



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

# 風力發電機 故障 趨勢 分析

濟州大學校 産業大學院

風力工學科

金 泰 完

2016年 2月

# 風力發電機 故障 趨勢 分析

指導教授 高 炅 男

金 泰 完

이 論文을 風力工學科 碩士學位 論文으로 提出함

2015年 12月

金泰完의 風力工學科 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_ (印)

委 員 \_\_\_\_\_ (印)

委 員 \_\_\_\_\_ (印)

濟州大學校 産業大學院

2015年 12月

# An Analysis of Trend on Wind Turbines Repair

Tae-wan Kim  
(Supervised by professor Kyung-Nam Ko)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science

2015. 12.

This thesis has been examined and approved.

.....  
Thesis director, Bum-Suk Kim, Prof. of Faculty of wind energy engineering

.....  
Thesis director, Jong-Chul Huh, Prof. of Mechanical engineering

.....  
Thesis director, Kyung-Nam Ko, Prof. of Faculty of wind energy engineering

.....  
Date

Faculty of Wind Energy Engineering

GRADUATE SCHOOL of INDUSTRY

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

List of Figures .....	iii
List of Tables .....	vi
용어의 정의 .....	viii
Abstract .....	ix
I. 서 론 .....	1
1. 연구배경 .....	1
2. 연구동향 .....	1
3. 연구목적 및 방법 .....	3
II. 풍력발전기 설치 현황 .....	5
1. 남부발전(주) 풍력발전기 운영 현황 .....	5
2. 풍력단지별 현황 .....	5
III. 풍력발전기 고장 추세 분석 .....	9
1. 풍력발전기 단지별 고장 내역 .....	9
1) 성산단지 .....	9
2) 태백단지 .....	23
3) 창죽단지 .....	29
2. 풍력단지별 풍력발전기 정비비 분석 .....	36
1) 풍력단지별 정비 현황 .....	36
2) 풍력단지별 정비비 현황 .....	36
3) 운영 년수별 정비비 예측 .....	38
4) 정비비 예측 모델 제안 .....	38
3. 풍력발전기 제작사 및 풍력발전기 배치에 따른 고장 경향 분석 .....	40
IV. 결 론 .....	49
참고문헌 .....	50

## < List of Figures >

<Fig. 1> .Layout of wind turbines in Hankyung wind farm .....	6
<Fig. 2> Layout of wind turbines inf Sungsan wind farm .....	6
<Fig. 3> Layout of wind turbines in Taebaek wind farm .....	7
<Fig. 4> Layout of wind turbines in Changjuk wind farm .....	8
<Fig. 5> The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2011 .....	10
<Fig. 6> The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2011 .....	11
<Fig. 7> The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2012 .....	12
<Fig. 8> The number of wind turbine repair depending on the cause at Sungsan wind farm for 2012 .....	13
<Fig. 9> The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2013 .....	14
<Fig. 10> The number of wind turbine repair depending on the cause at Sungsan wind farm for 2013 .....	15
<Fig. 11> The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2014 .....	16
<Fig. 12> The number of wind turbine repair depending on the cause at Sungsan wind farm for 2014 .....	17
<Fig. 13> The number of wind turbine repair and down time in total at Sungsan wind farm for 2011-2014 .....	18
<Fig. 14> The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2011-2014 .....	19
<Fig. 15> The number of wind turbine repair depending on the cause at Sungsan wind farm for 2011-2014 .....	19
<Fig. 16> Transformer update of No.6 wind turbine at Sungsan wind farm .....	20
<Fig. 17> Foundation damage of No.5 wind turbine at Sungsan wind farm .....	20
<Fig. 18> Blade repair of No.6 wind turbine at Sungsan wind farm .....	21

<Fig. 19> Generator leadwire replacement of No.2 wind turbine at Sungsan wind farm .....	21
<Fig. 20> Bladder & hydraulic pump repair No. 4 & 6 wind turbine at Sungsan wind farm .....	22
<Fig. 21> Rotating unit/yaw claw repair of No. 3 wind turbine at Sungsan wind farm .....	22
<Fig. 22> The number of wind turbine repair depending on components at Taebaek wind farm for 2013 .....	24
<Fig. 23> The number of wind turbine repair depending on the cause at Taebaek wind farm for 2013 .....	24
<Fig. 24> The number of wind turbine repair depending on components at Taebaek wind farm for 2014 .....	26
<Fig. 25> The number of wind turbine repair depending on the cause at Taebaek wind farm for 2014 .....	26
<Fig. 26> The number of wind turbine repair and down time in total at Taebaek wind farm for 2013-2014 .....	27
<Fig. 27> The number of wind turbine repair depending on components in total at Taebaek wind farm for 2013-2014 .....	28
<Fig. 28> The number of wind turbine repair depending on the cause in total at Taebaek wind farm for 2013-2014 .....	29
<Fig. 29> The number of wind turbine repair depending on components at Cjangjuk wind farm for 2013 .....	30
<Fig. 30> The number of wind turbine repair depending on the cause at Changjuk wind farm for 2013 .....	31
<Fig. 31> The number of wind turbine repair depending on components at Changjuk wind farm for 2014 .....	32
<Fig. 32> The number of wind turbine repair depending on the cause at Changjuk wind farm for 2014 .....	33
<Fig. 33> The number of wind turbine repair and down time in total at Changjuk wind farm for 2013-2014 .....	34
<Fig. 34> The number of wind turbine repair depending on components in total at Changjuk wind farm for 2013-2014 .....	35

<Fig. 35> The number of wind turbine repair depending on the cause in total at Changjuk wind farm for 2013-2014 .....	35
<Fig. 36> Repair cost with MW of wind farms .....	37
<Fig. 37> Repair cost with MWh of wind farms .....	37
<Fig. 38> Average repair cost with MWh according to time from operated year .....	38
<Fig. 39> Repair Cost Forecast Model .....	39
<Fig. 40> Wind rose of Hankyung wind farm for 2011- 2014 .....	40
<Fig. 41> The number of Neg-Micon wind turbine repair and down time in total for 2011-2014 .....	41
<Fig. 42> The number of Vestas V90 wind turbine repair and down in total for 2011-2014 .....	42
<Fig. 43> The most frequent wind turbine failure at Hankyung wind farm for 2011-2014 .....	43
<Fig. 44> Wind rose of Sungsan wind farm for 2011-2014 .....	43
<Fig. 45> The number of Vestas V80 wind turbine repair and down time in total for 2011-2014 .....	44
<Fig. 46> The most frequent wind turbine failure at Sungsan wind farm for 2011-2014 .....	45
<Fig. 47> The most frequent wind turbine failure at Taebaek wind farm for 2013-2014 .....	46
<Fig. 48> The most frequent wind turbine failure at Changjuk wind farm for 2013-2014 .....	47
<Fig. 49> The most frequent wind turbine failure at Taebaek wind farm for 2013-2014 .....	48



## < List of Tables >

<Table 1> Domestic wind turbines installed capacity .....	3
<Table 2> Wind turbines being operated by KOSPO .....	5
<Table 3> Wind turbines on Hankyung wind farm .....	5
<Table 4> Wind turbines on Sungsan wind farm .....	6
<Table 5> Wind turbines on Taebaek wind farm .....	7
<Table 6> Wind turbines on Changjuk wind farm .....	8
<Table 7> The list of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2011 ...	9
<Table 8> The number of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2011 .....	10
<Table 9> The list of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2012 .....	11
<Table 10> The number of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2012 .....	12
<Table 11> The list of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2013 ·	13
<Table 12> The number of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2013 .....	14
<Table 13> The list of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2014 ·	15
<Table 14> The number of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2014 .....	16
<Table 15> The list of wind turbine repair in total at Sungsan wind farm for 2013-2014 .....	17
<Table 16> The number of wind turbine repair in total at Sungsan wind farm for 2011-2014 .....	18
<Table 17> The list of wind turbine repair at Taebaek wind farm for 2013 ...	23
<Table 18> The number of wind turbine repair at Taebaek wind farm for 2013 .....	23
<Table 19> The list of wind turbine repair at Taebaek wind farm for 2014 ...	25
<Table 20> The number of wind turbine repair at Taebaek wind farm for 2014 .....	25

<Table 21> The list of wind turbine repair in total at Taebaek wind farm for 2013-2014 .....	27
<Table 22> The number of wind turbine repair in total at Taebaek wind farm for 2013-2014 .....	28
<Table 23> The list of wind turbine repair at Changjuk wind farm for 2013 .....	29
<Table 24> The number of wind turbine repair at Changjuk wind farm for 2013 .....	30
<Table 25> The list of wind turbine repair at Changjuk wind farm for 2014 ..	31
<Table 26> The number of wind turbine repair at Changjuk wind farm for 2014 .....	32
<Table 27> The list of wind turbine repair in total at Changjuk wind farm for 2013-2014 .....	33
<Table 28> The number of wind turbine repair in total at Changjuk wind farm for 2013-2014 .....	34
<Table 29> Maintenance and repair plan of wind farms studied .....	36
<Table 30> Repair cost of wind farm .....	37
<Table 31> The list of Wind Turbine Manufacturers .....	40
<Table 32> The list of Neg-Micon NM72C wind turbine repair for 2011-2014 .....	41
<Table 33> The list of Vestas V90 wind turbine repair for 2011-2014 .....	42
<Table 34> The list of Vestas V80 wind turbine repair for 2011-2014 .....	44
<Table 35> The list of HQ2000 wind turbine repair for 2013-2014 .....	46
<Table 36> The list of HS90 wind turbine repair for 2013-2014 .....	47

## < 용어의 정의 >

- 1) 블레이드 : 풍력발전기를 구성하는 편편하고 얇은 로터의 부분
- 2) 유압시스템 : 풍력발전기 블레이드를 작동 시키는 유압 관련 시스템 전체
- 3) 기어박스 : 블레이드에서 발전기가 필요한 운전속도로 증속을 담당하는 기기
- 4) 발전기계통 : 기계적에너지를 전기적 에너지로 변환하는 기계
- 5) 브레이크시스템 : 풍력발전기를 정지시키는 장치
- 6) 윤활유시스템 : 풍력발전기를 냉각 시키는 윤활유시스템
- 7) 전기장치 : 전기를 송전하여 기능을 제대로 수행할 수 있도록 하는 장치
- 8) 냉각시스템 : 풍력발전기를 냉각시키는 일체. 라디에이터 및 배관 등
- 9) 요잉계통 : 풍력발전기가 바람방향을 따라 움직이게 작동하는 기기
- 10) 변압기계통 : 발전기 전압을 승압시키는 역할하는 기기
- 11) 전용선로 : 풍력단지에서 변전소로 가는 선로
- 12) 누설 : 기기에서 냉각수나 윤활유가 나오는 현상
- 13) 파손 : 기기가 손상된 상태
- 14) 부식 : 기기가 표면에 손상된 정도
- 15) 단선 : 케이블이 절단되거나 이탈된 상태
- 16) 오동작 : 기기가 정상상태로 동작되지 않거나 지시되지 않은 것
- 17) 과열 : 기기가 정상치 이상으로 열이나서 손상되거나 표면이 마모되는 현상
- 18) 정비비 : 시스템 부품에 예상치 못한 고장이 발생한 이후 안전한 운전 조건으로 복구하는데 드는 자재비이며 예방점검, 주기점검 및 노무비는 제외

## Abstract

Owing to growing demand of higher availability of wind turbines, both wind turbine manufacturers and owners are improving maintenance and repair techniques as well as operating skills of wind turbines. In order to clarify the trend on maintenance and repair at wind farms, the investigation was performed for four wind farms, Hankyung, Sungsan, Taeback and Changjuk. The data for the analysis was collected for four years spanning from 2011 to 2014.

In Sungsan wind farm where Vestas 2 MW wind turbines are installed, the number of repair occurred at No. 5 and No. 6 wind turbines the most, while the down time due to repair was the longest at No. 5, followed by No. 3 and No. 6. The electric parts of turbines placed at the top of repair list, followed by transformers, hydraulic system, cooling system and yawing system.

In Taeback wind farm with Hyundai and Hyosung wind turbines, the most number of repairs for two years had been reported at No. 8 wind turbine, followed by No. 1 and No. 5 wind turbines. The electric parts failure caused the most shutdown of the wind turbines, followed by hydraulic system and yawing system.

In Chanjuk wind farm with Hyundai wind turbines, the No. 2 wind turbine experienced most frequent repairs for two years, followed by No. 6 and No. 7 wind turbines. Yawing system and electrical parts of wind turbines were the main causes of turbine failure.

Based on repair costs from Sungsan and Hankyung wind farms, the repair costs did not much occurred at two years from the beginning of operation. Then the repair costs became considerably high at three to eight years from the beginning of operation. The maximum repair costs occurred at eight to nine years from the beginning of operation, which may remain until one to two years before decommissioning.

The trend in wind turbine failure emerged mainly with wind turbine manufacturers, while there was not effect of wind turbine layout on the failure. Neg-Micon wind turbine had the most failure at hydraulic system, and transformer failure occurred at Vestas V80 wind turbine the most. The malfunction of electric parts and generator failure were the most at Vestas V90.

# I. 서론

## 1. 연구배경

지구온난화에 따른 이산화탄소 배출 규제로 화석연료가 아닌 새로운 신재생에너지 개발이 필요하였고 그 중에 바람을 이용한 풍력에너지 개발에 대해 관심이 높아졌다. 최초에 풍차는 곡식을 갈거나 물을 퍼올리기 위해 사용되었지만 점차 기술개발로 단위 용량을 증가시키고 있으며 근래에는 유럽, 아메리카 및 아시아 등에서 투자가 증가 되고 있다.

풍력에너지는 신재생에너지 중에서 가장 활성화 되고 있는 에너지원 중 하나다. 유럽은 풍력발전기 건설을 활성화 시키기 위해 풍력발전기 제작사는 투자를 활성화 하여 계속하여 단위기 용량 증대 및 성능을 업그레이드 할 수 있었다.

그리고 풍력발전기 운영은 초창기에는 풍력발전기 제작사가 직접 관리하는 형태로 발전하였다. 이는 풍력발전기 관리는 제작사가 24시간 모니터링을 하면서 고장 건수가 많은 기기에 대해서는 개선을 하여 성능을 업그레이드 시켜 가동률 향상을 높일 수 있었다. 점차 풍력발전기 건설이 활성화 됨에 따라 전문 정비업체가 생겨나 집중적으로 정비방법을 개선함으로써 가동률 보증을 하게 되었고 제작사 및 전문정비사는 가동률을 높이기 위해 고장정지를 최소화하기위해 상황별 분석을 통해서 통계를 집계해 왔다.[1-4]

그리고 년도별 정비비를 파악하고 앞으로 정비비가 어느정도 되는지를 파악하여 향후 운영에 반영하고 있다.[5] 또한 일본도 고장상황 통계를 풍력협회차원에서 분석을 하고 있다.[6]

우리나라도 2014년에 산업통상자원부에서 2035년까지 신재생에너지보급률을 1차 에너지의 11%까지 공급 및 관련규제가 대폭완화되면서 풍력건설이 활성화 되고 있고 제주특별자치도 역시 풍력발전종합관리계획이 2012년에 발표하면서 육상풍력 300MW 및 해상풍력 2GW 건설 추진계획을 발표하여 추진중에 있다.[7-8]

## 2. 연구동향

풍력산업이 발전하면서 가동률을 일정치 이상 보증하는 조건이 강화됨에 따라 각 제작사에서는 풍력 발전기 정지시간을 줄이려고 노력하고 있으며, 이는 정지시간을 분석함으로써 가능하고 나아가 고장정지 상황별 분석이 필수적이다.

### 1) 유럽

유럽은 처음에 풍력발전기를 건설하여 운영하면서 제작사들이 각자 운영노하우로 고장정지 시간을 단축하려고 노력하고 있다. 그것은 가동률 향상을 가져오며 제작사의 판매전략으로 활용하고 있다.[1-4] 특히 고장건수가 많은 기기는 그 지역에 맞는 기기로 적극적으로 설계시에 반영하여 개선을 하고 있고 그렇게 함으로서 가동률 향상을 가져올 수 있었다.

특히 세계 최대 기업인 베스타스사는 세계 곳곳에서 운영하고 있는 풍력발전기를 상시 모니터링하면서 고장건수가 많은 기기 및 지역에 대해서는 고장분석을 시행하여 여러 유사지역의 빅데이터를 이용하여 개선을 시행하여 그 지역에 적합하도록 하고 있으며 향후 유사지역에 개선된 풍력발전기를 판매함으로써 가동률 향상을 꾀하고 있다. 그리고 고장건수를 최소화 함으로서 풍력발전기 년도별 정비비를 줄이도록 하고 있으며 가동률 향상으로 똑같은 조건에서 연간 발전량을 높게 함으로서 연간 MWh 당 정비비가 감소되도록 진행하고 있다.[1]

그리고 네덜란드 Bettink service Team은 모니터링 및 고장 리포트를 고객에게 보내고 가동률 보장을 보증함으로써 서비스를 확대하고 있는 추세이다.[2]

### 2) 일본

일본은 2004년에 일본 풍력발전 이용률 향상 조사위원회 및 고장사고 등 조사위원회를 발족하였으며 2007년부터 풍력발전고장사고위원회로 명칭을 바꿔서 활동중이다. 이것은 일본풍력발전의 도입촉진을 위해 풍력발전시설의 이용률향상을 목표로 고장사고 및 가동상황에 관한 정확한 정보를 널리 수집하고, 그것에 대하여 공평히 평가하여 세상에 경종을 울리는 역할을 한다는 목적으로 조직 되었다. 이 정보를 바탕으로 정보를 공유하여 신뢰도가 높은 풍력발전기를 제작 및 운영하는 추세이다.[6]

### 3) 우리나라

우리나라의 경우는 1997년부터 제주도 행원리에 풍력단지를 상업운전하기 시작하였으며 풍력발전기 제작사(덴마크 베스타스사)에서 하자기간 동안 관리를 하였고, 2004년에는 한국남부발전(주)이 제주도 한경면에 1.5MW급 4기를 건설하였고 계속하여 2007년에 3.0MW급 5기가 건설하게 되었으며 2010년에는 성산지역에 2.0MW급 10기가 건설되었다. 한신에너지(주)에서는 서귀포시 삼달에 3.0MW급 11기를 건설함으로써 풍력발전기를 활성화 할 수 있었다.

그리고 내륙에서는 한국남부발전(주), 강원풍력(주), 태기산풍력 등이 풍력발전기를 건설하여 운영하고 있으며 계속적으로 Table 1과 같이 건설되고 있다.

