

# 풍력발전기의 전기적 특성과 계통연계시 상호작용

송승호\*, 김일환\*\*, 한병문\*\*\*

(\*전북대, \*\*제주대, \*\*\*명지대 교수)

## 1. 서론

덴마크, 독일 등 북유럽 국가를 주축으로 빠른 속도로 발전하고 있는 풍력발전 산업은 이제 미국, 스페인 등 대형 풍력발전 설비용량을 갖춘 나라들뿐만 아니라 호주, 아시아 등 여러 나라에서 크게 발전할 것으로 기대되는 산업분야이다.

풍력발전에 관한 연구는 일찍부터 진행되어 왔으나 1990년대 후반부터 단위용량 500kW 이상의 대용량 시스템들이 상용화 및 대규모로 설치되면서 풍력 발전 단지에서 생산된 전력의 전력 계통 유입 측면에서 본격적으로 검토되기 시작했다.

국내에서도 1997년부터 시작된 제주 행원 풍력발전단지(시설용량 10MW) 조성 사업이 성공적으로 완수되면서 본격적인 풍력발전의 활성화의 기폭제가 되었고, 산업자원부와 에너지관리공단 주관으로 대체에너지 개발 및 보급 활성화에 관한 법률이 시행되어 여러 민간 사업자들이 풍력 발전 사업을 추진하면서 100MW급의 대용량 풍력발전단지를 포함한 여러 가지 계획이 발표되고 있다. 또한 국내 최초로 단위용량 1.5MW급의 대용량 풍력발전기가 제주도 해안가에 설치될 예정이다. 대체에너지 보급 확대 정책에 의하면 2006년 대체에너지 설비용량을 전체 전력생산량 대비 3% 수준으로 높이기로 하였고 이는 2250MW에 해당하는 엄청난 규모이다.

그러나 무조건 빠른 보급만을 낙관하기는 이르다. 풍력발전기를 설치, 운전해본 경험을 가진 인력 팀들이 많지 않고, 울릉도에 설치된 600kW급 풍력발전기의 경우 기존 울릉도에 전력을 공급하고 있는 내연기관 발전기와의 병렬운전에서 기술적 어려움을 겪은 것이 사실이기 때문이다.

이러한 상황을 토대로 한국전력측은 전력연구원을 중심으로 풍력에 의해 발전된 전력을 수용하기위한 풍력발전기 계통연계 운전 지침(규정)을 제정하는 작업을 수행하고 있다.

풍력발전기의 설치, 운전에 따른 제반 사항 중에서 특히 발전기 출력의 전기적 특성과 설치지점의 전력 계통 선로의 특성에 따른 상호작용에 관한 이슈들을 살펴보고 앞으로 풍력발전기 계통연계에 관한 연구 및 실제 운전에서 고려되어야 하는 점들을 살펴 볼 것이다.

풍력발전기 계통연계에 관한 원고 부탁을 받고 자료 수집을 하던 중 IEEE PES에서 발간되는 Power & Energy Magazine 최근호에 동일한 주제의 글이 발표된 것을 보고 대부분의 내용을 번역하여 서술하였다. 시간관계상 사진 허락을 받지 못했으나 회원들의 관심과 현재 국내 상황에 꼭 필요한 내용이라 생각되어 정리하게 되었다.

## 2. 풍력발전의 현황

지구 환경 보호에 대한 염려와 관심이 더욱 높아져 가는 이때 기존 에너지원과는 달리 환경오염이 거의 없는 신 재생 에너지를 통한 전기 에너지 생산에 대한 지대한 관심과 노력이 높아지고 있다. 그 대표적인 예로서 바람이 가진 운동에너지를 기계적 힘으로 바꾸고 발전기를 돌려 전력을 생산하는 풍력발전시스템을 들 수 있다. 지난 10년간 설치된 풍력발전기의 용량은 그림 1과 같이 빠르게 증가해 왔다. 그림에서 보듯이 설치용량의 증가는 유럽에 집중된 경향을 보이지만 최근에는 미국과 아시아 여러 나라에서도 빠른 속도로 증가하고 있는 추세이다. 총 설치 용량의 측면에서 풍력발전은 지난 5년간 매년 40% 가량의 급속한 성장률을 보였으며 2002년 말 현재 30GW를 넘어섰다.

