

energy.co.kr

월간전기

5~6분



풍력발전시스템의 제어기술: 유효전력 제어

글 임지훈 박사 / 한국전력공사 전력연구원

1. 풍력시스템 제어기술의 필요

여러 대의 풍력 발전기들이 대규모로 구성되는 풍력단지인 경우 배전선로에 연계되는 소규모 풍력발전과는 달리 전력 생산량이 크고, 연계 시 파급효과를 고려하여 송전계통에 연계하는 것이 필수적이다. 그런데 송전 계통에 교류선로로 연계할 경우 소규모 풍력발전에서는 고려하지 않던 다양한 문제가 발생할 수 있다. 이에 풍력단지 혹은 단위 풍력발전기는 전력시스템의 안정적인 운영에 적극적으로 참여할 수 있도록 하는 유효·무효 전력제어뿐만 아니라, 주파수 제어와 전기품질 등에 관련된 다양한 제어기술이 필요하다.

지금까지 배전 계통에 연계되던 소규모의 풍력발전 단지와는 달리 풍력발전기의 대형화 추세와 기술 진보에 따라 점차 늘어나고 있는 대규모의 풍력발전 단지의 송전 계통 연계로 인해 전력 시스템의 안정도에 대한 관심이 증가되고 있다. 이에 최근 풍력 선진국들의 풍력발전 계통 연계 규정에서는 기존의 대형 발전소들이 단순히 계통에 전력을 공급하는 것 외에도 전력 시스템의 안정성을 유지하는 역할을 수행하듯이 풍력발전단지 역시 이와 동일한 책임을 가져야 함을 강조하고 있다. 이는 점점 높

은 점유율을 가지는 풍력발전 단지가 계통의 안정도에 주는 영향이 지속적으로 증가해 왔기 때문이며, 이에 따라 풍력발전 단지의 유효·무효전력 제어 및 부가적인 제어 능력 확보가 계통 연계 기준 내에서 중요하게 부각되고 있는 것이다. [표 1]은 풍력 선진국들의 계통연계 규정에 포함된 연계 기준의 주요 항목을 정리한 내용이다.

