

육/해상 풍력실증연구단지조성 기획 연구

장문석

한국에너지기술연구원 풍력연구센터

msjang@kier.re.kr

요 약

풍력발전시스템은 제품에 대한 실증이 반드시 현장에서 이루어져야 하는 특성을 가지고 있으며 향후 국내실정에 적합한 풍력발전시스템의 개발과 보급을 위해서도 실증연구는 선행조건으로 볼 수 있다. 따라서 국제 규격에 합당한 풍력발전 성능평가와 현장 실증연구를 수행할 수 있는 실증단지를 국내에 조성하는 것이 매우 시급한 실정으로, 기초적인 자원분석과 주변환경평가 등을 거치면서 기본적인 실증단지 후보지들을 비교하여 최종 후보지로 선정된 전북 새만금지역, 병곡 영해 평야지구, 제주 동부해안지역 월정지구, 서부 해안지역 월령지구에 대하여 부지의 IEC 규격 적합성 검토, 인프라 구축에 대한 적정성 검토, 주변 발전단지 조성가능성 및 발전사업에 대한 연계성 검토, 육해상 실증단지 구축 동일지역 가능성 검토, 교육과 홍보에 대한 접근성 및 공사에 대한 접근성 검토, 부지확장 및 향후 실증단지 운영과 관련하여 지자체와의 연계성 검토를 하였다.

1. 서 론

풍력발전시스템이 대체에너지 중 가장 경제성이 우수하고 유용성이 높은 기술로 향후 기후협약에 대비한 청정에너지원임이 입증됨에 따라 최근 선진 유럽지역은 물론 미국, 일본, 중국, 인도 등 전세계적으로 풍력발전시스템 개발과 보급에 많은 투자가 이루어지고 있다. 특히 국내 대체에너지 보급 목표(2006년 3%, 2011년 5%)를 적시에 달성하기 위해서는 육상풍력발전 기술은 물론 해상풍력발전 기술의 개발·보급이 필요하고 또한 국내 풍력발전 활성화를 위해서 국산 풍력발전기의 개발이 시급히 요구되고 있는 시점에서 반드시 필요한 실증 연구가 국내에서 활성화되지 못한 것이 문제점으로 지적되고 있다. 그러나 풍력발전시스템은 제품에 대한 실증이 반드시 현장에서 이루어져야 하는 특성을 가지고 있으며 지리적 여건에 대한 의존도가 높으므로 신뢰성에 대한 실증이 반드시 필요하며 향후 국내실정에 적합한 풍력발전시스템의 개발과 보급을 위해서도 실증연구는 선행조건으로 볼 수 있다.

따라서 국제 규격에 합당한 풍력발전 성능평가와 현장 실증연구를 수행할 수 있는 실증단지를 국내에 조성하는 것이 매우 시급한 실정으로 본 연구는 바람자원이 양호하고 실증연구에 적합한 육상/해상(해안가) 풍력발전 실증단지 site를 예비 조사하여 국제적 수준의 중대형 실증단지를 조성하기 위한 기반을 마련하는 것을 목표로 하였다.

2. 본 론

가. 국내의 현황

1) 외국의 사례

세계 각 국은 풍력발전설비의 실용화 보급에 치중하면서 보다 경제적이고 신뢰성 있는 풍력발전기를 개발하려는 노력을 멈추지 않고 있다. 독일, 덴마크, 네덜란드 및 미국을 비롯한 풍력산업 선진국에서는 새로이 개발된 풍력발전기를 시장진입에 앞서 시제품(Prototype)의 인증, 최적화 및 시장성의 확보를 목적으로 장기간에 걸쳐 국제 표준 및 시험규격에 의거 풍력발전기의 제반 성능을 시험하기 위한 실증시험단지를 조성 및 운용하고 있다.

① WINDTEST Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH

WINDTEST Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH는 독일에서 풍력발전의 상업적 이용을 시작한 1989년에 Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, E.ON Hanse AG 및 Kaiser-Wilhelm-Koog 자치구의 공동출자로 설립되었다. 실증단지는 독일 Schleswig-Holstein주 서해안의 Kaiser Wilhelm Koog에 위치하고 있으며, 이 곳은 GROWIAN-Project와 최초의 독일 풍력발전단지로 유명한 곳이다.

② WINDTEST Grevenbroich GmbH

WINDTEST Grevenbroich GmbH는 1996년에 Germanischer Lloyd, Northrhine-Westphalia주, the utility RWE Energie AG(후에 HARPEN AG로 지분 판매), district of Neuss, Grevenbroich시의 공동출자로 내륙의 풍력에너지를 활용하기 위하여 설계되는 풍력발전기의 성능평가 및 실증시험을 위하여 설립되었다.