최근 몇 년 사이에 풍력발전기 분야에서 큰 변화는 단위 용량이 커지고 풍력단지의 규모 또한 커진 것이다. 풍력발전기 제조회사들마다 앞 다투어 MW급 초대형 풍력발전기를 시운전, 출시하고 있고 날개의 직경이 100m에 이르는 초대형 구조물을 갖는 모델도 선보이고 있다. 그림 2에는 시장에 출시

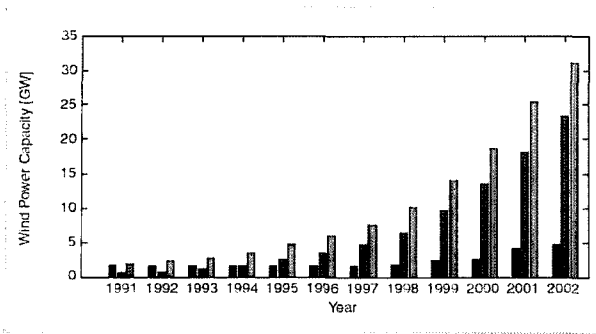


그림 1. 설치된 풍력발전기의 용량증가  
(black : 미국, blue : 유럽, red : 세계)

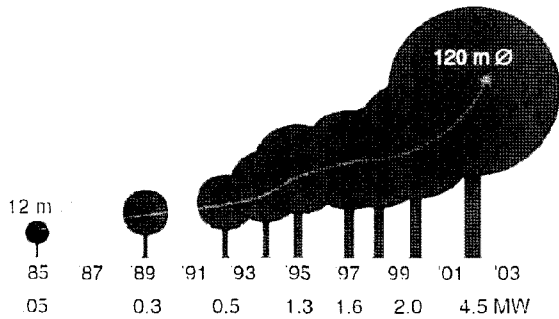


그림 2. 시장에 출시된 풍력발전기 크기의 증가



그림 3. 세계 최고 용량의 풍력 발전기 Enercon E-112 rotor  
(diameter : 112m nominal power : 4.5MW)

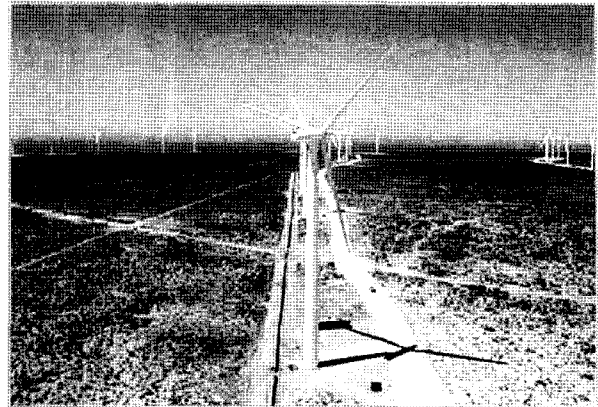


그림 4. King Mountain Wind Range : 1.3MW 풍력발전기 214대로 이루어져 있다 (Courtesy : Bonus Energy Systems A/S)



그림 5. Horns Rev. 해역에 완공된 160MW 해상 풍력 발전 단지 전경 (Courtesy : Vestas)

된 풍력발전기의 용량과 회전자 단면적을 표시한 그림을 보았다. 그림 3은 현재 세계 최고 용량을 자랑하는 독일 Enercon사 E-112모델의 사진으로서 회전자 직경의 길이가 112m에 이른다.

또한 풍력 자원이 우수한 지역을 효과적으로 활용하고 경제성을 높이기 위한 측면에서 여러 대의 풍력발전기를 한 지역에 집중적으로 배치, 운용하는 이른바 풍력 단지(Wind Farm)의 개발이 활기를 띠고 있다. 그림 4는 총 설치용량이 278MW에 이르는 거대한 풍력 프로젝트인 King Mountain Wind Ranch의 전경이다.

인구 밀도가 높고 수심이 낮은 해안을 인접하고 있는 북유럽의 국가들에서는 해상(Offshore) 풍력발전단지의 개발이 한창이다. 해상에 풍력발전기를 설치할 때의 이점은 경관이나 소음문제가 없으며 육지에 비해 더 높은 풍속과 안정된 유속을 얻을 수 있어 결과적으로 보다 많은 에너지를 생산할 수 있다는 점이다. 하지만 해상 풍력발전단지의 건설비용이나 상대적으로 먼 거리까지 전력을 전송해야 하는 계통 연계비용 등이 증가하는 단점이 있다. 그림 5는 2002년 10월에 덴마크 Horns Rev.해역에 완공된 160MW 해상 풍력발전 단지의 전경이다.

