



# 풍력발전의 계통연계 영향

□ 송경빈 / 송실대학교

□ 권석기, 김태훈 / 한국전력거래소

## 1. 서론

전 세계 국가들이 지구기후변화 방지를 위한 노력으로 1998년 3월부터 1999년 3월까지 뉴욕의 유엔본부에서 서명을 하여 교토의정서가 채택되었으나 2001년 최대 온실가스배출국인 미국이 의정서가 자국의 경제에 심각한 피해를 줄 수 있고 중국, 인도 등 개발도상국들이 의무감축대상에서 제외되어 있다는 이유를 내세워 반대 입장을 표명하여 그 실효성에 큰 타격을 입었지만, EU와 일본 등이 중심이 되어 협상을 지속하여 마침내 2004년 11월 러시아가 비준서를 제출함에 따라 교토의정서의 발효조건이 충족되어 정해진 규정에 의해 2005년 교토의정서가 발효되었다. 의정서에 따르면 기후변화협약 Annex I국가들은 2008년~2012년 기간 중 자국내 온실가스 배출 총량을 1990년대 수준대비 평균 5.2% 감축하여야한다. 우리나라의 경우, 2002년 11월 교토의정서를 비준하였으며 2차의무기간인 2013년~2017년 적용대상 가능성이 매우 높아 1999년과 2002년에 중합대책을 수립하여 추진 중이다. 온실가스를 효과적이고 경제적으로 줄이기 위하여 공동이행제도(Joint Implementation), 청정개발체제(Clean Development Mechanism), 배출권 거래제도(Emissions Trading)와 같은 교토메카니즘(Kyoto Mechanism)에 대한 산업계의 대응 능력 제고를 위해 노력하고 있으며, 한국을 포함한 세계 각국들은 이러

한 국제정세에 적응하며 에너지 안보를 확립하고 동시에 환경도 보전할 수 있는 새로운 형태의 에너지원들에 대해 눈을 돌리게 되었고, 이에 신재생에너지원의 도입이 진행 중이며 가까운 장래에 활성화 될 것으로 기대되고 있다. 특히 산업자원부는 신재생에너지 분야 중 태양광, 풍력, 연료전지를 3대분야로 정하고 개발및 보급 확산에 중점을 두고있다.

본고에서는 풍력발전에너지에 초점을 두고 전력계통과의 연계 관하여 논하고자 한다. 전력시스템에 대한 풍력발전의 연계는 계통 계획자와 운영자에게 풍력발전의 자연적인 특성으로부터 기인한 여러 가지 영향을 고려하게 한다. 풍력발전은 바람이 불 때 작동하며 발전량은 바람의 강도에 따라 변한다. 풍력발전은 전통적인 방법으로 급전을 수행하지 않으며, 계통 운영자에게 제어 범위를 제한한다. 이것은 계통의 부하량과 발전량사이의 균형을 유지하기 위한 실시간 안정적인 전력수급에 영향을 준다. 풍력의 자연적인 가변성은 전력시스템 계획자와 운영자에게 많은 중요한 질문들을 제시하는데, 본고에서 풍력발전의 전력계통 연계에 대해 논한다.

## 2. 국내의 풍력발전 현황

### ○ 해외 현황

EU의 국가들의 풍력에너지 개발과 보급에 대한 현

황을 살펴보면, 세계 풍력발전의 75%를 점유하고 있으며, 2004년 말 현재 유럽에서는 34GW의 풍력발전 용량을 갖고 있으며, 특히 해안에 대용량 풍력단지의 건설이 계획되고 있는 실정이다. 주요 풍력발전국가는 독일, 덴마크, 스페인이다. 세계의 풍력용량은 46,048MW(2004년기준)이며 전체 용량 기준으로는 독일이 16,629MW로 세계 1위 자리를 고수하며, 그 뒤를 스페인 8,263MW, 미국 6,740MW, 덴마크 3,117MW이다. 대륙별로 간단히 현황을 살펴보면, 아프리카의 경우 미미한 상태이며, 펌프 구동이나 발전을 위한 소규모 풍력발전은 널리 이용되고 있다. 남아프리카의 경