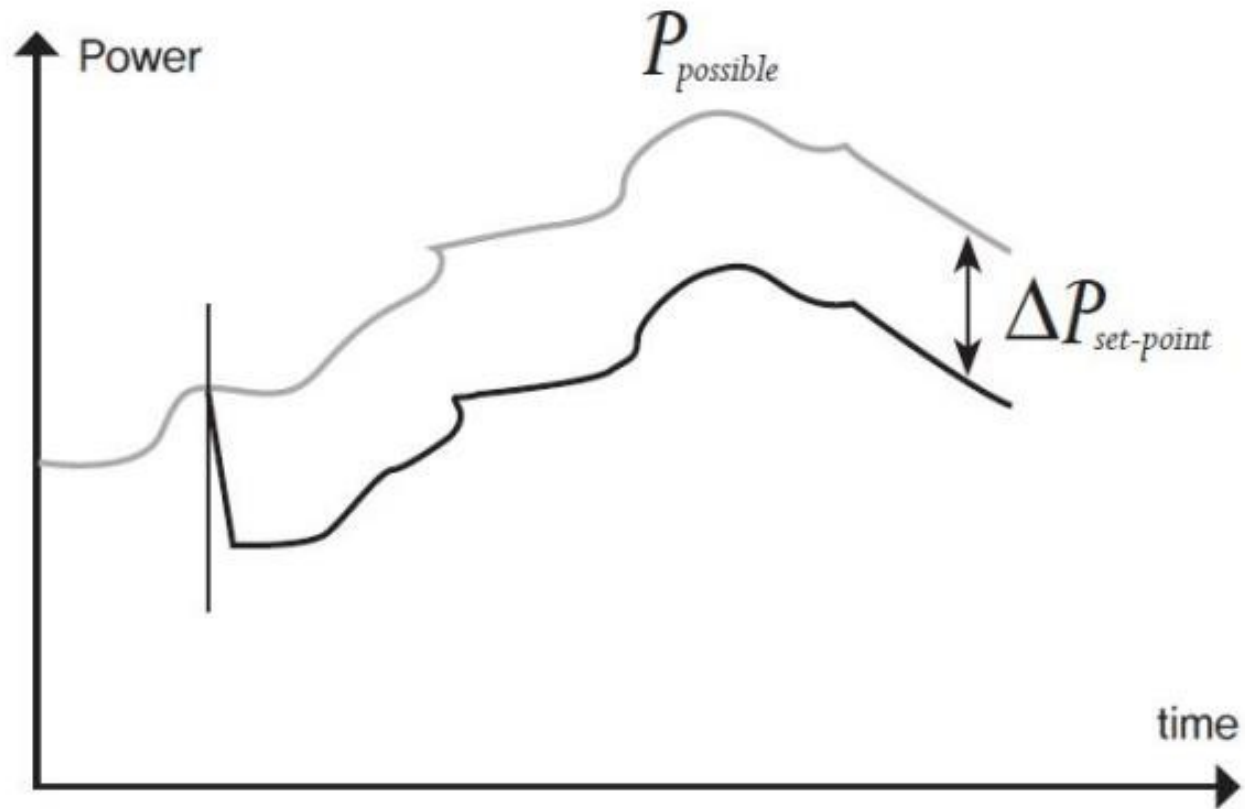
2. 유효전력 및 주파수 제어

2.1 유효전력 제어

풍력단지는 정격 출력의 20~100% 범위에서 유효전력을 제어할 수 있어야 한다. 평균 출력의 오차는 5분 내에 5% 내로 제어되어야 하며, 분당 조정 범위는 정격 출력의 10%~100%로 조정 가능해야 한다. 단, 이러한 규정은 풍력 발전기의 풍속에 따른 실제 가능 출력량을 전체로 하며 그 이상의 출력에 대한 수행은 예외로 한다. 또한, 바람이 부족한 경우의 출력에 대해서는 예외로 하며 평가기준은 계통연계 지점이 된다. 풍력발전 단지의 유효전력 제어를 위한 몇 가지 제어 규정에 대해 정리하면 다음과 같다.

2.1.1 예비력 제어(Delta Production Constraint)

일반적으로 전력 계통의 각 발전기들은 수급 균형을 유지하기 위해 설비가 최대로 낼 수 있는 출력에서 일정 부분의 출력을 감소하여 운전하고 부하의 갑작스러운 증가에 대응하여 주파수를 안정적으로 유지하기 위해 부하의 증가량만큼 출력을 증가시키게 되는데, 이를 예비력 확보 (Spinning Reserve)라고 한다. 풍력단지 역시 이러한 예비력 확보를 위해 가능한 최대 출력량에서 일정부분을 감발하여 운전하며, 그 감발량은 계통 운영자의 지시에 따르도록 한다. **[그림 1]**은 예비력 제어에 대해 나타내고 있으며, 예비력 제어는 폐루프 제어(Closed loop control)를 기본으로 한다.