③ DEWI(Deutsches Windenergie-Institut GmbH; German Wind Energy Institute)

DEWI는 독일의 Lower Saxony 연방 주정부에 의해 설립된 풍력에너지에 관계된 국제 규모의 연구소로서 1990년에 Wilhelmshaven에 비영리기관으로 설립되어 총 16MW 이상의 용량을 가지는 세계 최대규모의 풍력 실증단지를 운영하고 있

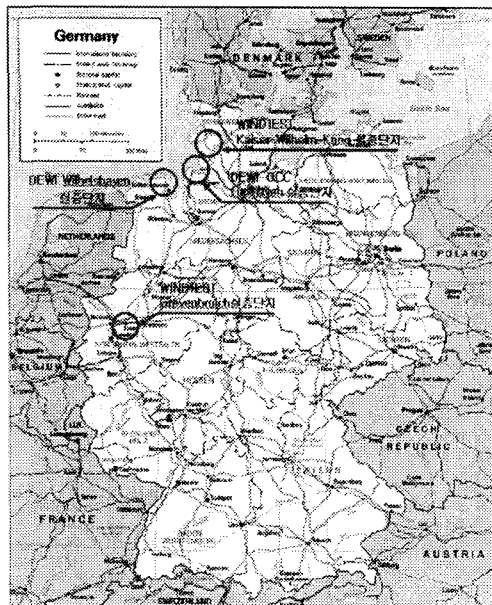
다. 현재 유럽의 여러 제작사 제품으로 500kW부터 2.5MW까지 8종류 용량의 prototype 풍력발전기가 설치되어 운영되고 있다. 특히 최근 설치(2003년)되어 실증 중인 Enercon E-112는 4,500 kW 규모로 회전자 직경이 114m이고 타워가 120m 높이로 날개와 나셀과 ring generator를 합친 무게가 무려 500톤이나 된다.

④ DEWI-OCC (DEWI-Offshore and Certification Centre GmbH)

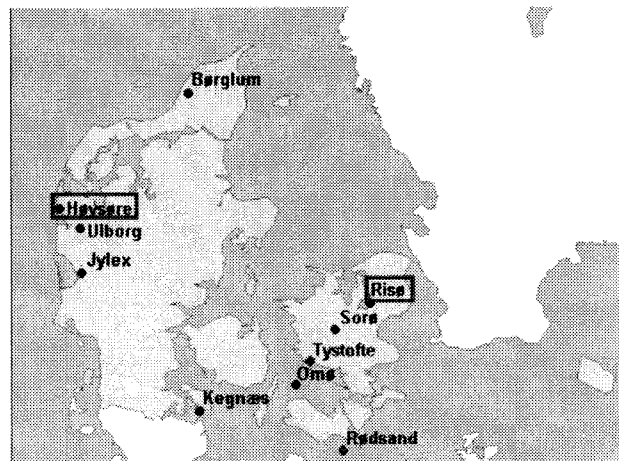
DEWI는 연구활동 및 최근에 완성된 FINO research platform에 참여를 토대로 새로운 해상풍력발전 분야에 대한 활동을 넓혀왔으면서 2003년 7월에 DEWI-OCC (DEWI-Offshore and Certification Centre GmbH)가 DEWI와 Cuxhaven시, District of Cuxhaven의 출자로 Cuxhaven에 설립되었다.

⑤ RISØ (Risø National Laboratory)

RISØ는 덴마크의 Ministry of Science, Technology and Innovation 산하의 국립 연구소로서 최근에 Danish Minister of Environment and Energy, Svend Auken은 대형풍력발전기를 위한 새로운 풍력실증단지의 건설을 결정하였으며, 수년간의 다양한 후보지에 대한 연구 끝에 Jutland의 북서해안에 위치한 Høvsøre가 결정되었다. Høvsøre 실증단지는 해안가에 인접해 있으며 실증단지의 규모는 1.6km 정도로 사방이 모두 벌판으로 장애물이 전혀 없으며 확장성이 좋고 인근 주변에는 풍력발전 단지가 위치해 있다.



