고조파 | N | N | N/A | 풍속보다 기기의 설계/제어에 의해 영향을 더 받음 |
| 전력변동 | Y | Y | 풍력측정장치 | 전력곡선으로부터 난기류는 구할 수 없다. |
| 플리커 | Y | Y | 풍력측정장치 | 상동 |
| 과도 스위칭 | Y | N | 전력곡선보다 유용한 풍력측정장치 | 전체시간동안 전력의 계측은 유용치 못하다. |

5. 역률과 무효전력

IEC 1400에 제시된 바를 따르는 전력 성능 평가법과 전력품질 분석장비로 측정된다. 역률은 피상전력과 유효전력의 비이며, 무효전력은 계통에서 요구되는 무효전력을 의미한다. 전력성능 평가를 위한 통계적 자료는 10분 이상의 시간동안 0.5Hz 또는 그 이상의 샘플링 주파수에서 데이터 평균과 표준편차로 수집된다. 측정된 역률은 공급자가 명시한 정격전력과 측정된 유효전력의 비에 관계하여 도해적으로 표시되어야 한다. 유효전력이 가장 클 때 가장 크게 무효전력이 요구된다. 그림 1과 그림 2는 역률 측정 결과와 무효전력의 측정결과를 각각 도시한 예이다.

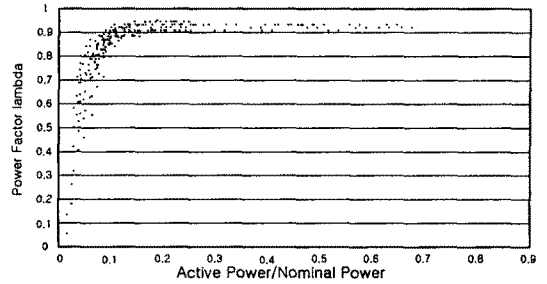


그림 1 역률의 측정

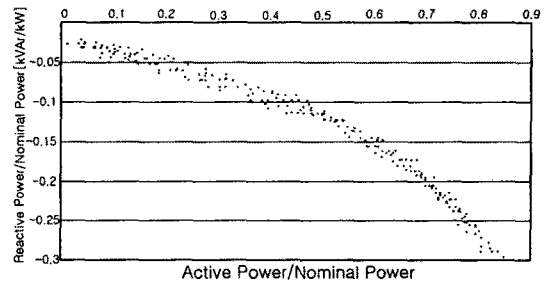


그림 2 무효전력의 측정

6. 전력 변동

전력과 전압의 변동은 계통 및 수요자의 전력기기에 영향을 미친다. 전력변동을 측정하는 데 전력 변동계수가 적용된다. 그림 3은 다양한 난기류 강도의 범위에서 풍속에 대한 전력 변동률 계수의 변화를 도시한 예이다.

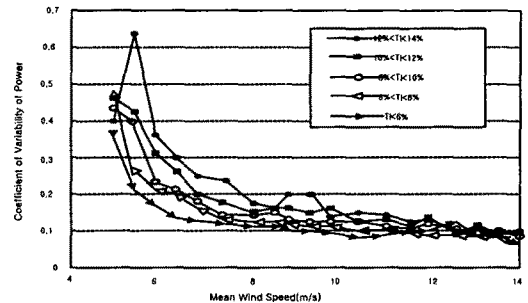


그림 3 풍속과 난기류 강도에 따른 풍력발전의 전력변동

7. 스위칭 동작 동안의 과도현상

일반적으로 과도 현상은 스위칭 동작동안 발생한다. 풍력발전을 계통에 연계하거나, 무효전력 보상기를 발전기에 접속할 때를 예로 들 수 있으며, in-rush 전류와 일시적인 전압강하 현상이 발생된다. 과도현상 시험을 위해 다음과 같은 상태가 고려된 모니터링 프로그래밍이 수행되어야 한다.

- Cut-in at Cut-in wind speed
- Cut-in at rated wind speed
- Switching between generators stages
- Switching-in of the Capacitive component unit
- Service cut-out at rated power
- Emergency cut-out at rated power

과도현상을 도식하기 위해서는 시간에 대한 전류 전압의 특성이 모니터링 되어야 하고, 식 (1)과 같이 정의된 k 는 최대 20ms 실효 전류 최대치 I_{max} 로부터 계산된다.

$$k = I_{max} / I_G \quad (1)$$

여기서 I_G 는 피상전력 S_C 와 공칭전압 V_{NG} 로부터 결정되는 공칭 전류이다. S_C 는 정적 유효전력에서 측정된 풍력발전기의 피상전력이다. 그림 4는 풍력발전의 Cut-in Sequence 동안에 전압, 전류의 과도 현상을 도식한 예이다.

