

2008-2012년의 제주지역 낙뢰 특성 및 낙뢰에 의한 풍력단지 낙뢰율 평가

Lightning Characteristics and Lightning Rate Evaluation of Wind Farm by Lightning of Jeju Island for 2008-2012

한지훈* · 고경남**† · 허종철***

Han Ji-Hoon*, Ko Kyung-Nam**† and Huh Jong-Chul***

(Submit date : 2013. 8. 6., Judgment date : 2013. 8. 13., Publication decide date : 2013. 10. 18.)

Abstract : This paper presents the characteristics of lightning over established and scheduled wind farms of Jeju island as well as over specific range of entire Jeju Island. The lightning data for 5 years from 2008 to 2012 was obtained from IMPACT ESP which detects lightning. Lightning frequency, lightning strength and regional lightning events were analyzed in detail, and then the lightning maps of Jeju Island were created. The evaluation of lightning rate was made for all the wind farms of this study. Damage to wind turbines by lightning was found in the existing wind farms. As a result, the eastern part of Jeju Island had more lightning frequency than the western part of the Island. Also, the evaluation of lightning rate was good for all established and scheduled wind farms of Jeju Island. Hankyung is the best place for lightning safety, while precaution should be taken against lightning damage in Kimnyung. Lightning damage to wind turbines occurred in Samdal and Haengwon wind farms, which had the first and the second highest lightning rate of the five existing wind farms.

Key Words : Wind energy (풍력에너지), Wind farm (풍력단지), Lightning frequency (낙뢰빈도), Lightning map (낙뢰지도), Lightning rate (낙뢰율)

† 고경남(교신저자) : 제주대학교 대학원 풍력특성화협동과정 조교수
E-mail : gncor2@jejunu.ac.kr, Tel : 064)754-4401

*한지훈 : 제주대학교 대학원 풍력특성화협동과정, 석사과정

***허종철 : 제주대학교 기계공학과, 교수

†Ko, Kyung-Nam(corresponding author) :

Interdisciplinary Postgraduate Program in Wind Energy, Jeju National University.

E-mail : gncor2@jejunu.ac.kr, Tel : 064)754-4401

*Han, Ji-Hoon : Interdisciplinary Postgraduate Program in Wind Energy, Jeju National University.

***Huh, Jong-Chul : Department of Mechanical Engineering, Jeju National University

1. 서론

지표면에서의 복사열에 의한 상승기류로 인하여 적란운이 발생하고 구름 속에서 싸라기눈·우박·얼음 알갱이들이 서로 부딪치고 전하분리와 축적이 이루어지면서 생기는 현상을 뇌방전(lightning discharges)이라 한다. 뇌방전의 종류에는 구름방전, 대지방전 등이 있으며 그 중에서 cloud-ground, 즉 구름에서 대지로 방전되는 현상을 낙뢰라 한다.

이러한 낙뢰에는 직접적 피해와 간접적 피해가 있으며 풍력발전기에도 낙뢰로 인한 피해가 있다. 일시적인 정지와 같은 가벼운 피해는 물론이고, 심할 경우 풍력발전기의 화재나 블레이드의 파괴로 이어지기도 한다.

Fig. 1은 일본의 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)에서 이용률 향상을 위해서 일본 내 풍력단지를 대상으로 조사를 실시한 결과이다.¹⁾ 조사한 풍력발전기는 3,618기이고, 고장·사고발생의 총 횟수는 498회이다.

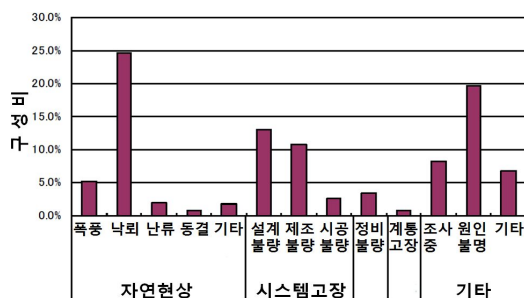


Fig. 1 Frequency of wind turbine failures and accidents by factors in Japan for 2004~2007¹⁾