[그림 1 : 독일의 실증단지]



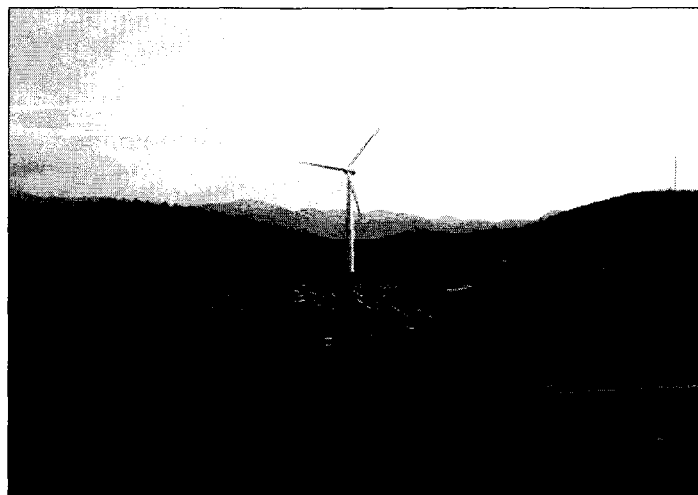
[그림 2 : RISØ 실증단지의 위치 (Høvsøre, Roskilde)]

그밖에 미국의 NREL산하 풍력기술센터인 NWTC(National Wind Technology

Center), 네덜란드의 ECN(Energy Research Centre of the Netherlands), 인도의 C-WET(Centre for Wind Energy Technology), 캐나다의 Atlantic Wind Test Site (AWTS), 그리스의 The Centre for Renewable Energy Sources(CRES) 등이 있다.

나. 국내 사례

강원도 평창군 도암면 횡계리 14-206 (구 영동고속도로 대관령 휴게소)에 약 12,000평 정도의 부지를 마련하여 프랑스 슈몽사의 J-48 750kW급 풍력발전기를 설치하여 실증, 운영 및 유지보수 기술 등을 연구하는 실증시험단지를 운영하고 있으며 또한 금년에 국산화 개발을 완료한 750kW급 풍력발전기를 설치하여 검증을 실시할 예정이다. 주변이 산지로 둘러 쌓여 있어 우리나라와 같은 복잡한 지형을 갖는 지형에 적합한 풍력발전기를 실증하는 풍력기술실증연구 단지로 기능을 활용하는 것이 바람직하다.



[그림 79 : 대관령실증단지]

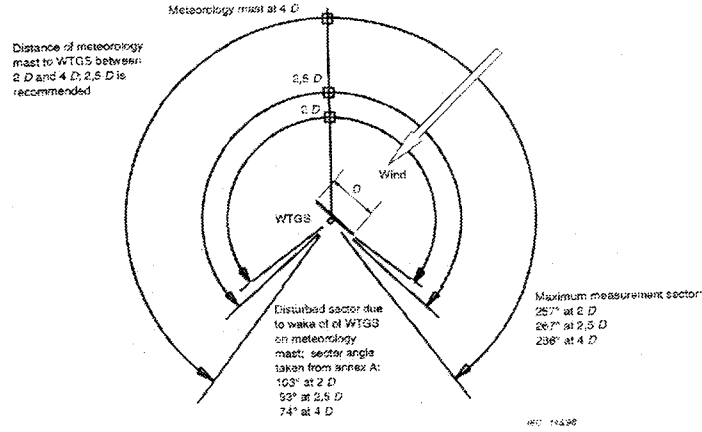
다. 실증단지의 조건

실증단지를 조성하기 위해서 고려해야 할 사항들은 다음과 같다.

- 국제성능평가규격(IEC, International Electrotechnical Commission)에 부합되는 부지로 해안지역으로 성능평가에 충분한 강풍지역
- 육상과 해상풍력 성능평가 및 실증 연구가 동일지역에서 가능한 지역
- 대국민 홍보/교육을 위하여 도로의 접근성이 양호할 것
- 전력계통 연계 등 인프라 구축 비용이 저렴할 것
- 각 지자체와의 연계성이 좋으면서 지자체의 적극적인 협조가 있을 것

1) 실증연구단지의 지형적인 입지조건 (Test Site, IEC 61400-12)

IEC 61400-12에 제시된 바와 같이 기상 측정 마스트의 거리, 측정 방위구간, 측정영역의 유동왜곡에 대한 수정계수와 불확실성, 근접하거나 가동 중인 풍력발전기와의 간섭사항 배제, 장애물에 대한 요구사항 등을 고려하여야 한다.