Table 1 Domestic wind turbines installed capacity

년 도	신규 풍력설비 설치량 (MW)	풍력발전기 구분(기)	
		국 산	외 산
2011	31	15	0
2012	81.8	37	9
2013	78.65	34	0
2014	47.2	19	4
2015. 7	136.95	38	20

(자료: 한국풍력산업협회)

풍력발전기 운영사가 늘어남에 따라 풍력관계사 세미나를 2012년부터 남부발전 주관하에 실시하고 있으나 주로 풍력발전기의 사고 발생요인의 분류에 초점을 맞추고 있는 실정이다..[9-13]

### 3. 연구 목적 및 방법

풍력산업이 세계적으로 친환경 미래에너지 개발 산업의 핵심중의 하나로써 급성장하고 있는 시점에 대규모 풍력발전단지의 조성을 위해 풍력발전기 설치 수가 증가하고 효율향상을 위해 풍력시스템이 복잡해지고 있을 뿐 아니라 대형화되며 허브 높이가 높아지고 있다.

풍력발전기의 가동률을 향상 시키기 위해서는 고장사례를 분석하여 개선시켜야 함은 물론 풍력협의회를 통해 정보교환을 하여 개선사항에 대하여 반영이 필요하며 그리고 제작사와 정보공유를 하여 정지시간을 줄여 가동률 향상을 꾀하여야 하겠다.

그리고 풍력발전기 건설을 하고 가동률을 높이기 위해서는 지금까지 건설된 풍력발전기에서 발생한 고장을 추세 분석함으로써 향후 그것을 반영하여 개선하고 선진 풍력운영사를 따라갈 수 있는 빅데이터를 얻어 가동률향상에 기여할 필요가 있다. 단지 고장이 발생하면 제작사에 의존하여 정비하면서 고장상황에 대한 자료가 공유되지 않고 외산 및 국산 풍력발전기에 대하여 어떤 부품이 문제가 자주 발생되는지에 관해 알 수 없다. 즉, 고장추세 분석을 통하여 정보공유를 하여 가동률 향상방안에 대하여 연구할 필요가 있다. 그리고 단지에서의 정비비를 산출하여 그것을 바탕으로 앞으로 잔여 수명동안 정비비를 예측함으로써 향후 운영관리에 도움을 줄 필요도 있다.

본 연구에서는 제주지역 풍력단지에서의 2011년부터 2014년간 4년간 운전정보를 활용하여 고장건수, 고장시간, 다빈도 고장기기 및 고장상태별 분석을 하고 발전기 배치에 따른 고장추세 분석도 하고자 한다.

또한 육지 국산 풍력단지에 대해서는 2013년부터 2014년까지 2년간 태백풍력단지 및 창죽풍력단지 풍력발전기 운영현황을 분석하여 고장건수, 고장시간, 다빈도 고장기기 및 고장 상태별 분석을 하였다.

한경풍력단지는 정비비 및 풍력기종별 고장경향을 반영하고자 한다. 이 연구에서 얻어진 결과는 풍력 발전기 고장정지의 기초자료로서 향후 풍력단지 건설 및 운영시 가동률 향상에 기여할 수 있을 것이다.



## II. 풍력발전기 설치 현황

### 1. 남부발전(주) 풍력단지 운영 현황

본 연구에서 분석한 연구대상 풍력단지는 한국남부발전(주)에서 운영중인 풍력단지로서 Table 2에 나타냈다.

Table 2 Wind turbines being operated by KOSPO

운영단지	설비용량(MW)	운영사	년도	제작사	비고
한경풍력	21 (1.5MW x 4기)	남부발전(주)	2004	Neg-Micon	외산
	15 (3.0MW x 5기)	“	2007	Vestas	“
성산풍력	20 (2.0MW x 10기)	“	2010	Vestas	“
태백풍력	18 (2.0MW x 9기)	“	2012	현대중공업(4기) 효성중공업(5기)	국산
창죽풍력	16 (2.0MW x 8기)	“	2012	현대중공업	“

### 2. 풍력단지별 현황

#### 1) 한경풍력

한경풍력단지는 Table 3과 같이 총 용량은 21MW이며 Fig. 1과 같이 총 9기 풍력발전기를 배치 운영하고 있다.

Table 3 Wind turbines on Hankyung wind farm

번호	준공일	용량 (MW)	단위용량 (MW)	대수	설치위치	제작사
1	2004. 3	6.0	1.5	4	제주시 한경면	NegMicon
2	2007.12	15.0	3.0	5	“	Vestas
계		21		9		

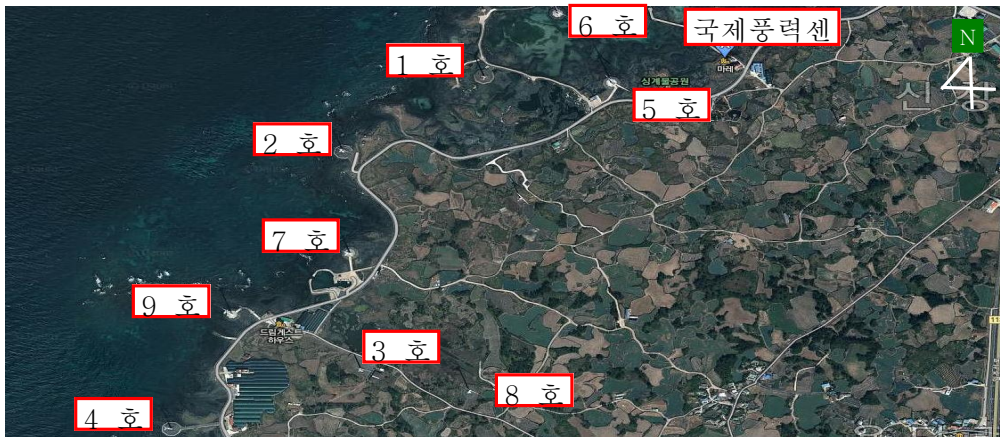


Fig. 1 Layout of wind turbines in Hankyung wind farm

2) 성산풍력

성산풍력단지에는 Table 4와 같이 총용량은 20MW이며 Fig. 2와 같이 총 10기 풍력발전기를 배치 운영하고 있다.

Table 4 Wind turbines on Sungsan wind farm

번호	준공일	용량 (MW)	단위용량(MW)	대수	설치위치	제작사
1	2009. 3	12.0	2.0	6	서귀포시 성산읍	Vestas
2	2010. 9	8.0	2.0	4	“	“
계		20		10		

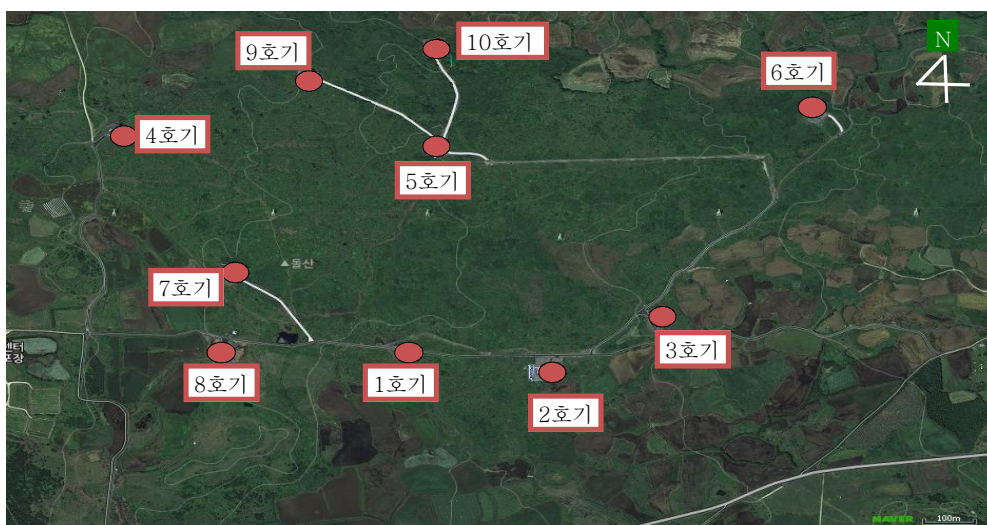


Fig. 2 Layout of wind turbines in Sungsan wind farm

### 3) 태백풍력

태백풍력단지는 SPC [남부발전(주) + 현대중 + 효성중] 가 운영하고 있으며 Table 5와 같이 총 설치용량은 18MW이며 Fig. 3과 같이 총 9기 풍력발전기를 배치 운영하고 있다.

Table 5 Wind turbines on Taebaek wind farm

번호	준공일	용량 (MW)	단위용량(MW)	대수	설치위치	제작사	비고
1	2012. 5	8.0	2.0	4	태백시 하사미동	현대중	
2	2012.12	10.0	2.0	5	“	효성중	
계		18.0		9			



Fig. 3 Layout of wind turbines in Taebaek wind farm

### 4) 창죽풍력

창죽풍력단지는 SPC(주) [남부발전(주) + 현대중] 가 운영하고 있으며 Table 6과 같이 총 설치 용량은 16MW이며 Fig. 4와 같이 총 8기 풍력발전기를 배치 운영하고 있다.

Table 6 Wind turbines on Changjuk wind farm

번호	준공일	용량 (MW)	단위용량 (MW)	대수	설치위치	제작사	비고
1	2012.12	16.0	2.0	8	태백시 창죽동	현대중	
계		16.0		8			



Fig. 4 Layout of wind turbines in Changjuk wind farm



### Ⅲ. 풍력발전기 고장 추세 분석

#### 1. 풍력발전기 단지별 고장 내역

##### 1) 성산단지

##### (1) 2011년 성산풍력 주요 고장 내역

2011년 성산풍력 주요 고장내역은 Table 7과 같으며 고장건수는 3호기, 2호기, 5호기, 1호기 순이다.

Table 7 The list of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2011

호기	고장건수	고장 일수/시간	기기명	주요 고장원인
1	5	2.6/62	변압기	절연저하
2	7	33.5/805	발전기계통	리드와이어 단선
3	9	25.9/622	발전기계통	리드와이어 단선
4	4	22.9/550	발전기계통	리드와이어 단선
5	5	85.3/2,047	기타(타워)	기초하자
6	2	0.6/16	변압기	절연저하
7	2	0.6/15	전기장치	케이블 단선
8	2	0.6/15	전기장치	케이블 단선
9	2	0.5/12	전기장치	센서 오동작
10	1	0.4/10	전기장치	센서 오동작
합 계	39	173/4,154		

##### (2) 2011년 성산풍력 세부 고장 내역

2011년 성산풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 8 그리고 Fig5 및 6과 같다. 고장건수는 기기별로는 전기장치, 변압기, 유압시스템, 발전기 순으로 많이 발생하고 있었으며 상태별로는 오동작 및 단선에서 높게 나타나고 있었다.[14-19]

Table 8 The number of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2011

기기 \ 상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	0	0	0	0	0	0	0
유압시스템	2	0	0	1	2	0	0	5
기어박스	0	0	0	0	0	0	0	0
발전기계통	0	0	0	4	1	0	0	5
브레이크시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
윤활유시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
전기장치	0	0	1	5	8	0	2	16
냉각시스템	1	0	0	0	0	0	0	1
요잉계통	0	0	0	0	0	3	1	4
변압기	0	0	6	1	0	0	0	7
전용선로	0	0	0	0	0	0	0	0
기타	0	0	0	0	1	0	0	1
합 계	3	0	7	11	12	3	3	39

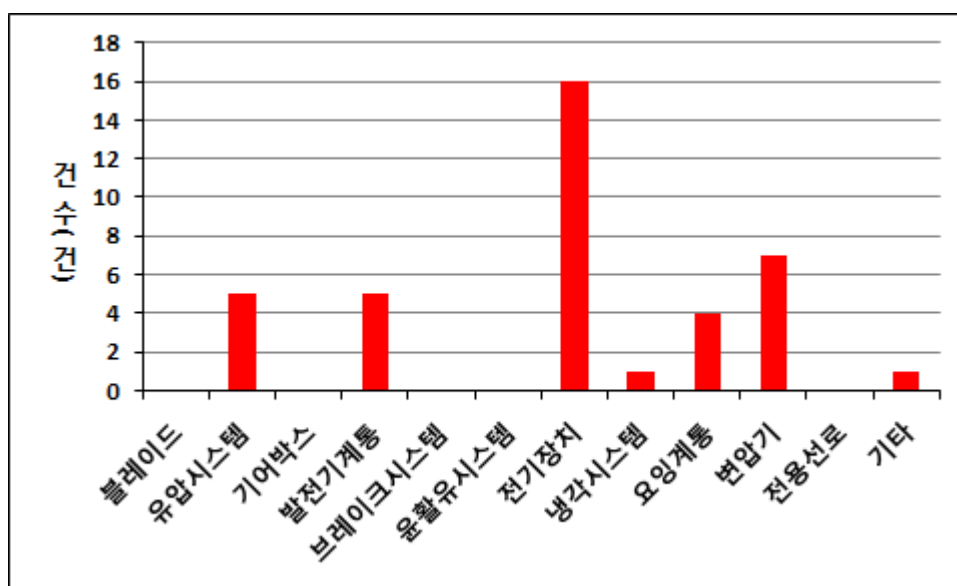


Fig. 5 The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2011

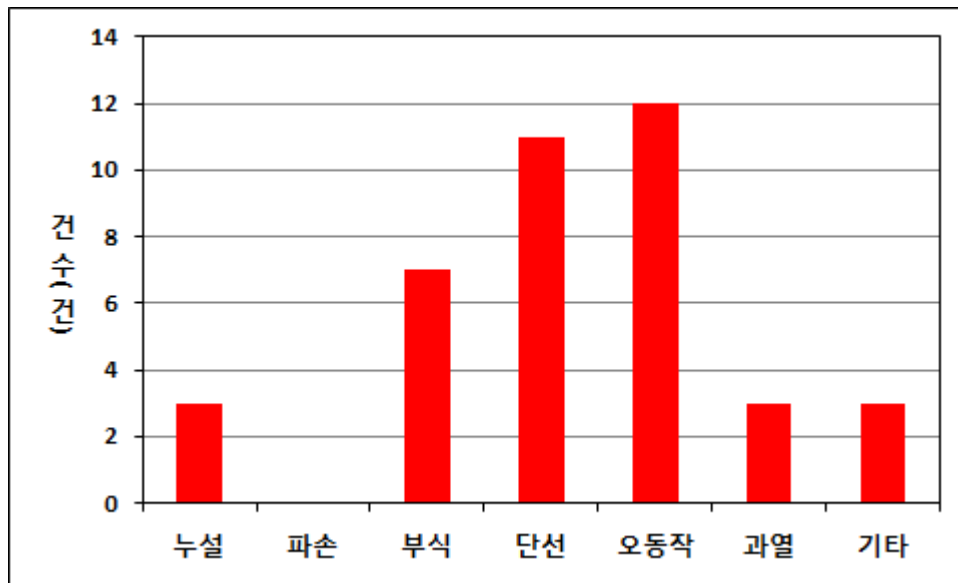


Fig. 6 The number of wind turbine repair depending on the cause at Sungsan wind farm for 2011

(3) 2012년 성산풍력 주요 고장 내역

2012년 성산풍력 주요 고장내역은 Table 9와 같으며 1호기에서 고장건수가 가장 높고 3, 5, 2, 4순 이었다.

Table 9 The list of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2012

호기 (Turbine No.)	고장건수 (Number of Repairs)	고장 일수/시간 (Number of Days/Hours)	기기명 (Equipment Name)	고장원인 (Cause of Failure)
1	15	7.2/172	전기장치 (Electrical Equipment)	슬립링 손상 (Slipring Damage)
2	10	1.3/31	전기장치 (Electrical Equipment)	흡입팬 손상 (Inlet Fan Damage)
3	12	19.3/465	요잉계통 (Yawing System)	요기어 소손 (Yaw Gear Damage)
4	10	0.9/21	전기장치 (Electrical Equipment)	카드손상 (Card Damage)
5	12	38.1/916	기타(타워) (Others (Tower))	기초 하자 (Foundation Defect)
6	10	18.1/436	발전기 (Generator)	과전류 케이블 열화 (Overcurrent Cable Degradation)
7	7	0.3/6	전기장치 (Electrical Equipment)	бат데리 교체 (Battery Replacement)
8	6	8.1/196	전기장치 (Electrical Equipment)	스키팩 손상 (Skid Pack Damage)
9	6	7/168	발전기 (Generator)	발전기 손상 (Generator Damage)
10	5	0.1/2	발전기 (Generator)	센서 손상 (Sensor Damage)
합 계 (Total)	93	100/2,413		

(4) 2012년 성산풍력 세부 고장 내역

2011년 성산풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 10 그리고 Fig 7 및 8과 같다. 고장건수는 기기별로는 전기장치에서 상태별로는 단선과 파손에서 많이 발생함을 알 수 있다.