그림에서 낙뢰는 가장 높은 풍력발전 시스템의 고장원인이라는 것을 알 수 있다. 따라

서 일본에서는 낙뢰 대책에 대한 가이드라인을 제시하고 낙뢰위험 지도개발 및 컴퓨터와 연동시스템 등 낙뢰에 대한 지속적인 연구를 진행하고 있다.²⁾ 또한 낙뢰 예방 시스템이 구축되어 있는 경우에도 낙뢰 발생 이후에는 각각의 풍력발전기의 이상유무를 확인하는 것을 권장하고 있다.³⁾

우리나라의 경우는 풍력단지를 운영하면서 비로소 낙뢰문제를 인식하고 그 대책을 세우고 있다. 영월 풍력단지에서 2009년 8월과 2010년 11월 두 차례 낙뢰피해가 발생하여 가동 중지 및 보수를 실시하고 대형 피뢰침 설치 등의 낙뢰 예방공사를 추진하였다. 또한 제주도를 대상으로 낙뢰에 대한 기초 연구 조사를 한 예⁴⁾도 있다. 그러나 낙뢰에 대한 연구가 매우 중요함에도 불구하고, 일본에 비해서는 아직 그 연구성과가 미미한 수준이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 5년간(2008~2012)의 낙뢰자료를 바탕으로 제주도의 낙뢰현황 및 기존 풍력단지와 건설 예정인 풍력단지의 낙뢰특성을 조사하고 낙뢰율(Lightning rate)을 평가하고자 한다. 나아가 기존 풍력단에 대하여 낙뢰로 인한 피해사례를 조사하고 피해일자에 발생한 낙뢰의 특성을 파악하고자 한다.

2. 낙뢰자료 수집 및 연구 방법

2.1 낙뢰자료 수집

기상청에서 운영 중인 IMPACT ESP는 낙뢰탐지용 장비로서, 이 연구에서는 이로부터 탐지된 낙뢰자료를 활용하였다. 이 장비는 백령도, 인천, 동해, 추풍령, 광주, 진주, 서귀포 등 전국 7개소에 설치되어 있다. IMPACT ESP의 외관과 특성은 Fig. 2와 같다.

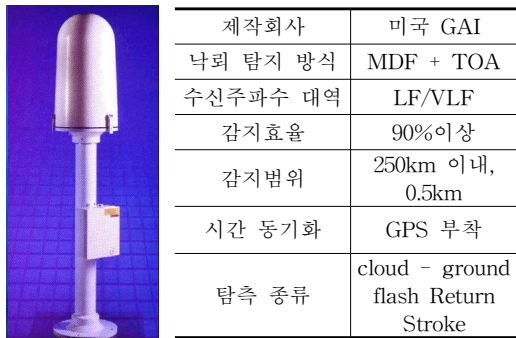


Fig. 2 Appearance and characteristics of IMPACT ESP

표에서 MDF와 TOA는 각각 방향탐지방식(Magnetic Direction Finding)과 도달 시간차 방식(Time Of Arrival)의 약자이다. 2개 이상의 감지기를 50~300km 간격으로 배치하여 낙뢰의 주 방전에 의해 생성된 전자파를 감지하여 측정하고 각 수신기에서 서로 다른 시간에 수신하여 신호가 수신기에 도착하는 시간을 GPS 신호에 동기화시켜 감지하는 방식이다. Low Frequency와 Very Low Frequency의 주파수를 수신하며 대지 방전의 복귀뇌격을 탐지하는 방식으로 낙뢰를 탐측한다. 여기서 복귀뇌격은 선도뇌격이 지면과 만나는 시점에 구름을 향해 상승하는 밝고 빠른 방전을 의미한다. 기상청과 장비 제작사의 검증에 따르면, 이 장비는 한반도를 포함한 동서 위도거리 약 10도 범위에서 낙뢰 탐지효율이 90%이상이며, 육상에서는 500m 미만, 해상에서는 2km 이내의 위치 정확도를 갖는다.⁵⁾

2.2 연구방법

Fig. 3은 본 연구에서 설정한 제주도의 범위이다. 그 범위는 육해상을 포함하는 북위 33°06'~33°36', 동경 126°06'~127°이다. 그림에 제주도내 기존 및 건설 예정 풍력단지의 위치도 함께 나타내었다.