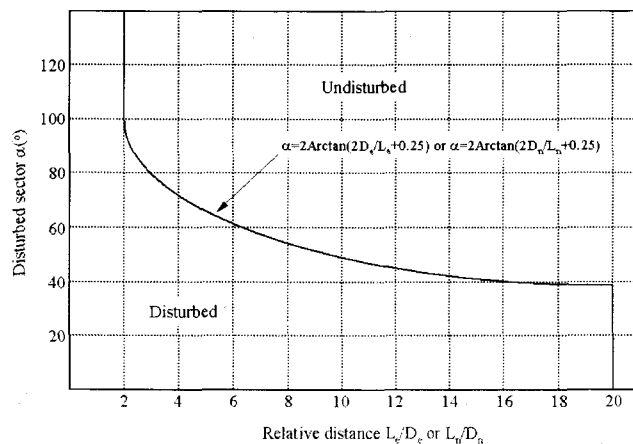


[그림 3 : 기상측정마스트의 적정위치 및 허용방위각(IEC 61400-12)]

<표 1 : 풍력발전기 실증시험단지의 요구사항 (지형학적인 변수) IEC61400-12>

거리	구획 (Sector)	최대 경사 (%)	평지를 기준으로 한 최대 복잡지형 변화도
<2L	360°	<3*	<0.08D
≥2L 및 <4L	측정 구획	<5*	<0.15D
≥2L 및 <4L	측정 구획 외부	<10**	비 적용
≥4L 및 <8L	측정 구획	<10*	<0.25D

* 구획내 복잡지형과 탐구조물의 기초를 지나가는 평면의 최대경사
 ** 구획내의 개개의 복잡지형지점과 탐구조물의 기초를 연결하는 최대경사
 L: 풍력발전기 사이의 거리
 D: 회전자 직경



[그림 5 : 주변 상황에 기인한 후류로 인한 배제 영역]

2) 실증연구단지의 입지조건 (풍황)

① IEC 61400-12 : Wind turbine power performance testing

After data normalization(see 5.1) the selected data sets shall be sorted using the "method of bins" procedure (see 5.2). The selected data sets shall cover a wind speed range extending from 1 m/s below cut-in to 1.5 times the wind speed at 85% of the rated power of the WTGS.

Alternatively, the wind speed range shall extend from 1m/s below cut-in to a wind speed at which "AEP-measured" is greater than or equal to 95% of "AEP-extrapolated" (see 5.3). The wind speed range shall be divided into 0.5m/s contiguous bins centred on integer multiples of 0.5m/s

The database shall be considered complete when it has met the following criteria:

- each bin includes a minimum of 30 min of sampled data;
- the total duration of the measurement period includes a minimum of 180 h with the WTGS available within the wind speed range.

② IEC 61400-13 : Measurement of mechanical loadsCapture matrix

Capture Matrix for Normal Power Production																									
시간구간(시간)	V (m/s)	10 min																				At least 2 min			
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
T.I.(%)	<3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
	3-5																								
	5-7																								
	7-9																								
	9-11																								
	11-13																								
	13-15																								
	15-17																								
	17-19																								
	19-21																								
	21-23																								
	23-25																								
	25-27																								
	27-29																								
	>29																								
최소개수		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
최소간류분류		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
비동규간수 (32개이상)																									
총개수																									
풍속범위		$v_0 - v_1 - 2$										$v_1 - 2 \sim v_1 + 2$				$v_1 + 2 \sim [(v_1 + 2) + v_0] / 2$				$[(v_1 + 2) + v_0] / 2 \sim v_0$					
Remarks		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	NO	NO			

③ IEC 61400-21 : Measurement and Assessment of power quality

characteristics of grid connected wind turbines 7.5 Reactive power

The relationship between the active and reactive power shall be measured so it can be stated according to clause 6.5. The following procedure shall be applied:

- Measurements shall be taken so the at least five ten-minute time-series of active and reactive power are collected for each 1 m/s wind speed bin between cut-in wind speed and 15m/s. Here the wind speed is measured as ten-minute-average values.

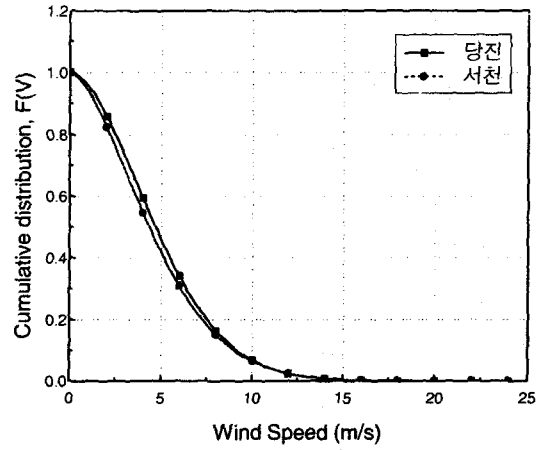
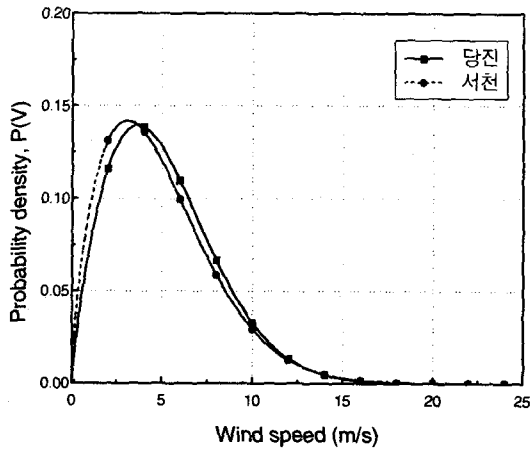
- The sampled data shall be transferred to ten-minute-average data by applying block averaging for each 10 minutes period.