### 3. 풍력 발전기 동작 원리 및 내부 구조

풍력발전기에서 발전 전력을 얻는 과정은 2단계로 이루어진다. 하나는 회전자에 의해 바람이 가진 유동 운동에너지의 일부를 회전 운동에너지로 뽑아내는 과정이고 다른 하나는 발전기에 의해 기계적 운동에너지를 전기에너지로 변환하여 전력 계통에 공급하는 과정이다. 이러한 일반적인 풍력발전기의 전력 생산 원리를 그림 6에 표시하였다. 이와 같이 풍력발전기는 공기역학, 기계공학, 전기공학 그리고 제어공학 등이 함께 어울어진 복합 시스템인 것이다.

최근에 생산, 판매되고 있는 풍력발전기는 발전시스템의 구성 측면에서 그림 7과 같이 세 가지 대표적인 타입으로 분류할 수 있다.

- 1) 농형 유도 발전기와 계통 직입방식의 고정속도형
- 2) 이중 여자형(권선형) 유도기를 사용한 가변속형
- 3) 직접 구동형 동기발전기를 사용한 가변속형

첫 번째 방식이 가장 오래된 방식으로서 농형 유도발전기의 출력을 직접 계통에 연결하는 방식이다. 따라서 슬립의 크기(즉 회전 속도)는 생산되는 전력의 양에 따라 특성커브상의 운전점을 따라 약간 변동하나 그 양이 1~3%로서 매우 작으므로 이와 같은 운전 방식의 풍력발전기를 보통 고정속도(Fixed Speed or Constant Speed)형 풍력발전기라고 부른다. 여기서 한가지 언급할 것은 이러한 고정속도방식 중에도 고정자 권선의 극수를 변동시켜(예를 들면 6극과 4극) 두 가지 운전속도를 구현하는 모델도 있다.

농형 유도발전기는 구조가 간단하고 가격이 싼 장점이 있는 반면 여자전류를 공급하기 위해 항상 무효전력을 필요로 한다. 따라서 대부분의 경우에 이러한 무효전력의 전체 혹은 일부를 커패시터로 보상함으로써 전체 출력 역률을 단위 역률로 유지하도록 노력한다.

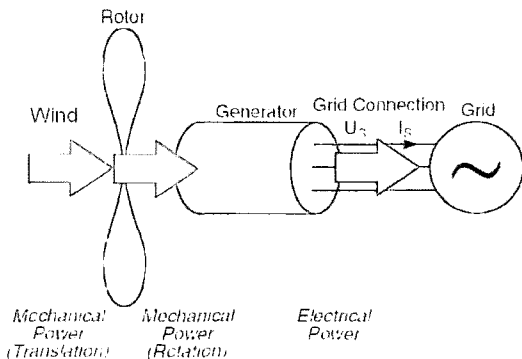


그림 6. 풍력발전기의 일반적인 동작 원리

나머지 두 가지 방식은 가변속도 방식으로 회전자의 속도가 가변이 되기 위해서는 계통의 주파수와 분리시키는 메커니즘(전력변환 회로)이 필요하다. 이중여자형 풍력발전기에서는 이와 같은 주파수 분리를 위해 Back-to-Back 방식의 전압형 컨버터-인버터를 사용하여 발전기 회전자 권선에 슬립주파수에 해당하는 전압-전류를 공급하고 있다. 그 결과 발전기의 기계적 회전 속도와 상관없이 전기적 회전 자계의 주파수는 일정한 속도를 유지하도록 하면서 발전기 회전축의 토오크를 원하는 크기로 조절할 수 있다.