Table 10 The number of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2012

기기 \ 상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	0	1	0	0	0	6	7
유압시스템	1	1	0	0	0	0	5	7
기어박스	0	0	0	0	0	0	3	3
발전기계통	0	0	0	5	1	0	4	10
브레이크시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
윤활유시스템	0	1	0	0	0	0	5	6
전기장치	2	0	0	9	2	3	21	37
냉각시스템	0	2	0	0	0	0	1	3
요잉계통	0	10	0	0	1	0	1	12
변압기	0	0	0	0	0	0	0	0
전용선로	0	0	0	0	0	0	1	1
기타	0	0	0	0	0	0	4	4
합 계	3	14	1	14	4	3	51	93

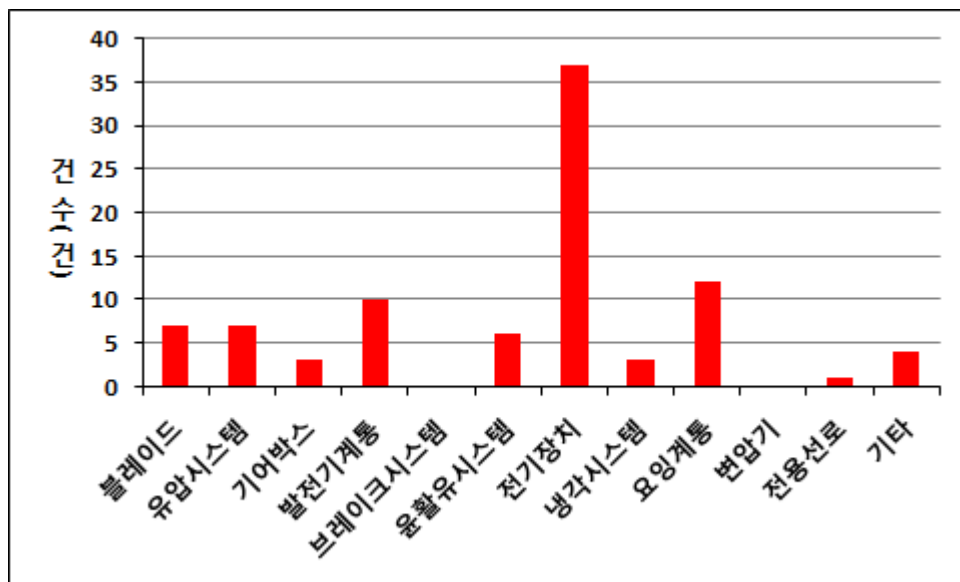


Fig. 7 The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2012



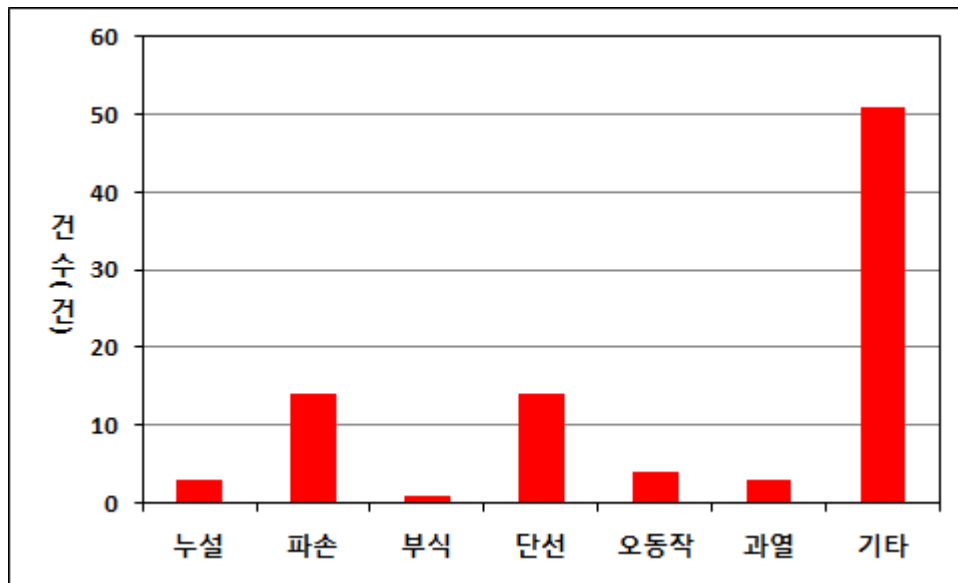


Fig. 8 The number of wind turbine repair depending on the cause at Sungsan wind farm for 2012

(5) 2013년 성산풍력 주요 고장 내역

2013년 성산풍력 주요 고장내역은 Table 11과 같으며 발생건수는 6, 5, 3, 4호기 순으로 많이 발생했다.

Table 11 The list of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2013

호기	고장건수	고장일수/시간	기기명	고장원인
1	7	0.2/6	전기장치	팬모터 손상
2	9	0.9/23	전기장치	슬립링브러쉬 마모
3	11	15/97	유압계통	피치센서 손상
4	11	2.0/49	전기장치	차단기 손상
5	14	50/1,258	타워구조물	기초 하자
6	16	3.3/80	발전기계통	발전기 흡입팬 불량
7	10	1.9/47	변압기	팬손상
8	9	2.4/58	전기장치	캐피시터 손상
9	10	1.7/41	변압기	팬 케이블 접점불량
10	7	1/24	전기장치	컨택터 불량
합 계	104	70/1,683		

(6) 2013년 성산풍력 세부 고장 내역

2013년 성산풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 12 그리고 Fig. 9 및 10과 같다. 기기별로는 전기장치, 유압시스템, 냉각시스템 순으로 고장건수가 많았으며 상태별로는 오동작, 단선, 파손 순 이었다.

Table 12 The number of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2013

기기\상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	1	2	0	0	0	0	0	3
유압시스템	4	1	0	5	6	0	1	17
기어박스	1	5	0	0	0	0	0	6
발전기계통	0	1	0	0	1	0	3	5
브레이크시스템	2	0	0	0	0	0	0	2
윤활유시스템	0	2	0	0	0	0	1	3
전기장치	0	1	0	8	11	2	2	24
냉각시스템	0	4	0	7	4	0	0	15
요잉계통	0	0	0	0	5	0	1	6
변압기	0	5	0	4	3	0	3	15
전용선로	0	0	0	0	0	0	0	0
기타	1	1	1	0	0	0	5	8
합 계	9	22	1	24	30	2	16	104

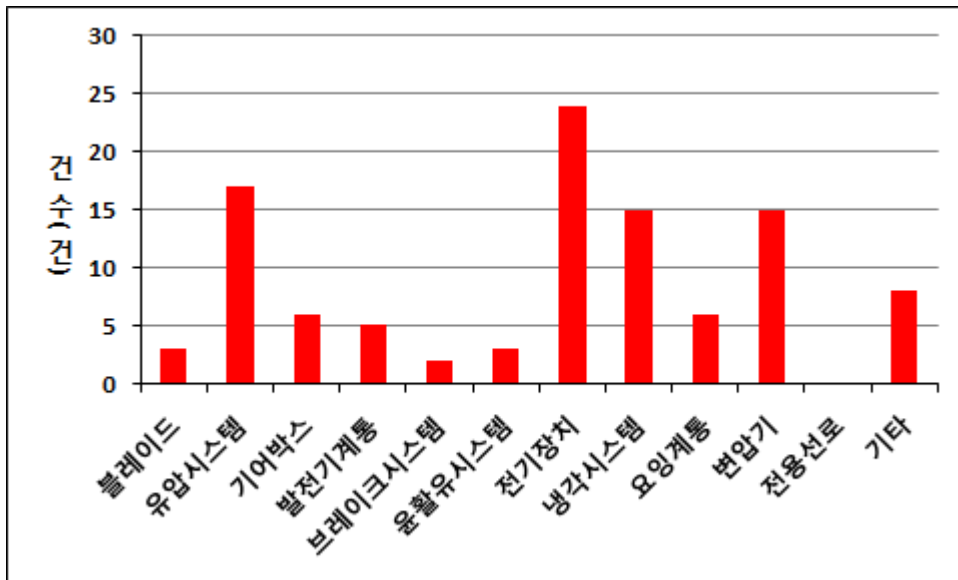


Fig. 9 The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2013

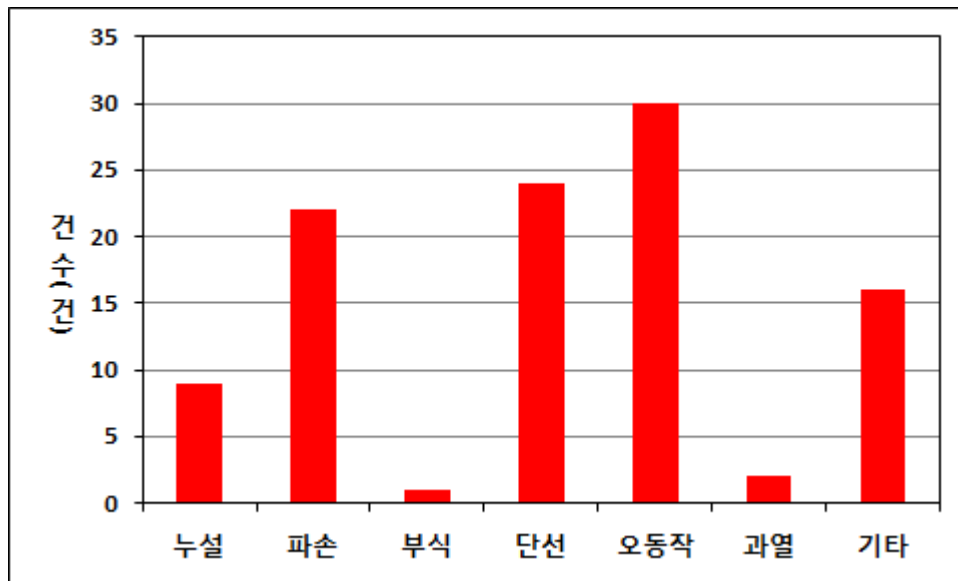


Fig. 10 The number of wind turbine repair depending on the cause at Sungsan wind farm for 2013

(7) 2014년 성산풍력 주요 고장 내역

2014년 성산풍력 주요 고장내역은 Table 13과 같다. 전반적으로 비슷한 고장경향을 보이고 있으며 그 중에서 2, 5, 6호기가 높게 고장이 발생하고 있었다.

Table 13 The list of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2014

호기	고장건수	고장 일수/시간	기기명	주요 고장원인
1	10	8.8/212	기어박스	러버댐퍼 손상
2	12	4.8/116	요잉계통	요기어 손상
3	4	91.4/2,194	변압기	절연물 균열
4	10	0.5/13	기타(리프트)	리프트커버 손상
5	12	36.1/867	변압기	절연물 균열
6	12	36.4/873	변압기	절연물 균열
7	9	1.0/25	유압계통	피치펌프모터 손상
8	9	2.1/51	전기장치	콘택터 손상
9	10	2.8/67	전기장치	콘택터손상
10	9	1.0/25	전기장치	스키팩 손상
합 계	97	185/4,443		

(8) 2014년 성산풍력 세부 고장 내역

2014년 성산풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 14 그리고 Fig 11 및 12와 같다. 기기별로는 전기장치, 냉각시스템, 변압기 순으로 고장이 많이 발생하고 있었으며 상태별로는 단선, 오동작 순으로 높게 나타나고 있었다.

Table 14 The number of wind turbine repair at Sungsan wind farm for 2014

기 기 \ 상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	1	0	0	0	0	0	1
유압시스템	0	2	0	3	1	0	0	6
기어박스	0	2	0	0	1	0	0	3
발전기계통	0	0	0	0	1	2	0	3
브레이크시스템	7	0	0	0	0	0	0	7
윤활유시스템	1	2	0	0	1	0	0	4
전기장치	0	1	0	9	8	8	1	27
냉각시스템	1	3	0	6	6	0	0	16
요잉계통	0	1	0	1	5	0	1	8
변압기	0	0	0	10	0	0	4	14
전용선로	0	0	0	0	0	0	1	1
기타	0	1	1	0	0	0	5	7
합 계	9	13	1	29	23	10	12	97

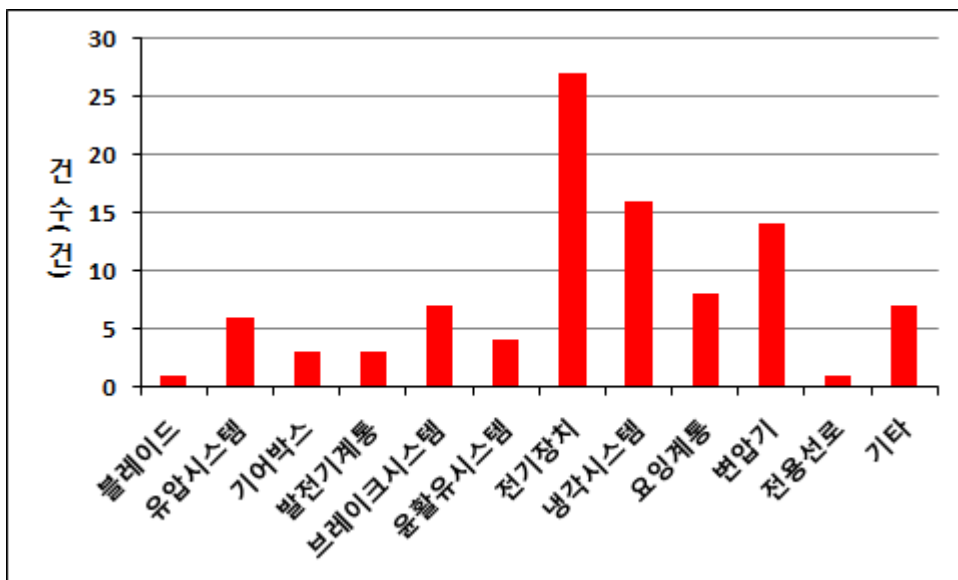


Fig. 11 The number of wind turbine repair depending on components at Sungsan wind farm for 2014

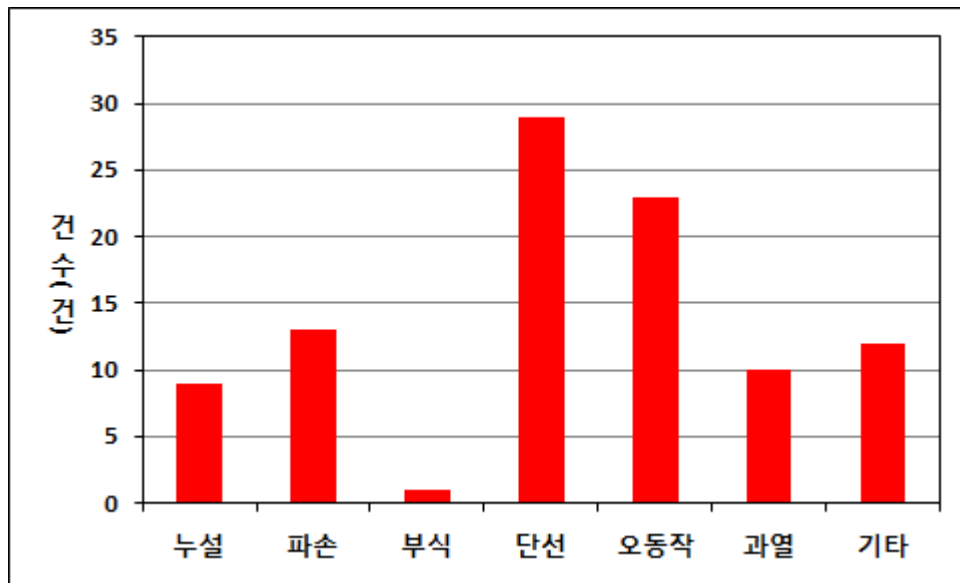


Fig. 12 The number of wind turbine repair depending on the cause at Sungsan wind farm for 2014

(9) 2011년 ~ 2014년 성산풍력 고장시간 종합

2011년에서 2014년 까지 4년 동안 성산풍력 주요 고장내역은 Table 15 및 Fig. 13과 같다. 5,6호기에서 고장건수가 많았다. 고장시간은 5, 3, 6호기 순으로 길었다.

Table 15 The list of wind turbine repair in total at Sungsan wind farm for 2011 - 2014

호기	고장건수	고장 일수/시간	가동률(%)	비고
1	37	18.9/452	97.7	
2	38	40/975	97.2	
3	36	140.7/3,378	90.3	
4	34	26.3/633	98.2	
5	43	212/5,088	85.4	
6	40	58.2/1,398	94.7	
7	27	3.8/93	99.0	
8	26	13.3/320	98.6	
9	27	12/288	97.3	
10	22	2.5/61	99.3	
합 계	330	528/12,686	95.8	

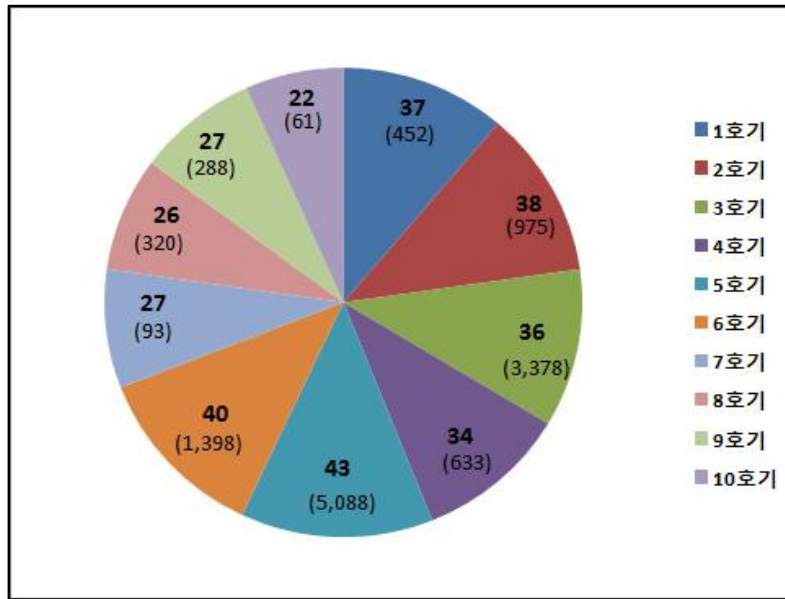


Fig. 13 The number of wind turbine repair and down time in total at Sungsan wind farm for 2011-2014

(10) 2011년 ~ 2014년 성산풍력 세부 고장 내역 종합

2011년에서 2014년 까지 4년 동안 성산풍력 세부 고장내역 종합은 Table 16 그리고 Fig. 14와 Fig. 15와 같다. 고장건수는 기기별로는 전기장치, 변압기, 유압시스템, 냉각시스템, 요잉계통 순이고 상태별로는 단선, 오동작, 파손순으로 나타나고 있었다. 기타로는 기초불량, 이음, 진동, 동결 및 막힘 등이다.