- The ten-minute-average data shall be sorted according to the method of bins so that the reactive power can be specified in a table for 0, 10, ...90. 100% of rated power. Here 0, 10, ...90, 100% are the midpoints of active power bins.

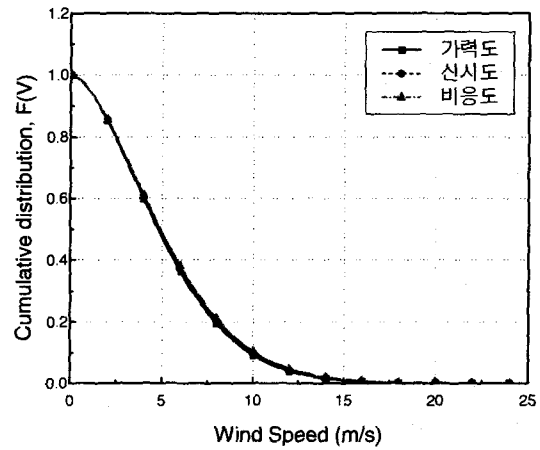
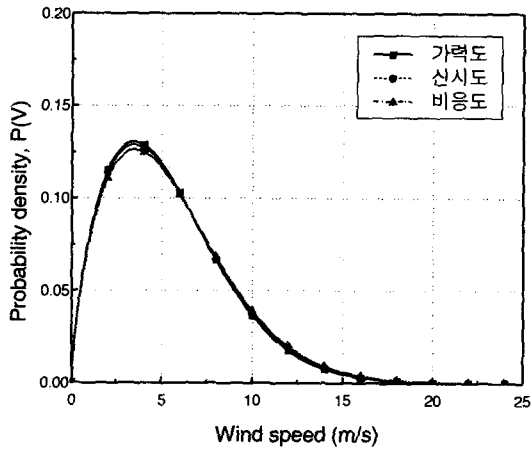
라. 후보지 현황

한국에너지기술연구원에서 실측한 여러 위치에서의 풍황자료 중 평균풍속 5.0 m/s를 기준으로 검토 대상을 우선 선정하여 각 지역에서의 측정자료를 검토하였다. 풍력발전단지 조성을 위하여 풍황이 우수하리라고 예측되는 내륙지역을 중심으로 많은 측정이 이루어졌기 때문에 내륙지역을 제외한 해안지역에서 측정된 자료는 상대적으로 적은 편이었다. 동해안의 경우 병곡영해평야의 풍황데이터를 포항공대 가속기연구소의 협조를 얻어 작년 10월 하순부터 올해 6월 초순까지 약 7개월(2004.10.23-2005.6.10)의 풍황데이터를 확보하여 분석하였다. 따라서 우선 분석 대상 지역은 충남 석문방조제와 부사방조제, 전북 새만금지역, 제주 동·서부 해안 지역, 경북 병곡 영해평야를 위주로 기본적인 기상자료를 분석하였다.

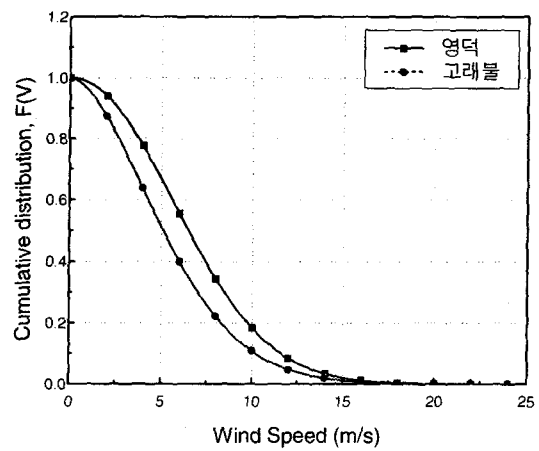
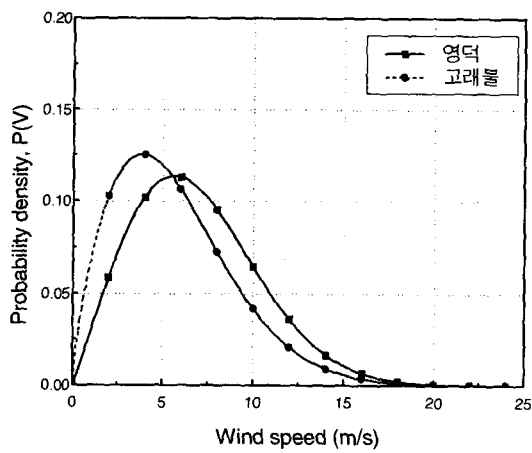
1) 전국 기상자료 분석