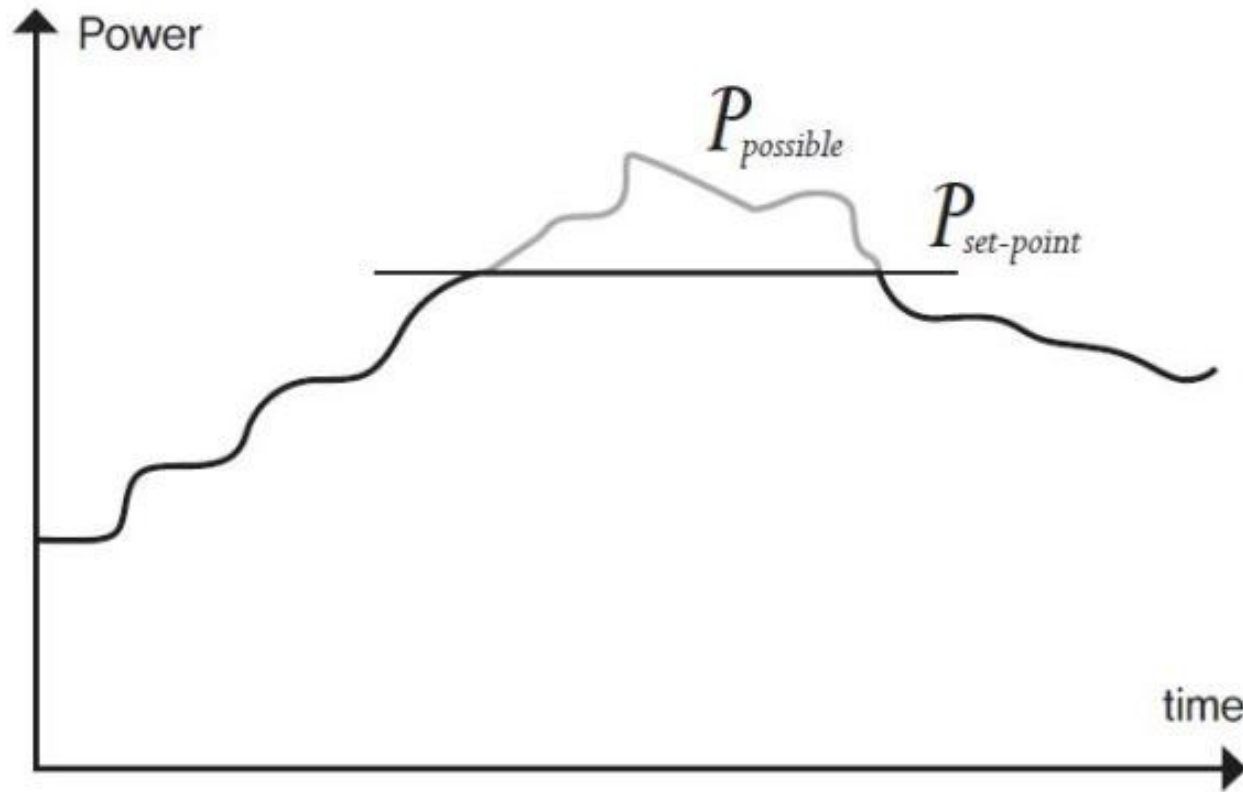


[그림 1] 예비력 제어

2.1.2 최대출력 제한(Absolute Production Constraint)

풍력단지는 계통 운영자가 요구할 경우 출력의 절대량을 제한할 수 있어야 한다. 이는 대규모 풍력단지가 연계된 송전선로의 과부하를 방지하기 위해 제시되었고, 과부하 발생 가능 시 풍력단지 정격 용량의 20%~100% 범위에서 특정 출력량 이하로 제한된다. [그림 2]는 풍력단

지의 최대 출력 제한을 나타내고 있다.

