

# 대규모 풍력 발전 단지의 최적운영 방안 연구

全榮洙\*, 崔泳道†

## A Study on the Optimal Operation Schemes for Large-scale Wind Farm

Young-Soo Jeon and Young-Do Choy

### 요 약

국내에서는 풍력 발전 기술 집약에 전력하고 있지만 풍력 발전 단지에 대한 운영 경험은 매우 제한적이며, 연계 기준 수립에 대한 기초가 부족한 실정이다. 따라서 국내 계통의 특성을 고려한 연계 기준 및 최적 운영 방안 수립을 위하여 여러 국가에서 적용하고 있는 풍력 발전 단지의 연계기준 및 최적 운영 방안에 대한 검토가 필요하다. 이에 본 논문은 제주계통을 대상으로 한 모의를 통하여 대규모 풍력 발전 단지의 최적 운영 방안에 대한 필요성을 확인하고 제안한다.

### ABSTRACT

This paper studies the optimal operation schemes for large scale wind farm. With few operation experiences and fundamental technology for the wind farm, there is a difficult to establish the grid code which is the standard for connecting wind farm to power system. Analysis of the grid code and the operation of other nations for wind farm is used to propose the optimal operation schemes for large-scale wind farm considering the characteristic of our power system, by analyzing the influence of power system by wind farm at Cheju island.

**Key Words** : Grid code, Transmission system operator, Active power regulation, Wind farm control system

### 1. 서 론

최근 해외 풍력 발전 계통 연계 규정에서는 기존의 대형 발전소들이 단순히 계통에 전력을 공급하는 것 외에 전력시스템의 안정성 유지를 중요한 역할로 수행하는 것처럼, 풍력 발전 단지도 동일한 역할과 책임을 가져야 함을 강조하고 있다. 이는 계통에서 풍력 발전의 점유율이 증가함에 따라 계통의 안정도에 풍력 발전 단지가 주는 영향이 지속적으로 증가해왔기 때문이며, 이에 따라 풍력 발전 단지의 유·무효 전력 제어

를 포함한 제어 능력 확보가 연계 기준 내에서 중요한 요소로 정의되어 있다. 즉, 풍력 발전 단지는 계통 운영자가 요구하는 제어상의 특성 및 풍력 발전기의 동특성을 확보해야 하며, 이를 통해 계통 운영 기준에 적합하다고 판정되면 계통에 연계될 수 있기 때문이다.<sup>[1]</sup> 유럽의 경우 수력발전 등 풍부한 예비 발전력과 국가간 계통연계가 이루어져 풍력 발전 운용이 용이하지만, 국내 계통의 경우 이웃 국가와 전력계통이 연결되지 않은 고립계통이므로, 국내 계통의 특성을 고려한 풍력 발전 단지의 연계기준 및 최적 운영 방안 수립이 필요하다. 본 논문에서는 국외 계통연계기준의 유효전력제어 방안을 분석하고, 제주도 풍력 발전 단지의 출력변동이 계통에 미치는 영향 분석을 통하여 풍력 발전 단지의 최적 운영 방안에 대한 필요성을 확인하고 제안하였다.

\*교신저자 : 정회원, 한전 전력연구원 선임보 연구원  
E-mail : zeroway@kepri.re.kr

†정회원, 한전 전력연구원 책임연구원  
접수일자 : 2009. 8. 13                      1차 심사 : 2009. 9. 7  
심사완료 : 2009. 9. 9



그림 1 풍력 발전 단지 운용방안 구성  
Fig. 1 Consist of the operation scheme for wind farm

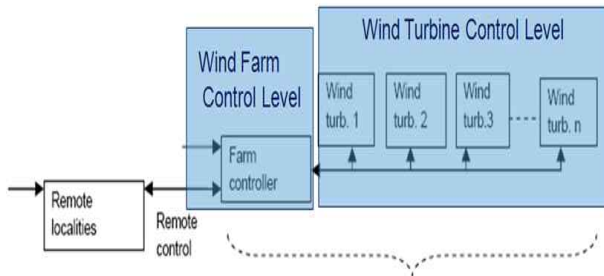


그림 2 풍력 발전 단지 및 풍력 발전기 제어 모델  
Fig. 2 Model of the wind farm and wind turbine

## 2. 풍력 발전 단지의 제어 및 운영기준

### 2.1 풍력 발전 단지의 제어

그림 1과 같이 제도적 보완, 시스템 구축, 협조 운영 방안 확보로 요약되는 대규모 풍력 발전 단지의 최적 운영 방안이 필요하다.

