

**풍력발전기 출력제한 고려시 풍력 한계용량 산정에 관한 연구**

명호산\*, 김세호\* 김형택\*, 김영환\*\*  
 제주대학교\*, 전력거래소\*\*

**A study on the maximum penetration limit of wind power considering output limit of WTGs**

Ho-San Myung\*, Se-Ho Kim\*, Hyong-Taek Kim\*, Yeong-Hwan Kim\*\*  
 Jeju National University\*, Korea Power Exchanges\*\*

**Abstract** - 최근 풍력사업의 발전은 제주도의 풍부한 바람을 이용하고 자하는 풍력사업자들에게는 새로운 기회로 다가오고 있다. 하지만 이미 계통조건을 고려한 풍력한계용량이 산정되어 많은 풍력사업자들에게 기회를 제공해주지 못하고 있다. 본 논문은 계통의 안정성을 해치지 않으면서 풍력설비용량의 한계를 증가 시킬 수 있는 방안을 모색하기 위한 것이다.

**1. 서 론**

제주지역의 풍부한 바람 자원을 이용하고자 많은 풍력사업자들이 풍력단지 증설을 위해 각고의 노력을 기울이고 있다. 제주계통은 육지와 분리된 독립계통으로 전기적 관성이 육지에 비해 매우 낮기 때문에 풍력발전기와 같은 분산형 전원이 전력계통과 연계되었을 때 계통 안정 운영에 매우 취약하게 된다. 그렇기 때문에 제주지역에 설치될 수 있는 풍력발전기의 설비용량은 제한되어야 한다. 풍력발전기의 가변성과 불확실성으로 인한 출력변동은 고스란히 화력발전기와 연계선이 부담하게 된다. 현재까지 제주계통과 연계된 풍력발전기 설비용량은 90.5MW로 계통에 미치는 영향은 미미하지만 향후 대규모 풍력단지가 조성된다면 그 영향력은 커져 계통은 불안정하게 되어 전기품질과 신뢰도가 떨어지게 될 것이다. 따라서 적절한 풍력발전기 한계용량이 산정되어 풍력사업자들에게 사업 승인을 허가해야 할 것이다. 풍력발전 한계용량 산정을 위한 방안으로 몇 가지가 제시되고 있다. 첫째로, 기존 발전기의 최소발전량 기준 한계용량이다. 둘째, 풍력발전기의 출력 증감발률을 고려한 한계용량이며, 셋째로 연계선을 통한 역송전을 고려한 한계용량 산정이다. 이외에도 풍력한계용량 검토를 위한 많은 연구가 이루어지고 있다.

**2. 본 론**

현재 제주-해남간 연계선 #1(150\*2pole)이 육지로부터 전력을 수전 받고 있으며 2011년 12월 중에 연계선 #2(200MW\*2pole)가 신규 건설되어 연계선 #1과 함께 육지계통과 연결되게 된다. 연계선#1과 달리 연계선 #2는 양방향 송수전이 가능하도록 설계된다. 풍력발전 한계용량 선정에 있어 가장 중요한 조건은 계통 신뢰도와 안정도를 고려한 상황에서 결정해야 하는 것이다. 현재까지 제주지역에 설치되어 계통과 연계된 풍력발전 설비용량은 90.5MW로 제주계통에서 차지하는 비율은 그리 높지 않다. 하지만 2014년까지 준공된 풍력발전기 및 설치 희망 중인 풍력발전 설비용량이 (기존 용량 포함) 약 400MW로 풍력발전이 제주계통에서 차지하는 비율(wind penetration)이 아주 높게 된다. 이처럼 대규모 풍력단지가 조성된다면 계통에 미치는 영향은 매우 커질 것이다. 즉, 풍력발전기의 가변성으로 인한 출력변동은 계통 주파수 변화를 이끌며, 전체 계통의 신뢰도 저하를 초래할 수 있다. 연계선과 기존 화력발전기는 순동예비력을 확보하여 제주계통의 주파수안정도를 유지하고 있다. 2011년 연말에 제2연계선이 준공된다면 제주계통은 더욱 안정적으로 운영될 수 있을 것으로 보인다. 풍력발전 한계용량 선정을 위해 계통 상황을 고려해야 하며 안정을 벗어나지 않는 범위에서 한계용량을 결정해야 할 것이다. 제주지역의 풍부한 바람자원은 풍력사업자들에게 새로운 기회로 다가오며 더 많은 풍력단지 조성을 위한 노력을 하게 한다. 하지만 제약적인 계통 상황과 풍력발전 한계용량 결정으로 풍력사업의 제약이 만든다. 다음 절에서는 계통의 안정도를 고려한 풍력 한계용량을 풍력발전기 출력 제약 조건을 통해 새로운 풍력한계용량 결정을 위한 방법을 제안하고자한다.