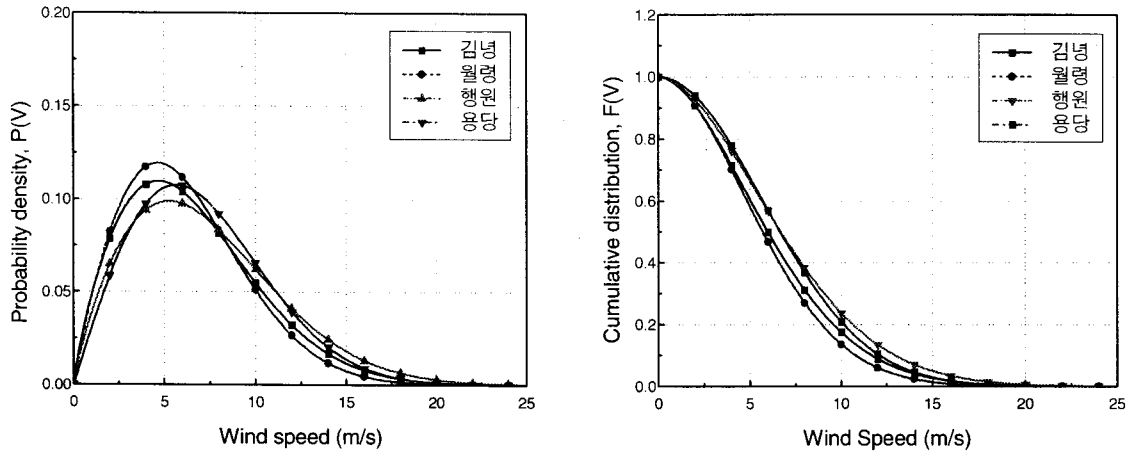
[그림 6 : 충남지역]



[그림 7 : 북새만금지역]



[그림 8 : 경북지역]



[그림 9 : 제주지역]

<표 2 : 기상자료 총괄 분석표>

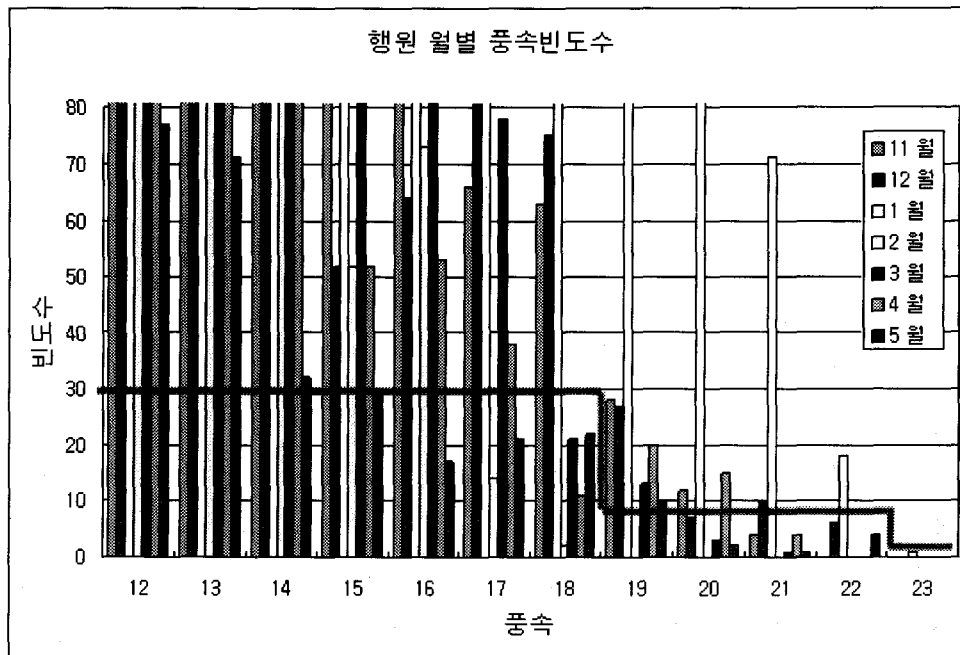
분석	지역	충남		전북			경북		제주			
		당진	서천	가력도	신시도	비응도	영덕	고래불	김녕	월령	행원	용당
측정높이연평균풍속 (30m-m/s)		5.7	5.2	5.02	5.1	5.2	6.6	5.5	6.3	5.9	7.1	6.9
보정높이연평균풍속 (50m-m/s)		6.1	5.7	5.42	5.5	5.6	6.9	5.6	6.5	6.2	7.2	7.1
풍력에너지 (W/m ²)		310.3	257.7	228.3	241.9	252.1	377.4	241.8	363.6	289.7	481.0	414.4
Weibull 분포	C(m/sec)	6.90	6.33	6.19	6.07	6.25	7.75	6.31	7.34	6.93	8.24	7.99
	K	1.769	1.682	1.675	1.675	1.66	2.074	1.741	1.802	1.886	1.838	2.006
유효주풍향		WNW	NNW	SE	NNW	SSW	NW	WNW	WNW	NE	NW	NNW