이와 관련하여 풍력 발전 단지를 안정적으로 운영하고 있는 덴마크의 송전 계통 운영자는 그림 2와 같은 풍력 발전 단지의 제어 형태를 제안하고 있다.

#### 2.1.1 풍력 발전 단지 제어 레벨

풍력 발전 단지 제어기를 이용하여 풍력 발전 단지는 계통 운영자로부터 유효전력량, 무효전력량 등 풍력 발전 단지의 운영에 필요한 지령을 받아, 개별 풍력 발전기의 유·무효 전력 출력을 결정하여 지령을 내릴 수 있으며, 풍력 발전 단지의 현재 운전 상태를 계통 운영자에게 제공하고, 계통 운영자가 풍력 발전 단지에 정확한 지령을 줄 수 있도록 한다.

#### 2.1.2 풍력 발전기 제어 레벨

풍력 발전 단지 제어기의 유·무효 전력 출력 지령

에 따라 개별 풍력 발전기가 적절한 출력을 낼 수 있도록 하며, 개별 풍력 발전기의 운전 정보를 풍력 발전 단지 제어기에 제공한다.

### 2.2 대규모 풍력 발전 단지 운영 기준

풍력 발전 단지의 최적 운영 방안의 수립을 위하여 풍력 발전 단지의 응답 특성을 고려하여야 한다. 즉, 안정도, 전기 품질 등 다양한 계통의 요구 조건에 부합하는 풍력 발전 단지에 대한 연계 규정 및 운영 규정을 마련하고, 이에 따라 풍력 발전 단지를 운영할 수 있어야만 실질적인 계통의 안정도 및 전기 품질 향상에 기여할 수 있으며, 장기적으로 풍력 발전 사업을 활성화할 수 있게 된다. 본 논문에서는 국외의 풍력 발전 계통연계기준을 분석하고, 유효전력제어 방안을 제주 계통에 적용하여 검토하였다.<sup>[2]</sup>

#### 2.2.1 절대 출력 제어

풍력 발전 단지의 출력의 절대량을 제한하는 방안으로, 풍력 발전 단지는 계통 운영자가 요구할 경우, 정격 용량의 20~100% 범위에서 특정 출력량 이하로 풍력 발전 단지의 출력을 제한해야 하며, 계통에서 대규모 풍력 발전 단지에 연계된 송전 선로의 과부하를 방지하기 위해 적용한다.

#### 2.2.2 일정 출력 감발 제어

전력 계통의 예비력 확보를 위해 풍력 발전 단지의 가능한 최대 출력량에서 일정 부분을 감발하여 운전하며, 각 풍력 발전 단지의 출력 감발량은 계통 운영자의 지시에 따르게 한다. 일반적으로 전력 계통의 각 발전기들은 수급 균형을 유지하기 위해서 일정 부분 출력을 감소하여 운전하고, 부하가 급작스럽게 증가하는 경우 출력을 증가시켜 전력을 공급한다. 이러한 수급균형의 역할을 풍력 발전 단지에서 수행하도록 하기 위해 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력을 일정 부분 줄이고 운전하는 방안이다.