한편 세 번째 방식인 직접 구동형 동기발전기 방식은 일명 기어리스 방식이라고도 부르며 대용량 AC-DC-AC전력변환기를 사용하여 발전기 출력 주파수와 계통 주파수를 완전히 분리시키는 방법이다. 이 때 발전기측 컨버터는 다이오드 정류회로를 사용할 수도 있으며, 동기발전기는 권선형 계자 후

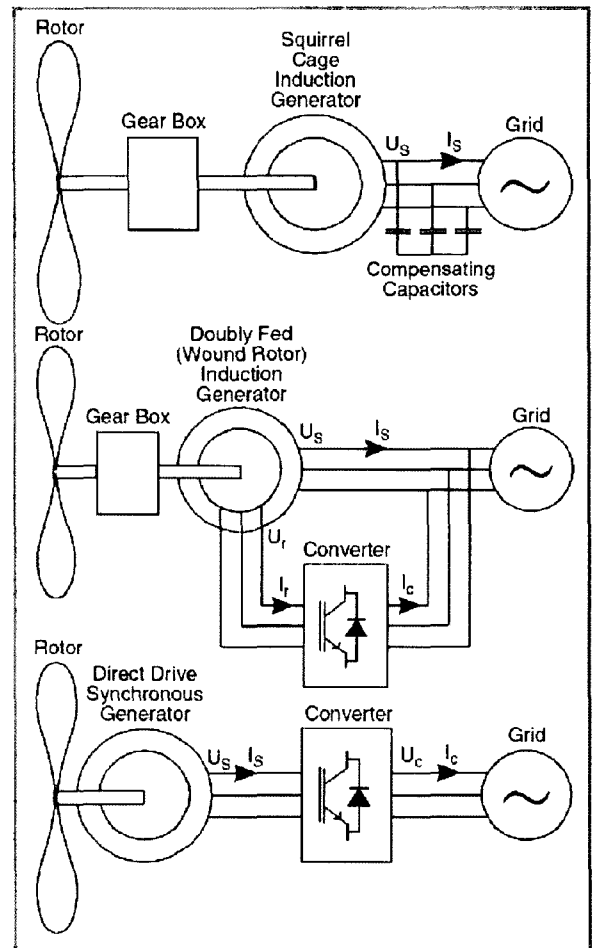


그림 7. 풍력발전기에 사용되는 발전 시스템  
 top: 농형 유도 발전기  
 middle: 이중여자 유도 발전기  
 bottom: 직접 구동형 동기 발전기

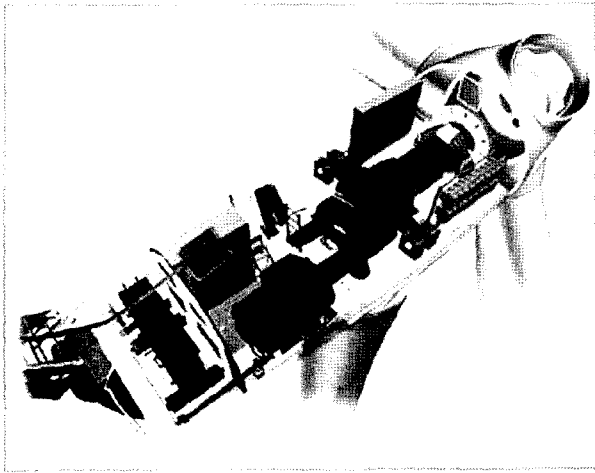


그림 8. 기어박스과 농형(또는 권선형) 유도 발전기를 사용한 풍력터빈의 너셀 구조도(Courtesy : NEG Micon A/S.)

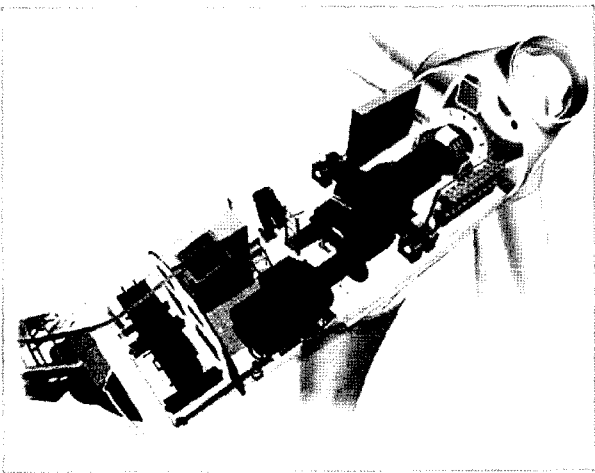


그림 9. 직접 구동형 동기 발전기를 사용한 풍력터빈의 너셀 구조도 (Courtesy : Enercon GmbH.)

은 영구자석형 제자의 두 가지가 사용되고 있다. 그림 8은 기어박스와 유도기를 사용한 풍력발전기 시스템의 너셀(Nacelle) 내부 구조를 나타내고, 그림 9는 직접 구동형 기어리스 방식의 너셀 내부 구조도이다.