2) IEC 기준 비교 분석

본절에서는 전북 새만금지역, 충남 석문방조제, 병곡영해평야지구, 제주 동·서부 해안지역에 대하여 후보지의 풍황이 IEC 규격을 만족하는지에 대한 입지조건 검토를 행하였다. 풍력자원의 비교결과 제주 동·서부 해안가, 병곡영해평야 등은 국제 규격 IEC 61400-12와 IEC 61400-21을 모두 만족하고 있으나 IEC 61400-13분야에서 제주도만이 만족을 하고 있었다.

<표 3 : Capture Matrix 분석결과 (행원 1년)>

Capture Matrix for Normal Power Production																								
시간이력길이	10 min																				At least 2 min			
	V (m/s)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
T.I.(%)	<3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3-5	9	25	39	107	166	103	47	59	50	50	16	10	5	3	6	1	0	0	0	0	0	0		
5-7	122	485	869	878	884	756	796	973	803	840	528	332	233	133	82	62	39	23	14	17	16			
7-9	764	1396	1325	1373	1448	1509	1380	1102	1079	1035	840	714	600	431	239	164	113	57	28	15	10			
9-11	1155	1397	1366	1383	1167	1064	907	805	660	575	398	339	302	210	137	100	63	39	10	3	0			
11-13	1229	1268	1236	861	847	596	456	356	261	176	97	82	74	72	32	25	13	5	2	0	0			
13-15	1353	1429	956	754	543	327	195	136	75	58	27	40	24	15	14	5	3	1	0	0	0			
15-17	1198	945	673	487	252	167	84	59	31	26	18	19	15	5	3	2	0	1	0	0	0			
17-19	796	619	453	276	169	85	49	39	24	17	11	5	8	5	2	0	0	1	0	0	0			
19-21	375	395	287	172	93	67	36	27	15	14	1	6	3	7	2	0	0	0	0	0	0			
21-23	259	246	162	122	82	45	22	22	10	8	3	4	3	3	1	0	0	0	0	0	0			
23-25	219	149	122	77	41	25	13	13	3	2	2	6	4	3	1	1	0	0	0	0	0			
25-27	137	111	71	72	24	21	9	11	1	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
27-29	152	92	59	34	17	11	8	1	1	1	2	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0			
>29	436	309	199	96	55	46	25	19	20	20	15	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0			
최소개수	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	8	8	8	8	3	3	3			
최소년류분류	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
년평균개수 (3개이상)	14	14	14	14	14	14	13	12	12	10	13	11	11	7	5	5	4	3	3	2				
총개수	8224	8666	7818	6694	5799	4824	4029	3622	3053	2633	1960	1566	1275	687	520	360	231	121	54	35	26			
품속범위	$V_{in} \sim V_{r-2}$										$V_{r-2} \sim V_{r+2}$				$V_{r+2} \sim [(V_{r+2})+V_o]/2$				$[(V_{r+2})+V_o]/2 - V_o$					
Remarks	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			



[그림 10 : 풍속별 빈도수(행원)]

나머지 지역에서는 겨울철을 전후한 특정 계절에 치우치고 있어 높은 풍속에서의 필요한 데이터 수가 모자라게 나타나고 있으나 누적 데이터를 1년 이상 장기간으로 놓고 본다면 가능성이 있다고 할 수 있다. 따라서 61400-13의 기준을 만족하기 위해서는 20m/s 이상이 되는 높은 풍속의 빈도수가 반드시 필요하여 타 기

준에 비하여 높은 수준을 요하므로 제주지역을 제외하고는 단기간에 자료 확보가 어렵고 고품속이 출현하는 기간이 특정기간에 치우친 면이 있어 평가기간을 1년 이상의 장기간으로 해야만 가능성이 있다고 보인다. 그러나 현장에서 실증을 위한 여러가지 환경요소 변화에 따라 Response가 길면 그만큼 실증기간이 길어지고 몇 달 안에 검증이 완료될 수 있는 경우도 극단적으로 몇 년이 소요될 수가 있어 신중한 선택이 필요하다.