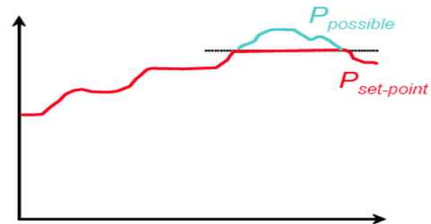


그림 3 절대 출력 제어  
Fig. 3 Absolute production constraint

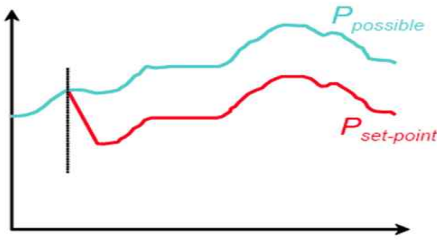


그림 4 일정 출력 감발 제어  
Fig. 4 Delta production constraint

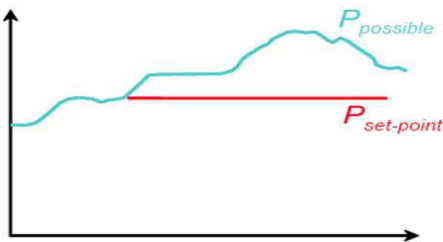


그림 5 일정 출력 제어  
Fig. 5 Stop regulation

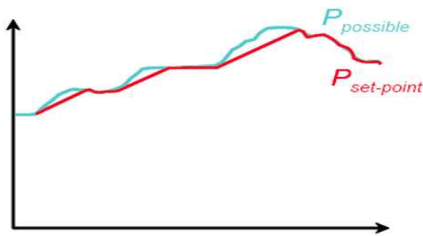


그림 6 출력 변동률 제어  
Fig. 6 Power gradient constraint

### 2.2.3 일정 출력 제어

어느 시점에서 풍력 발전 단지의 출력을 계속 유지 하도록 한다. 다만, 풍속이 현재 수준보다 감소할 경우에는 적용되지 않으며, 풍속이 증가할 때에 풍력 발전 단지의 출력을 해당 시점의 수준으로 유지하는 목적으로 사용된다.

### 2.2.4 출력 변동률 제어

풍속의 급격한 변화에 따라 풍력 발전 단지의 출력이 변동할 때 이러한 출력 변동 속도를 그림 6과 같이 계통 운영자가 정한 값으로 제한한다.

이는 우선적으로 풍속이 4~5m/s를 넘어 풍력 발전 단지가 연계 운전을 시작한 이후 급격하게 출력이 증가하는 것을 제한하는 목적을 가지며, 연계 운전 중에도 이 규정이 적용되면 풍력 발전 단지는 출력의 증가 속도를 제한해야 한다. 그러나, 풍속 감소로 출력이 감

소하는 경우에는 적용하지 않으며, 일정 출력 감발 제어에 따라 자체적으로 출력을 감발하고 있었던 경우는 자체적인 예비력을 확보한 상황이기 때문에 출력 감발 속도를 제한할 수 있다.

## 3. 풍력 발전 운영기준 제주계통 적용 분석

### 3.1 풍력 발전 운영기준 제주계통 적용

#### 3.1.1 절대 출력 제어

계통에 연계된 풍력 발전 단지의 최대 유효 전력 출력을 계통 운영자가 정한 값으로 제한하는 규정으로 특히 제주 계통에 유용하게 적용될 수 있다. 기존의 제주 계통에 대한 한계 용량 산정 방법에서는 각 풍력 발전의 최대 출력을 고려하여 연계 용량을 제한하고 있다. 이 규정을 통해 풍력 발전 단지의 최대 출력 제어를 적용하면, 필요 시 풍력 발전 용량을 제한하는 것으로 최대 출력만을 고려하여 산정된 한계 용량 이상의 풍력 발전기가 계통에 연계될 수 있다. 즉, 제주 계통의 실제 부하 특성과 풍력 발전기의 이용률 또는 출력 특성을 고려하여 일반적인 계통 상황에서 지속적으로 한계 용량을 산정하고 필요 시(부하의 감소와 함께 풍력 발전량이 크게 증가하는 등) 풍력 발전 단지의 출력을 적절한 규모에서 제한하는 형식의 운전이 가능하게 되며 다음과 같이 제어를 수행한다.

- 지속적으로 부하 상황 및 발전기의 투입 현황, 풍력 발전 출력을 고려하여 풍력 발전 단지의 최대 운전 가능 용량 산정
- 해당 시점에서 풍력 발전 단지의 출력이 최대 운전 가능 용량을 상회하는 경우 출력의 상한선을 제한하는 방식으로 출력 제어 수행

#### 3.1.2 일정 출력 감발 제어

계통의 예비력 확보를 위해 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력을 최대 출력 가능 용량에서 일정 부분을 감발할 것을 제한하는 규정으로 역시 제주 계통에 적용할 때 매우 유용하다. 제주 계통의 예비력은 연계된 발전기가 매우 적어서 기본적으로 HVDC에 크게 의존하는 특성이 있으며, 그 크기가 HVDC의 운전 여부에 따라 크게 변화하게 된다. 이러한 제주 계통의 특성은 기존 발전기만으로 예비력을 확보할 경우, N-1 상정사고를 고려할 때 계통의 안정한 운영을 어렵게 할 수 있으며, 부하가 크게 변동하거나 풍력 발전량이 예상

보다 크게 변화할 경우 전압 및 주파수 유지에 어려움이 있을 수 있다. 따라서 제주 계통에 풍력 발전 단지의 연계 용량이 현재와 같이 크게 증가할 경우에 대비하기 위하여 일정 출력 감발 제어가 필요하다.