지금까지 설명한 3가지 방식이 주류를 이루는 출력 방식이고 기타 약간씩 변형된 방법도 있다. 예를 들면 권선형 유도 발전기를 사용하되 회전자 권선 출력단에 저항과 스위치를 이용하여 회전자 저항값을 가변하는 방식이 있다. 이러한 방법에 의해 발전기의 특성곡선(속도-토크 곡선) 자체를 변동시켜 과도상태 속도 변동의 폭을 최대 약 10%까지 얻는 방식이다. 또 다른 방법으로는 기존의 고속형 농형 유도기나 동기기를 사용하고 전부하 용량의 전력변환회로를 사용하는 방

식도 있다.

한 가지 동기발전기를 계통에 직접 연결하는 방식(기존의 발전소 방식)은 풍력발전에서는 사용되지 않고 있는 것을 주목할 필요가 있다. 원동기에 해당하는 회전자 블레이드의 맥동이 구조적으로 심한 스트레스를 줄 수 있으며 갑자기 돌풍이 불었을 때 안정성의 위험도 있기 때문이다. 게다가 동기발전기는 계통 투입시 미리 기존 계통 전압과 동기화가 되어야 하는데 이것 또한 커다란 골칫거리가 아닐 수 없다.

#### 4. 풍력발전시스템과 기존의 발전시스템의 비교

지금까지 언급한 바와 같이 풍력발전과 기존의 발전시스템은 근본적으로 다음과 같은 차이점이 있다. 풍력발전시스템은 기존 발전시스템에서 사용하는 계통 직결형 동기식 발전기를 사용하지 않는다는 것과 풍력발전기의 원동기(Prime Mover)에 해당하는 바람은 조절이 불가능하며 불규칙적으로 변동한다는 것이다. 이와 같은 차이점들은 결국 풍력발전기가 기존 전력 시스템과 어떻게 상호작용을 할 것인지 예측하기 어렵게 만드는 요인이 된다. 풍력발전기가 전력 시스템에 미치는 영향을 크게 국부적인 영향(Local Impacts)과 시스템 측면의 영향(System-wide Impacts)으로 구분하여 설명하고자 한다.

##### 4.1 국부적인 영향(Local Impacts)

국부적인 영향은 풍력발전기가 설치된 주변에 미치는 전기적 영향으로서, 적용된 발전기의 출력 방식에 따라 크게 달라진다. 이러한 국부적인 영향에는 다음과 같은 것들이 있다.

국부적인 영향 중 첫 번째와 두 번째는 새로운 발전소를 건설할 때에 항상 고려해야 하는 항목들이다. 하지만 세 번째는 주로 전력전자 장치를 이용한 계통연계 방식에서 발생하는 문제로서 가변속도 운전 방식의 풍력발전기가 여기에 해당한다. 또한 네 번째 플리커 문제도 풍력발전기에 특히 많이 나타나는 문제이다.

##### 4.1.1 지류의 전류 흐름(방향)과 노드 전압

풍력발전기가 국부적으로 노드 전압변동에 미치는 영향은 발전기 출력형태가 고정속도 방식인지 아니면 가변속도 방식인지에 따라 크게 달라진다. 고정속도 발전시스템에 사용되는 농형 유도기는 회전자 속도와 유효전력, 무효전력, 그리고 단자 전압 사이에 일정한 관계를 가지고 있으므로 단자전압의 임의적인 보상이 불가능하다. 따라서 필요한 만큼의 무효전력을 생산할 수 있는 가변 무효전력 소스가 필요하며 주로 커패시터 뱅크를 사용한다. 한편 가변속도 풍력발전기의 경우에는 무효전력의 양을 임의로 조절할 수 있으며 따라서 단자 전압도 안정적인 특성을 보인다. 물론 실제로 이러한 무효

전력 조절기능까지 갖추려면 전력변환 회로의 정격이나 제어기의 성능이 뒷받침되어야 할 것이다.