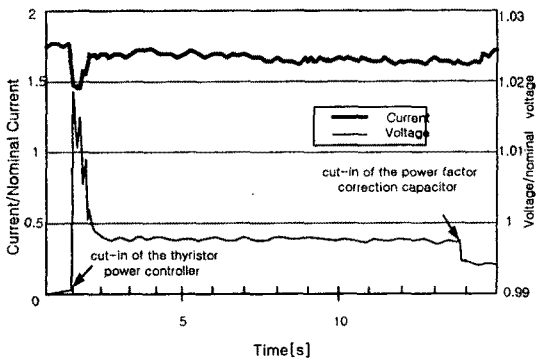


그림 4 풍력발전 Cut-in Sequence 동안의 과도 전류 전압 측정 예

8. 플리커

플리커는 0.5Hz에서 35Hz까지의 분광영역과 관계되고, 불연속적인 값이며, 인간 눈의 감각적 인지에 관련된다. 플리커는 각각 1분동안 수집된 데이터로부터 다음의 단계를 거쳐 정량적으로 표현될 수 있다.

Step 1 : 전압변동의 산출

$$\Delta U = |U_0 + \int_0^T \Delta I - U_0$$

여기서 I 는 전류의 복소값 $I = I \cos \phi + j I \sin \phi$, Z 는 송전계통 임피던스의 복소값, $Z = Z \cos \phi + j Z \sin \phi = R + jX$, U_0 는 송전계통 공칭전압

Step 2 : 전압변동으로부터 단시간(1분)플리커 P_{st} 를 계산.

이는 IEC 868-0 : 1991(EN 60 868 : 1993)과 IEC 868 : 1986과 A1 : 1990(EN 60 868-0 : 1993)에 요약된 방법을 사용할 수 있다. 그림 5는 평균 유효전력과 정적전력의 비에 대한 플리커 P_{st} 를 도식한 예를 보인다.

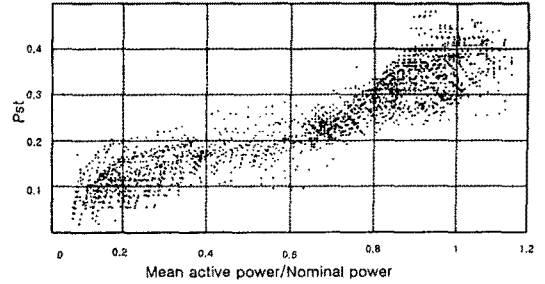
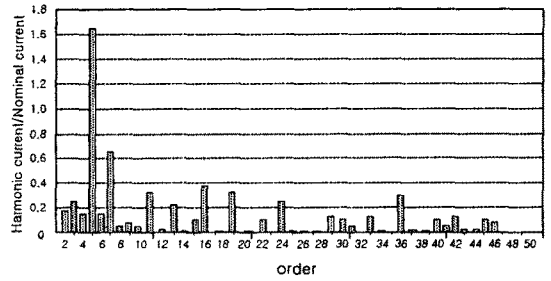


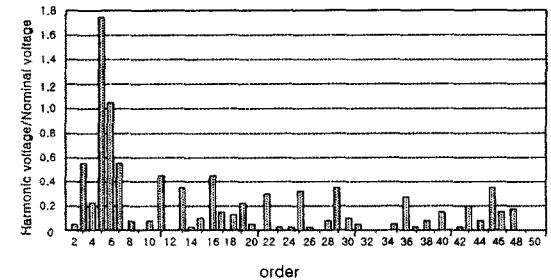
그림 5 평균 유효전력과 정적전력의 비에 대한 플리커

9. 고조파

고조파는 기본파(60Hz)의 정수배에 해당하는 주파수를 갖는 성분들을 말하며, 50차(3000Hz)까지는 측정되어야 한다. 전류와 전압은 모든 전력범위에 대해서 측정되어야 하고, 각 상에 대해서 측정은 연속적이거나 순차적으로 수행되어야 한다. 그림 6의 (a)와 (b)는 풍력발전 시험동안 측정된 전압과 전류에 포함되어 있는 고조파 성분을 도식한 예이다.



(a) 전류 고조파 스펙트럼 분석



(b) 전압 고조파 스펙트럼 분석

그림 6 풍력발전 시험동안에 발생한 전압/전류 고조파

10. 결론

본 논문에서는 풍력발전 시스템을 계통에 연계할 경우, 전력품질 유지 대책을 위해 요구되는, 전력품질 모니터링 및 평가를 위한 세부 내용들을 도해적인 예와 함께 제시하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김용상, 김슬기, "대체에너지원의 배전계통 연계기술", 전기학회지, Vol.50, No.6, pp.34-40, 2001.6
- [2] 김두훈, 류지훈, "해의 풍력발전 기술의 동향과 전망", 전기학회지, Vol.50, No.6, pp.19-24, 2001.6
- [3] G. Gerdes, et. al., "European Wind Turbine Stand