이에 따라 제주 계통의 풍력 발전 단지는 기존의 발전기와 마찬가지로 계통의 예비력 확보를 분담할 수 있으며, 현재와 같이 풍력 발전기의 추가 연계를 위한 예비력 확보가 필요 없게 된다. 이는 해외 사례에서 분석된 것처럼, 이 규정을 적용하면 상당량의 예비력 확보량을 줄일 수 있다. 이 규정의 일괄적인 적용을 위해서는 계통 운영자의 경제성 분석이 반드시 필요하며, 풍력 발전 사업자의 협조가 필요하게 된다.

### 3.1.3 출력 변동 제어

계통의 주파수 및 전압의 안정적인 유지를 위해 풍력 발전 단지의 풍속 조건이 급격하게 변동하는 경우에도 풍력 발전 단지의 출력 변동을 제한하는 규정이다. 현재 제주 계통의 경우 일반적인 상황에서 유효 전력 수급 제어는 부하 추종 능력이 매우 우수한 HVDC가 담당하고 있으며, 이에 따라 현재 제주 계통에서의 발전 출력 및 부하의 변화는 계통의 주파수 변동에 크게 영향을 주지 않는다. 하지만 이러한 HVDC가 점검 등의 이유로 운전정지 할 경우에는 제주 계통의 발전기만으로 주파수 제어가 수행되는데, 계통 규모에 비해서 일반 발전기의 용량이 작은 제주 계통의 특성 상 주파수 유지가 점차 어려워지고 있으며, 향후 200MW 이상의 풍력 발전 단지가 계통에 연계될 경우에는 부하변동 예측 오차로 인한 주파수 제어의 어려움뿐 아니라 발전 측면에서 출력 변동으로 인한 주파수 제어의 어려움이 발생할 수 있다.

따라서 제주 계통의 풍력 발전 도입을 확대하고 대규모 풍력 발전 단지 연계시 계통의 안정 운용을 위해서는 HVDC 운전 정지 등 계통의 특정 상황에서 주파수 유지를 위한 유효 전력 출력 제어 규정이 반드시 필요하다. 그리고 이를 통해 풍력 발전 단지의 출력 변동을 최소화하고 이로 인한 주파수 및 연계 기준점에서의 전압 변동을 방지할 수 있어야 한다.

### 3.2 계통과 연계 모의를 통한 유효전력제어 규정 분석

유효전력 출력 제어와 관련하여 제주 계통과 풍력 발전 단지의 연계 시 모의를 대규모 계통의 해석에 적합한 PSS/E 프로그램을 이용하여 수행하고, 해당 제어의 필요성을 확인하였다. 따라서 제주 계통에 연계

표 1 연계 모의를 위한 계통 구성  
Table 1 Power system condition for simulation

부하 조건	300MW(HVDC의 정상 운영을 고려한 최소 부하 계통)
기존 발전 구성	남제주내연 #1,2(7MW), 제주내연#1(26MW), 남제주TP#3(63MW, swing 모선), 남제주TP#4(50MW) HVDC(최소 운영을 고려, 40MW)
풍력 발전 연계	행원풍력(9.8MW), 한경풍력(6.0MW), 신창풍력(1.7MW), 월정풍력(1.5MW), 난산풍력(14.7MW), 삼무풍력(30MW), 신산 풍력(12MW), 성산풍력(20MW), 한경2차풍력(15MW),
발전 용량 구성	193MW/409MW/110.7MW (기력/최대/풍력)

된 대규모 풍력 발전기의 급격한 출력 변동을 시나리오로 기존 제주 계통의 최소 부하 모델과 110MW 풍력 발전단지의 연계 상황에 대한 모의를 진행하였으며, 풍속 변화에 의한 풍력 발전 단지의 유효 전력 출력 및 무효 전력 출력 변동 시 제주 계통의 주파수와 연계 점 전압 변화를 모의하였다.<sup>[3]</sup>

표 1은 연계 모의에 사용된 계통의 정보를 간략하게 나타내며, 출력 변동을 모의하기 위해 계통에 연계된 풍력 발전 단지는 최초로 정격 출력의 50%의 출력을 내는 상황을 가정하였다. 이에 따라 모의는 계통의 풍력 발전 단지의 풍속이 정격 출력을 기준으로 0.5pu에서 1pu에 가깝게 상승했다가 감소하는 것으로 진행하였으며, 계통의 주파수 및 전압 변화를 확인하였다.