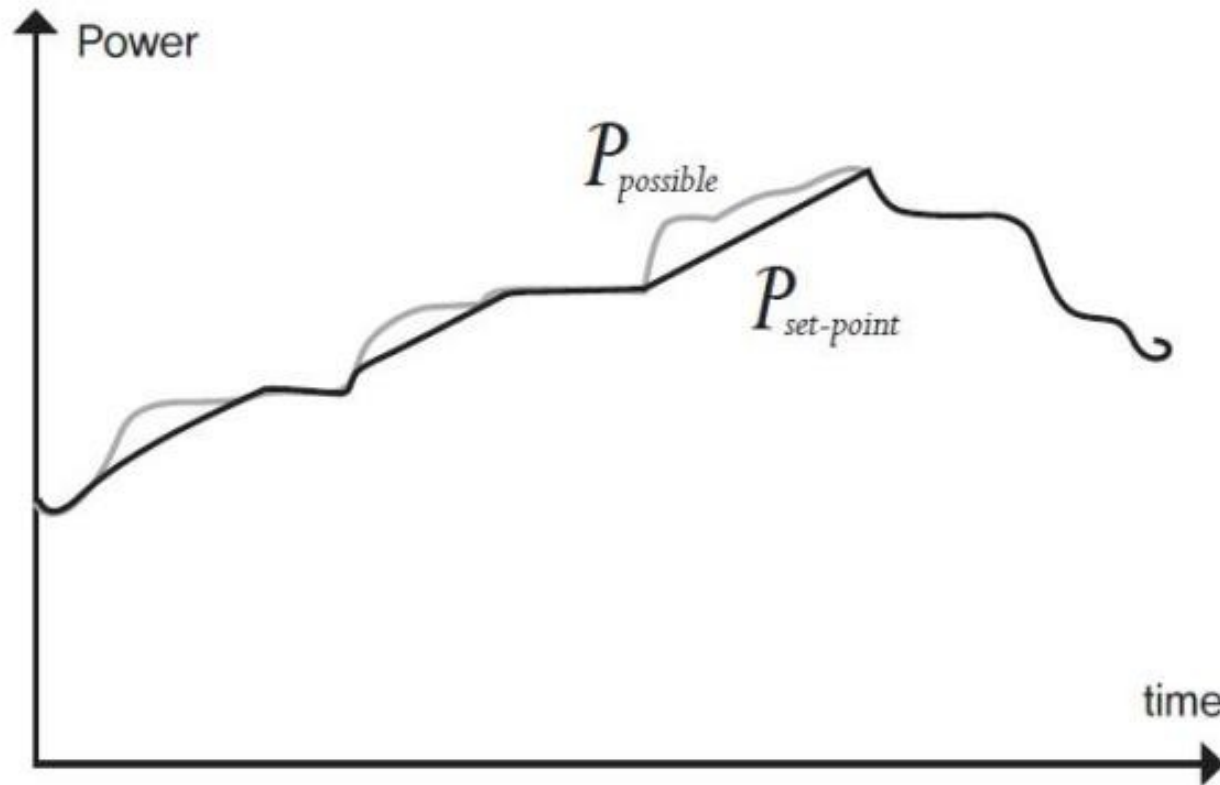


[그림 2] 최대출력 제한

2.1.3 출력변화율 제한(Power Gradient Constraint)

풍속의 변화에 따른 급격한 출력 변화에 맞서 풍력단지는 계통 운영자가 정한 값 이하로 출력 변화율을 제한할 수 있어야 한다. 이는 cut-in 풍속에서 연계가 시작될 때 혹은 5m/s 이상의 풍속에서 단지 내 풍력터빈들이

재투입되어 발전량의 증가가 클 때 출력의 급격한 증가를 제한하는 데 목적이 있으며, 돌풍(gust)에 의한 급격한 출력의 변화를 방지하는 역할도 한다. 풍속의 감소로 인해 출력이 감소하는 경우는 예외로 하며, 출력 증발 제어가 수행되고 있는 경우에는 출력의 감소 비율도 제한할 수 있다. 또한, cut-out 풍속 이상에서 갑자기 풍력터빈이 자가 보호를 위해 기동정지를 하지 않도록 soft cut-out이 수행되도록 선호하는 추세이다. **[그림 3]**은 출력변화율 제한의 예시이다.

