

실시간 풍력자료에 기초한 풍력 발전의 타당성 검토

金 純 默 | 韓國水力原子力(株) 原子力環境技術院

1. 검토배경

최근 국제유가의 폭등과 화석연료의 고갈로 인해 에너지 위기를 체감하며 대체, 재생 에너지에 대한 국민의 관심이 그 어느 때 보다도 높아지고 있다. 정부에서도 2011년 신, 재생에너지 5% 공급을 목표로 향후 수소, 연료 전지, 태양광, 풍력 등 3대 분야에 대한 기술개발을 강화키로 했다.

한편 시민사회단체에서도 “우리나라 전력정책의 미래에 대한 합의회의”를 구성하여 전력정책에 대한 문제점과 재생가능에너지의 확대정책에 대해 활발한 논의를 시도하고 있다.

여러 가지의 대체에너지 중에서 풍력은 현재 전 세계적으로 그 성장률이 가장 높은 에너지원이며, 우리나라에서도 강원, 제주, 경북 및 서, 남해안 지역에 풍력 발전 투자가 활발한 실정이다

풍력발전에 대한 많은 기술개발 노력과 집중적인 투자에도 불구하고 풍력은 바람이 불지 않으면 전기를 생산할 수 없다는 근본적인 한계점을 지니고 있다. 이러한 특성 때문에 몇몇 특수 지역을 제외하고는 대부분의 나라에서 풍력 발전이 주 전력원으로서

의 역할을 수행하지 못하고 있다.

본 고에서는 지역별 기상청이 제공하는 풍속자료와 고리, 영광, 울진, 월성지역의 4개 원전 부지에서 측정한 실시간 풍속자료를 기초로 하여 우리나라의 지역별, 계절별 바람의 특성을 분석하고, 분석된 자료를 기초로 하여 기존 화력 및 원자력 발전원에 대한 대안으로 풍력 발전의 대체 가능성 여부를 검토하고자 하였다.

2. 전국의 풍력자원 환경

기상청에서 제공하는 우리나라의 34개 지역 실측 풍속자료에 의하면 풍력 발전에 경제성이 있다고 평가되는 일평균 5m/s^{주1)} 이상의 풍속 관측일은 년중 평균 4% 정도로 미미한 형편이다(표 1 참조). 지역별로도 편차가 심해서 제주 고층지역을 제외하면 목표 50일(연중 13.7% 발생), 대관령 45일(연중 12.3% 발생), 여수 30일(연중 8.2% 발생) 정도로 1년 중 발전 가능한 바람이 불어오는 날이 드물다. 게다가 <표 1>에서 보는 것과 같이 하루 평균 5m/s

주1) 일반적으로 풍속이 연평균 5m/s정도가 되면 grid-connected applications가 사용되고, 연평균 3~4m/s 에서는 전지 충전 등 non-connected applications 가 사용된다. 풍속 3m/s 에서 얻을 수 있는 에너지는 5m/s 에 비해 겨우 20%(=33 / 53)에 불과하여 경제성을 향상시키기 어렵다.

> (표 1) 전국 34개 기상관측소의 일평균 풍속 5m/s 이상 불어오는 일수

지역	측정지	월별 풍속 5m/s 이상 발생일												계
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
강원	대관령	16	3		2							4	20	45
	속초													
	강릉													
	원주													
	철원													
경상	춘천													
	부산				2			1						3
	울릉도			2	15	3								20
	울진													
	대구													
	포항													
	통영													
	울산													
	마산													
전라	안동													
	진주													
	군산		3	5	1									9
	목포	13	20	9	1				1			4	2	50
	여수	9	15	4						1			1	30
	완도		1											1
제주	광주													
	전주													
	제주고층	31	29	31	30	23	12	20	20	24	31	30	31	312
기타	제주도	12	11	1									5	29
	서귀포													
	인천			1										1
	추풍령													
	서울													
	서산													
	강화													
	수원													
	대전													
청주														
충주														
합계		81	82	53	51	26	12	21	21	25	31	38	59	500

이상 되는 바람이 부는 날은 계절적으로 편중되어 1월 ~ 2월에 집중되어 있으며 상대적으로 7월 ~ 8월은 극히 저조하여 전력 성수기인 여름철에는 풍력 발전의 기여가 현실적으로 어렵다는 점을 알 수 있다.