그림 7은 풍속 변화에 따른 풍력 발전 단지(정격 용량 20MW)의 유효 전력 및 무효 전력 출력의 변화를 보여준다. 이때 풍속 변화는 일반적인 풍력 발전 단지의 출력 변화(분당 최대 정격 용량 20% 내외)를 가정하였다. 풍속의 변화에 따라 풍력 발전기의 유효 전력은 정격 용량에 가깝게 상승하며, 무효 전력 역시 이러한 유효 전력 출력의 변화에 따라 급격하게 변동하게 된다. 그리고 풍속이 다시 초기 속도로 회복되면 풍력 발전기의 유효 및 무효 전력 출력도 기존 값으로 안정하게 수렴한다.

그러나 풍력 발전 단지의 유효전력 출력 변동으로 전력 계통의 주파수 및 전압에 일시적인 변동이 발생된다.

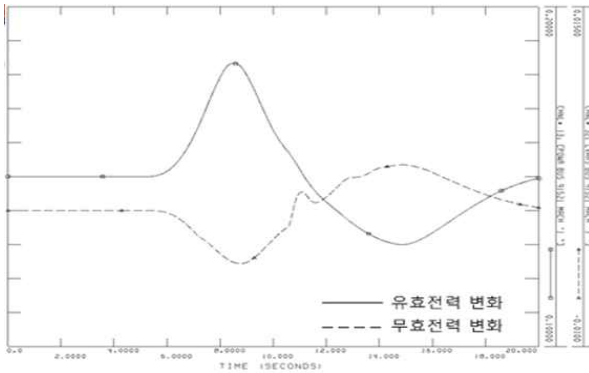


그림 7 풍속 변화에 따른 풍력 발전기의 출력 변동  
Fig. 7 Power variation of wind farm according to the change of wind speed

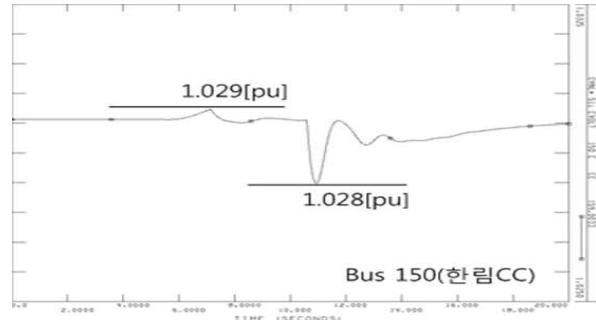


그림 9 무효전력 변화에 따른 계통 전압 변동  
Fig. 9 Voltage variation of power system according to the change of wind farm's reactive power

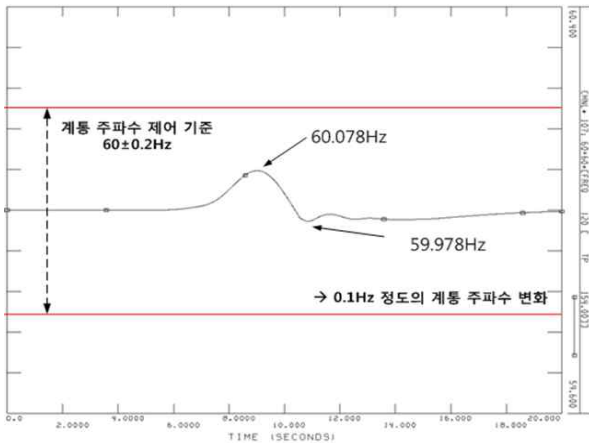


그림 8 유효전력 변화에 따른 계통 주파수 변동  
Fig. 8 Frequency variation of power system according to the change of wind farm's active power

그림 8은 풍력 발전 단지의 유효전력 출력 변화에 따른 계통 주파수의 변화이다. 300MW 부하 상황에서 110MW 풍력 발전기가 계통에 연계되어 있을 경우, 전체 풍력 발전 단지의 0.5pu 정도의 유효 전력 출력 변화는 0.1Hz 정도의 주파수 변동이 발생된다. 풍력 발전 단지의 연계 용량이 250MW까지 증가할 경우에는 풍력 발전 단지의 유효 전력 변동에 의해 주파수 유지에 영향을 미칠 수 있으므로, 풍력 발전기의 유효 전력 출력 변화율을 제한하거나(power gradient constraint), 풍력 발전기의 출력 증가를 제한하는 것으로 계통에 충분한 예비력을 확보하는 것이 필요하다.