#### 4.1.2 보호 계전 방법, 사고 전류, 차단기 용량 등

계통 사고 시 풍력발전기가 사고전류에 기여하는 바도 역시 풍력발전기의 타입에 따라 달라진다. 고정속도 풍력발전기는 계통에 직접 연결된 유도발전기이므로 사고 시 전류가 흐르게 되며 기존의 보호계전 방식(예를 들면 과전류, 과속도, 과전압 또는 부족전압 등)에 의해 차단되게 된다. 이중여차형 유도발전기의 경우도 고정자가 계통에 직접 연결되므로 사고전류에 기여하는 바가 있게 된다. 하지만 회전자 전류를 제어하는 인버터 측에서는 계통의 전압과 전류를 매우 빠른 샘플링 주파수(예를 들면 수kHz)로 계속 감시하고 있기 때문에 사고 상황을 매우 빨리 감지하게 된다. 특히 전력변환 회로의 소자들이 과전류에 민감하므로 사고발생시 곧바로 전류가 차단되게 된다. 직접 구동방식의 기어리스 풍력발전기는 전력변환기를 통해 계통에 연결되므로 일반적으로는 사고발생시 곧바로 차단하여 사고전류를 공급하지 않는다.

#### 4.1.3 고조파 왜곡

세 번째 주제인 고조파 왜곡에 관한 이슈는 주로 전력변환 장치가 포함된 가변속 풍력발전 시스템의 경우에 해당하는 것으로서 전력변환 회로의 스위칭 동작에 의해 발생하는 전압 및 전류 고조파 성분이 문제가 된다. 하지만 전력변환기술의 발달에 따라 고속 스위칭 주파수 채용, 고성능 제어 알고리즘 채택, 필터 삽입 등의 방법으로 고조파 문제는 해결될 수 있다. 제대로 설계된 발전기는 고조파를 발생하지 않으므로 농형 유도기를 계통에 직접 연결하는 고정속도 방식의 풍력발전시스템에서는 고조파에 관한 문제는 없다.

#### 4.1.4 플리커

마지막으로 전압 플리커 문제는 풍력발전기 자체의 고유 특성과 밀접한 관련이 있으며 자주 문제를 일으킨다. 우선 바람 그 자체가 그림 10처럼 매우 빠르게 변동하는 원동기이다. 고정속도방식의 풍력발전기에서 풍속의 변동은 곧바로 발전기 출력 전력의 변동으로 나타나게 된다. 왜냐하면 기계적 입력과 전기적 출력 양자간의 차이를 보상해 줄 수 있는 완충장치(버퍼)가 없기 때문이다. 따라서 풍력발전기 출력이 연결된 계통의 수용 능력에 따라 계통 전압의 변동이 발생하며, 이에 의해서 전구의 밝기가 비이상적으로 출렁거리는 현상, 이른바 플리커 현상이 발생하게 된다. 일반적으로 가변속 풍력발전시스템에서는 회전자 관성이 일종의 에너지 버퍼역할을 하므로 급격한 풍속의 변동이 있더라도 발전기의 출력에 직접적으로 나타나지 않는다.

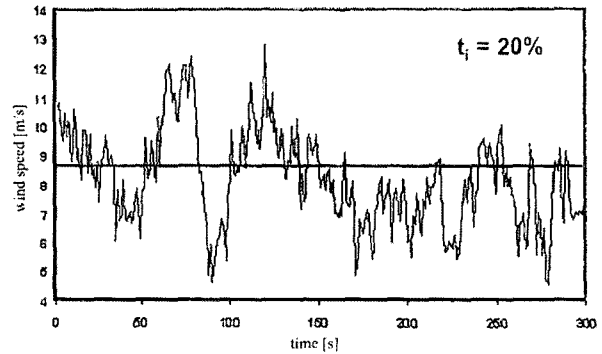


그림 10. 복잡한 지형으로 이루어진 지역에서 관찰된 풍속 변동 패턴의 한 예.

### 4.2 시스템 측면의 영향(System-wide Impacts)

#### 4.2.1 전력시스템 동특성과 안정도에 미치는 영향

일반적인 기존의 발전기들은 단자의 전압이나 주파수가 변동하는 것에 대해 반응하는 양식이 유사하지만 풍력발전기는 상당히 다른 반응을 보인다. 따라서 풍력발전기가 전력시스템의 동특성 및 안정도에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 정확한 풍력발전기 모델이 필수적이다. 하지만 유감스럽게도 전력시스템의 해석을 위한 많은 시뮬레이션 패키지들 가운데 풍력발전기 모델을 포함하고 있는 프로그램이 없다. 그럼에도 불구하고 정성적으로는 동특성이나 안정도에 관하여 언급할 수 있다.