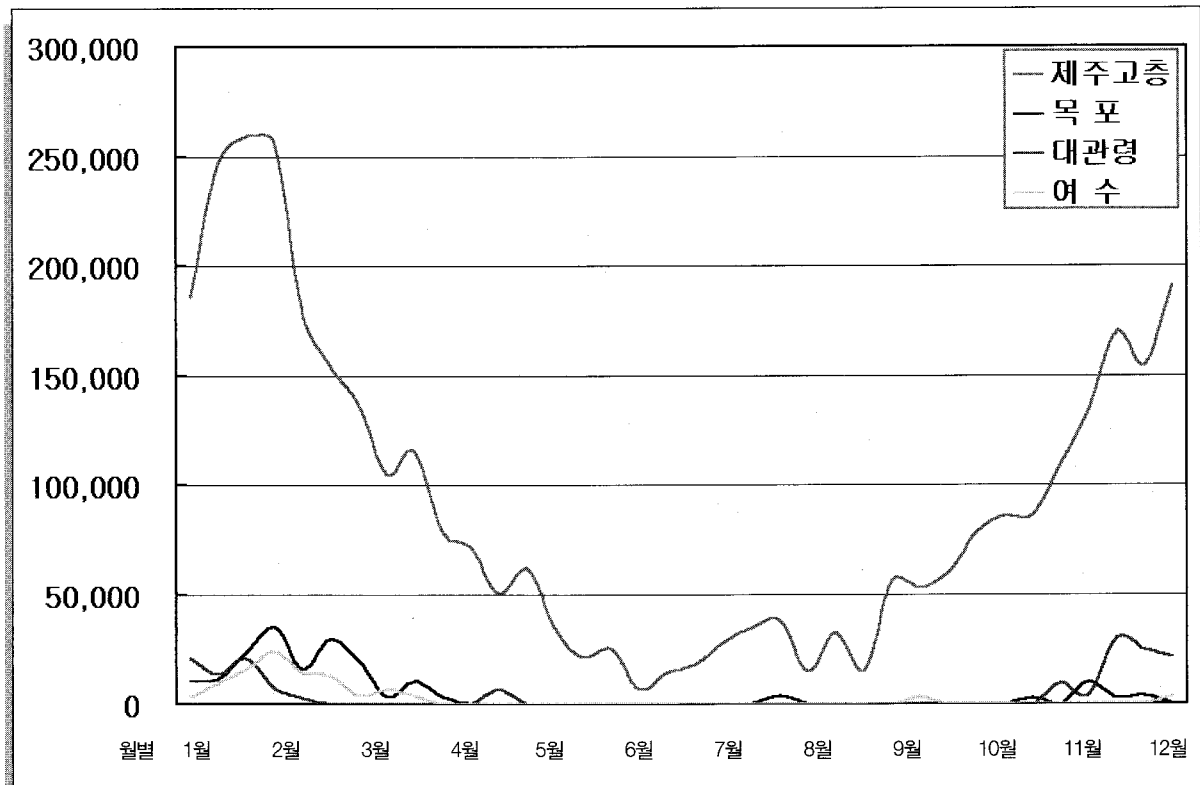
한편 풍력에너지의 일반적 산출 공식 $P \propto (1/2) \rho AV^3$ 에 의하면 풍력은 공기밀도 $\rho(\text{kg/m}^3)$, 회전면적 $A(\text{m}^2)$, 풍속 $V(\text{m/s})$ 의 3승에 비례함을 알 수 있다. 즉 풍차가 바람을 맞는 A 가 크면 클수록 또 풍속 V 가 크면 클수록 풍력 발전기가 내는 에너지는 크다. 그러나 현실적으로 풍차 길이를 무한정 길게 할 수도 없고 태풍과 같은 높은 풍속에서 발전을 하도록 풍차 날개를 만드는 것도 바람직하지 않다.

풍속의 3승 X 바람 부는 시간을 풍력 에너지 밀도로 정의하여 풍속 5m/s 이상 바람이 연간 30일 이상

불어오는 지역의 풍력 에너지 밀도를 매월 상순, 중순, 하순으로 집계한 결과를 <그림 1>에 나타내었다.

<그림 1> 및 <표 2>에서 보는 것과 같이 제주도의 고층, 목포, 대관령, 여수 등 풍력자원이 비교적 풍부한 지역에서는 12월 ~ 2월 사이에 연간 풍력 에너지 밀도의 57%가 분포되어 있는 반면 7월 ~ 8월 기간에는 불과 4.4%만이 분포되어 계절별 편차가 극심함을 알 수 있다. 따라서 풍력 발전 설비를 설계 제작함에 있어 극심한 계절적 편차를 어떻게 고려하는가가 매우 중요한 문제라 할 것이다. 또한 제주도의 고층 지역을 제외하면 육지부에서 비교적 바람이 많이 부는 목포, 대관령, 여수와 같은 지역도 연간 가능 일수가 30일 ~ 50일에 불과하고 4월부터 10월까지는 사실상 바람이 없다. 따라서 제주도를 제외하고는 한