그림 9는 풍력 발전 단지의 무효 전력 출력 변동에 따른 연계 기준 점에서의 전압 변동이며, 계통의 전압에 영향을 주지 않는다.

#### 4. 풍력 발전 단지의 최적 운영 방안

##### 4.1 풍력 발전 단지 제어시스템 구축

제주계통의 특성을 고려한 풍력 발전 단지의 연계 및 운영 기준(유효 전력 제어, 무효 전력 제어 및 Fault Ride Through 규정)의 수립은 풍력 발전의 점유율이 증가하고 있으므로, 제주 계통의 안정도 및 전압 품질을 개선을 위해 필요하다.<sup>[4][5]</sup> 그러나, 엄격한 연계 및 운영 기준을 수립하여, 모든 풍력 발전사업에 일괄적으로 적용하기는 어렵다. 따라서 풍력 발전 계통연계 및 운영기준을 효과적으로 적용하고, 동시에 안정도 측면에서 취약한 특성을 갖는 제주 계통에서 풍력 발전 사업을 활성화하기 위해서는 연계 기준의 수립과 함께, 일정 지역을 대상으로 하는 풍력 발전 단지 단위의 제어 시스템과 계통 운영자 측면에서의 협조 제어 실비를 구축하는 것이 요구된다.

계통 및 풍력 발전기의 응답 특성을 고려한 풍력 발전 단지 최적 운영을 위하여 계통연계기준 수립과 함께 풍력 발전 단지의 운영에 마이크로 그리드의 여러 가지 기능적 요소를 접목한 제주 풍력 발전 시스템의 구축이 필요하다. 기존의 발전 단지과 같은 제어 기능을 갖추어, 계통의 요구에 따라 전압 제어, 전기 품질 보상 등 다양한 계통 편익을 제공할 수 있도록 지역 단위의 풍력 발전 시스템을 구축함으로써, 풍력 발전 단지가 계통 연계 및 운영 기준에서 요구하는 다양한 규정을 만족할 수 있도록 한다. 이를 위해 각 풍력 발전 제어시스템은 계통 운영자의 운전 지령에 따라 출력 제어를 수행하고, 실시간으로 정보를 교환할 수 있는 지령 및 통신 체계를 갖추도록 한다.<sup>[2][4][6]</sup>

제주 계통에 적용 가능한 풍력 발전 제어시스템은 그림 10과 같다. 물론 제주와 같은 소규모 계통에서 현재 계획 중인 것과 같은 대규모의 풍력 발전 혹은 신

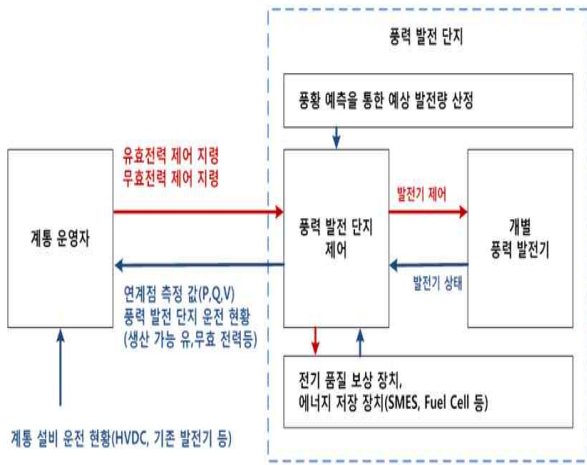


그림 10 풍력 발전 단지 제어 시스템  
Fig. 10 Control system of wind farm

재생 설비를 구축하여 운영한 사례가 거의 없으므로, 제주 계통의 풍력 발전이나, 신재생 설비는 국외의 경우보다 더 많은 기능적 요건을 요구 받을 수 있다. 이러한 풍력 발전 단지 단위의 제어 시스템을 구축하기 위해서는 그림 10과 같이, 풍력 발전 단지의 자율 제어 시스템 구축, 개별 풍력 발전기의 제어 시스템 확충, 전기 품질 보상 장치의 운용, 에너지 저장 설비를 이용한 출력 제어, 풍향 예측을 통한 예상 발전량 산정과 계통 운영자와의 통신 및 지령 체계 확립 등 다양한 구성 요소 기술이 필요하다. 따라서 실질적인 풍력 발전 단지의 제어 시스템 구축에 앞서 구성 요소 기술에 대한 보다 구체적인 검토가 필요하며, 현재 활발히 진행되고 있는 전력 IT 기술의 적용이 요구된다.<sup>[2]</sup>