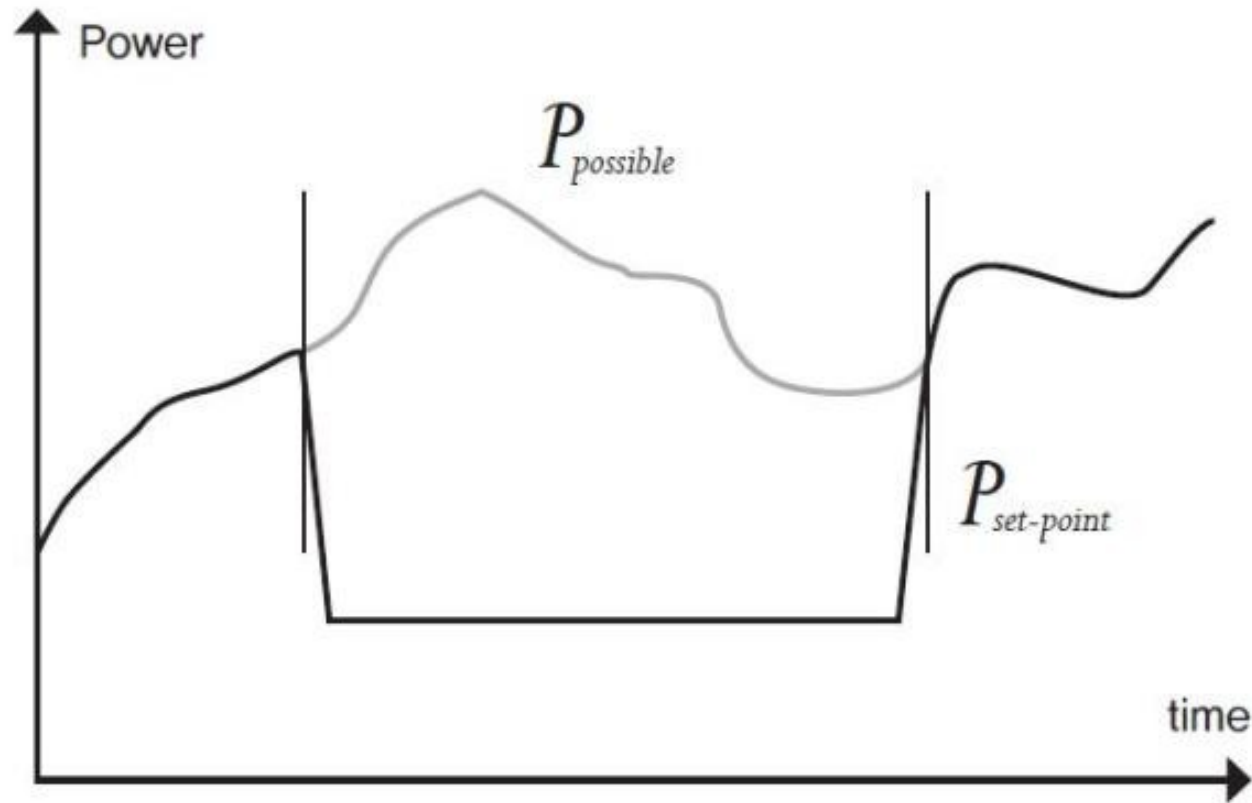


[그림 3] 출력변화율 제한

2.1.4 수급균형 제어(Balance Control)

풍력단지는 발전량과 부하량의 균형을 유지하는 목적에서 계통 운영자의 지령에 따라 출력량의 증·감발을 할 수 있어야 한다. 이때 풍력단지는 기존 발전기와 같은 급전 지시의 대상이 되며 수급 균형을 맞추기 위한 절차 중 최상위에 위치한다. 계통의 운영자는 안정적인 계통 운영을 위

해 풍력단지의 급전을 계획적으로 시행할 수 있으며, 출력량의 증·감발량은 풍력단지의 증·감발 속도를 고려하여 설정한다. 수급균형 제어에서 풍력발전 단지의 최대 출력량은 최대출력제한(Absolute Production Constraint)의 크기를 초과할 수 있다. [그림 4]는 수급균형 제어에 대한 예시로서 출력의 감발이 아닌 증발로도 사용될 수 있다.



[그림 4] 수급균형 제어

2.1.5 출력유지 제한(Stop Regulation)