> 그림 1 그림 1 풍속 5m/s 연간 30일 이상 발생지역의 에너지 밀도

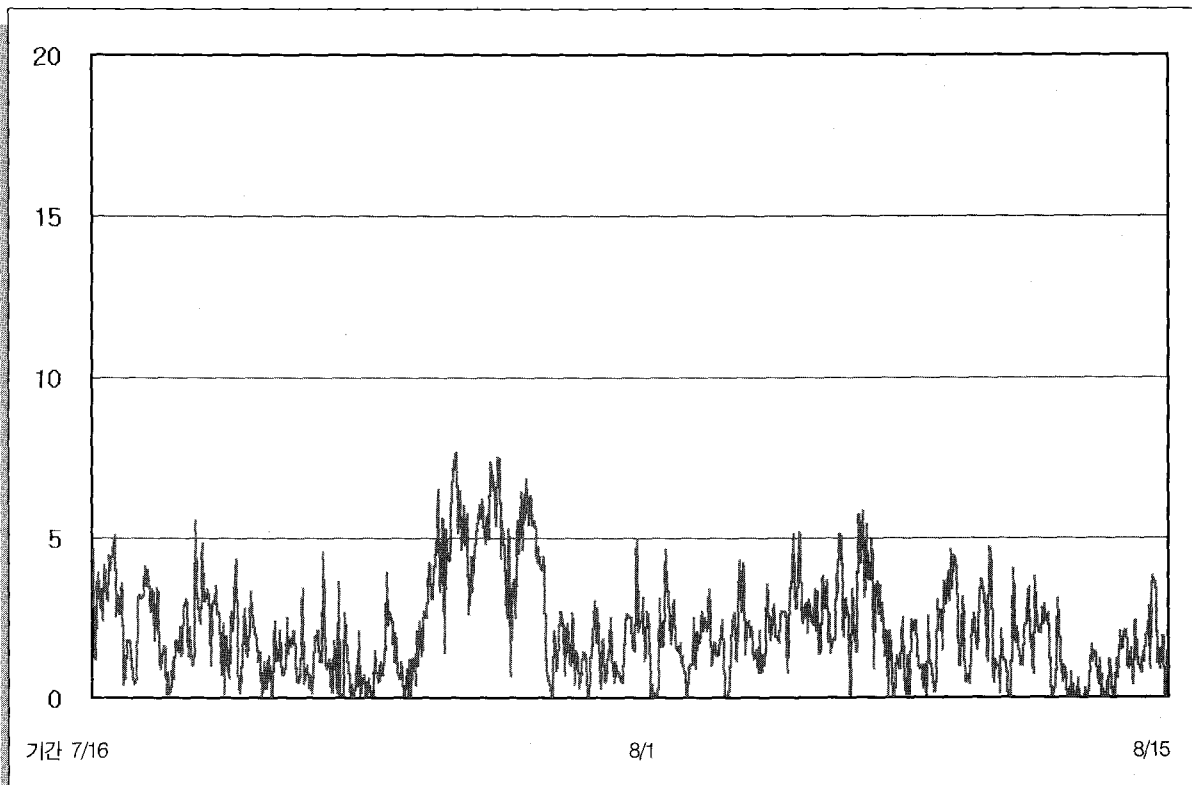


> <표 2> 주요 지역의 월별 풍력 에너지 밀도 분포

월별	제주고층	목포	대관령	여수	계	월별분포
1월	690,369	45,113	54,915	28,315	818,712	21.5
2월	590,547	80,272	10,146	51,526	732,491	19.3
3월	357,167	33,528		13,903	404,598	10.6
4월	199,709	3,184	6,573		209,466	5.5
5월	117,097				117,097	3.1
6월	45,928				45,928	1.2
7월	80,287				80,287	2.1
8월	84,912	3,779			88,691	2.3
9월	124,482			3,184	127,666	3.4
10월	223,677				223,677	5.9
11월	329,341	12,757	12,948		355,046	9.3
12월	515,575	6,573	76,089	3,184	601,422	15.8
합계	3,359,094	185,205	160,672	100,111	3,805,081	100.0

*일평균 풍속 5m/s 이상의 바람 부는 날이 연간 30일 이상 발생하는 지역을 대상으로 함.
 *풍력에너지 밀도는 풍속 5m/s 이상의 일평균 값의 3승 X 바람 부는 시간을 월별 합산한 값

> [그림 2] 대전지역 매시간 평균 풍속 변화(2002. 7. 16 - 8. 15, 단위 : m/s)



반도 육지부의 경우 현실적으로 풍력 발전의 가능성은 거의 희박하다고 볼 수 있다.

한편 대전지역의 풍력 발전 가능성을 알아보기 위해 대전지방 기상청의 협조를 얻어 대전지역의 풍속 자료를 제공 받았다.

대전지역 풍속자료는 대전광역시 유성구 구성동 22번지에 위치한 풍속기로부터 측정된 것으로서 2002년 7월 1일부터 2003년 6월 30일 기간의 매시간 평균 풍속자료이다.

측정 기간 중 풍속 5m/s 이상 20m/s 미만의 바람을 풍력 발전에 활용 가능한 자원으로 분류하여 연간 풍력자원 발생 빈도 및 풍력 에너지 밀도를 계산하였

으며 그 중 하절기 전력 피크가 발생하는 7월 16일 ~ 8월 15일 사이에 매시간 풍속 변화를 <그림 2>에 나타내었다.

위 그림에서 보는 바와 같이 매시간 평균 풍속은 대부분 5m/s 이하의 바람임을 알 수 있다

대전지역에서 5m/s 이상의 바람이 부는 시간은 연간 591시간이며, 평균 6.7% 밖에 되지 않는다. 이를 날수로 계산하면 연간 약 25일에 해당하여 11개월 이상의 기간 동안 풍력 발전을 기대할 수 없음을 알 수 있다.

> (표 3) 대전지역 월별 풍속 5m/s 이상 발생 시간

월별	발생시간(h)	발생빈도(%)	비 고
2002년 07	57	7.7	* 월 24h X 31일 기준
08	31	4.2	
09	18	2.5	
10	27	3.6	
11	35	4.9	
12	50	6.7	
2003년 01	102	13.7	
02	35	5.2	
03	37	5.0	
04	68	9.4	
05	104	14.0	
06	27	3.8	
합 계	591	6.7	