Fig. 3 Study rage and positions of wind farms of Jeju Island

기존 풍력단지인 한경, 행원, 가시, 성산, 삼달의 5개 지역에 관하여 낙뢰의 특성을 조사하였다. 추가적으로 제주도청에서 실시한 육상풍력발전지구 지정 심의결과에 따라 선정된 어음, 상명, 김녕, 가시의 네 곳에 대하여 낙뢰 특성을 조사하였으며, 각각의 단지에 발생된 낙뢰 횟수를 풍력단지설계 S/W인 WindPRO의 Site compliance모듈에서 사용되는 평가기준에 따라 해당 풍력단지의 낙뢰에 대한 평가를 실시하였다.

풍력단지의 낙뢰영향 범위 설정과정을 Fig. 4에 나타낸다. 기존 풍력단지 중 가장 큰 면적을 차지하는 삼달 풍력단지에서 동·서·남·북으로 가장 먼 거리에 위치한 풍력발전기를 기준으로 사각형 범위를 만들고, 그 경계선으로부터 풍력발전기 최고 높이(125m)의 3배인 375m 떨어진 사각형을 평가 면적으로 정하였다. 그 이유는 국제표준인 IEC 61400-24⁶⁾에서 풍력발전기에 직접 영향을 미치는 평균 연간 낙뢰빈도를 구할 때, 풍력발전기 최고 높이의 3배에 해당하는 반경을 갖는 원 면적을 수집면적(Collection area)으로 정하기 때문이다. 이 낙뢰율 평가 면적을 본 연구에 평가된 모든 풍력단지에 적용하여 보다 공정한

평가를 하고자 하였다.

3. 연구결과

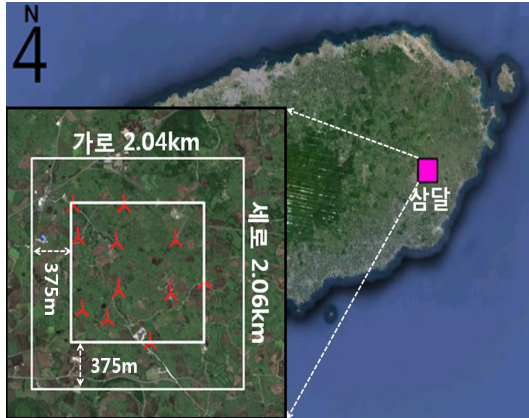


Fig. 4 Study area of a wind farm

Table 1은 낙뢰등급표⁷⁾를 나타낸다. ‘+’는 정극성, ‘-’는 부극성이다. 여기서 정극성은 구름 밑면이 +이고 대지가 -일 때의 낙뢰이며 반대의 경우는 부극성이라 한다. 등급의 절대값 숫자가 0에 가까울수록 약한 낙뢰로 분류된다.

Table 1 Lightning class

등급	낙뢰강도(kA)	등급	낙뢰강도(kA)
0	-1.6~1.6	0	-1.6~1.6
1	1.6~2.5	-1	-2.5~-1.6
2	2.5~4.0	-2	-4.0~-2.5
3	4.0~6.3	-3	-6.3~-4.0
4	6.3~10.0	-4	-10.0~-6.3
5	10.0~15.8	-5	-15.8~-10.0
6	15.8~25.0	-6	-25.0~-15.8
7	25.0~39.8	-7	-39.8~-25.0
8	39.8~63.1	-8	-63.1~-39.8
9	63.1~100.0	-9	-100.0~-63.1
10	100.0~158.5	-10	-158.5~-100.0
11	158.5~251.2	-11	-251.2~-158.5
12	251.2~398.1	-12	-398.1~-251.2
13	398.1~630.9	-13	-630.9~-398.1
14	630.9~1000.0	-14	-1000.0~-630.9
15	1000.0이상	-15	-1000.0이하

3.1 제주도 전체의 낙뢰 특성

Table 2는 설정된 제주도의 범위에 따라 각 연도에 낙뢰가 발생한 횟수 및 태풍정보이다. 2011년은 메아리, 무이과 2개의 태풍이 지나갔으나 가장 많은 낙뢰가 발생하였으며 2012년에는 덴빈, 블라벤, 산바 등 5개의 태풍이 지나갔으나 낙뢰 발생 횟수는 매우 적었다. 즉, 태풍의 발생횟수는 낙뢰와 큰 연관이 없음을 알 수 있다. 또한 해에 따라 발생한 태풍의 크기와 강도도 전반적으로 낙뢰횟수와 큰 관계가 없음을 보여준다.