고정속도 풍력발전기에 사용되는 농형 유도발전기는 사고 발생시 바람으로부터 들어오는 기계적 파워와 계통으로 나가는 전기적 파워 사이에 심각한 차이가 발생하므로 빠르게 가속하게 되고 전압이나 회전속도측면에서 불안정한 상태에 이르게 된다. 전압이 회복되었을 때에도 발전기의 무효전력을 공급해 주어야 하기 때문에 전압 회복을 방해하는 요인이 된다. 동기발전기에서는 저전압인 상황에서 여자기 제어를 통해 무효전력을 발생하려고 노력하기 때문에 전압 회복을 돕는 입장인 반면에 유도발전기는 반대 현상인 것이다. 물론 무효전력 보상을 위해 설치되어 있는 커패시터 뱅크의 연결 상태에 따라 과도현상은 크게 달라질 수 있다.

가변속도 풍력발전기의 경우에는 과전류에 대한 전력변환용 인버터의 민감도가 오히려 계통 입장에서는 안정도에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다. 풍력발전기의 점유율(전력생산 비중)이 상당히 높은 상황에서(예를 들면 현재 덴마크나 독일 일부 지역의 경우 30%를 넘는 곳도 있음) 상대적으로 적은 양의 전압 변동에 풍력발전기가 너무 민감하게 반응하면 전력의 부족상태를 초래할 수 있다. 송전선로의 사고발생시 이러한 상황을 초래할 수 있으므로 이를 막기 위해서 관찰지역에 많은 양의 풍력발전기로부터 전력을 공급받고 있는 전력회사 측에서는 그들의 계통연계규정을 바꾸고 있다. 그들은

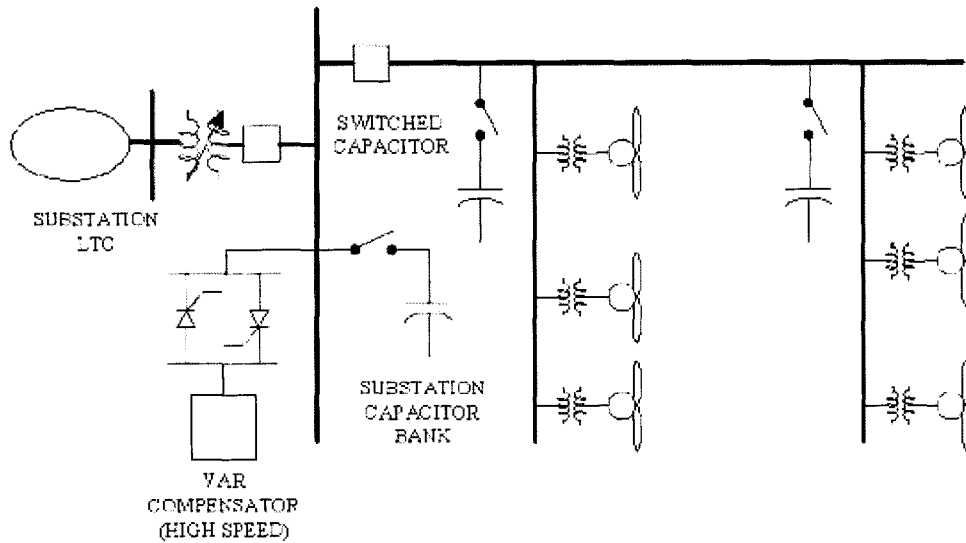


그림 11. 풍력발전 단지의 전기적 구성과 무효전력 보상회로의 예

많은 용량의 풍력발전 전력이 한꺼번에 차단되는 것을 막기 위하여 풍력발전기가 어느 정도의 전압강하(크기와 시간측면에서 모두)를 견디더라도 버텨줄 것을 요구하고 있다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위하여 가변속 풍력발전기 메이커들은 그들의 풍력발전기가 계통전압강하에 둔감하도록 수정, 보완하고 있다.

#### 4.2.2 무효전력 및 전압제어

무효전력보상이나 전압제어의 측면에서 풍력발전기가 기존의 발전소에 비해 다른 점은 설치위치 선정에 관한 것으로 풍력발전기가 설치되는 위치가 외딴 곳, 해안가 등인 경우가 많아 계통이 상대적으로 약하고 전압제어를 수행하기에 적절치 않을 수 있다. 즉 기존 발전소를 대신해서 대용량의 풍력발전 단지를 외딴지역에 설치할 때 전압제어의 문제를 간과해서는 안 된다는 것이다. 그림 11은 풍력발전 단지의 전기적 구성과 무효전력 보상회로의 예를 보여주고 있다.