**4.2 계통의 협조운전제어 기준 및 절차 수립**

풍력 발전 단지 단위의 제어 시스템이 구축되면, 기존의 발전기와 거의 동일한 수준의 제어 성능을 갖고 계통에 연계되게 된다. 따라서 계통 운영자 역시 이러한 풍력 발전 단지를 계통의 운전조건에 따라 적절하게 제어할 수 있도록 계통 전체의 제어 설비에 대한 보강이 필요하다. 즉, 계통 운영자는 풍력 발전 단지에 유효 및 무효 전력 출력에 대한 구체적인 제어 지령을 내릴 수 있는 설비를 구축하여야 한다. 이를 위해 지역 기존 발전기의 EMS(Energy Management System) 및 SCADA 설비를 확장하여, 실시간으로 HVDC와 대규모 풍력 발전 단지에 대한 운전 정보를 수집하고, 풍향 예측 정보 및 현재 설비 운용 현황 등 계통의 운

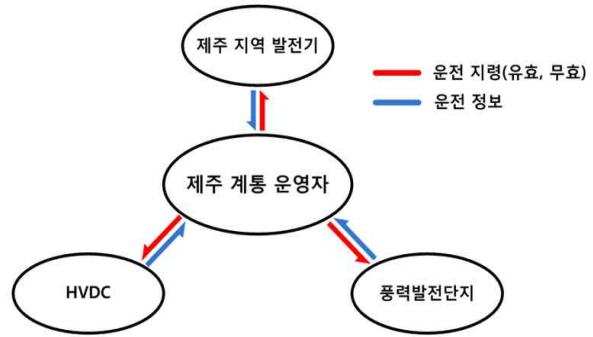


그림 11 제주지역의 풍력 발전 단지, 발전기, HVDC 운영체계  
Fig. 11 Operation scheme wind farms, generators, and HVDC

전 조건에 대한 종합적인 분석이 요구된다. 그림 11은 계통 운영자에 의한 제주 지역 발전기와 HVDC, 대규모 풍력 발전 단지의 제어 체계이다.

이와 같이 계통 운영자에 의한 기존 발전기 및 HVDC와 풍력 발전 단지의 제어 설비가 구축되게 되면, 현재 자율적으로 운전되는 풍력 발전 단지와 일정 출력으로 운전되고 있는 HVDC가 계통의 운전 상황에 따라 기존 발전기와 함께 제어되는 것을 통해 계통의 안정적인 운영이 가능해진다. 그리고 특정 지역에 편중되어 있는 기존의 발전기와 전압 조정 설비를 통해 전압을 제어하는 기존의 운영 방식에 비해, 제주 계통 전체에 분산되어 있는 풍력 발전 단지가 계통의 전압 제어에 일정 부분 기여할 수 있게 되어 전압 및 전기 품질 측면에서도 보다 안정적인 계통 운영이 가능해지게 된다. 대규모 풍력 발전 단지의 제어 시스템 구축과 이를 대상으로 하는 계통 운영자의 협조 제어 설비 구축함으로써, 제주 계통에서 신규 풍력 발전 사업을 지속적, 안정적인 추진인 가능하다. 이는 신규 풍력 발전기의 연계 시, 해당 풍력 발전 사업이 소규모로 계통 연계 기준에서 요구하는 설비 기준 또는 제어 기준을 만족하지 못하는 경우에도 기존의 대규모 발전 단지에 포함하거나, 연계 운전 등을 통해 계통에 연계될 수 있기 때문이다.

그림 12는 제주 계통에 대한 대규모 풍력 발전 단지에 대한 적절한 연계 및 운영 기준이 수립되고, 계통 운영자에 의한 협조 운전 제어 설비가 구성된 경우 적용 가능한 풍력 발전 단지와 HVDC의 협조 운전의 한 방안이다.