Table 2 The number of lightning occurrence and typhoon's name in each year

연도	낙뢰 횟수	발생한 태풍명	중심부 기압(hPa)	최대 풍속 (㎞/시간)	크기 및 강도
2008	7139	갈매기	970	39	중형 강한 태풍
2009	8064	모라꽃	945	41	대형 강한 태풍
2010	3109	덴부	980	31	중형 강한 열대태풍
		곤파스	960	40	중형 강한 태풍
2011	11004	메아리	970	36	중형 강한 태풍
		무이과	930	50	대형 매우 강한 태풍
2012	3180	카눈	985	25	소형 강한 열대태풍
		담레이	965	34	중형 강한 태풍
		덴빈	945	45	중형 매우 강한 태풍
		블라벤	910	53	대형 매우 강한 태풍
		산바	900	56	대형 매우 강한 태풍

Table 3은 시간대별 낙뢰 발생횟수를 나타낸 것이다. 2008년과 2011년의 최다 낙뢰발생 시간대는 23시이나 2009년 최소 낙뢰발생 시간대 역시 23시이다. 또한 14시도 2009년 최다 낙뢰발생 시간대인 반면 2010년과 2011년에는 매우 적은 횟수임을 알 수 있다. 이전의 연구에서는 낙뢰발생은 시간대에 의존한다고 했으나⁸⁾ 본 연구 결과에서는 상관성이 크지 않았으며 향후 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

Table 3 The number of hourly lightning occurrence

시간 대	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	합계	비율 (%)
0	197	63	31	1082	51	1424	4.29
1	100	245	41	832	52	1270	3.83
2	274	255	152	92	55	828	2.50
3	760	651	696	82	182	2371	7.14
4	482	518	276	201	180	1657	4.99
5	574	96	240	113	308	1331	4.01
6	261	31	389	36	103	820	2.47
7	203	72	162	208	93	738	2.22
8	333	36	52	511	52	984	2.97
9	133	28	117	1047	54	1379	4.16
10	114	37	55	442	89	737	2.22
11	198	73	177	107	205	760	2.29
12	404	76	68	56	757	1361	4.10
13	430	240	30	20	482	1202	3.62
14	477	2030	25	71	121	2724	8.21
15	208	1452	20	67	179	1926	5.80
16	40	781	68	87	65	1041	3.14
17	85	598	63	47	30	823	2.48
18	215	128	57	54	14	468	1.41
19	192	129	153	315	10	799	2.41
20	164	205	104	1291	21	1785	5.38
21	72	222	68	1021	25	1408	4.24
22	375	73	31	1807	18	2304	6.94
23	848	25	34	2105	34	3046	9.18
합계	7139	8064	3109	11694	3180	33186	100

Fig. 5는 낙뢰등급표에 따라 등급별로 발생한 낙뢰빈도를 나타낸 것이다. 주로 -7~-3등급 사이에서 가장 많은 낙뢰빈도를 보이며, 정극성에서도 +3~+7등급 사이의 빈도가 높음을 알 수 있다.

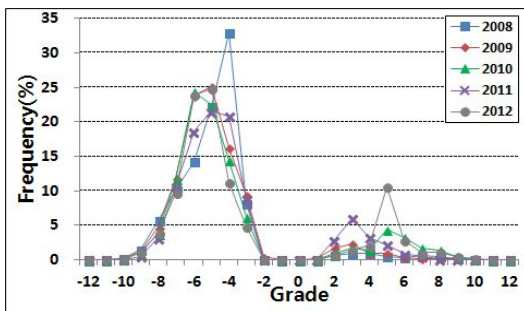


Fig. 5 The frequency of lightning grade

Table 4는 5년간 월별 극성에 따른 낙뢰횟수를 나타낸다. 일반적으로 뇌운의 하부에 음

전하의 중심이 있기 때문에⁹⁾ 모든 달에서 부극성 낙뢰가 정극성 낙뢰보다 많이 발생하고 있다. 정극성 낙뢰의 비율은 12%로 이전의 연구¹⁰⁾와 유사한 결과가 나왔다. 또한 7월, 8월, 9월에 낙뢰가 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