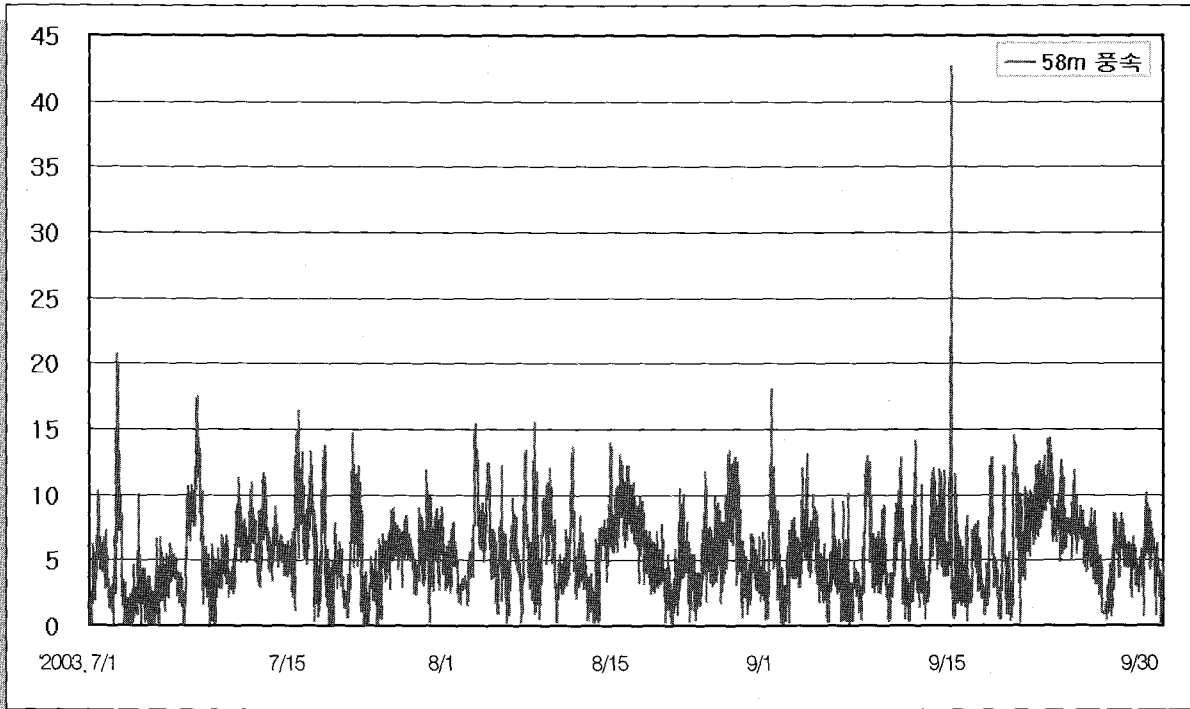
3. 원전 지역의 풍력자원 환경

앞에서 언급하였다 시피 한반도의 육지부에서의 풍력자원은 매우 빈약함을 알 수 있었다. 환경 시민단체에서는 태양광 또는 풍력으로 원자력을 대신하

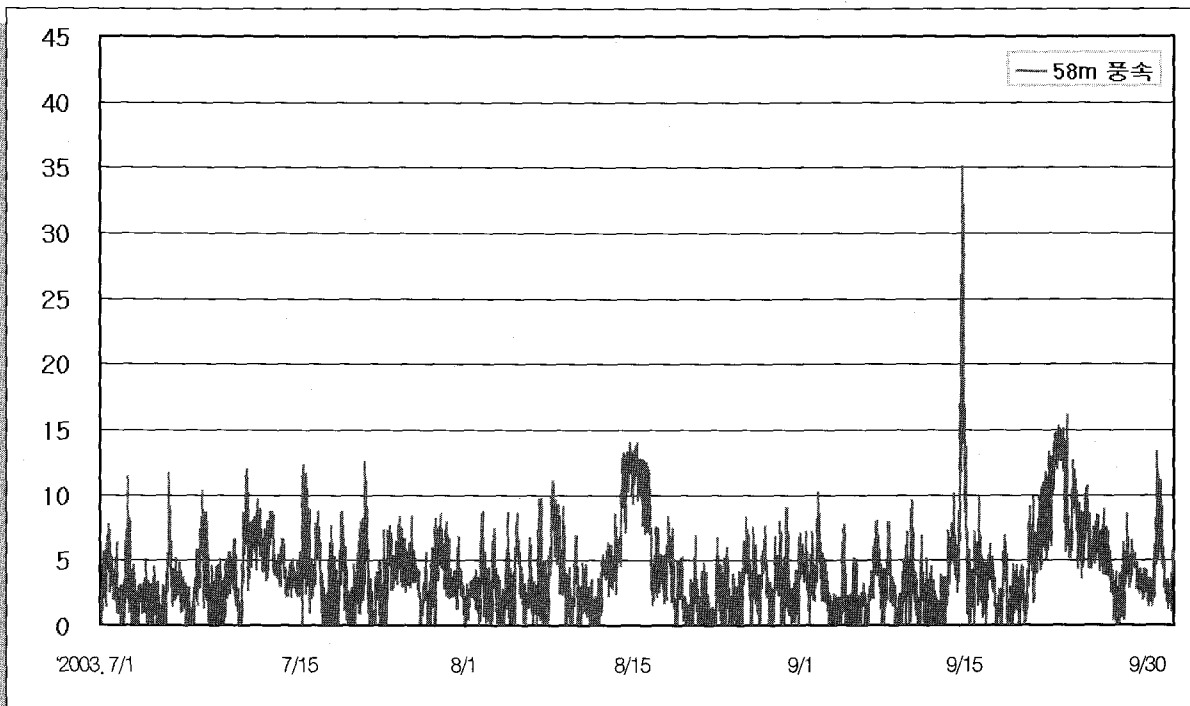
자고 주장하고 있는 것과 관련하여 기상데이터가 잘 축적되어 있는 국내 4개 원전 부지의 풍력자원을 분석해 보았다.

원자력발전소에서는 지상 58m 지점에서 풍속을 5분 ~ 15분 간격으로 실시간 측정하여 관리하고 있

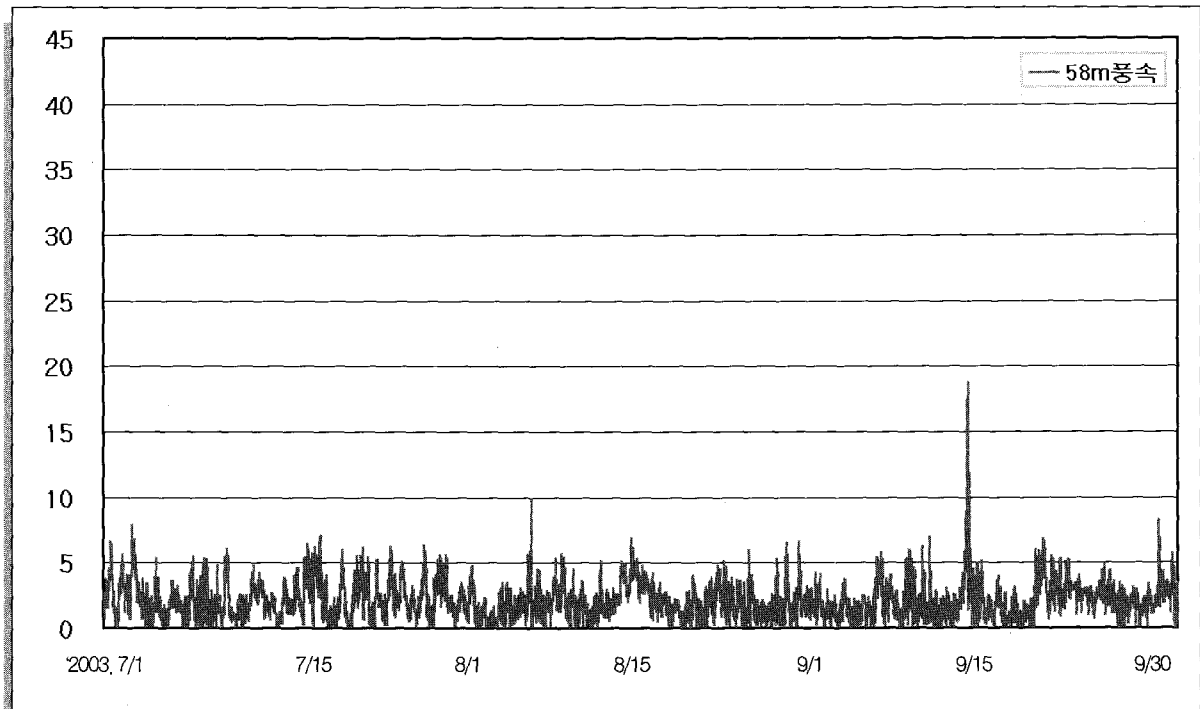
> [그림 4] 고리 원전 부지의 풍속 변화(m/s)