Table 16 The number of wind turbine repair in total at Sungsan wind farm for 2011 - 2014

기기 \ 상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	1	3	1	0	0	0	6	11
유압시스템	7	4	0	9	9	0	6	35
기어박스	1	7	0	0	1	0	3	12
발전기계통	0	1	0	9	4	2	7	23
브레이크시스템	9	0	0	0	0	0	0	9
윤활유시스템	1	5	0	0	1	0	6	13
전기장치	2	2	1	31	29	13	26	104
냉각시스템	2	9	0	13	10	0	1	35
요잉계통	0	11	0	1	11	3	4	30
변압기	0	5	6	15	3	0	7	36
전용선로	0	0	0	0	0	0	2	2
기타	1	2	2	0	1	0	14	20
합계	24	49	10	78	69	18	82	330

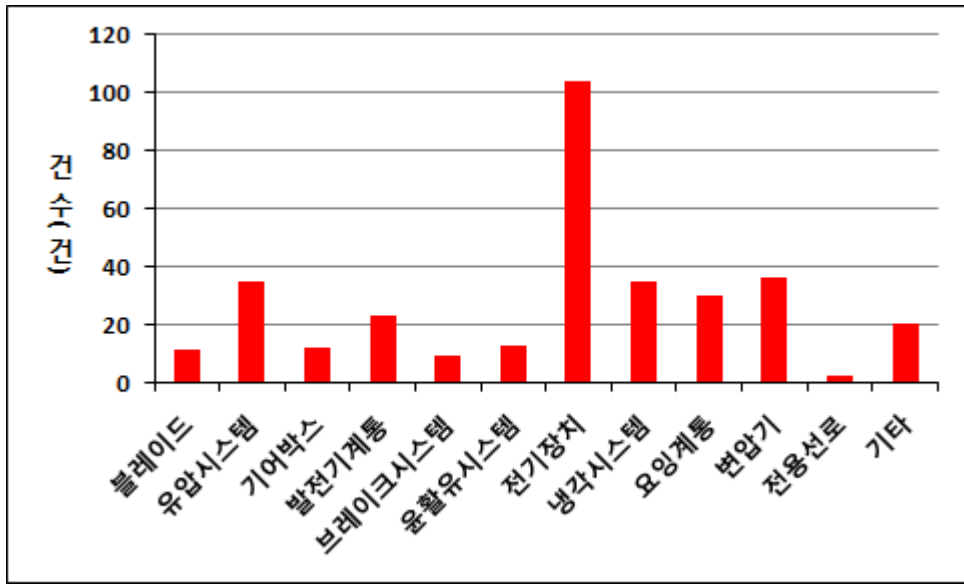


Fig. 14 The number of wind turbine repair depending on components in total at Sungsan wind farm for 2011-14

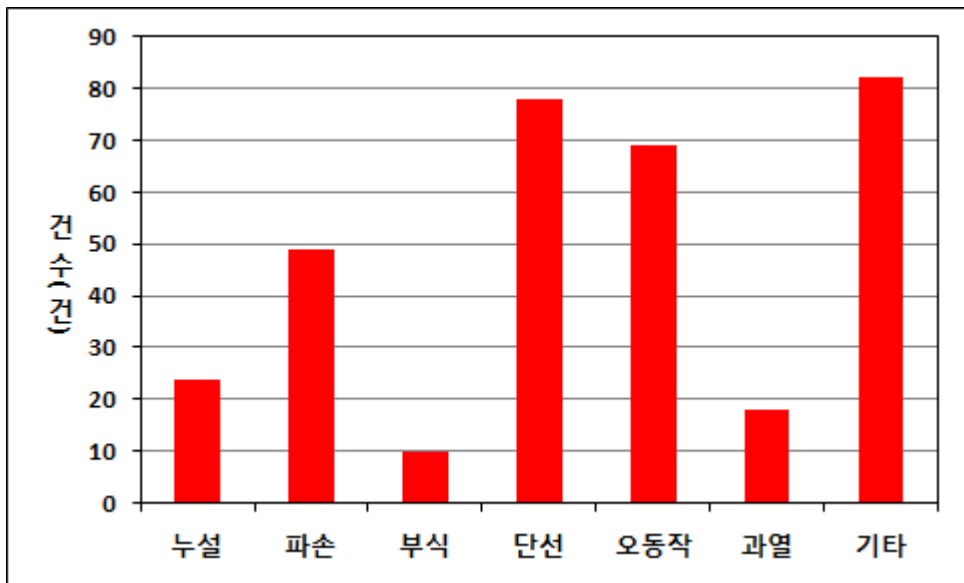


Fig. 15 The number of wind turbine repair depending on the cause in total at Sungsan wind farm for 2011-14

(11) 주요 보수 사례

- 성산풍력 전호기는 다습한 공기 변압기 직접 냉각으로 절연저하 되어 너셀을 먼저 통과한 후 변압기실을 통과하는 간접냉각방식으로 Fig. 16과 같이 개선하였다.

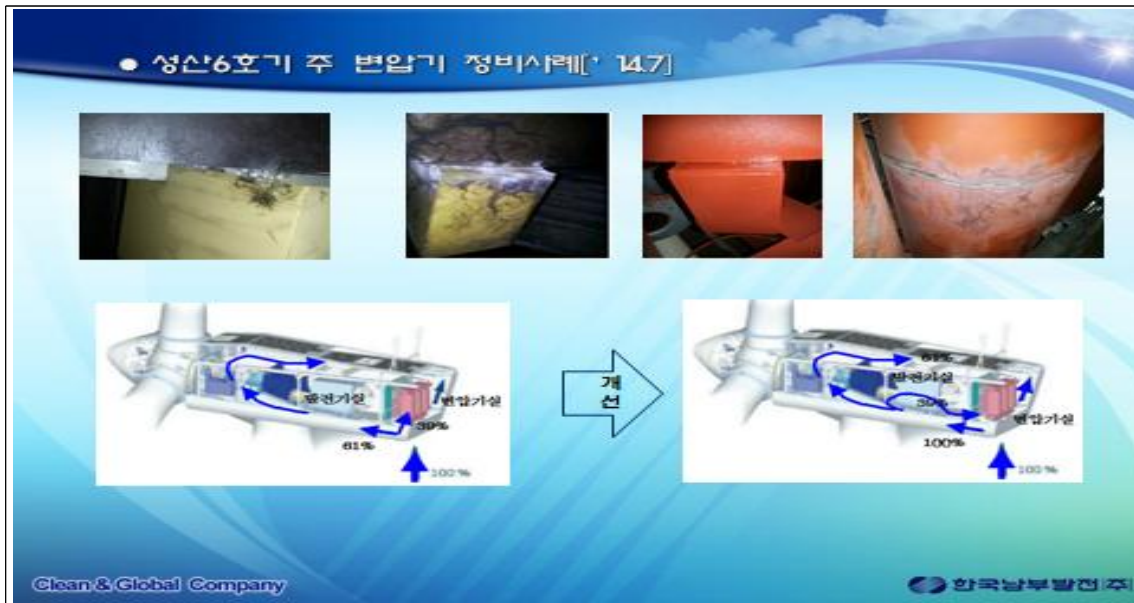


Fig. 16 Transformer update of No.6 wind turbine at Sungsan wind farm

- 성산 5호기 하부기초 물유입 공극발생으로 변형되어 Fig. 17과 같이 풍력기초가 흔들림 현상 발생되어 페디스탈 추가설치 후 용접 및 에폭시를 주입하여 보강했다.



Fig. 17 Foundation damage of No.5 wind turbine at Sungsan wind farm



- 성산 6호기 블레이드가 낙뢰에 의한 손상으로 Fig. 18과 같이 손상부위 그라인딩, 글루작업, 레미네이팅 부착 및 퍼티 작업후 가공하였다.



Fig. 18 Blade repair of No.6 wind turbine at Sungsan wind farm

- 성산 2호기 Fig. 19와 같이 발전기 부상속 카본 유입으로 손상되어 개선품으로 교체하였다.

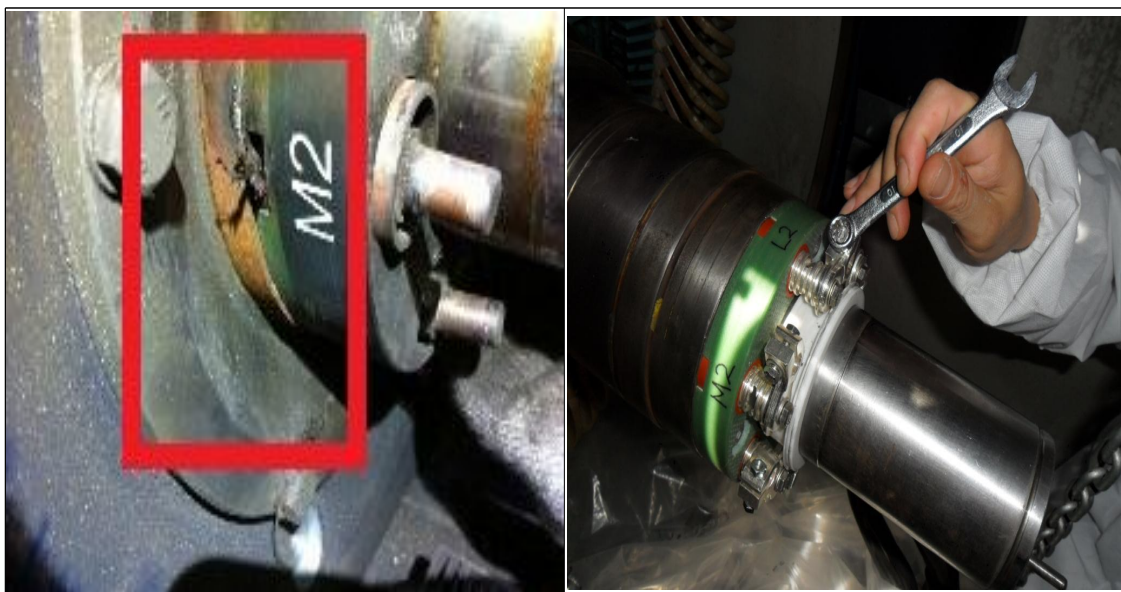


Fig. 19 Generator leadwire replacement of No.2 wind turbine at Sungsan wind farm

- Fig. 20과 같이 성산4호기 잦은 피칭으로 블레더 손상 및 성산5호기 유압펌프 케이싱 손상으로 정비하였다.



Fig. 20 Bladder & hydraulic pump repair No. 4 & 6 wind turbine at Sungsan wind farm

- 성산 3호기 rotating transfer unit 내부손상으로 에폭시 마감처리 및 요 클로우 패드 손상으로 신품 교체하였다.



Fig. 21 Rotating unit/yaw claw repair of No. 3 wind turbine at Sungsan wind farm

2) 태백 풍력

(1) 2013년 태백풍력 기기별 고장 내역

2013년 태백풍력 주요 고장내역은 Table 17과 같으며 호기당 2건 이하였다.

Table 17 The list of wind turbine repair at Taebaek wind farm for 2013

호기	고장건수	고장 일수/시간	기기명	고장원인
1	2	52.7/1,265	발전기계통	발전기 고정자 손상
2	2	16.5/396	발전기계통	발전기 회전자 손상
3	2	47.1/1,130	기어박스	기어박스 1단 기어 손상
4	1	0.3/8	유압계통	피치에러
5	2	7.7/185	요잉계통	요기어 패드 손상
6	1	14.6/350	유압계통	모듈결함
7	1	4.8/115	유압계통	피치에러
8	2	6.5/156	변압기계통	변압기 누유
9	2	6.1/146	전기장치	슬립링 손상
합 계	15	156/3,751		

(2) 2013년 태백풍력 기기별 고장 내역

2013년 태백풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 18 그리고 Fig 22 및 23과 같다. 기기별로는 유압시스템, 기어박스, 전기장치 순으로 고장건수가 많으며 상태별로는 오동작, 단선, 파손순으로 나타나고 있었다.

Table 18 The number of wind turbine repair at Taebaek wind farm for 2013

기기\상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	0	0	0	0	0	0	0
유압시스템	1	1	0	0	1	1	0	4
기어박스	0	2	0	1	0	0	0	3
발전기계통	0	0	0	2	1	0	0	3
브레이크시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
윤활유시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
전기장치	0	0	0	1	2	0	0	3
냉각시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
요잉계통	0	0	0	0	0	0	0	0
변압기	0	0	1	0	0	0	0	1
전용선로	0	0	0	0	0	0	0	0
기타	0	0	1	0	0	0	0	1
합 계	1	3	2	4	4	1	0	15

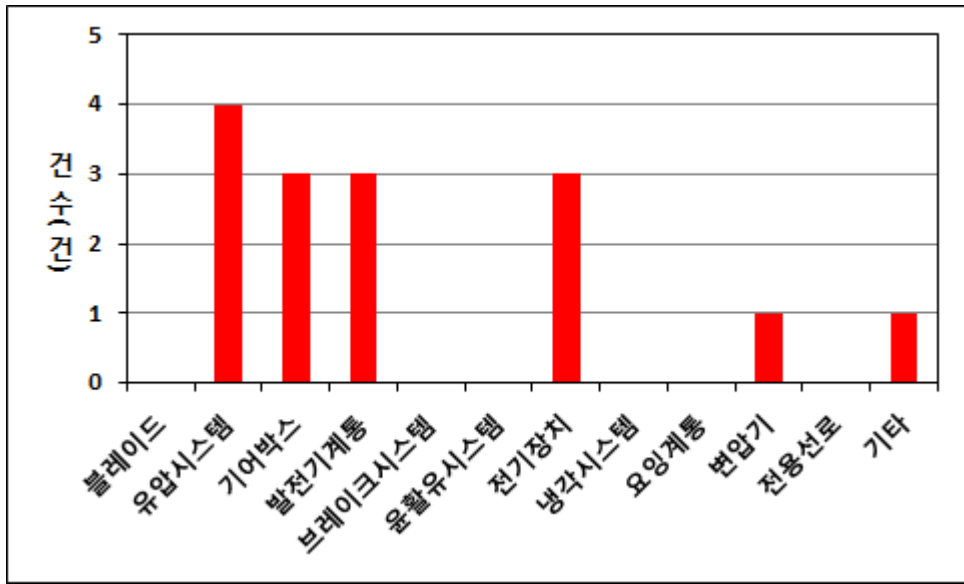


Fig. 22 The number of wind turbine repair depending on components at Taebaek wind farm for 2013

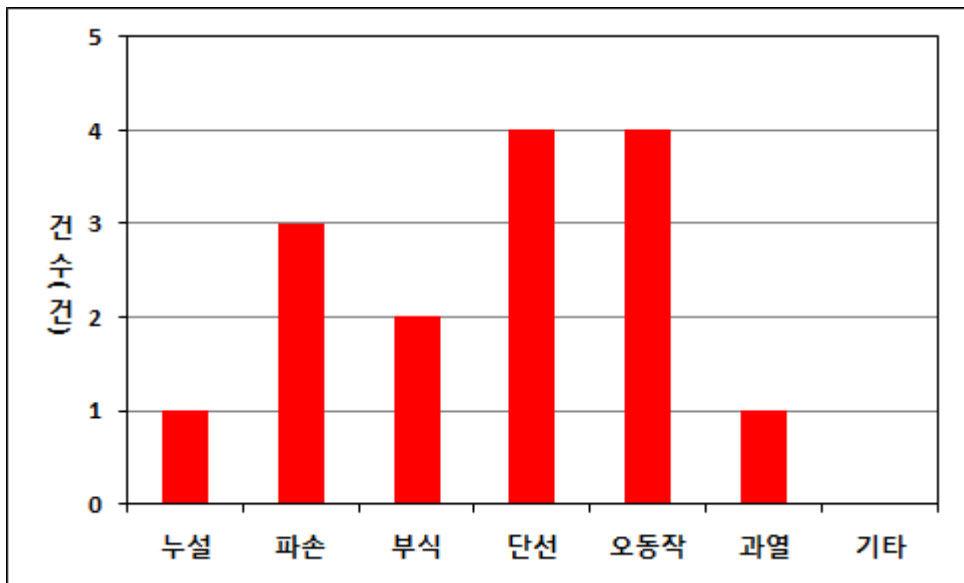


Fig. 23 The number of wind turbine repair depending on the cause at Taebaek wind farm for 2013

(3) 2014년 태백풍력 기기별 고장 내역

2014년 태백풍력 주요 고장내역은 Table 19와 같으며 8, 1, 5호기 순으로 고장건 수가 많았다.

Table 19 The list of wind turbine repair at Taebaek wind farm for 2014

호기	고장건수	고장 일수/시간	기기명	고장원인
1	2	0.3/7	블레이드	블레이드 부식
2	1	0.3/8	요잉계통	클리퍼패드 마모
3	1	0.3/7	발전기	케이블 단선
4	1	0.3/7	요잉계통	클리퍼패드 마모
5	2	4.0/96	블레이드	날개 부식
6	1	0.3/6	유압시스템	오동작
7	1	1.0/24	요잉계통	클리퍼패드 마모
8	3	8.9/214	발전기	발전기 로터 손상
9	1	17.0/408	발전기	발전기 로터 손상
합 계	13	32/777		

(4) 2014년 태백풍력 세부 고장 내역

2014년 태백풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 20 그리고 Fig 18 및 19와 같다. 기기별로는 요잉계통, 전기장치 순으로 고장건수가 많았으며 상태별로는 단선, 과열이 높게 나타나고 있었다.