Table 4 Monthly lightning occurrence and occurrence rate by polarity

월	정극성		부극성		총횟수	비율 (%)
	횟수	비율 (%)	횟수	비율 (%)		
1	1	8	11	92	12	0.04
2	15	23	49	77	64	0.19
3	127	17	618	83	745	2.24
4	115	37	193	63	308	0.93
5	95	73	35	27	130	0.39
6	196	16	1031	84	1227	3.70
7	414	9	4312	91	4726	14.24
8	883	7	11105	93	11988	36.12
9	1817	15	10373	85	12190	36.73
10	74	17	371	83	445	1.34
11	108	9	1138	91	1246	3.75
12	51	49	54	51	105	0.32
합계/비율	3896	12	29290	88	33186	100

등급의 절대값이 높아질수록 더 큰 피해가 일어날 것으로 생각되어 낙뢰 등급이 ±9이상의 강도를 가진 낙뢰의 분포를 Fig. 6에 나타낸다. 이 그림에서는 5년간 정극성 낙뢰 74회, 부극성 낙뢰 390회의 데이터가 분포되어있다.

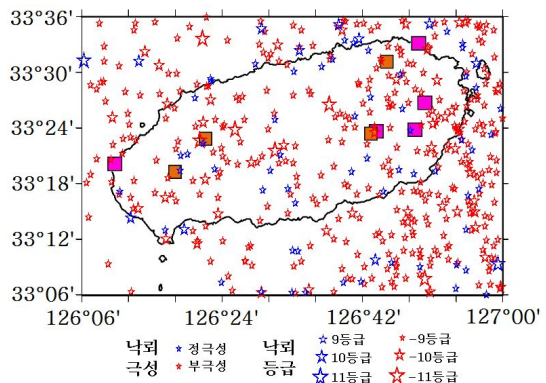


Fig. 6 Distribution of lightning grades ±9 or more

상대적으로 제주도 동쪽에 ±9등급 이상의 낙뢰가 많이 발생하였다. 또한 육상과 해상에서의 낙뢰분포는 비교적 균등함을 알 수 있다.

Fig. 7은 제주도 지역별 낙뢰 횟수를 나타낸다. 제주도 서쪽에서부터 동쪽으로 갈수록 낙뢰 횟수가 점차 많아지는 것을 알 수 있다. 특히 제주도 동쪽 육해상에서는 낙뢰 횟수가 급격히 증가하고 있다. 행원 풍력단지 부근 해안과 제주도 동쪽 끝 해안에서 낙뢰 횟수가 매우 높은 것을 알 수 있다.

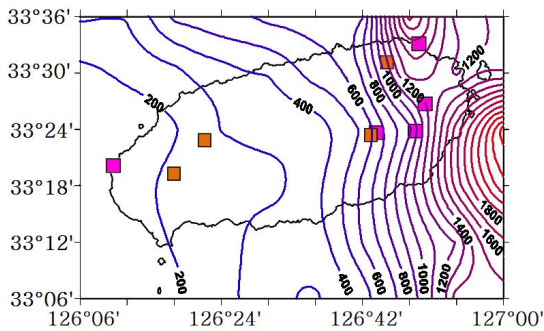


Fig. 7 Distribution of the number of lightning

Fig. 8는 제주도 지역별 낙뢰 일수를 나타낸다. 낙뢰 일수 또한 횟수와 같이 동쪽으로 갈수록 점차 많아지는 것을 알 수 있다. 그러나 낙뢰 횟수와는 다르게 제주도 북동쪽 끝과 제주도 남쪽 해안에서 낙뢰 일수가 높다는 것을 알 수 있다.