**<표 1> 제주지역 풍력발전 설비현황 및 계획 (MW)**

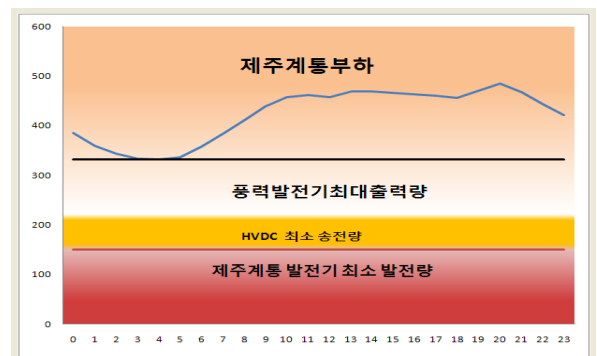
설비명	설비용량	준공년월	TYPE
행원풍력(성산측)	9.8	98.02	농형
한경풍력1(한림측)	6	4.02	
신창풍력(한림측)	1.7	6.03	
월정풍력(성산측)	1.5	6.07	
한경풍력2(한림측)	15	7.12	권선형
성산풍력(성산측)	12	9.01	
삼달풍력(성산측)	33	9.09	
김녕풍력(성산측)	1.5	10.04	
STX풍력(한림측)	2	10.07	(예정)
성산풍력2(성산측)	8	10.09	
난산풍력(성산측)	10.5	11.03	
해상실증풍력(한림측)	6	11.06	
이시돌풍력(한림측)	20	11.11	
한신D&P풍력(성산측)	45	11.12	
이시돌풍력2(한림측)	20	12.06	
상도풍력(성산측)	30	12.06	
팜파스풍력(성산측)	20	12.06	
삼무해상풍력(한림측)	30	12.12	
월정해상풍력(성산측)	50	13.01	
제주풍력(성산측)	20	13.12	
한경해상풍력(한림측)	50	14.01	

**2.1 풍력한계용량**

전력 계통의 수요와 공급은 항상 일치해야하며 그렇지 않은 경우, 계통은 불안정하게 된다. 풍력발전기는 부하에 전력을 공급하지만 그 양은 풍속의 변화에 따라 변화하므로 제어 불가능하다. 수요가 요구하는 만큼 전력량을 제어할 수 없을 뿐더러 풍력발전기 출력변동을 기존 화력발전기와 연계선이 흡수해야하는 상황이 발생한다. 이런 이유로 계통 운영자는 풍력발전기를 발전원이 아닌 부하로 여겨 발전계획을 세우게 된다. 사전에 계통상황을 고려하여 풍력한계용량을 산정하게 되는 것이다. 다음 그림은 최소발전량을 고려한 풍력한계용량 산정에 관한 내용을 나타낸다.

$$\Sigma P_{load} - \Sigma P_{G,min} = \Sigma P_{WT,max} \tag{1}$$

식(1)을 보면 부하와 최소발전량에 따라 풍력발전의 한계용량이 결정됨을 알 수 있다. 즉, 계통상황에 따라 풍력한계용량이 재평가된다.



**<그림 1> 최소발전량 기준 풍력한계용량 산정**

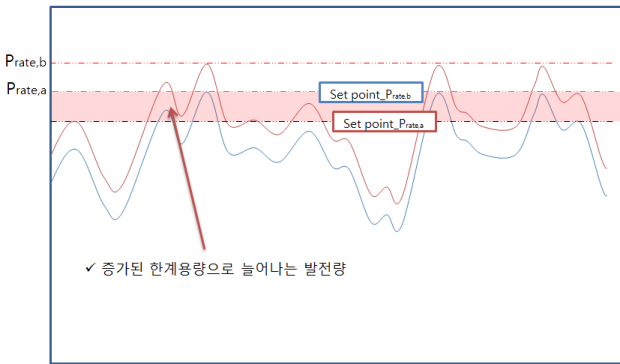
## 2.2 풍력발전기 출력제약 고려 시 한계용량 산정 방법

이미 여러 방법론이 제시되어 계통의 안정도와 신뢰도를 고려한 풍력 한계용량에 대한 평가가 이루어져 있다. 본 논문에서는 기존에 평가된 풍력한계용량에 대하여 풍력발전기 출력 제약 시, 얼마만큼 풍력한계용량이 증가시킬 수 있는지를 평가하였다. 그리고 풍력발전 출력 제약 시 증가되는 한계용량으로 얼마만큼 연간 발전량이 증가되는지 분석하였다. 풍력발전의 출력제약을 위한 기준점을 결정하기 위해서 두 가지 방법론을 제시할 수 있다. 첫째로, 풍속 예측시스템을 통한 발전량 예측기법과 풍속예측과 측정된 출력예측사이의 관계를 통계적으로 의미가 있도록 구성하는 통계적 시스템이 있다. 둘째, 풍력발전단지의 전년도 실측데이터를 통해 기준점을 결정하는 방법이다. 본 논문에서는 실측데이터를 통해 풍력발전 출력제약의 기준점을 정하는 방법을 제시하고자 한다.

### 2.2.1 제안 방법

입의 풍력단지에 대하여 연간 10분 단위 평균 발전량 데이터를 통해 출력제약을 위한 기준점을 결정한다.