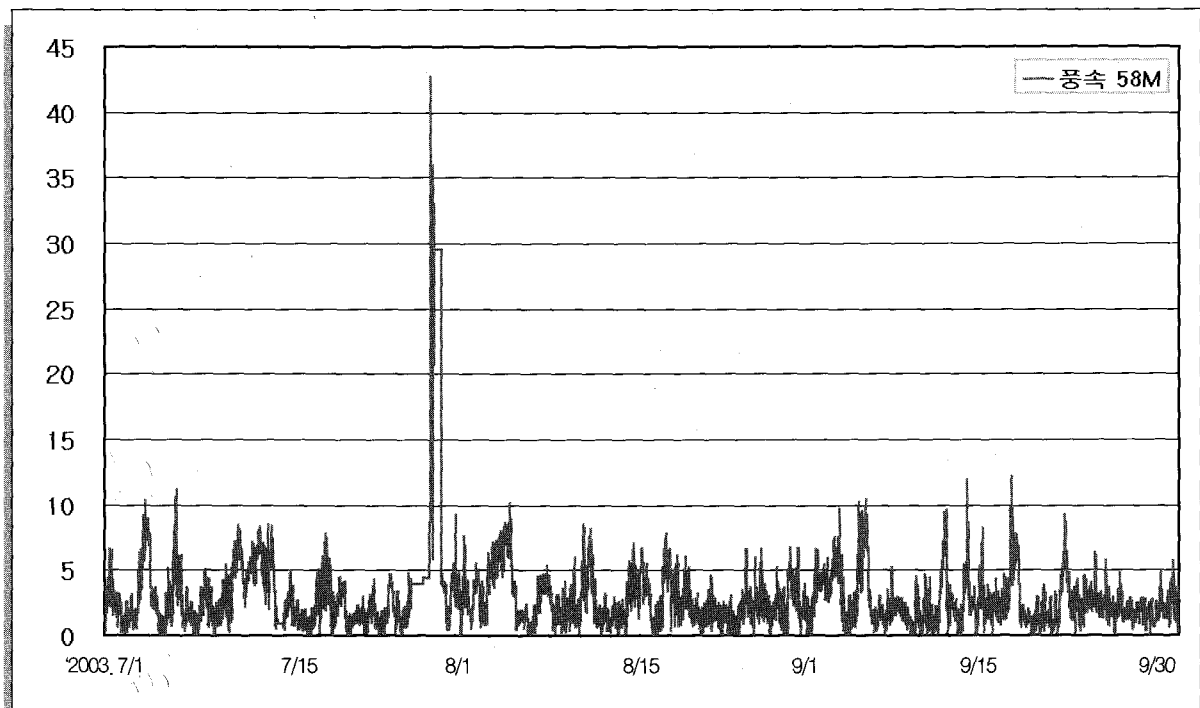
> [그림 5] 월성 원전 부지의 풍속 변화(m/s)



> [그림 6] 울진 원전 부지의 풍속 변화(m/s)



> [그림 7] 영광 원전 부지의 풍속 변화(m/s)



다. 고리, 월성, 울진, 영광의 4개 원자력발전소 실시간 풍속자료를 이용하여 바람의 특성을 알아보고 또한 이를 풍력 에너지 밀도(풍속의 세제곱 X 바람 부는 시간)로 환산하여 원전 부지별 풍력 자원의 특성과 계절별 변동 추이를 파악하고, 상호 비교를 통해 발전원으로서의 가능성을 검토하였다.

각 원전 부지별 2003년 7월 1일부터 2003년 9월 30일까지의 실시간 풍속 변화는 다음 그림과 같다.

9월 12일의 풍속 값은 태풍 매미가 불어 왔을 때의 관측치이다. 4개 원전 부지는 태풍 등의 경우를 제외하고는 최대 풍속이 대체로 20m/s 이내 이나 풍속이 일정하지 못하고 5 ~ 15분 단위로 많은 편차를 보이고 있다.

그림(4 ~ 7)에서 보는 것과 같이 대상 기간 중 고리, 월성 원전 부지에서는 풍속 5m/s 이상의 바람이 비교적 다수 보이거나 울진, 영광 원전 부지에서는 풍속 5m/s 이하의 바람이 대다수를 차지함을 알 수 있다.

계절별 풍력 에너지의 현황이 어떠한가 알아보기 위하여 풍속 5m/s 이상 20m/s 이하의 바람이 불어 오는 발생 빈도와 풍속의 3승에 바람 부는 시간을 곱한 월별 풍력에너지 밀도를 <표 4>로 나타내었다.

<표 4>에 따르면 고리 원전 부지는 년 평균 52.4%의 실적이 있는 반면 울진이나 영광 원전 부지의 경우에는 년 평균 8.0% ~ 12.1%로 풍력 발전에 이용 가능한 바람은 거의 없는 것으로 확인 되었다.