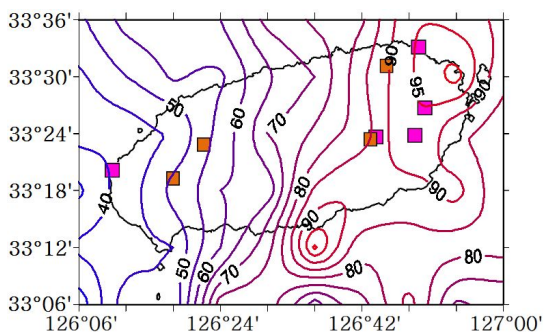


Fig. 8 Distribution of lightning days

Fig. 7과 Fig. 8에서 낙뢰 일수는 동쪽과 서쪽 지역의 차이가 2배가 넘는 정도이지만, 낙뢰 횟수로는 9배 이상의 차이를 보이고 있다.

3.2 기존 및 건설예정 풍력단지에서의 낙뢰평가

Table 5에 제주도에서 현재 운영 중인 5개의 풍력단지에 발생한 낙뢰를 Fig. 4에 나타낸 범위에 맞춰 낙뢰 특성을 나타내었다.

표에서 낙뢰율(Lightning rate) 평가는 풍력단지설계 S/W인 WindPRO에서 평가하는 방식¹¹⁾에 의거하여 구하였다. 즉, 1년간 1km²의 범위에 발생하는 낙뢰의 수를 파악하여 그 값이 20을 초과하면 Critical, 10~20인 경우 Caution, 10보다 작으면 Good으로 평가하는 방식이다.

Table 5 The evaluation of lightning rate for existing wind farms

		한경	행원	성산	삼달	가시(기존)
낙뢰 횟수	2008	2	13	14	37	10
	2009	0	20	12	15	19
	2010	1	8	6	9	8
	2011	0	24	13	6	11
	2012	3	1	6	2	4
	합계	6	66	51	69	52
낙뢰 일수	2008	2	5	6	10	7
	2009	0	2	2	4	4
	2010	1	3	3	4	4
	2011	0	1	4	3	4
	2012	3	1	3	2	3
	합계	6	12	18	23	22
정극성	횟수	0	10	6	5	4
	평균낙뢰강도	-	6.7	6.4	9.0	8.3
부극성	횟수	6	56	45	64	48
	평균낙뢰강도	-39.2	-19.3	-15.4	-12.3	-13.0
최다 낙뢰등급		-7	-5	-6	-4	-4
최다낙뢰 발생월		7월	8월	8월	8월	8월
낙뢰율 평가 (flashes/km²/year)		0.29 (Good)	3.14 (Good)	2.43 (Good)	3.29 (Good)	2.48 (Good)

제주도 전체에 낙뢰가 가장 많았던 2011년에 한경은 낙뢰횟수가 0이다. 또한 평균 낙뢰강도가 -39.2kA로 다른 동쪽의 풍력단지보다 10kA이상 큰 절대값 수치를 보인다. 또한 최대 낙뢰등급도 -7로 다른 지역보다 절대값이 높지만 낙뢰율 평가로는 가장 안전한 지역이다. 행원은 2011년에 낙뢰횟수가 24번인 반면 낙뢰일수는 1일로 가장 큰 격차를 보인다. 낙뢰율은 3.14로 우수하다. 성산과 삼달은 2008년에 가장 많은 낙뢰가 발생하였다. 낙뢰율은 성산이 2.43으로 한경에 이어 두 번째로 낮은 값을 보이며, 삼달은 3.29의 가장 높은 낙뢰율을 보이지만 두 풍력단지 모두 낙뢰율 평가는 우수하다.

가시는 행원보다 낙뢰횟수는 적은 반면 낙뢰일수는 그보다 높았다. 낙뢰율은 2.48로 우수하다. 최대 낙뢰 발생월은 한경이 7월인 것을 제외하고 모두 8월에 많았다.

Table 6은 예정된 풍력지구에 대하여 그 범위를 파악하고 기존 풍력단지에 적용한 것과 같은 범위를 설정, Table 5와 같은 형식의 자료를 도출하였다.