Table 20 The number of wind turbine repair at Taebaek wind farm for 2014

기기 \ 상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	0	1	0	0	0	0	1
유압시스템	0	0	1	0	1	0	0	2
기어박스	0	0	0	0	0	0	0	0
발전기계통	0	0	0	1	0	1	0	2
브레이크시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
윤활유시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
전기장치	0	0	0	2	1	0	0	3
냉각시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
요잉계통	0	0	0	1	0	3	0	4
변압기	0	0	0	0	0	0	0	0
전용선로	0	0	0	0	0	0	1	1
기타	0	0	0	0	0	0	0	0
합 계	0	0	2	4	2	4	1	13



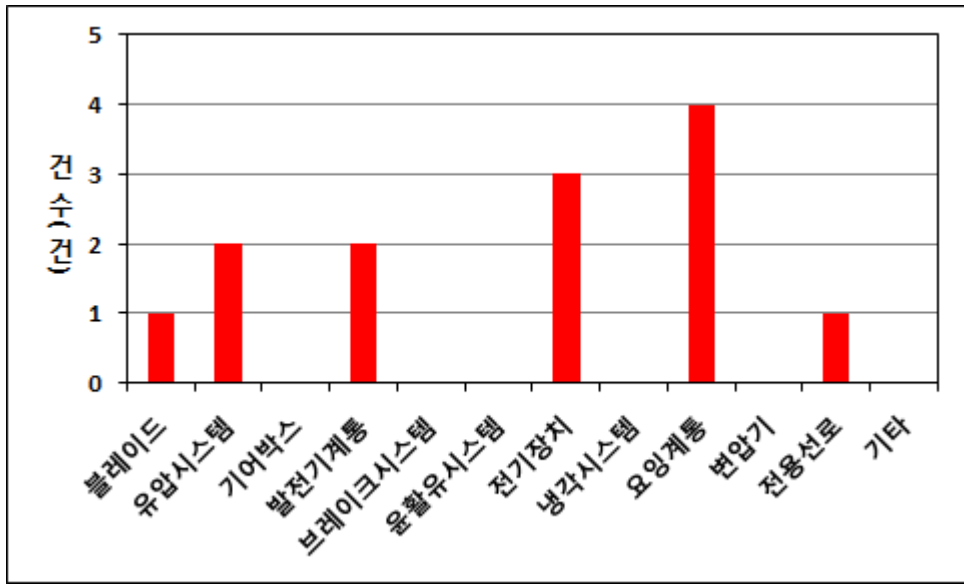


Fig.24 The number of wind turbine repair depending on components at Taebaek wind farm for 2014

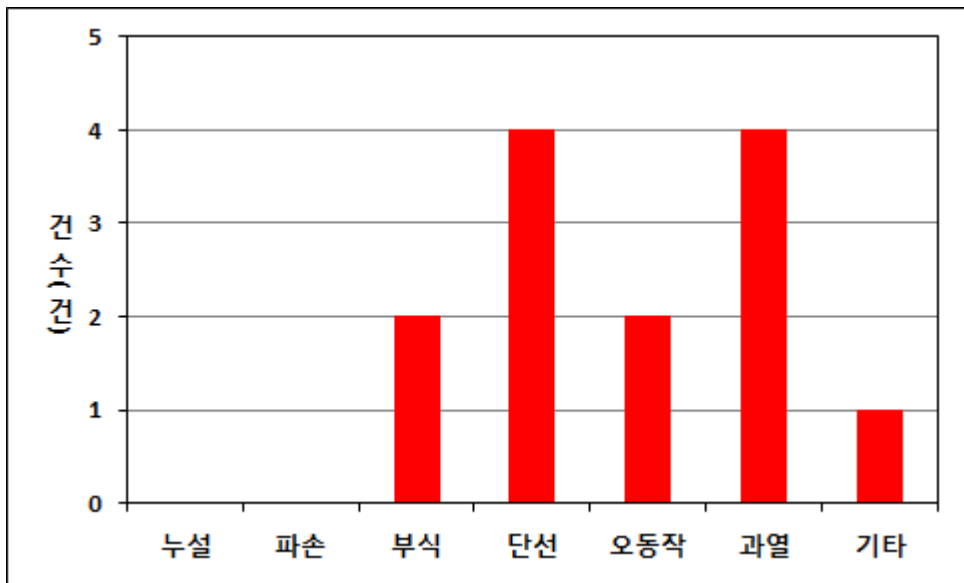


Fig. 25 The number of wind turbine repair depending on the cause at Taebaek wind farm for 2014

(5) 2013년 ~ 2014년 태백풍력 고장 종합

2013년에서 2014년 까지 2년 동안 태백풍력 주요 고장내역은 Table 21 & Fig. 26과 같다. 고장건수는 8, 1, 5호기 순으로 많이 발생했으며 고장시간은 1, 3, 9호기 순으로 나타나고 있고 4호기는 고장건수 및 고장시간이 아주 적은 편 이었다.

Table 21 The list of wind turbine repair in total at Taebaek wind farm for 2013 - 2014

호기	고장건수	고장 일수/시간	가동률	비 고
1	4	53/1,272	92.7	
2	3	16.8/404	97.6	
3	3	47.3/1,137	93.5	
4	2	0.6/15	99.5	
5	4	11.7/281	98.3	
6	2	14.8/356	97.9	
7	2	5.8/139	99.2	
8	5	15.4/370	97.8	
9	3	23.1/554	96.8	
합 계	28	188.7/4,528	97.0	

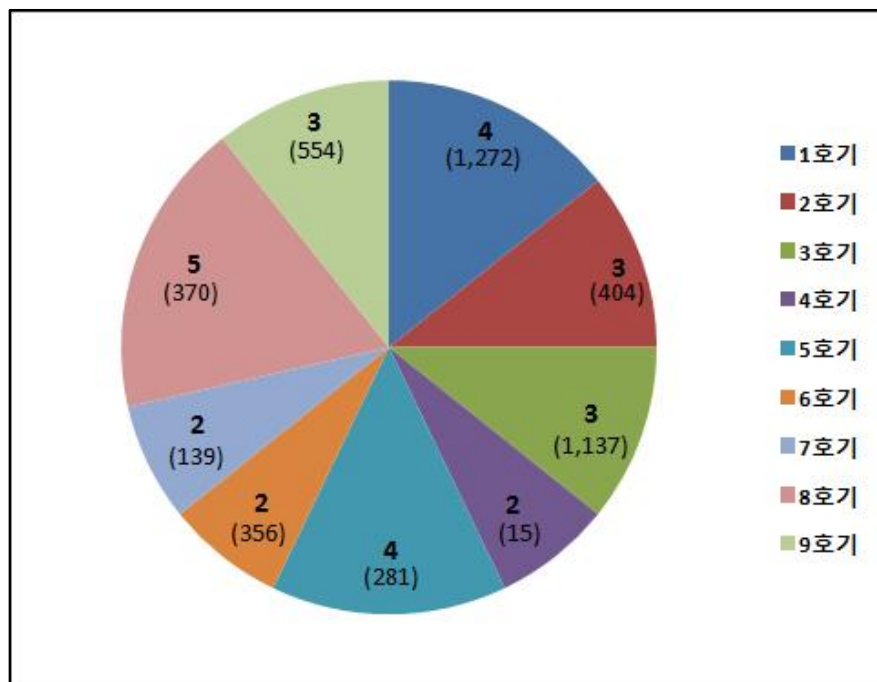


Fig. 26 The number of wind turbine repair and down time in total at Taebaek wind farm for 2013-2014

(6) 2013 ~ 2014년 태백풍력 세부 고장 내역

2013 - 2014년 태백풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 22 그리고 Fig 27 및 28과 같다. 기기별로는 전기장치, 유압시스템, 발전기, 요잉계통 순으로 고장건수가 많았으며 상태별로는 단선, 오동작, 과열순으로 나타나고 있었다.

Table 22 The number of wind turbine repair in total at Taebaek wind farm for 2013-2014

기 기 상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	0	1	0	0	0	0	1
유압시스템	1	1	1	0	2	1	0	6
기어박스	0	2	0	1	0	0	0	3
발전기계통	0	0	0	3	1	1	0	5
브레이크시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
윤활유시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
전기장치	0	0	0	3	3	0	0	6
냉각시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
요잉계통	0	0	0	1	0	3	0	4
변압기	0	0	1	0	0	0	0	1
전용선로	0	0	0	0	0	0	1	1
기타	0	0	1	0	0	0	0	1
합 계	1	3	4	5	5	4	0	28

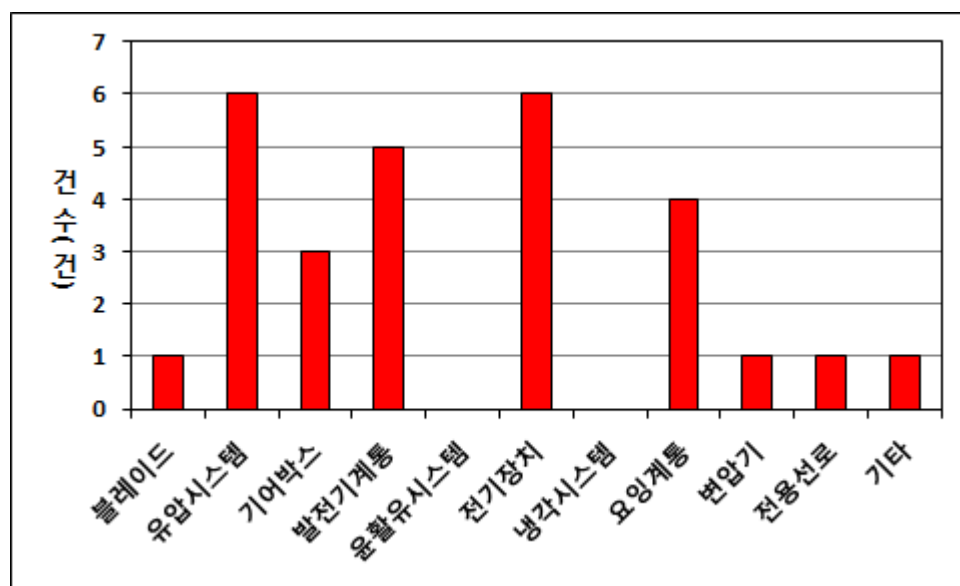


Fig.27 The number of wind turbine repair depending on components in total at Taebaek wind farm for 2013-2014



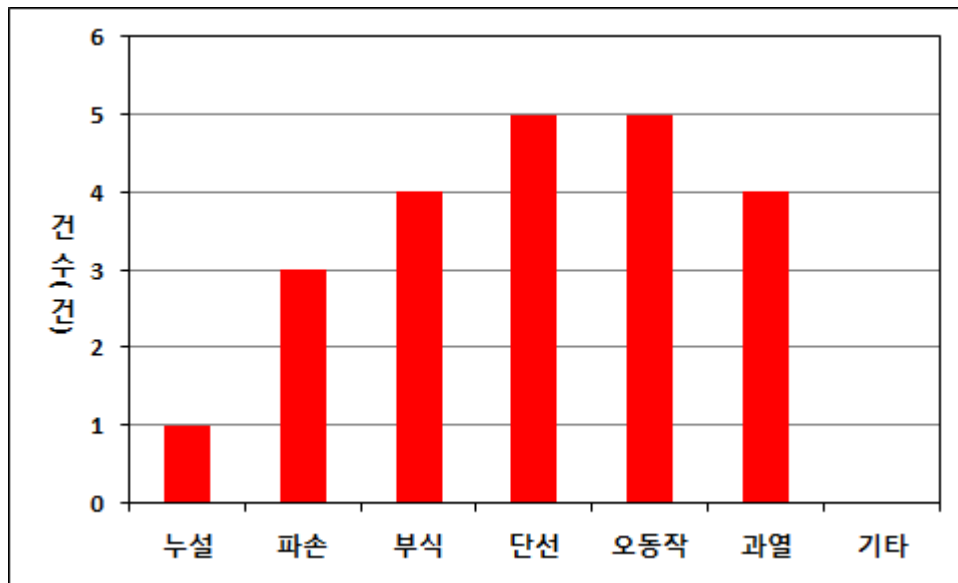


Fig.28 The number of wind turbine repair depending on the cause in total at Taebaek wind farm for 2013-2014

### 3) 창죽 풍력

#### (1) 2013년 기기별 고장내역

2013년 창죽풍력 주요 고장내역은 Table 23과 같으며 고장건수는 2호기가 가장 높게 나타나고 있다.

Table 23 The list of wind turbine repair at Changjuk wind farm for 2013

호기	고장건수	고장 일수/시간	기기명	고장원인
1	1	8/192	전기장치	슬립링 손상
2	2	3.7/89	전기장치	퓨즈 손상
3	1	0.3/6	전기장치	케이블 단선
4	1	3.8/91	요잉계통	케이블 탈락
5	1	11/264	발전기계통	발전기베어링 손상
6	1	0.2/5	요잉계통	클리퍼패드 마모
7	1	0.3/6	요잉계통	케이블 단선
8	1	0.3/7	전기장치	케이블 단선
합 계	9	27/660		

(2) 2013년 창죽풍력 세부 고장 내역

2013년 창죽풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 24 그리고 Fig 29 및 30과 같다. 기기별로는 전기장치, 요잉계통 순으로 고장이 많이 발생하고 있으며 상태별로는 과열, 단선 순이었다.

Table 24 The number of wind turbine repair at Changjuk wind farm for 2013

기기 \ 상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	0	0	0	0	0	0	0
유압시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
기어박스	0	0	0	0	0	0	0	0
발전기계통	0	0	0	0	0	1	0	1
브레이크시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
윤활유시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
전기장치	0	0	0	2	0	2	0	4
냉각시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
요잉계통	0	1	0	1	0	1	0	3
변압기	0	0	0	0	0	0	0	0
전용선로	0	0	0	0	0	0	0	0
기타	0	1	0	0	0	0	0	1
합 계	0	2	0	3	0	4	0	9

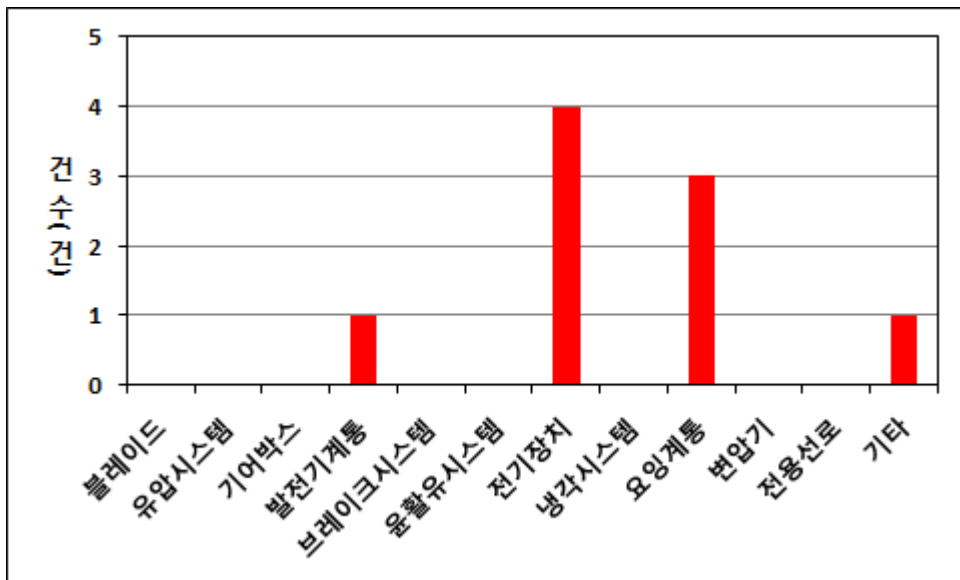


Fig.29 The number of wind turbine repair depending on components at Changjuk wind farm for 2013

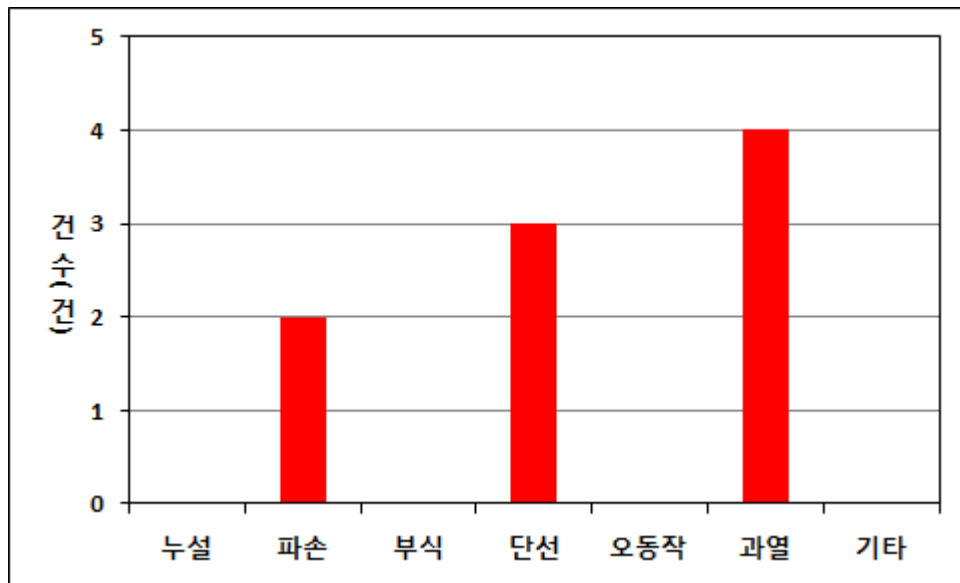


Fig.30 The number of wind turbine repair depending on the cause at Changjuk wind farm for 2013

(3) 2014년 기기별 고장 내역

2014년 창죽풍력 주요 고장내역은 Table 25와 같으며 고장건수는 6, 7호기가 많고 고장시간은 8, 6호기 순이었다.

Table 25 The list of wind turbine repair at Changjuk wind farm for 2014

호기	고장건수	고장 일수/시간	기기명	고장원인
1	1	0.2/5	요잉계통	케이블단선
2	1	2.1/50	요잉계통	케이블단선
3	1	1.4/34	기어박스	기어박스 누유
4	1	0.2/5	요잉계통	클리퍼패드 마모
5	1	1/24	전기장치	낙뢰에 의한 불량
6	2	4.0/96	유압계통	유압밸브 손상
7	2	3.7/89	전기장치	케이블 및 컨택터 불량
8	1	4.4/105	요잉계통	클리퍼 패드 파손
합 계	10	17/408		

(4) 2014년 창죽풍력 세부 고장 내역

2014년 창죽풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 26 그리고 Fig 31 및 32와 같다. 기기별로는 요잉계통이 고장건수가 높게 나타나고 있고 상태별로는 과손, 단선, 오동작 순 이었다.