#### 4.2.3 주파수 제어 및 기존 발전시스템의 부하 추종 성능에 미치는 영향

풍력발전기가 주파수제어나 부하추종제어에 미치는 영향은 주로 바람이 일정하지 않고 제어가 불가능하기 때문이다. 상대적으로 긴 시간(15분 ~ 한 시간 정도)의 관점에서 풍속 변동은 기존의 발전 유닛이 부하추종을 수행하는 데 상당한 영향을 미친다. 기존의 발전소에서 발전해야하는 출력량은 부하요구량 - 풍력발전 생산량 이므로 풍력발전량이 변동하는 만큼 기존발전기의 출력도 자주 조절되어야 하는 것이다.

여러 대의 발전기가 설치된 풍력발전단지의 통합 출력량은

일반적으로 단시간(1분 이내)의 관점에서 보더라도 매우 부드럽게 평활 되어 큰 문제를 일으키지 않는다. 이러한 단시간 출력 변동은 보통 터블런스에 의한 것으로 여러 대가 설치되더라도 발생 시점이 확률적으로 분포되기 때문이다. 하지만 강한 폭풍 등에 의해 발전 한계풍속(Cut-out Speed, 보통 25m/s정도 됨)이 넘는 경우 여러 대가 동시에 발전을 중단하는 상황이 일어날 수 있다.

풍력발전기의 점유율이 높아질수록 주파수 제어나 부하 추종 제어에 미치는 영향이 커진다. 하지만 풍력발전 점유율의 한계 값을 얼마로 해야 할지 숫자로 정확히 제시하는 것은 불가능하다. 왜냐하면 기존의 발전 포트폴리오가 저마다 다르고, 풍속의 변화 패턴이 다르며, 풍력발전기의 설치 위치가 널리 퍼져있고, 수요곡선, 네트워크 토폴로지 등이 제각기 다르기 때문이다.

### 5. 결론

여러 가지 대체 에너지원 중에서도 가장 단위 용량이 크고 경제성 측면에서 주목받고 있는 풍력발전기의 계통연계에 관한 관심은 그 어느 때보다도 높다고 볼 수 있으며, 이를 계기로 기존 전력시스템과 상호작용에 대한 세심한 검토, 연구가 필요하다. 분야별 전문가들이 모여 주변 분야도 이해하면서 힘을 합쳐 문제를 해결해 나가려는 공동의 노력을 기울여야 할 것이다. 풍력발전을 비롯한 대체에너지원 개발은 이미 시대의 큰 흐름으로 볼 수 있으며, 이러한 새로운 기술이 조기에 확산, 정착할 수 있도록 보다 열린 마음으로 서로가 할 수 있는 일을 찾아 나서야 할 때라고 생각한다. ■

참고 문헌

- [1] J.G. Slootweg, W.L. Kling, "Is the answer blowing in the wind?" Power and Energy Magazine, IEEE, Volume: 1, Issue: 6, Year: Nov-Dec 2003.
- [2] "Power System Engineering Issues for Wind Generation Facilities", American Wind Energy Association WindPower 2003, May 18, Austin, Texas.
- [3] "European Wind Turbine Testing Procedure Developments", Riso National Laboratory, Roskilde May 2001.
- [4] 김일환, 송승호, "풍력발전시스템에서의 전력전자기술 및 전력품질 평가", 전력전자학회, 학회지 제8권 제4호, 2003/8.

〈 저 자 소 개 〉



**송승호(宋丞鎬)**

1968년 8월 27일생. 1991년 서울대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1992년~1995년 포스콘 기술연구소 연구원. 2000년~현재 전북대학교 전자정보공학부 조교수.



**김일환(金一煥)**

1962년 3월 29일생. 1985년 중앙대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~1996년 오하이오 주립대 Post-Doc. 1991년~현재 제주대학교 전기전자공학부 교수.

당 학회 국제이사.



**한병문(韓炳文)**

1953년 7월 5일생. 1976년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 미 아리조나주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 미 Westing-house 중앙연구소 선임 연구원. 현재 명지대 전기정보제어공학부 교수.