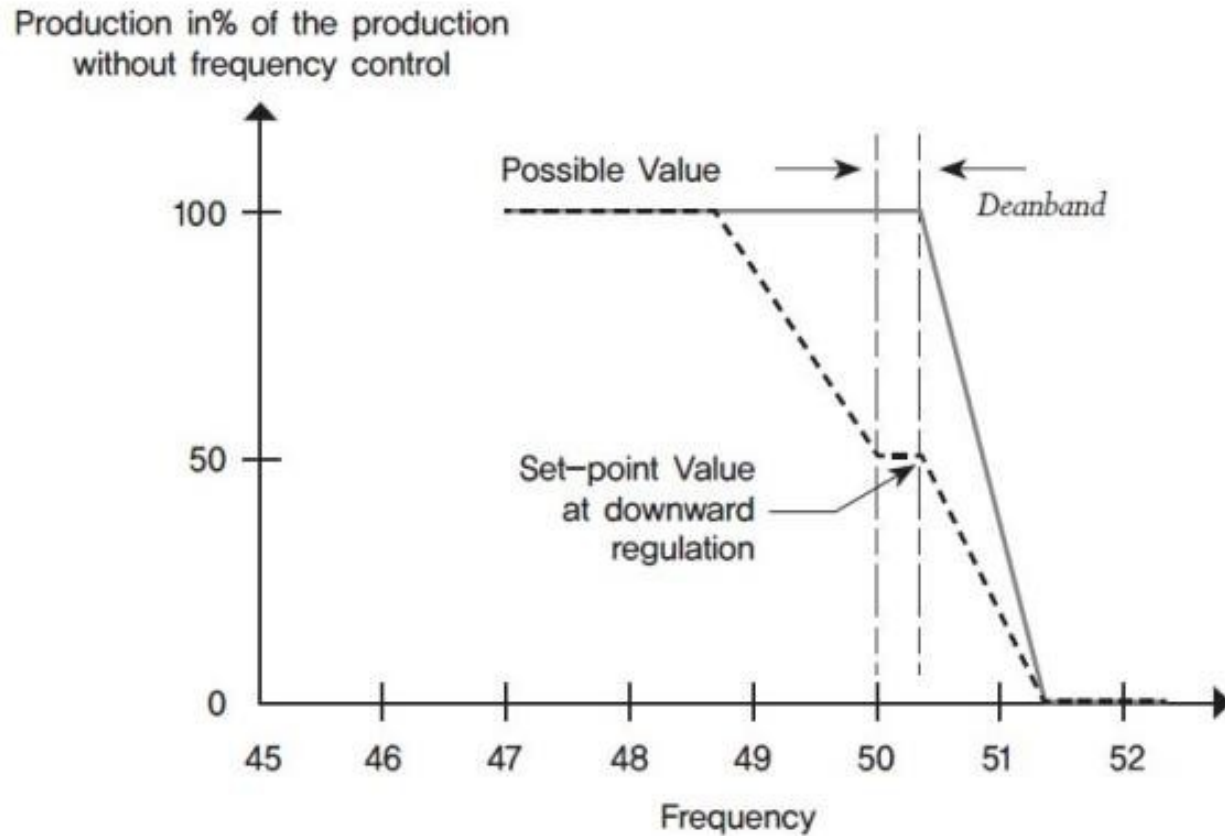
계통 운영자의 요구 시 풍력단지는 그 당시의 출력을 유지할 수 있어야 한다. 이 기능은 풍속이 현재보다 증가할 때 풍력단지의 출력을 해당 시점의 수준으로 유지하는 데 목적을 두고, 풍속이 현재 수준보다 감소할 경우에는 적용되지 않는다. 최대출력제한과 유사한 규정으로 볼 수 있지만, 조금 더 능동적인 운영측면에서 주로 사용될 수 있다. **[그림 5]**는 출력유지 제한을 나타내고 있다.

2.1.6 시스템 보호(System Two-stage Protection)

풍력단지는 인근 선로가 차단되었거나 선로의 과부하가 발생하는 등의 계통의 이상을 감지했을 경우, 계통 운영자의 제어 명령 없이도 외부 보호 계전기의 정보를 통해 자동적으로 출력을 감발하고 해당 출력을 유지할 수 있어야 한다. 이때 출력의 감발 속도는 계통 운영자와 합의에 따라 정할 수 있으며 감발량 또한 사전에 정할 수 있다. **[그림 6]**은 시스템 보호 기능의 예시이다. 이 기능은 수동으로 해제될 수 있으며, 이 경우 풍력단지의 출력은 기존 출력으로 회복될 수 있도록 한다. 또한, 시스템의 보호 기능이 활성화된 후 미리 정해진 출력량으로 출력을 감발한 후에도 상황이 개선되지 않을 경우 풍력단지의 계통연계를 차단하는 2단 조정을 할 수 있어야 한다.

2.2 주파수 제어

일반적으로 계통의 발전량이 부하량에 비해 큰 경우는 주파수가 증가하게 되고, 발전량이 부하량에 비해 적은 경우 주파수는 감소하게 된다. 전력계통에서 풍력발전의 점유율이 크게 증가할 경우 기존의 발전기들의 투입 감소로 인해 갑작스러운 부하 변동 또는 풍력발전의 출력 변동 시 계통의 안정적인 주파수 제어가 어려울 수 있다. 그러므로 풍력단지는 필요시 계통 주파수 변화에 따라 주파수 제어를 목적으로 자동적으로 그 출력량을 조절할 수 있어야 하며 갑작스런 주파수의 변화에 대해서도 보호계전기의 동작 없이 계통연계를 일정시간 동안 유지할 수 있어야 한다.