Table 26 The number of wind turbine repair at Changjuk wind farm for 2014

기기 \ 상태	누설	과손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	0	0	0	0	0	0	0
유압시스템	0	1	0	0	0	0	0	1
기어박스	1	0	0	0	0	0	0	1
발전기계통	0	1	0	0	0	0	0	1
브레이크시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
윤활유시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
전기장치	0	1	0	0	1	0	0	2
냉각시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
요잉계통	0	1	0	2	0	1	0	4
변압기	0	0	0	0	0	0	0	0
전용선로	0	0	0	0	0	0	0	0
기타	0	0	0	0	1	0	0	1
합 계	1	4	0	2	2	1	0	10

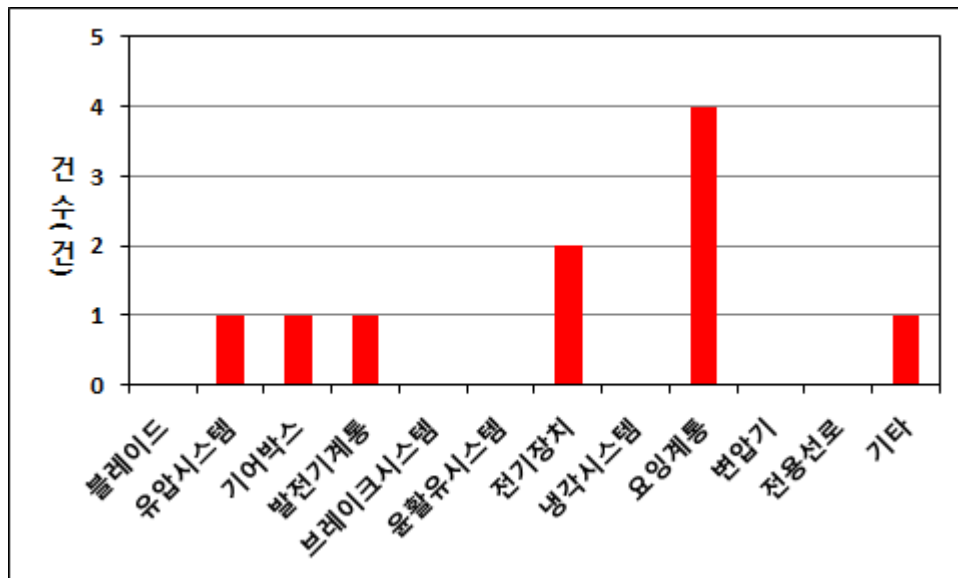


Fig. 31 The number of wind turbine repair depending on components at Changjuk wind farm for 2014

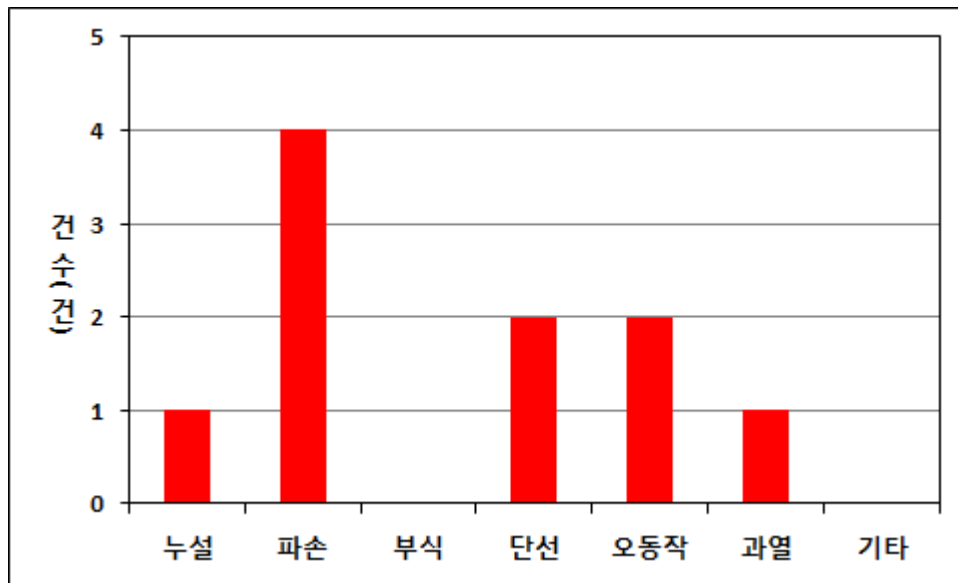


Fig. 32 The number of wind turbine repair depending on the cause at Changjuk wind farm for 2014

(5) 2013년 ~ 2014년 창죽풍력 고장시간 종합

2013년에서 2014년 까지 2년 동안 태백풍력 주요 고장내역은 Table 27 및 Fig. 33과 같다. 2, 6, 7호기에서 고장건수가 많고 고장시간은 5, 1호기 순으로 많았다.

Table 27 The list of wind turbine repair in total at Changjuk wind farm for 2013 - 2014

호기	고장건수	고장 일수/시간	가동률	비 고
1	2	8.2/197	98.8	
2	3	5.8/139	99.2	
3	2	1.6/40	99.5	
4	2	4.0/96	99.4	
5	2	12.0/288	98.3	
6	3	4.2/101	99.4	
7	3	3.9/95	99.1	
8	2	4.6/112	98.7	
합 계	19	44/1,068	99.0	

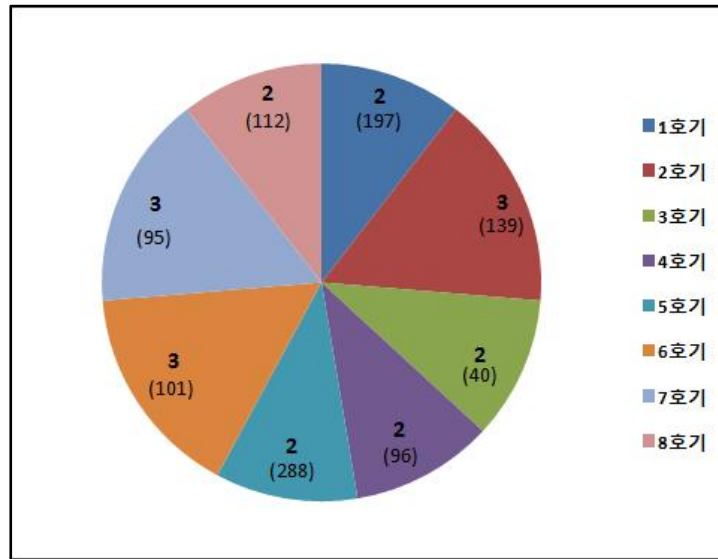


Fig. 33 The number of wind turbine repair and down time in total at Changjuk wind farm for 2013-2014

(6) 2013 ~ 2014년 창죽풍력 세부 고장 내역

2013년 -2014년 창죽풍력 기기별 및 상태별 고장건수는 Table 28 그리고 Fig 34 및 35와 같다. 기기별로는 요잉계통, 전기장치에서 상태별로는 파손, 단선, 과열순으로 고장건수가 많았다.

Table 28 The number of wind turbine repair in total at Changjuk wind farm for 2013-2014

기기 \ 상태	누설	파손	부식	단선	오동작	과열	기타	합계
블레이드	0	0	0	0	0	0	0	0
유압시스템	0	1	0	0	0	0	0	1
기어박스	1	0	0	0	0	0	0	1
발전기계통	0	1	0	0	0	1	0	2
브레이크시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
윤활유시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
전기장치	0	1	0	2	1	2	0	6
냉각시스템	0	0	0	0	0	0	0	0
요잉계통	0	2	0	3	0	2	0	7
변압기	0	0	0	0	0	0	0	0
전용선로	0	0	0	0	0	0	0	0
기타	0	1	0	0	1	0	0	2
합계	1	6	0	5	2	5	0	19

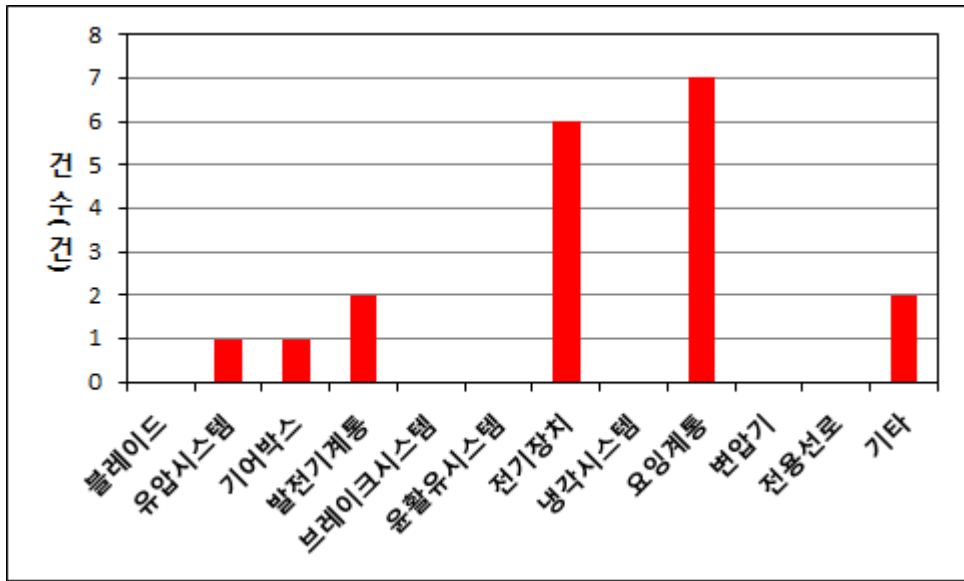


Fig. 34 The number of wind turbine repair depending on components in total at Changjuk wind farm for 2013-2014

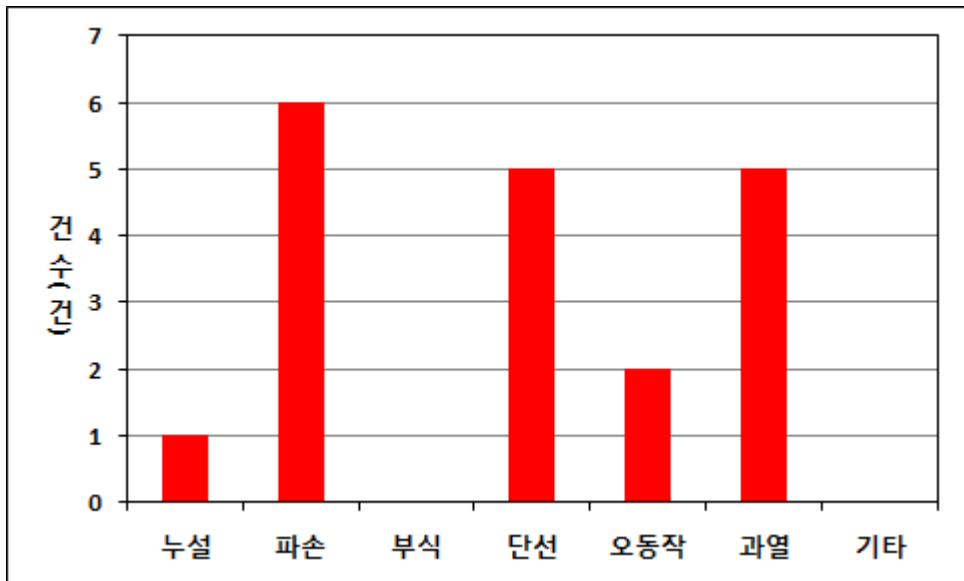


Fig.35 The number of wind turbine repair depending on the cause in total at Changjuk wind farm for 2013-2014

## 2. 풍력단지별 풍력발전기 정비비 분석

### 1) 풍력단지별 정비 현황

유지 관리를 위하여 환경1,2 단계 및 성산풍력은 2011년부터 경상용역을 시행하고 있고 태백 및 창죽풍력은 별도로 경상용역을 수행하고 있으며 단지별 정비현황은 Table 29와 같다.

Table 29 Maintenance and repair plan of wind farms studied

년도 단지	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	
환경1단계	하자보증(4년)			자체정비			경상용역					
환경2단계					하자보증(2년)		자체	경상용역				
성산 풍력							하자보증(2년)		경상용역			
태백 풍력										하자/경상		
창죽 풍력										하자/경상		

### 2) 풍력단지별 정비비 현황

풍력단지별 MW당 정비비 현황은 Table 30 및 Fig. 36과 같다. 환경1단계는 2004년에 준공 후 2007년 까지 하자보증 시기에는 정비비가 적었다. 이후 우리나라에서 처음으로 3년간 자체정비를 실시하였고, 그 기간 중에 주요 작업은 기어박스, 슬립링, 유압매니폴드 및 브레이크 패드 교체건 등이 있었고 2011년이 지나면서 요기어, 액추에이터 매니폴드, 유압호스, 차단기 교체건 등이 있어서 정비비가 급증하였으며 2013년에는 발전기 및 기어박스 손상 등으로 정비비가 가장 많이 들었다.

환경2단계는 2007년에 준공하여 하자보증기간 2년을 거친 후 2010년에 자체정비를 실시했지만 정비비는 낮았으며 이후 슬립링, 프로포셔널밸브, 피치매니폴드, 요기어, 발전기베어링, 전원공급장치, 차단기 교체 등으로 2012년부터 급상승하였다.

성산풍력은 2010년에 준공 후 자체정비 없이 바로 2011년부터 경상용역을 시행하였으나 2013년까지는 준공된지 얼마되지 않아서 정비비가 낮다가 2014년부터 변압기, 발전기 리드와이어, 스키팩, 슬립링 및 오일펌프 교체 등으로 정비비가 증가하였다.

환경1단계는 MW당 정비비는 2013년보다 2012년이 정비비가 적었지만 2012년 발전량이 메인베어링 손상, 기어박스 기초 부식 손상으로 적어 MWh당 정비비는 Fig. 37과 같이 가장 높았다. 환경2단계 및 성산풍력은 년도별 MWh당 정비비는 MW당 정비비와 유사한 Fig. 37과 같다.

그리고 Fig. 38 좌측 그림인 LI M&R 정비비를 토대로 하여 환경1, 2단계 및 성산풍력단지를 근거로 년도별 MWh당 평균정비비를 Fig. 38 우측 그림과 같이 나타냈다.[18-22]

태백 및 창죽풍력 정비비는 준공된지 2년 이내로 하자보증기간중이어서 이 연구에서는 포함하지 않았다.



Table 30 Repair cost of wind farms

(천원/MW)

년도	한경1단계 (6MW)	한경2단계 (15MW)	성 산 (20MW)	대 백 (18MW)	창 죽 (16MW)	비고
2011	22,842	120	850	-	-	
2012	35,050	9,342	1,416	-	-	
2013	40,093	8,337	1,686	-	-	
2014	33,523	8,364	13,745	-	-	
계	131,508	26,163	17,697	-	-	

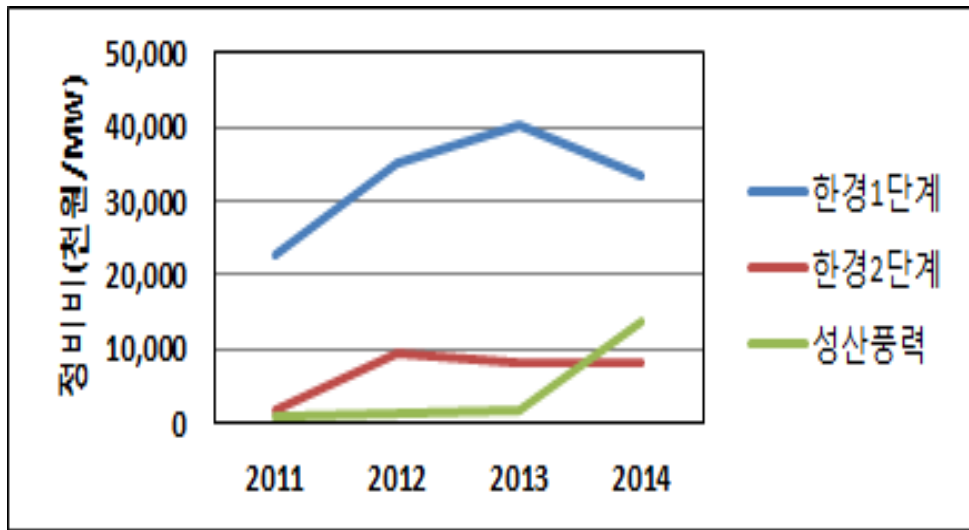


Fig. 36 Repair cost with MW of wind farms

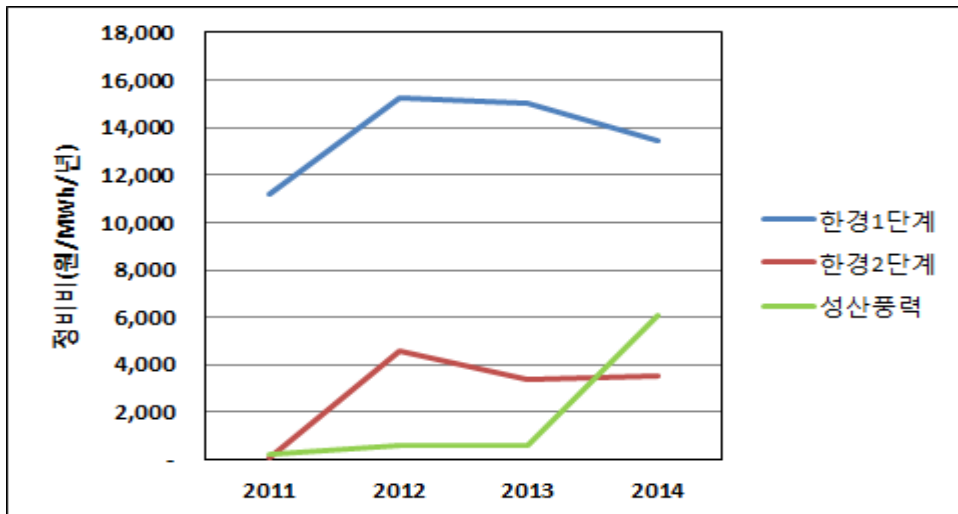
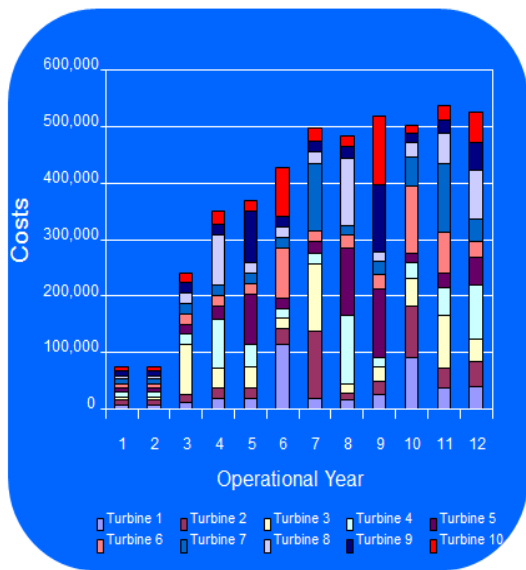
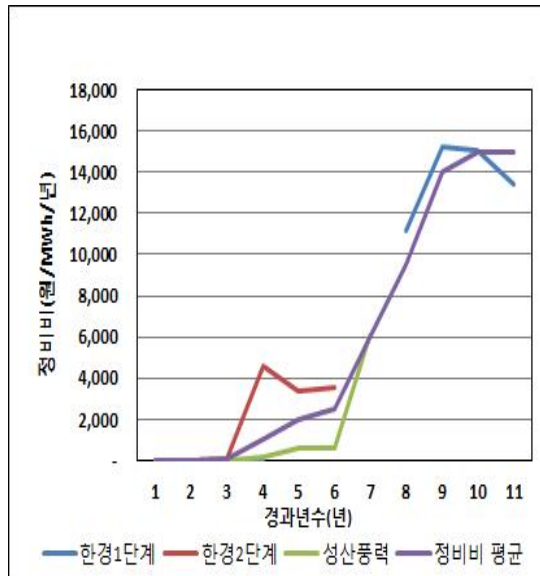


Fig. 37 Repair cost with MWh of wind farms



source : LI M&R Costs



Source: 한경1단계(6MW)한경2단계(15MW),성산풍력(20MW)

Fig. 38 Average repair cost with MWh according to time from operated year (left : LI real Maintenance and Repair cost of wind farms, right : Real average repair cost of wind farms with operational year in this study)

### 3) 운영년수별 정비비 예측

운영년수별 정비비는 Fig. 39와 같을 것으로 예측된다.