예정 풍력단지들 중 어음이 가장 낙뢰강도가 강하였고, 상명은 같은 제주도 서쪽임에도 평균 낙뢰강도가 낮았다. 그러나 두 지역 모두 낙뢰횟수와 낙뢰 일수가 낮고 낙뢰율도 1이하로 비교적 안전한 사이트라고 판단된다. 김녕의 경우에는 평균 낙뢰강도는 가장 낮지만 낙뢰율은 가장 높은 결과가 나왔다. 낙뢰율 평가는 'Good'이지만 다른 곳보다 높은 빈도수를 고려하여 김녕 풍력단지를 건설할 때에는 다른 곳보다 낙뢰 피해에 대하여 더 철저한 대비가 필요하다고 생각된다. 예정 사이트인 가시는 기존 풍력단지인 가시에서 남서쪽으로 1.38km 떨어진 곳에 위치하고 있지만, 낙뢰율은 기존 가시 풍력단지보다 우수한 1.57이다.

Table 6 The evaluation of lightning rate for scheduled wind farms

		어음	상명	김녕	가시 (예정)
낙 뢰 횟 수	2008	4	1	4	6
	2009	1	0	10	15
	2010	2	5	8	5
	2011	1	1	73	5
	2012	3	0	2	2
	합계	11	7	97	33
낙 뢰 일 수	2008	4	1	2	6
	2009	1	0	2	3
	2010	2	2	1	2
	2011	1	1	3	4
	2012	2	0	1	2
합계	10	4	9	17	
정 극 성	횟수	1	1	8	5
	평균낙 뢰강도	45.5	14.3	7.7	16.4
부 극 성	횟수	10	6	89	28
	평균낙 뢰강도	-39.1	-14.4	-14.3	-19.8
최다 낙뢰 등급		-5, -8	-3	-6	-5
최다낙뢰 발생월		8월	8월	9월	8월
낙뢰율 평가 (flashes/km/ year)		0.52 (Good)	0.33 (Good)	4.62 (Good)	1.57 (Good)

Table 7은 연구기간 동안 기존 풍력단지에서의 낙뢰로 인한 풍력발전기의 피해 현황을 보여준다. 한경 및 행원은 연구기간인 2008~2012년 동안 계속 운전 중이었고, 성산, 삼달, 가시는 일부 기간 동안만 운전 중이었다. 즉, 한경 및 행원은 연구기간인 5년간의 낙뢰피해 상황이고 성산, 삼달, 가시는 운전 개시일로부터의 낙뢰피해 상황이다.

한경, 성산, 가시는 낙뢰피해가 없었다. 그러나 Table 5에서 낙뢰율이 1, 2위로 높은 삼달과 행원이 각각 1회씩 낙뢰로 인한 피해가 발생했음을 알 수 있다. 삼달은 블레이드가 손상되었고, 행원은 블레이드 파손 및 통신 CT3514가 손상되었다. 피해 날짜에 발생한

Table 7 Damage to wind turbines by lightning over study area of existing wind farms for the study period

	한경	행원*	성산	삼달	가시(기준)
운전 개시 달	1차: 2004.2 2차: 2007.12	1998.2~ 2003. 4 까지 단계적 운전 개시	1차: 2009.3 2차: 2010.9	2009.9	2012.3
풍력발전기 개수 및 용량	1차: 1.5MW 4기 2차: 3MW 5기	225kW 1기 600kW 2기 660kW 7기 750kW 5기	1차:2MW 6기 2차:2MW 4기	3MW 11기	750kW 6기 1.5MW 7기
낙뢰피해 건수	없음	1건	없음	1건	없음
낙뢰피해 일자	-	2009.8.27	-	2011.8.1	-
낙뢰피해 상황	-	블레이드 파손 및 통신CT3514 손상	-	블레이드 손상	-
피해일자에 각 풍력단지에 발생한 낙뢰 횟수 및 낙뢰강도	-	19회 평균: -18.1kA 최소값: -4.3kA 최대값: -43.9kA	-	1회 -8.3kA	-

* 행원 풍력단지에 비교적 최근에 설치된 국산 풍력발전기 2기는 본 연구에서 제외함.