1. 연간 발전량이 정격에 대하여 차지하는 비율( $P_{10min}/P_{rate,10min}$ )의 구간별 Table을 만들어 전체 빈도수에 대한 확률을 구한다. (표2)
2. Table의 모든 기준점(set point)에 대하여 기존 한계설비용량( $P_{rate,a}$ ) 대비 증가되는 한계용량( $P_{rate,b}$ ) 값을 산정한다.
3. 출력제약 전의 한계용량과 출력제약 시 증가된 한계용량의 연간발전량을 비교한다.  
\* 풍속패턴과 풍속의 크기는 일정하다고 가정함.
4. 사용자는 출력제약 전과 후의 연간발전량의 수치를 통해 원하는 출력제약의 기준점(set point)을 결정할 수 있다.



〈그림 2〉 풍력출력 제약 전후 출력 패턴

〈표 2〉 단지별 출력제약 기준점에 대한 Table

%P <sub>r</sub> /P <sub>rate</sub>		80%	85%	90%	95%
풍력단지	전체 빈도수				
A	X	%A <sub>r,80%</sub> /X	-	-	-
B		%B <sub>r,80%</sub> /X	-	-	-
C		%C <sub>r,80%</sub> /X	-	-	-

$$P_{rate,b} = \frac{P_{rate,a}}{R} \quad (2)$$

$P_{rate,a}$  = 출력제약전 한계용량(MW)

$P_{rate,b}$  = 출력제약후 한계용량(MW)

R = 출력제약기준점(%)

출력제약 후 증가된 한계용량의 경우 같은 조건의 출력제약 기준점을 적용한다. 이는 증가된 한계용량에 의한 발전량이 이미 정해진 계통안정 운영을 고려한 한계용량을 초과하지 않도록 하기 위함이다.

〈표 3〉 출력제약 전후 기준점에 대한 연간발전량

%P <sub>r</sub> /P <sub>rate</sub>		80%	85%	90%	95%
풍력단지					
A	전	-	-	-	-
	후	-	-	-	-
B	전	-	-	-	-
	후	-	-	-	-
C	전	-	-	-	-
	후	-	-	-	-

### 2.2.2 한경풍력단지 실측 데이터 적용 결과

제주지역 한경풍력단지의 2010년 10분단위 평균 발전량 데이터를 통해 결과 값을 산출해 보았다. 현재 설치된 용량(21MW)을 한계용량이라고 할 때, 출력 제약 시 증가되는 한계용량을 비교해 보았다. 출력제약 전과 후의 풍황 조건과 정격에 대한 실제 발전량의 빈도수가 같다는 가정 하에 결과 값을 산출하였다.

〈표 4〉 단지별 출력제약 기준점에 대한 Table

%P <sub>r</sub> /P <sub>rate</sub>		80%	85%	90%	95%
풍력단지	전체 빈도수	16.8MW	17.85MW	18.9MW	19.95MW
한경풍력 (21MW)	52560	2.54%	0.68%	0%	0%

〈표 5〉 출력제약 전후 기준점에 대한 연간발전량 (GWh)

%P <sub>r</sub> /P <sub>rate</sub>		80%	85%	90%	95%
풍력단지					
한경풍력	전	76.40	6.39	-	-
	후	84.57	7.94	-	-
출력제약 후 - 전 (GWh)		8.17	1.55	-	-

표5는 출력 제약 기준점 이상의 연간 발전량을 나타낸 것이다. 출력제약 전에 대한 결과 값은 데이터를 기준으로 한 정확한 값을 나타내지만, 증가된 한계용량에 대한 연간발전량 산정 시에는 정확한 수치를 계산할 수 없기 때문에 출력제약 전의 빈도수를 기준으로 계산하였다. 한경풍력단지의 경우 2010년 데이터 기준 90%이상으로 발전되지 않으므로 그 이상의 것은 '0'으로 비교대상에서 제외된다.

## 3. 결 론

풍력발전의 변동성으로 인한 계통의 불안정 요소를 제거하기 위해서는 계통상황을 고려하여 적절한 풍력한계용량 산정이 필요하다. 이미 여러 방법론을 통해 적정 한계용량 산정 기준이 제시되고 있으며, 계통 상황에 따라 풍력한계용량이 산정되고 있다. 풍력사업은 꾸준히 발전하고 있으며, 풍력한계용량의 가이드라인은 풍력사업의 공급과 수요의 불균형을 초래하게 한다. 본 논문에서는 풍력발전의 공급문제를 해소하기 위한 방안으로 풍력출력 제약 조건을 제시하였다. 출력 제약 조건을 고려한 풍력한계용량의 재산정은 계통의 안정운영을 해치지 않으면서 풍력사업자에게 더 많은 기회를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 2010년 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 전력거래소, "제주지역운영예비력 산정기준 연구", 2011
- [2] 한국전력공사, "제주계통의 풍력설비 한계 운전용량 및 계통운영방안 연구", 2008
- [3] 문승일, "제주도 풍력발전의 한계운전 용량 산정과 활성화 방안", 전기의 세계, 제57권 제 4호, pp67-73, 2008
- [4] Jin-Woo Park, Yuong-ho Park and Seung-il Moon, "Instantaneous Wind Power Penetration in Jeju Island", IEEE Pes General Meeting, Pittsburgh, USA, 2008