#### (1) 하자기간

- 단지마다 다르며 통상 2 - 5년 이다.
- 보증기간으로 단지 예방 점검 및 유지보수단계로 정비비는 거의 없음

#### (2) 하자기간 이후

- 처음에는 정비비가 상승 곡선을 그리며 운영년도가 8 - 10년 지나면 정비비가 최대가 될것이다.

#### (3) 수명년도 근접

- 최소한 정비비만 들며 새로운 신규 투자는 하지않음

### 4) 정비비 예측 모델 제안

LI M&R Forecast Model을 참고하여 이 연구에서 Repair Cost Forecast Model을 Fig. 39와 같이 제안한다.

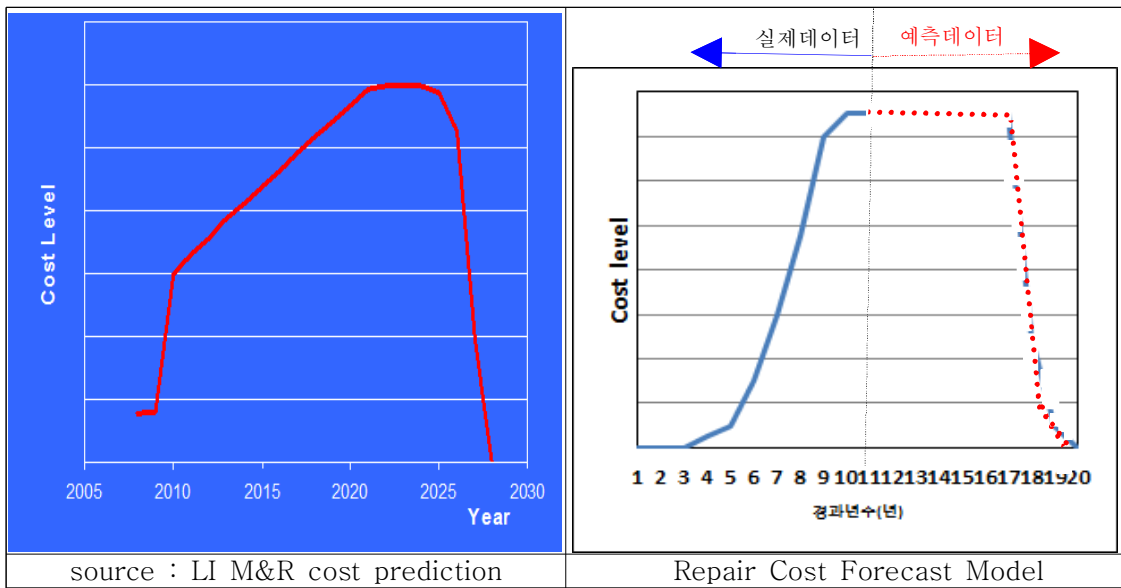


Fig. 39 Repair Cost Forecast Model (left : LI Maintenance and Repair cost model, right : Repair cost model proposed in this study)

### 3. 풍력발전기 제작사 및 풍력발전기 배치에 따른 고장 경향 분석

#### 1) 풍력발전기 제작사 현황

이 연구에서 분석한 풍력터빈 제작사 현황은 Table 31과 같다.

Table 31 The list of Wind Turbine Manufacturers

제작사	모 델	준공 년도	용 량 (MW)	단위용량 (MW)	대 수	설치 단지	비고
Neg-Micon	NM72C	2004	6	1.5	4	제주 한경	외자
Vestas	V90	2007	15	3	5	“	“
	V80	2009	20	2	10	제주 성산	“
현대중공업	HQ2000	2012	24	2	12	강원도 태백/창죽	국산
효성중공업	HS90	2012	10	2	5	강원 태백	“
계			75	-	36		

#### 2) 2011년 - 2014년 한경풍력단지(Neg-Micon/Vestas) wind rose

5 - 9호기 SCADA 데이터로부터 분석된 2011년 - 2014년 한경풍력 단지 통합 바람 장미는 Fig. 40과 같으며 한경 1 - 4호기도 유사하다. 주풍향은 남풍이다.

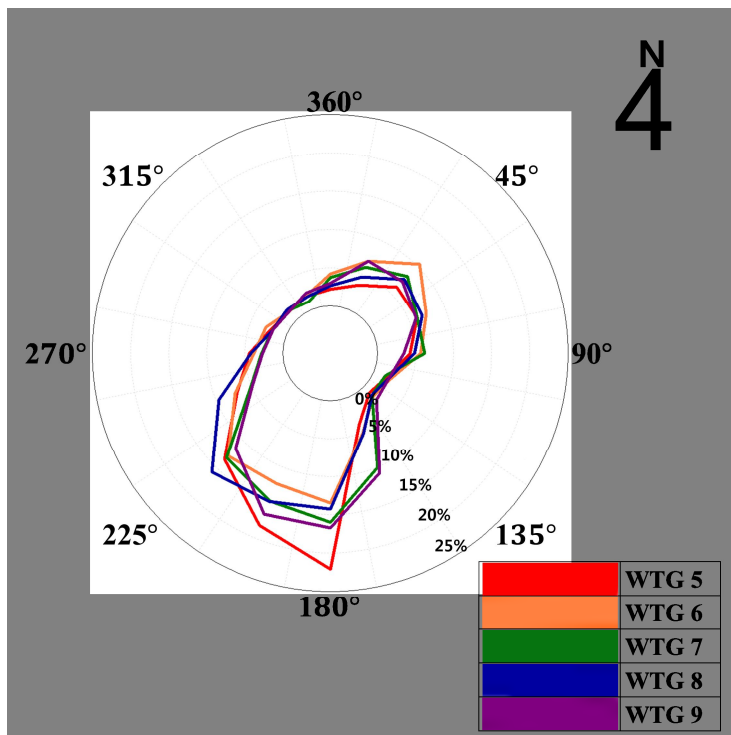


Fig. 40 Wind rose of Hankyung wind farm for 2011-2014

3) 2011년 ~ 2014년 Neg-Micon NM72C 고장경향  
 한경풍력 1 - 4호기이며 2011년에서 2014년 까지 4년 동안 Neg-Micon 고장건수 및 시간은 Table 32 및 Fig. 41과 같다.[23-26]

Table 32 The list of Neg-Micon NM72C wind turbine repair for 2011-2014

호기	고장건수	고장시간	다빈도 고장 기기(1/2순위)
1	99	1,015	유압계통 / 요잉계통
2	68	3,479	유압계통 / 요잉계통
3	73	448	유압계통 / 전기장치
4	104	1,425	유압계통 / 전기장치
소 계	343	6,367	

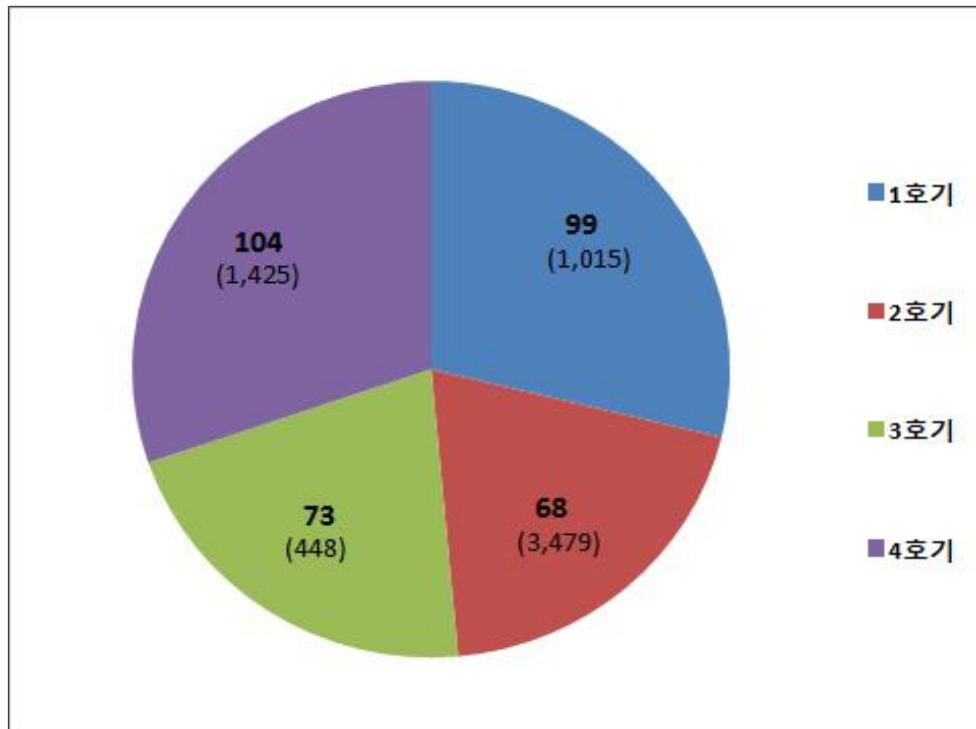


Fig. 41 The number of Neg-Micon wind turbine repair and down time in total for 2011-2014

4) 2011년 - 2014년 Vestas V90 고장경향  
 한경풍력 5 - 9호기이며 2011년에서 2014년 까지 4년 동안 Vestas V90 고장건수 및 시간은 Table 33 및 Fig. 42와 같다.

Table 33 The list of Vestas V90 wind turbine repair for 2011-2014

호기	고장건수	고장시간	다빈도 고장 기기(1/2순위)
5	73	6,296	하부기초, 발전기
6	57	3,426	발전기, 전기장치
7	59	621	전기장치, 유압계통
8	54	287	전기장치, 발전기
9	75	478	발전기, 전기장치
합 계	318	11,108	

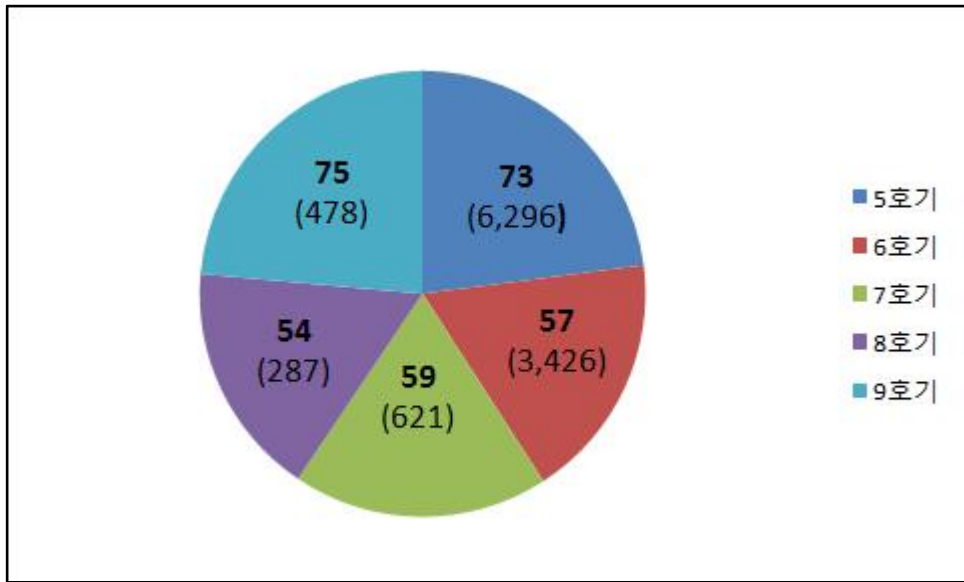


Fig. 42 The number of Vestas V90 wind turbine repair and down time in total for 2011-2014

5) Neg-Micon NM72C & Vestas V90 고장경향 종합

한경풍력단지의 Neg-Micon NM72C & Vestas V90 고장 건수/시간 및 다빈도 1 위 고장내역은 Fig. 43과 같다. NM72C는 유압계통, 요잉계통 및 전기계통에서 V90 은 전기장치 및 발전기에서 문제가 많았다. 그리고 풍력 발전기의 배치에 따른 고장추세는 별로 없었다.

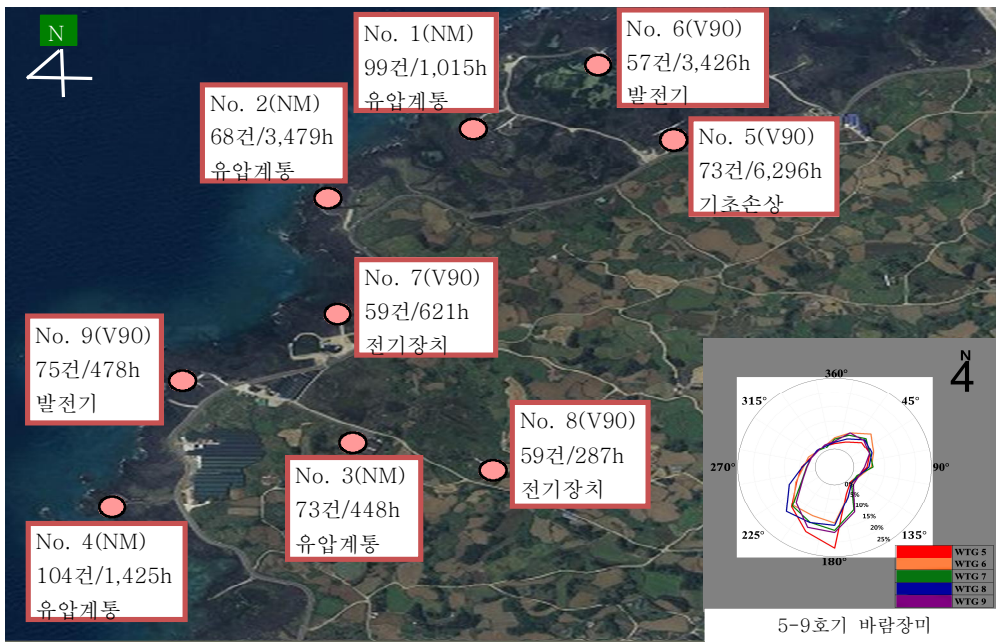


Fig. 43 The most frequent wind turbine failure at Hankyung wind farm for 2011-2014

6) 성산풍력 단지의 2011년 - 2014년 종합 Vestas V80 사이트 바람장미 성산풍력 6 - 10호기 SCADA 데이터로부터 분석된 2011년 - 2014년 4년간 바람장미는 Fig. 44와 같으며 주풍향은 북서풍이다.

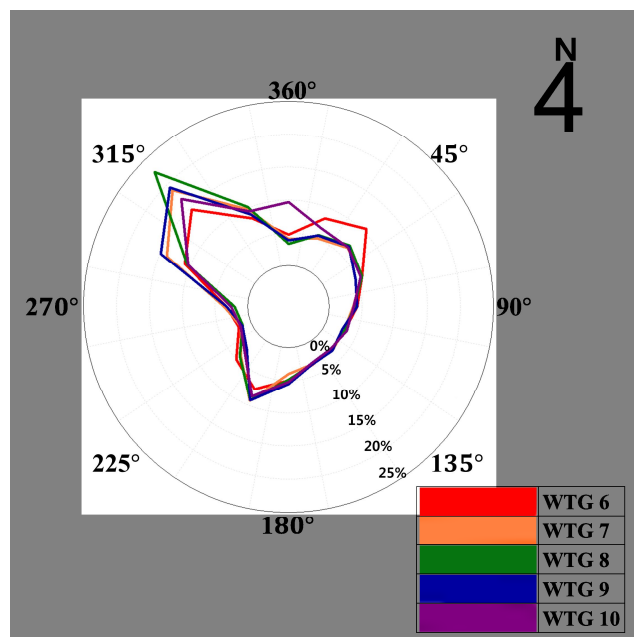


Fig. 44 Wind rose of Sungsan wind farm for 2011-2014

7) 2011년 - 2014년 Vestas V80 고장 경향

2011년에서 2014년 까지 4년 동안 호기별 Vestas(주) V80 고장내역은 Table 34 및 Fig. 45와 같다.

Table 34 The list of Vestas V80 wind turbine repair for 2011-2014

호기	고장건수	고장시간	다빈도 고장 기기(1/2순위)
1	37	788	변압기, 전기장치
2	38	975	발전기, 전기장치
3	36	3,378	유압계통, 요기어
4	34	640	전기장치, 변압기
5	43	5,088	하부기초, 변압기
6	40	1,856	변압기, 전기장치
7	27	350	전기장치, 변압기
8	26	490	발전기, 전기장치
9	27	946	변압기, 전기장치
10	22	244	변압기, 전기장치
소 계	330	14,745	

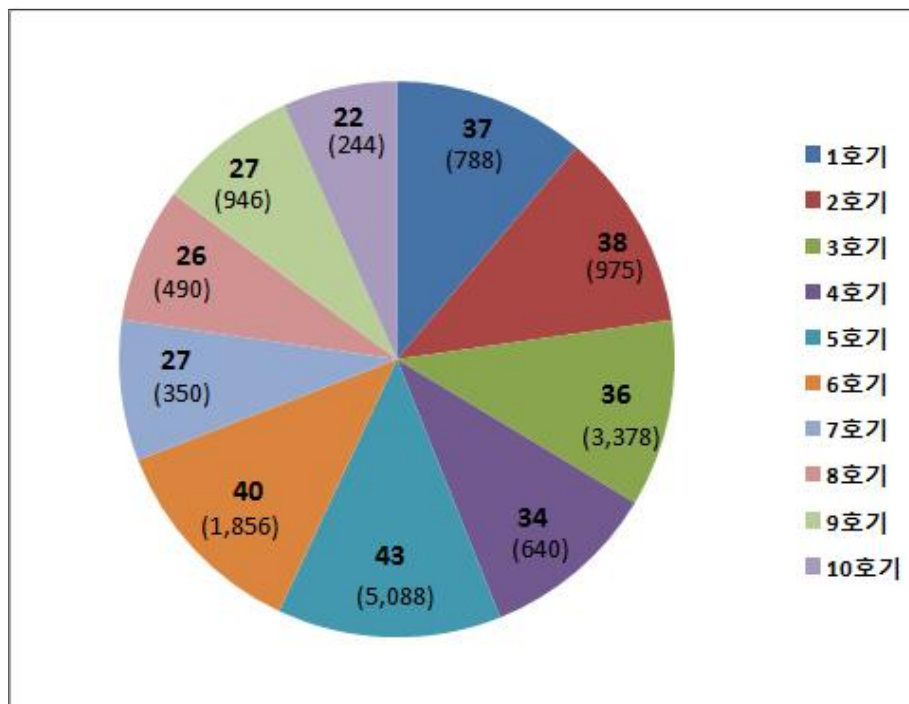


Fig. 45 The number of Vestas V80 wind turbine repair and downtime in total for 2011-2014



8) 성산풍력 단지의 Vestas V80 고장경향 종합

풍력 발전기 배치에 따른 V80의 고장 건수/시간 및 다빈도 1위 고장내역은 Fig. 46과 같다. 전체적으로 V80 단지는 변압기 손상이 제일 많았으며 발전기 및 전기장치 에서 고장이 많이 발생하였음을 알 수 있다. 그리고 3호기는 유압배관 손상으로 계속적으로 누유가 되어 설비개선이 된 사례이다. 또한 풍력발전기 배치에 따른 고장추세는 별로 없었다.