낙뢰는 삼달은 단 1회로, 낙뢰강도도 별로 높지 않은 -8.3kA이다. 단 1회의 별로 높지 않은 낙뢰에도 블레이드가 손상될 수 있다는 것을 보여주는 예라고 할 수 있다.

행원은 피해날짜에 19회의 낙뢰가 발생하였고, 평균 낙뢰강도는 -18.1kA이다. Table 5에서 행원의 2009년 낙뢰횟수는 총 20회로, 그 중 19회가 피해날짜에 발생하였다.

기존 5개의 풍력단지에서 2건의 낙뢰피해가 발생한 것은 생각보다 적다고 할 수 있을 것이다. 이 결과는 그 만큼 낙뢰로부터 풍력발전기가 잘 보호되도록 제조되고 있다고 할 수도 있지만, 여전히 낙뢰피해로부터 자유로울 수 없고, 이에 대한 대책이 필요함을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 2008~2012년 기상청 낙뢰 자료를 바탕으로 제주도의 낙뢰특성을 분석하고 낙뢰지도를 작성하였다. 또한 기존 및

건설예정 풍력단지에 대하여 낙뢰율을 평가하였고, 낙뢰피해사례도 조사하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 낙뢰는 7~9월에 많이 발생하며 부극성 낙뢰가 주로 발생하고 낙뢰 강도는 매년 비슷한 추세로 -7~-3등급 사이에 많이 분포하였다.
- (2) 기존의 풍력단지에 대한 낙뢰율 평가는 우수하며 특히 한경은 낙뢰의 피해로부터 가장 안전한 지역으로 평가되었다.
- (3) 선정된 4개의 풍력지구에 대한 낙뢰율 평가는 우수한 것으로 나타났다. 특히 어음, 상명의 낙뢰율은 1 이하로 낙뢰의 피해로부터 안전한 지구라고 생각된다. 그러나 김녕은 가장 높은 낙뢰율을 보였고 이에 대한 대비가 필요하다고 생각된다.
- (4) 기존 5개의 풍력단지 중 낙뢰율이 1, 2위로 높은 삼달과 행원에서 각각 1회씩 낙뢰로 인한 피해가 있었고, 피해 일자에 낙뢰가 발생한 것을 확인 할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2013학년도 제주대학교 학술진흥연구
구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. Nakao Tooru, Phenomenon of Failures and Accidents in Wind Power Plant, NEDO, 2011, p.6.
2. Yuukou Horita, Tajima Masato, Miyakosi Takasi, Kenji Shibata, Okino Kouji, Study of the Information Delivery and Presentation System of Lightning Hazard Map and Its Framework, ICT Innovation Forum, 2011.
3. David A. Rivkin, Laurel Silk, Wind Turbine Operation, Maintenance, Diagnosis and Repair, Jones&Bartlett Learning, 2012, p.4.
4. Ko Kyung-Nam, Kim Kyoung-Bo, Huh Jong-Chul, Characteristics of Lightning Occurred over Jeju Island for 2004-2006 and an Effect of Lightning on Wind Turbine Generator System, Journal of the Korean Solar Energy Society, 2008, pp.83~90.
5. Jung Eun-Sil, Lee Jong-Ho, Kim Byeongsun, Kwon Doosun, Characteristics of Total Lightning Detection System and Data Usage Plan, Korean Meteorological Society, Atmosphere, Vol.12, No.3, 2002, pp.580~583.
6. International Electrotechnical Commission (IEC), Wind Turbines Part 24 : Lightning Protection, 1st ed, 2010.
7. Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr/>
8. Kim Kyoung-Bo, Yang Kyung-Boo, Ko Kyung-Nam, Huh Jong-Chul, An Analysis of Lightning Characteristics for Construction of Wind Farm, Journal of the Korean Solar Energy Society, 2007, pp.211~217.
9. Korean Meteorological Society, Introduction to Atmospheric Sciences, Sigmapress, 2009, pp.324~330.
10. Eom Hyo-Sik, Suh Myoung-Seok, Statistical Characteristics of Recent Lightning Occurred over South Korea, Journal of Korean Earth Science Society, 2009, pp.210~220.
11. WindPRO2.8 Online help, <http://help.emd.dk/knowledgebase/>