> (표 4) 4개 원전 부지의 월별 풍속 5m/s ~ 20m/s 발생 빈도

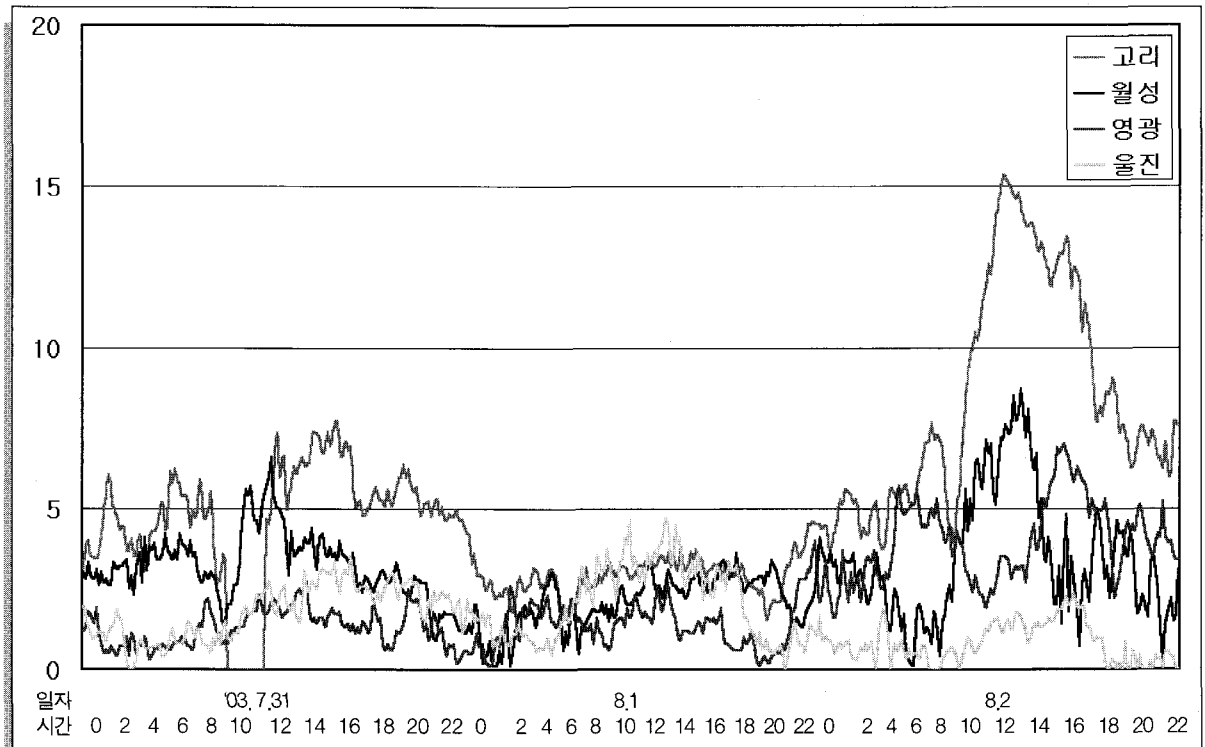
월별	고리본부		월성본부		울진본부		영광본부	
	시간(h)	빈도(%)	시간(h)	빈도(%)	시간(h)	빈도(%)	시간(h)	빈도(%)
01	398	53.5	330	44.4	83.3	11.2	72	9.7
02	453	65.1	262	37.6	109.3	15.7	161	23.1
03	395	53.0	281	37.7	74.6	10.0	133	17.8
04	389	54.0	239	33.2	87.6	12.2	77	10.6
05	374	50.2	192	25.8	39.0	5.2	142	19.1
06	338	46.9	143	19.8	29.2	4.1	35	5.1
07	373	50.1	194	26.0	31.3	4.2	109	14.6
08	414	55.6	193	25.9	12.8	1.7	94	12.6
09	386	53.6	254	35.3	26.1	3.6	59	8.1
10	385	51.8	241	32.4	57.3	7.7	50	6.8
11	392	54.5	323	44.9	88.8	12.3	53	7.4
12	307	41.3	332	44.6	61.7	8.3	79	10.6
합계	4,604	52.4	2,984	34.0	700.8	8.0	1,063	12.1

4. 실시간 풍력자원의 특성

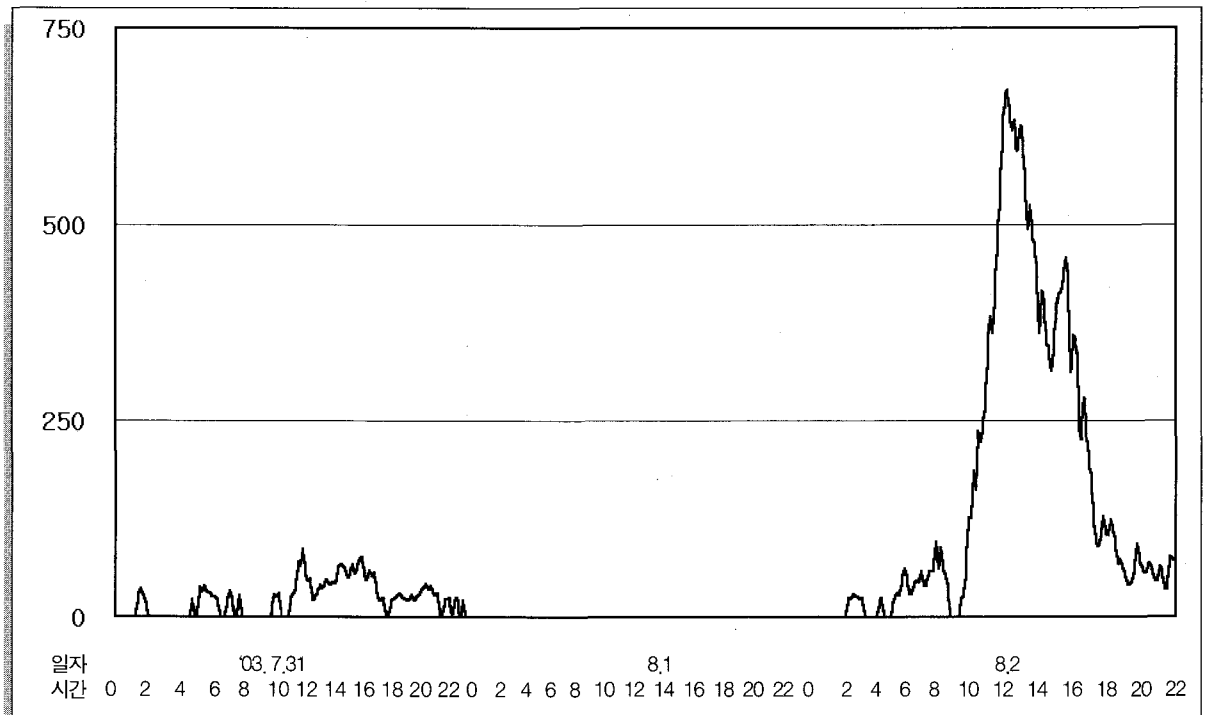
앞에서 언급한 바와 같이 풍력 발전의 경우 바람이

불지 않는 경우에는 설비 자체가 무용지물이다. 따라서 풍력 발전은 풍속이 좋은 전국 각지에 널리 분포시켜서 바람이 항상 있도록 해 주는 것이 중요하다.