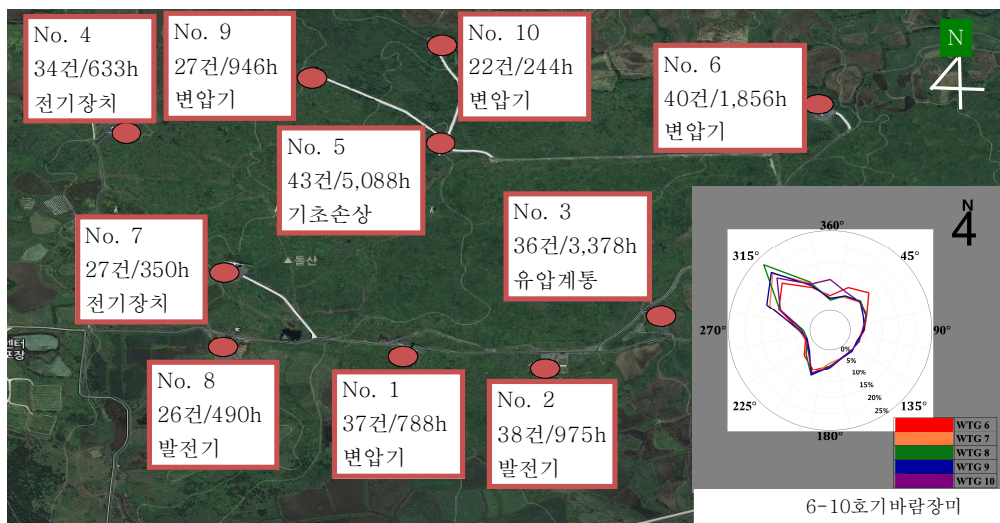


Fig. 46 The most frequent wind turbine failure at Sungsan wind farm for 2011-2014

9) 2013년 - 2014년 현대중공업(주) HQ2000\_2MW급 고장경향 종합

태백, 창죽풍력단지에서 운영중인 현대중공업(주) HQ2000 고장내역은 Table 35, Fig 47 & Fig. 48과 같으며 발전기 및 요잉계통 에서 고장 빈도가 가장 높았다. 그리고 풍력발전기 배치에 따른 고장추세는 별로 없었다.

Table 35 The list of HQ2000 wind turbine repair for 2013-2014

호기	고장건수	고장시간	다빈도 고장기기(1 순위)
태백 4	2	15	발전기
태백 5	4	281	요잉계통
태백 6	2	356	전기장치
태백 9	3	554	발전기
창죽 1	2	197	발전기
창죽 2	3	139	요잉계통
창죽 3	2	40	증속기
창죽 4	2	96	요잉계통
창죽 5	2	288	발전기
창죽 6	3	101	요잉계통
창죽 7	3	95	전기장치
창죽 8	2	112	요잉계통

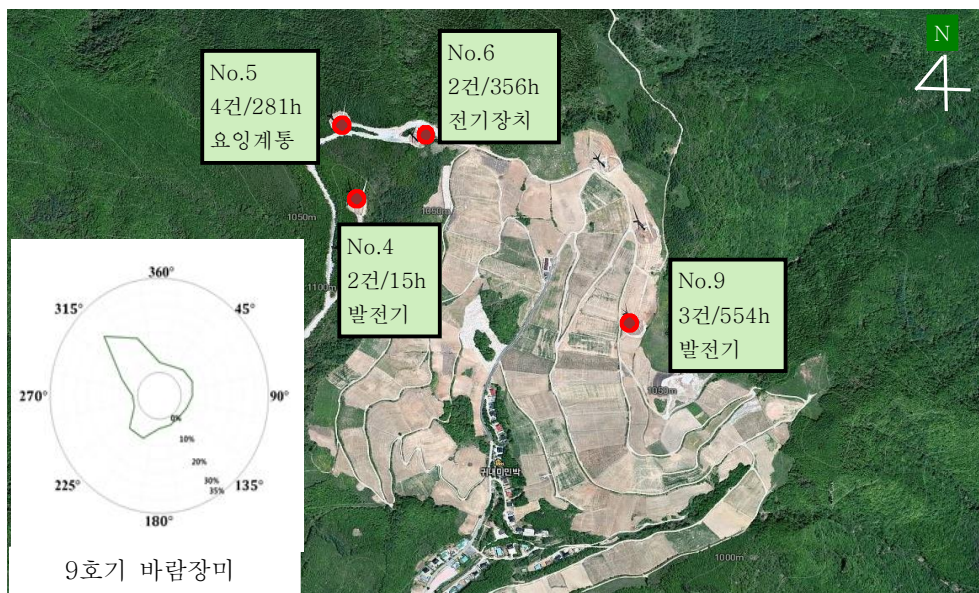


Fig. 47 The most frequent wind turbine failure at Taebaek wind farm for 2013-2014

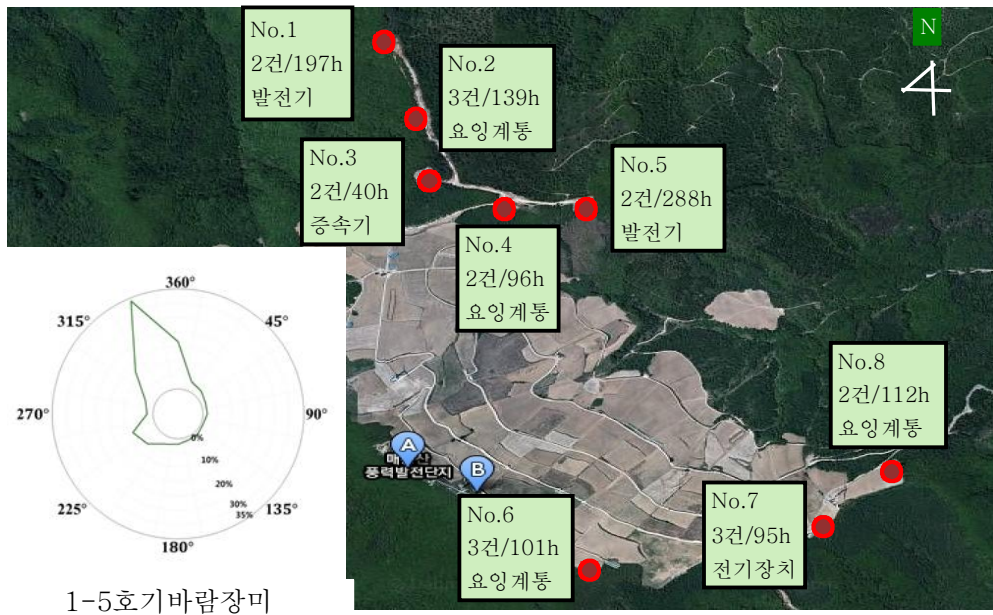


Fig. 48 The most frequent wind turbine failure at Changjuk wind farm for 2013-2014

10) 효성중공업(주) HS90\_2MW급 고장경향 종합

태백풍력단지의 효성중공업 HS90 풍력발전기는 Table 36 및 Fig. 49에서 보여주는 것처럼 증속기 및 발전기계통에서 고장빈도가 높았다. 그리고 풍력발전기의 배치에 따른 고장추세는 별로 없었다.

Table 36 The list of HS90 wind turbine repair for 2013-2014

호기	고장건수	고장시간	다빈도 고장기기(1순위)
태백 1	4	1,272	증속기
태백 2	3	404	발전기
태백 3	3	1,137	증속기
태백 7	2	139	요잉계통
태백 8	5	370	발전기

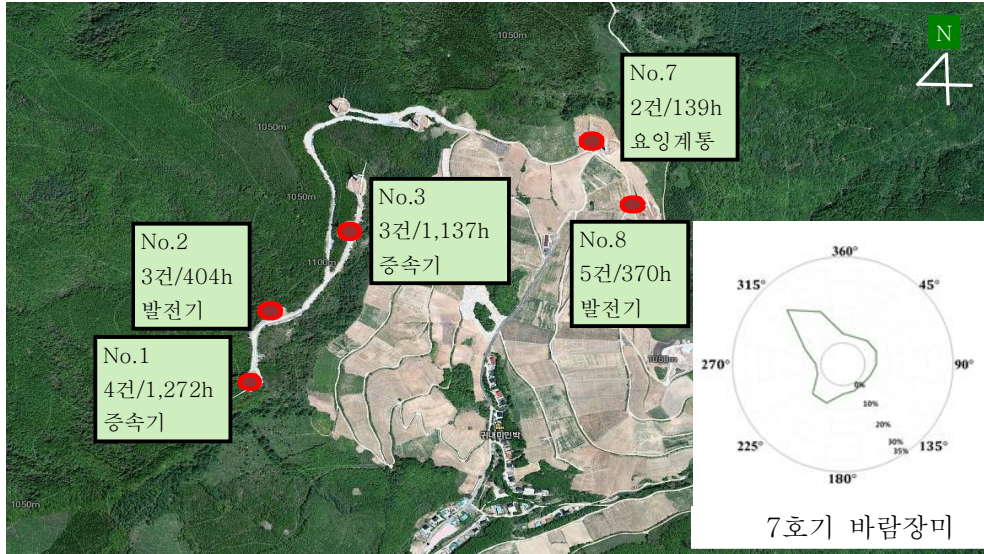


Fig. 49 The most frequent wind turbine failure at Taebaek wind farm for 2013-2014



## V. 결 론

### 1) 풍력 단지별 고장내역

성산풍력단지에서 2011년에서 2014년 까지 4년 동안 5, 6호기에서 고장건수가 가장 많았고 고장시간은 5, 3, 6호기 순으로 많았다. 세부 고장내역은 기기별로는 전기장치, 변압기, 유압시스템, 냉각시스템, 요잉계통 순으로 많았고 상태별로는 단선, 오동작, 과손순으로 많이 발생하였다.

태백풍력단지에서 2013년에서 2014년 까지 2년 동안 8, 1, 5호기 순으로 고장이 많이 발생했으며 고장시간은 1, 3호기 순으로 길었다. 기기별로는 전기장치, 유압시스템, 요잉계통순으로 고장이 많이 발생했으며 상태별로는 단선, 오동작, 과열순으로 많이 나타났다.

창죽풍력단지는 2013년에서 2014년 까지 2년 동안 2, 6, 7호기에서 고장건수가 많았고 고장시간은 5, 1, 2호기 순으로 길었다. 기기별로는 요잉계통, 전기장치에서 고장이 많이 발생했고 상태별로는 과손, 단선, 과열순으로 고장이 많았다.

### 2) 풍력단지별 풍력발전기 정비비 예측

한경풍력단지 1, 2단계 및 성산풍력단지 운영기간 중 년도별 정비비는 처음에는 거의 정비비가 없다가 3 - 5년을 지나면서 급격하게 상승하였으며 8 - 9년에는 최대정비비가 나타났다. LI M&R forecast model에 근거하여, 그 이후 풍력발전기를 폐지하기 1 - 2년 전까지 최대 정비비가 지속될 것으로 예측된다.

### 3) 풍력발전기 제작사 및 풍력발전기 배치에 따른 고장 추세

Neg-Micon(주) 기종인 NM72C는 유압계통에서 압도적으로 고장건수가 많았다. Vestas(주) 기종인 V80은 변압기 손상이 제일 많았고 그 다음으로 발전기 및 전기장치에서 고장이 많이 발생했으며 V90은 전기장치 및 발전기에서 고장이 많았다.

현대중공업(주) HQ2000은 발전기 및 요잉계통에서 고장 빈도가 가장 높았고 효성중공업(주) HS90 풍력발전기는 증속기 및 발전기계통에서 고장빈도가 높았다. 그리고 연구대상 풍력단지에서 운영중인 풍력발전기의 배치에 따른 고장추세는 특별히 없는 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Morten Dyrholm, Vestas & Green Growth, wind energy Asia 2013 Conference & Exhibition, 2013
- [2] Bettink service team, Customer Service & Overseas Maintenance, 2013  
풍력설비 운영 및 정비기술 세미나
- [3] Romax wind energy overview, [www.romaxwind.com](http://www.romaxwind.com)
- [4] GL Garrad Hassan, Wind Farm Availability vs Efficiency, [gl-garradhassan.com](http://gl-garradhassan.com)
- [5] LI M&R Cost of Wind Farm
- [6] 일본 풍력발전 이용률 향상 조사위원회 및 고장사고 등 조사위원회
- [7] 산업통상자원부, 2014 “제4차 신재생에너지 기본계획”
- [8] 제주특별자치도, 2012, “제주특별자치도 풍력발전 종합관리계획”
- [9] 김귀식, 정지현, 풍력발전기의 사고 발생요인의 분류, 한국동력기계공학회지, 2015.
- [10] I. S. Yang, S. W. Kim and N. H. Kyong, 2005, "A Classification of the Wind Turbine Accident", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No. 4, pp. 29-35.
- [11] 고경남, 강문중, 허종철, “행원풍력발전단지에서 풍력발전시스템의 운전특성”, 한국태양에너지학회 논문집, 2007
- [12] E&E Solutions Inc., 2009. 06, "Analysis and Countermeasure of Faults on the Wind Turbine of NEDO", No. 9 Seminar on using Wind Power Energy, pp. 69-80.
- [13] "Summary of Wind Turbine Accident data to 31 December 2014", CWIF 2014.
- [14] Romax Technology V80 wind Turbine Failure Analysis
- [15] Liang, Long-jun;Choi, Chang;Zhang, Qi;Xu, Zhe-Zhu;Lyu, Sung-Ki, "Study on bearing life Calculation for Wind Turbine Gearbox", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, vol. 13, iss. 5, 2014, pp. 21-27.
- [16] Byon, Jae-Young;Kang, Mi-Sun;Jung, Hyun-Sook, "Evaluation of Wind Turbine Efficiency of Haengwon Wind Farm in Jeju", Journal of the Korean earth science society, vol. 34, iss. 7, 2013, pp. 633-644.
- [17] Marsh George, The challenge of wind turbine blade repair, Renewable Energy Focus Vol. 12 No. 4 62p ~ 66p

- [18] 신유립, Structural integrity assessment of maintenance stand for wind turbine, 순천대학교, 석사학위논문 2015년
- [19] Chia Chen Ciang, Jung-Ryul Lee, Hyung-Joon Bang, Structural health monitoring for a wind turbine system: a review of damage detection methods, Measurement Science and Technology Vol. 19 No. 12 0957-0233
- [20] Christopher S. Gray, Simon J. Watson, Physics of Failure approach to wind turbine condition based maintenance, Wind Energy Vol. 13 No. 5 395p ~ 405p , 2010
- [21] 薛岭, 張杰, Xue Ling, Zhang Jie, Inspection, Maintenance and Repair of Composite Material Wind Turbine Blade, Wind Energy Vol. 0 No. 7 92-95 1674-9219, 中國電子信息產業發展研究院, 2012년
- [22] P. Schuh, D. Schneider, L. Funke, K. Tracht, Cost-optimal spare parts inventory planning for wind energy systems, Logistics Research Volume 8, Number 1 1-8 1865-035X, 2015년
- [23] yang Ma, Chengbing He, Xinxin Feng, Institutions Function and Failure Statistic and Analysis of Wind Turbine, Physics Procedia Vol. 24 25p ~ 30p 1875-3892
- [24] 張鎮, 關書強, Zhang Zhen, Guan Shuqiang, An Analysis of Wind Turbine Fault Statistics, Wind Energy Vol. 0 No. 8 68-71 1674-9219, 中國電子信息產業發展研究院, 2013년
- [25] 양달승, 환경, 성산풍력 단지 개발 및 운영사례와 향후 발전 방향, Wind Energy Asia 2015, Conference & Exhibition
- [26] 양달승, “제주도와 강원도의 낙뢰특성 및 풍력발전예의 영향 비교“, 제주대학교, 산업대학원 석사학위논문 2014년

## 감사의 글

산업대학원 풍력공학과 과정을 2년반 동안 5학기에 걸쳐 마치게 됨을 개인적으로 기쁘게 생각하며 그동안 도움을 주신 분들께 감사드립니다.

풍력공학부의 고경남 교수님의 논문지도와 방향설정이 있었기에 본 논문을 무사히 마칠 수 있게 되었습니다. 처음 논문을 쓰면서 교수님의 지도가 큰 도움이 되었을 뿐만아니라 발표과정에서 관심덕분에 손쉽게 발표 자료를 작성할 수 있었으며 풍력공학과 교수님들의 가르침에 감사드립니다. 이번 논문을 쓰면서 많은 도움을 준 주범철원생 및 그 외 일반대학원생들 또한 많은 도움을 주었습니다. 제일먼저 남부발전 이상호 사장님께서 대학원에서 풍력에 관련하여 배워보라고 권해서 무사히 마칠 수 있을까하고 생각하면서 다니게 되었는데 벌써 졸업이라고 생각하니 감회가 새롭습니다. 사장님 이하 남부발전(주) 직원들의 관심과 배려에 매우 감사하게 생각하며 특히 남제주화력 소장님 및 팀 직원들의 도움이 절대적이었습니다. 논문을 쓰는 과정에서 적극적으로 도움을 준 삼달풍력, 제주에너지공사 및 태백 창죽풍력 관계자들에게도 깊은 감사를 드립니다.

또한 산업대학원 특성상 야간에 같이 수업을 받으면서 대학원생간 우의가 있었기에 무사히 졸업 논문을 쓸 수 있게 되었고 많은 도움을 주었기에 가능한 것 같습니다. 그리고 가정에 시간을 많이 할애하지 못한 것에 대하여 가족들에게 미안함을 느끼며 계속 간직하면서 가정에 충실하려고 합니다.

옆에서 도와주신 많은 분들께 일일이 감사드리지 못함을 송구스럽게 생각하며 앞으로 풍력에 대하여 계속적으로 관심을 가져서 내 자신을 더 업그레이드 될 수 있도록 노력하겠습니다.

감사합니다.

2015. 12

김 태 완