우 재생가능 에너지에 대한 White Paper가 채택되어서, 사하라사막 이남의 아프리카 나라들에서 풍력 에너지의 확산이 전망된다. 북 아프리카의 경우, 이집트, 모로코 및 튀니지가 수백 MW 용량의 신규 프로젝트를 추진 중이다. 아메리카대륙의 경우, 미국은 다소 미진했던 2002년 이후 다시 세계 2위 자리를 탈환했으며, 아메리카 대륙에서 주도적인 역할을 이어갈 것이다. 캐나다와 라틴아메리카, 특히 경제회복 후의 브라질 및 아르헨티나는 흥미로운 중기 전망을 내놓고 있다. 아시아의 경우, 인도는 2GW 이상의 설치 용량을 가지고 있으며, 여전히 아시아 대륙에서의 풍력에너지 부

분의 원동력 역할을 하고 있다. 중국 정부는 조만간 풍력 에너지 개발에 박차를 가할 것이며, 2010년까지 4GW 용량을 설치할 것을 목표로 하고 있다고 표명했다. 일본, 한국 및 파키스탄과 같은 나라에서도 매우 유망한 개발들이 시작되었다. 호주와 태평양의 경우, 호주는 2003년 94MW의 용량을 신규로 설치하여, 총용량을 대략 2배 가량으로 늘리면서 순조로운 향상을 보였다. 몇 년 안에 상당한 증가가 예상된다.

표 1 세계의 풍력발전 설치 용량 현황(1)

지역	설치 용량(MW)				
	1995년	1999년	2003년	2004년	2005년
유럽	2,518	9,307	28,706	33,660	39,993
북미	1,676	2,619	6,677	7,241	9,550
중남미	11	87	139	208	232
아시아와 태평양	626	1,403	3,034	4,698	6,782
중동과 아프리카	13	39	150	241	256
총계	4,844	13,455	38,716	46,048	56,813

표 2 국내의 풍력발전기 현황(2)

발전소	준공년월	용량(kW)	사업자	설치장소
행원풍력	'98. 2	1,200(600×2)	제주도	제주 북제주군 구좌읍 행원
	'99. 3	1,545(660×2, 225×1)		
	'00. 2	1,500(750×2)		
	'01. 5	1,320(660×2)		
	'02. 11	2,250(750×3)		
	'03. 4	1,980(660×3)		
울릉풍력	'99. 11	600(600×1)	경상북도	경북 울릉군 울릉읍
포항풍력	'01. 2	660(660×1)	경상북도	경북 포항시 남구 대보면
군산풍력	'02. 11	1,500(750×2)	전라북도	전북 군산시 비응도동
	'03. 9	1,500(750×2)		
한경풍력	'04. 2	6,000(1,500×4)	남부발전(주)	제주 북제주군 한경면 용수리
대관령풍력	'03. 11	1,980(660×3)	강원도	강원 평창군 도암면 황계리
	'04. 8	660(660×1)		
매봉산풍력	'04. 12	1,700(850×2)	태백시	강원도 태백시 삼수동
영덕풍력	'04. 11	11,550(1,650×7)	영덕풍력발전	경북 영덕군 영덕읍 창포리
	'05. 4	28,050(1,650×17)		
강원풍력	'05. 12	28,000(2,000×14)	강원풍력발전	강원 평창군 도암면 황계리 대관령 삼양, 한일 목장내
	'06. 8(예정)	70,000(2,000×35)		
제주풍력	'06. 7(예정)	14,700(2,100×7)	제주풍력발전	제주도 남제주군 성산읍 난산리
성산풍력	'06. 10(예정)	20,000	남부발전(주)	
한경풍력	'06. 6(예정)	14,000	남부발전(주)	
양양풍력	'06. 6(예정)	3,000	중부발전(주)	
계		211,715kW		

○ 국내 현황

1998년 2월 제주시 북제주군 구 조읍 행원에 600kW급 2기 준공을 시작으로 2005년말 풍력발전의 발전용량은 90,015kW이다. 2006년에는 준공예정을 포함하여 풍력발전의 발전용량이 211,715kW에 이를 예정으로 총 발전설비용량 65,764MW의 약 0.32%를 차지한다. 국내 풍력발전기 현황은 표2에 제시한다. 또한 연도별 풍력발전 건설 현황을 그림 1에 제시한다.