> [그림 4] 4개 원전 부지의 실시간 풍속 현황(m/s)



> [그림 5] 4개 원전 부지의 풍력 에너지 밀도 합계



4개 원전 부지의 2003년 7월 31일 00:00 부터 8월 2일 24:00 까지 실시간 풍속 자료를 같은 시점으로 대비하여 <그림 8>로 나타내 보았다.

위 <그림 8>에서는 고리 지역만 간헐적으로 초속 5m/s 이상의 바람이 불어올 뿐이며 특히나 7월 31일 23:40부터 8월 2일 01:30까지는 전 원전 부지에서 풍력 발전이 가능한 바람이 전혀 없는 시간대가 발생하였다.

같은 자료를 가지고 풍속 5m/s 이상의 바람에 대해 풍력 에너지 밀도를 구하여 <그림 9>와 같이 작성하였다.

4개 원전 부지의 풍력 에너지 밀도는 <그림 9>에서 보는 바와 같이 계절별 편차가 심하고 8월 1일 전후로는 5m/s 이상의 바람이 전혀 없어 풍력 발전이 불가능한 사례가 발생하고 있다.

예를 들어 고리, 월성, 울진, 영광에 현 원자력발전 설비용량 규모인 1,560만 kW 풍력 발전 설비가 있다고 가정할 때 이 시간에는 풍력으로부터 단 1kWh의 전력도 얻을 수 없는 것이다.

즉, 풍력 발전이 원자력 발전을 완전 대체한다고 할 경우에는 풍력 발전이 불가능한 시간대에 사용가능하도록 원자력 설비 규모의 축전지나 복합가스터빈과 같은 다른 전원설비가 여분으로 상시 대기하여야 한다는 것을 말해 주는 것으로, 이것은 사실상 풍력 발전이 원자력 발전을 대체한다는 것이 현실적으로는 불가능 하다는 것을 의미하는 것이다.

5. 풍력자원과 계통 안정성

바람이 불 때에만 전기가 생산되고 불지 않으면 생산이 되지 않는다는 단순한 진실이 전력 계통망에는 적지 않은 영향을 끼칠 수 있다. 전기의 생산,공급과 중단이 반복되면 전력 계통망의 주파수가 매우 불안

정하게 된다. 생산,공급이 되면 주파수가 높아지고 중단되면 주파수가 낮아지는데 일정한 범위를 벗어나게 되면 전기의 품질이 매우 나빠지게 된다. 즉, 전등의 깜빡임, TV 화면의 일그러짐, 컴퓨터와 같은 정밀기기의 오작동 등으로 높은 수준의 산업 활동 및 주거/문화생활에 큰 불편을 초래하게 된다.

국내에서 대표적인 예로서 울릉도의 풍력 발전을 들 수 있다. 경상북도에서는 1999년 1월 울릉군 북면 현포리에 600 kW 급 풍력발전소 1기를 국비와 도비 포함하여 13.5억원을 들여 건설하였다. 이곳에서 생산되는 전력을 한전 울릉지점에 돈을 받고 팔 계획이었지만 본격적인 가동 20일 만에 중단을 한 이후 지난 4년간 제대로 전기를 생산해 본 적이 없다. 문제는 울릉도 전체의 전력수요가 최대 1,500 kW로서 그동안은 울릉도 내연발전소와 추산수력발전소에서 공급을 담당해 왔는데, 여기에 풍력발전기를 투입하면서 일어난 것이다. 즉, 일반적으로 전력수요의 10 % 이하가 되도록 발전설비의 용량을 조절하여야 주파수나 전압이 안정적으로 유지될 수 있는데 풍력발전기 600 kW는 전력수요의 대략 40 % (= 600kW/1,500kW)로서 바람이 불 때는 전기를 생산하나 바람이 불지 않으면 전력생산이 중단되어 울릉도의 송전 계통망 자체가 매우 불안정하게 되었다. 즉, 풍력발전기는 바람이 일정한 풍속으로 계속 불어 주는 곳에 설치하여야 하나 설치지점이 그렇지 못했고 풍력발전기의 설비용량이 지나치게 컸기 때문에 이러한 현상이 발생한 것으로 추정되고 있다. 현재는 풍력발전기의 설비용량을 200 kW 미만으로 낮추어서 계통망에 미치는 영향을 가급적 줄여보고자 하는 노력이 진행 중에 있으나 간헐적인 바람과 수요대비 설비용량이 여전히 10% (= 200 kW/1,500kW)를 넘어서고 있어 문제의 해결은 쉽지 않을 전망이다.