[그림 7] 주파수 제어

[그림 7]은 주파수 제어 규정에서 실선으로 표시된 출력은 주파수에 따른 출력의 변화를 나타내고, 점선으로 표시된 출력은 앞서 출력 감발 기능이 선행된 경우에 주파수 제어를 위해 출력의 증·감발이 가능해야 함을 나타내고 있다. 주파수 변화에 따른 제어되는 유효전력 출력량은 계통에 따라 다르게 수행되어야 하므로 계통 운영자와 상의를 통해 조절해

야 한다.

3. 풍력발전 예측

풍력단지의 유효전력 제어의 필요성이 요구됨에 따라 2장과 같은 형태의 제어를 규정하고 있다. 만약 풍력단지의 출력량을 예측할 수 있다면, 위와 같은 유효전력 제어를 원활히 하는 데 도움을 줄 수 있다. 때문에 풍력발전 출력예측에 대한 연구도 일부 진행되어 간략히 소개하고자 한다. 풍력발전 예측기법은 Physical Method, Statistical Method, Hybrid Method로 크게 구분할 수 있으며, 각각의 특성은 다음과 같다.

3.1 Physical Methods(물리적 모델)

물리적 모델을 이용한 풍력발전 예측시스템은 지역의 대기, 기상서비스에서 제공하는 풍속을 이용한다. 이를 이용하여 풍력발전기의 허브높이, 지형, 터빈특성 등으로 출력을 변환하여 사용하는 기법을 뜻한다. Prediktor, SOWIE 등이 이에 해당한다.

3.2 Statistical Methods(통계적 모델)

통계적 모델을 이용한 풍력발전 예측시스템은 기상조건들보다는 통계적인 관계의 날씨와 풍력발전기의 출력 데이터들의 상관관계에서 출발한다. 주로 사용되는 통계적인 기술로는 다음과 같은 것들이 있다.

AR(autoregressive): 자기회귀시계열

MA(moving average): 이동평균

ARMA(autoregressive moving average model):

이동평균 모형

ARIMA(autoregressive integrated moving average model): 비정상시계열 모형

특히, ANN(artificial neural networks), fuzzy logic, SVM(support vector machine)과 같은 방법은 통계를 이용하지만 예측된 바람과 출력 사이의 관계로부터 학습하는 형태의 통계데이터를 활용하기 때문에 Learning approach methods라 불린다. WPPT, WPMS, GS Forecaster, Alea Wind 등이 통계적 기술로 이루어진 풍력발전 예측시스템에 포함된다.

3.3 Hybrid Methods

물리적 모델과 통계적 모델을 함께 사용하는 방법으로, Zephyr, Previento, WEPROG, Scirocco 등이 이에 해당된다.

4. 맺으며

풍력발전의 계통 연계 기준을 준수할 수 있는 풍력발전기의 성능을 확보하는 것은 풍력발전의 선진국으로 발전하는 중요한 요소가 될 수 있다.

뿐만 아니라 풍력발전 시스템이 계통에 연계되기 위해서는 각국에서 제정한 계통 연계 규격을 만족시켜야 하고, 이는 대부분의 풍력발전 선진국은 물론 풍력발전 산업에 관심을 보이기 시작하는 초보적인 국가들에서도 공통적으로 주목받고 있는 내용이다. 이에 풍력발전 선진국의 계통 연계 기준 주요 항목들을 바탕으로 유효전력·주파수 제어 규정과 제어에 도움을 줄 수 있는 풍력발전 예측기법들도 소개하였다. 풍력단지의 출력제어는 대규모 계통연계 및 안정적인 운영을 위해 필수적으로 선행되어야 하는 연구이며, 무효전력 제어, 계통사고 발생 시 풍력단지의 대응, 전기품질 등에 관한 연구도 활발히 진행되어야 한다.



< Energy News >