시 비교하였는데 풍력발전기가 포함된 계통이 계통의 안정도를 개선한다는 결과가 제시되었다. 최신의 풍력발전기들은 무효전력 제어과 저전압 회복능력(low-

표 3 전력계통 운영비용에 대한 풍력의 영향(3)

Study	풍력 점유율 (%)	조정 비용 (US\$/MWh)	부하추종 비용 (US\$/MWh)	기동정지 계획비용 (US\$/MWh)	가스공급 비용 (US\$/MWh)	전체운영 비용영향 (US\$/MWh)	시스템 운영비용 절감액 (US\$/MWh)
Xcel-UwiG	3.5	0	0.41	1.44	NA	1.85	na
Xcel-MNDOC	15	0.23	0	4.37	NA	4.60	na
CAISO	4	0.59	0	na	NA	na	na
We Energies	4	1.12	0.09	0.69	NA	1.90	na
We Energies	29	1.02	0.15	1.75	NA	2.92	na
PacifiCorp	20	0	1.6	3.0	NA	4.6	na
Xcel-PSCo	10	0.20	0	2.26	1.26	3.72	na
Xcel-PSCo	15	0.20	0	3.32	1.45	4.97	na
GE-NYISO	10	na	na	na	NA	na	\$350 million

voltage ride-through capability)을 갖고있어 주요 외란에 대해 계통의 복원능력이 향상됨을 확인하였다. 풍력발전의 계통연계와 관련하여 계통규칙(Grid Code)에 대한 연구는 FERC(Federal Energy Regulatory Commission), AWEA(Wind Industry Trade Association), NERC(North American Electric Reliability Council), WECC(Western Energy Coordinating Council)에 의해 진행중이며 풍력발전기의 전압민감도와 전압제어, 무효전력제어에 중점을 둔다. 대표적인 계통규칙으로 FERC Order No. 661이 있다. AWEA의 계통규칙중 주요사항으로 저전압 비상시에 연계지점의 최저전압이 0.15 p.u.수준에서 0.625초간 계통에 반드시 연결되어 있을 것을 요구하며, 원격 감시를 위해 SCADA의 설치를 의무로 하며, 무효전력제어의 제약으로 역률을 ±0.95이상으로 운전 할 것을 요구한다.

#### 4. 결 론

2005년 교토의정서의 발효 후 풍력발전의 보급이 급속히 확산되고 있으며, 대규모 풍력단지 건설에 대한 관심도 높아지고 있으며, 2006년 기준 풍력발전의 용량이 약 212MW로 총 발전설비용량의 0.32%를 점유하고 있다. 향후 풍력발전의 점유율이 높아 질 것에 대비하여 우리나라의 계통에 풍력의 한계용량과 계통의 계획과 운용에 미치는 영향에 대해 검토 할 필요성이 고조되고 있다. 풍력발전기의 건설과 전원계획과 계통계

획의 영향검토가 필요하고, 풍력발전이 계통의 운용에 미치는 영향을 고려하여, 기동정지계획과 발전계획, 부하추종운전과 주파수제어 등과 연계한 검토가 필요하다. 또한 다양한 대규모 풍력단지가 계통의 안정적인 운전을 위해 계통의 신뢰도에 미치는 영향과 과도 안정도와 전압안정도를 고려한 운용계획을 준비하여 신재생에너지의 보급 확산과 더불어 고도의 계통운용 기술을 확립 할 시기이다.

#### 참고문헌

- [1] Thomas Ackermann, "Historical Development and Current Status of Wind Energy World-Wide + Economic Drivers for Wind Power Around the World", UWIG A Short course on the Integration and Interconnection of Wind Power Plants into Electric Power Systems, February 6-10, 2005
- [2] 2005 발전설비현황", 한국전력거래소, pp. 273, 2005
- [3] Edgar A DeM대, William Grant, Michael R. Milligan, and Matthew J Schuerger, "Wind Plant Integration", IEEE power & energy, Vol. 3, No. 6, pp.38-46, November/December 2005.
- [4] Robert Zavadii, Nicholas Miller, Abraham Ellis, and Eduard Mulja야, "Making Connections", IEEE power & energy, Vol. 3, No. 6, pp.26-37, November/December 2005.
- [5] <http://www.unison.co.kr/>
- [6] <http://www.uwig.org/>