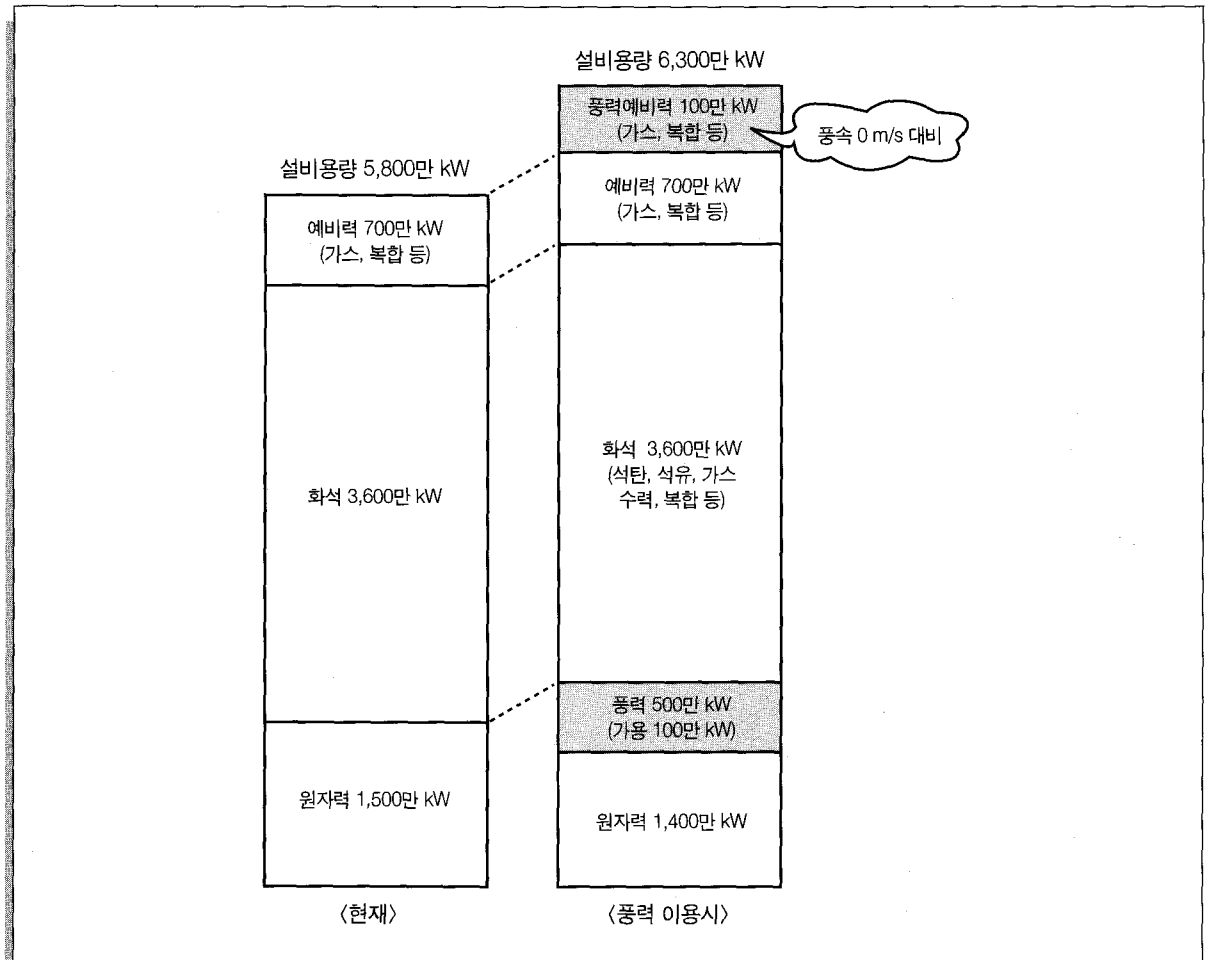
울릉도의 사례를 감안해 보면, 풍력 발전에 적합한

지점은 5m/s 이상의 풍속이 가급적 균일한 곳이어야 하며 전국적으로 바람이 전혀 없는 시간이 적지 않기 때문에 풍력 발전 자체가 무의미한 상황이 있을 수 있으므로 송전 계통망의 안정을 위해서 풍력 발전의 전체 규모는 전체 전력 수요의 10%를 넘지는 않아야 한다. 즉, 최근의 최대 전력수요는 5,200만 kW 정도이므로 우리나라에서 생각해 볼 수 있는 풍력 발전의 설비용량 규모는 500만 kW가 현실적인 한계이며 경제성을 논할 수 있는 풍속 5m/s 이상인 시간이 고리, 월성 등 한반도 육지부의 일부 지역에서만 20%를 넘어서는 점 등을 감안하면 국내 풍력 발전

의 발전효율은 20 % 미만으로 추정되므로 풍력 발전이 송전 계통망에 중단 없이 연속적으로 기여할 수 있는 규모는 실제로는 100만 kW급 원전 1기 정도에 불과할 것으로 예상된다. 또한 현재와 같이 설비용량 1,000 kW 급의 지극히 소규모의 풍력 발전이 전력 계통망에 연결되는 경우에는 계통망의 안정성에 영향을 주지 않지만 향후 대규모 풍력 발전 단지가 조성되는 경우에는 계통망의 안정성을 감안하여야 할 것으로 판단된다.

유럽과 같이 대륙전체가 광범위하게 계통망으로 연결되어 있는 경우에는 국가에 따라서는 풍력 발전

> 그림 10 계통안정성을 고려하면서 풍력 발전을 최대한 이용하는 경우의 전원 구성 변화 개념도



의 규모가 커질 수 있으나 우리나라와 같이 현실적으로 고립된 섬과 같은 계통망에서는 풍력 발전의 규모가 제한될 수밖에 없다.

송전 계통망의 안정성을 고려하고, 최대 전력 수요를 감안하여 현실적으로 가능한 풍력발전 500만 kW를 원자력 발전과 대체할 경우 전원 구성의 변화를 예상하면 <그림 10>과 같은 결과가 될 것이다.

원자력발전 100만 kW를 대체하기 위해서는 그것의 5배 용량인 500만 kW의 풍력발전 설비가 필요하며 가용 예상 풍력발전 100만 kW에 대하여도 바람이 없을 때를 대비하여 가스 또는 복합 등의 예비전원이 상시 대기하여야 한다.

결국 풍력발전 설비 500만 kW에 해당하는 중복투자가 불가피 하게 되어, 총 설비용량은 5,800만 kW에서 6,300만 kW로 늘어나는 결과가 된다.

6. 결론

우리나라의 풍력 자원을 분석해 본 결과 계절별 풍속의 편차가 심하고 특히 전력수요가 많은 여름철에는 오히려 풍력 에너지 밀도가 낮아 전력 소비 패턴과 괴리가 있음을 알 수 있다. 풍력 발전에 사용 가능한 5m/s 이상의 유용한 풍력 자원 자체가 매우 제한적임도 알 수 있었다.

또한 실시간 측정 자료에 의하면 풍속의 변동이 심하고, 바람이 전혀 없는 시기에 대비하여 대규모의 대체 전원이 필요하므로 기저부하로는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

우리나라의 송전 계통망은 광범위한 계통망으로 연결된 외국과는 달리 고립되어 풍력 발전 규모가 전체 발전 규모의 10% 이내로 제한 할 수 밖에 없는 특성이 있으므로 송전 계통망의 안전성 등을 고려하고 풍력자원의 간헐성 등을 감안하면 국내에서 현 단계에 수용 가능한 풍력 발전 규모는 500만kW 정도이며 여기서 생산되는 전력은 100만kW급 원전 1기 분 정도에 불과한 것으로 추정된다.

이와 같은 문제점을 감안 할 때 우리나라의 기상 여건상 풍력 발전을 원자력 발전의 대안으로 삼기에는 현실적인 한계가 있는 것으로 보여 진다.