<표 4 : 후보지 비교표>

항목 \ 후보지	제주월정	제주월령	영덕 영해평야	새만금
토지현황(부지여건)	공유수면 및 군유지	공유수면 및 도유지	사유지	방조제
확장성	좋음	보통	보통	나쁨
풍력자원	좋음	좋음	보통	보통
IEC규격	만족	만족	만족	만족
실증기간	단기간	단기간	장기간	장기간
해상자원	좋음	좋음	보통	보통
도로망(운송여건)	육해상 동시활용	육해상 동시활용	육해상 동시활용	육해상 동시활용
공사여건(중장비 및 지반조건)	보통	보통	좋음	나쁨
접근성(대국민홍보 및 교육)	좋음	좋음	좋음	좋음
전력인프라	보통	보통	보통	-
지자체지원	적극적	적극적	보통	적극적
후보순위	1	2	3	4

따라서 이상에서 검토한 대상 지역의 풍황조건은 실증단지에서 갖추어야 할 가장 기본적인 사항이고 그 외에 풍력발전 실증연구단지 후보지를 분석하기 위하여 고려해야 할 요소들은 크게 지정학적 요소, 건설환경적 요소, 행정환경적 요소, 전력연계망 요소로 분류할 수 있다. 즉 후보지의 부지여건 및 인프라 구축 여건, 단지 확장시 주변부지의 여건, 대형 풍력발전기의 운송여건 및 공사여건, 대국민 홍보나 교육에 대한 접근성, 전력인프라 문제, 주변 발전단지와의 연계성, 향후 실증단지 운영과 관련하여 지자체와의 연계성 등을 종합하여 분석하여야 한다. 표에 나타난 바와 같이 여러 검토 항목을 후보지별로 비교 검토하여 보면 1순위 제주 지역, 2순위 영덕 영해평야지구, 3순위 새만금으로 후보지가 검토되었다.

5. 결 론

풍력발전시스템은 제품에 대한 실증이 반드시 현장에서 이루어져야 하는 특성을 가지고 있으며 지리적 여건에 대한 의존도가 높으므로 신뢰성에 대한 실증이

반드시 필요하며 향후 국내실정에 적합한 풍력발전시스템의 개발과 보급을 위해서도 실증연구는 선행조건으로 볼 수 있다. 따라서 국제 규격에 합당한 풍력발전 성능평가와 현장 실증연구를 수행할 수 있는 실증단지를 국내에 조성하는 것이 매우 시급한 실정으로 본 연구는 바람자원이 양호하고 실증연구에 적합한 육상 및 해상(해안가) 풍력발전 실증단지 site를 예비 조사하여 국제적 수준의 중대형 실증단지를 조성하기 위한 기반을 마련하는 것이다.

우선 한국에너지기술연구원이 실측을 통하여 구축한 육상 풍황자료와 수집 가능한 타기관 보유 기상자료를 토대로 각 지역의 기초적인 풍황 비교·분석으로 실증단지 후보지 도출과 관련하여 기본적인 검토를 하였다.

이처럼 기초적인 자원분석과 주변환경평가 등을 거치면서 기본적인 실증단지 후보지들을 비교하여 최종 후보지로 선정된 전북 새만금지역, 병곡 영해평야지구(고래불해수욕장인근), 제주 동부해안지역(월정지구), 서부 해안지역(월령지구)에 대하여 부지의 IEC 규격(IEC 61400-12, IEC61400-13, IEC61400-21) 적합성 검토, 인프라 구축에 대한 적정성 검토, 주변 발전단지 조성가능성 및 발전사업에 대한 연계성 검토, 육해상 실증단지 구축 동일지역 가능성 검토, 교육과 홍보에 대한 접근성 및 공사에 대한 접근성 검토, 부지확장 및 향후 실증단지 운영과 관련하여 지자체와의 연계성 검토를 하였다.

참 고 문 헌

1. 풍력자원측정결과 데이터베이스 시스템, 한국에너지기술연구원, 2004
2. 김건훈 외, 풍력발전 성능평가 기준(안)을 위한 기반구축 연구, 2002
3. 750kW 풍력발전기 실증연구, 강원대학교, 2004
4. International Standard IEC 61400-1
5. International Standard IEC 61400-12
6. International Standard IEC 61400-13
7. International Standard IEC 61400-2
8. International Electrotechnical Commission IEC WT01