제주 계통에서 기존 발전기와 HVDC, 풍력 발전 단지가 다양한 계통 상황에 맞추어 효율적으로 협조 운

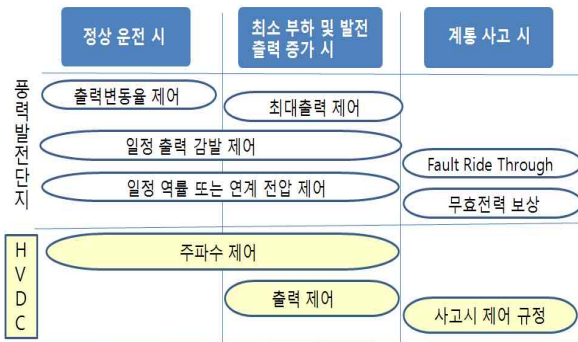


그림 12 풍력 발전 단지와 HVDC 운영 방안  
Fig. 12 Operation Scheme of the wind farm and HVDC

영되기 위해서는, 각 발전기 및 풍력 발전 단지와 HVDC에 대한 구체적인 운영 기준이 계통의 운전 조건에 따라 구분되어 즉각적으로 적용될 수 있어야 한다. 즉, 제주 계통의 다음의 그림과 같이 정상 운전 단계, 최소 부하 및 풍력 발전 증가 단계(풍력 발전 단지의 출력이 제한되어야 하는 운전 조건), 계통 사고 단계 등 계통의 운전 조건에 따라 단계를 구분하고, 각 단계에서 풍력 발전 단지와 HVDC는 기존 발전기 및 서로의 운전 상황을 고려하여 적절한 출력 제어 및 보상 운전을 수행하는 것을 통해 제주 계통의 협조 운전 방안을 수립할 수 있다. 이때, 각 단계에서 적용되어야 하는 구체적인 운영 기준과 계통 운영자의 HVDC 또는 풍력 발전 단지에 대한 제어 절차는 실질적으로 계통 운영 기준과 제어 시스템의 구축에 따라 결정되어야 하며, 기존 발전기 및 풍력 발전 단지의 효율적인 운영을 최대한 고려할 수 있어야 한다.

### 5. 결 론

본 연구에서 제안하는 풍력 발전 단지의 최적 운영 방안은 다음의 세 가지로 구체화할 수 있다.

- 풍력 발전 계통 연계 및 운영 기준(Grid code) 수립
- 풍력 발전 단지 단위의 제어 시스템 구축
- 연계 및 운영 기준에 따른 풍력 발전기와 기존 발전기의 협조 운전 방안 확보

대규모 풍력 발전 단지의 최적 운영은 계통의 특성을 고려한 계통연계기준을 기반으로 풍력 발전 단지 제어 시스템을 구축하고, 계통운영자에 의한 기존의 발전기와 전력설비와의 협조 운전을 통해 가능하다.

국내에서도 계통의 안정적인 운영과 함께 풍력 발전의 지속적인 확대 보급을 위해서는 정부 또는 풍력 발전 사업자들과의 협조를 통해 풍력 발전 단지 단위의 원격 또는 집중 제어 설비를 구축하고 계통 운영 기준에 따라 풍력 발전 단지를 운영하는 것이 필요하다. 또한 계통 운영자 역시 기존의 발전기와 같이 풍력 발전 단지에 대한 유효 전력 및 무효 전력 제어 체계를 갖추는 것을 통해 계통 전체의 협조제어가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] "Large scale integration of wind energy in the European Power Supply", EWEA., December 2005.
- [2] "EirGrid Grid Code, Version 3.0", EIRGRID, Ireland, 2007.
- [3] "Modeling and Wind Farms for Power System Stability Studies", Shaw Power Technologies, Inc.
- [4] "Wind Power Facility, Technical Requirements", Grid Code from Alberta Electric System operator, Canada
- [5] "Discussion document for the review of requirements for wind turbine generators under system faulty conditions, commonly referred to as fault ride through", ESB National Grid., November 2003.
- [6] "The Grid Code, Revision 12", National Grid Electricity Transmission plc, TSO in UK.

### 저 자 소 개



#### 전영수(全榮洙)

1960년 2월 9일생. 1983년 성균관대 전기공학과 졸업. 1997년 충남대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년~현재 한전 전력연구원 송배전연구소 책임연구원.



#### 최영도(崔泳道)

1973년 10월 8일생. 2000년 명지대 전기전자공학부 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년~현재 한전 전력연구원 송배전연구소 선임보조연구원.