

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 25, No. 4, 2005

풍력발전기에서 발생하는 사고의 원인에 대한 분류

양인선*, 김석우**, 경남호***

*한국에너지기술연구원(krs99@nate.com), **한국에너지기술연구원(wemins@kier.re.kr),
***한국에너지기술연구원(nhkyong@kier.re.kr)

A Classification of the Wind Turbine Accident

Yang, In-Sun*, Kim, Seok-Woo**, Kyong, Nam-Ho***

*Korea Institute of Energy Research(krs99@nate.com),
**Korea Institute of Energy Research(wemins@kier.re.kr),
***Korea Institute of Energy Research(nhkyong@kier.re.kr)

Abstract

Wind turbines can produce an unpolluted electricity getting energy only from the natural resource. It is one of the most economic power generating system among renewables up to now. Currently, there are many wind turbines in operation world-wide under various external conditions. A wind turbine is composed of many machine components. So it is likely that the many accidents have been occurred in many wind turbines. In this paper, we reviewed "Wind turbine Accident data" of Caithness Windfarms Information Forum 2005. We classified this data and analyzed. The most of wind turbines in our country are foreign product. It is like that application it is possible with information which is important for wind farm operations and maintenance and for the wind turbine design and manufacturing.

Keywords : Caithness Windfarms Information Forum(CWIF), 풍력발전기사고(Wind Turbine Accident)

1. 서 론

풍력발전은 자연 상태의 무공해 에너지원으로 현재 기술로 대체에너지원 중 가장 경제성이 높은 에너지원으로서 바람의 힘을 회전력으로 전환시켜 발생하는 전력을 전력계통이나 수요자에 직접 공급하

게 된다. 풍력발전 시스템은 무한정의 청정에너지인 바람을 동력원으로 함으로서 기존의 화석연료 등을 이용한 발전방식과 달리 발열에 의한 열 공해나 대기오염 등과 같은 문제가 없는 무공해 발전을 할 수 있다.

우리나라도 세계기후변화협약과 같은 국제 환

경의 변화와 유가상승, 그리고 국내 사용에너지의 96%를 수입에 의존하고 있는 현실적인 문제에 대응하기 위하여 풍력발전과 같은 대체 에너지 원에 대한 많은 관심과 기술개발이 필요하다.

국내에서도 1988년 이후로 풍력발전 기술 분야의 기술개발이 이루어 졌으며, 현재 까지 국내의 여러 곳에 풍력발전 단지가 건설되어 가동 중에 있다.¹⁾

본 논문은 스코틀랜드 동북부에 위치한 Caithness 주에서 개최되는 Caithness Windfarms Information Forum(이하 CWIF)에 발표된 1970년대부터 2005년까지 정리된 풍력발전기의 사고 유형을 토대로 하였다. 이 자료²⁾³⁾에서는 세계의 풍력발전 단지에서 발생한 사고에 대해 정리하였고, 비교적 규모가 큰 풍력발전단지에서 발생한 여러 사고에 대해 종류별, 연도별로 분류되어 정리되었다(단, 이 자료는 CWIF에서 발표되고 정리된 내용이므로 전 세계 통계치는 아니다).

국내에서도 최근 큰 규모의 풍력발전 단지들이 조성되고 있다. 이 자료를 바탕으로 풍력발전 단지에서 발생하는 여러 안전사고에 대해 미리 알아봄으로서 사고를 미리 예방하는데 귀중한 자료가 될 수 있을 것이다.

2. 유형별 분류

풍력발전기에서 발생한 사고 데이터는 1975년부터 2005년까지 약 30년간 262건으로 정리되

- 1) 풍력발전 자원조사연구 '국내 풍력발전기 보급 현황', 한국 에너지기술연구원, 2004.11.
- 2) Caithness Windfarms Information Forum
http://www.caithnesswindfarms.co.uk/pages/accidentData_June2005.htm
- 3) Accident Data List
http://members.aol.com/fswemedien/ZZUnfalldatei_97_99.htm
http://members.aol.com/fswemedien/ZZUnfalldatei_00_02.htm
<http://members.aol.com/fswemedien/ZZUnfalldatei.htm>

었다. 그 중에서 가장 많은 분포를 차지한 것은 블레이드의 손상이었고, 다음으로 구조 손상, 화재, 인명사고 순이었다(표 1 참조).

이러한 사고에 대해 자세히 알아보고, 사고 원인과 사고 처리가 어떠한 식으로 이루어지는 지도 확인해 본다.

표 1. 1975~2005년간 풍력발전기 사고 내역

원 인	사 고 수 (건)	빈 도 (%)
블레이드 손상	85	32.5
구조적 손상	45	17.2
화 재	37	14.1
인명 사고	36	13.7
Ice로 인한 손상	23	8.8
구성요소 결함	9	3.4
도로에서 사고	7	2.7
환경오염	6	2.3
기계 결함	4	1.5
기 타	10	3.8
계	262	100

2.1 블레이드 고장 및 손상

풍력발전기 사고에서 가장 큰 빈도를 보인 것은 블레이드 부분이다. 여러 기술의 복합체인 풍력발전기의 요소 중에서도 블레이드는 고속 회전을 하는 회전체이다. 따라서 사고의 위험에 가장 많이 노출되어 있고, 사고가 발생되더라도 가장 위험한 부분이이기도 하다.

블레이드에 손상을 주는 원인(표 2 참조) 중 가장 큰 영향을 주는 것은 폭풍이다. 강한 바람은 안전장치가 있음에도 불구하고 블레이드를 손상시킨다(그림 1 참조). 바람에 의해 파괴된 블레이드는 파편이 긴 거리까지 날아가기 때문에 더 위험하게 된다. 블레이드 파편이 600m나 날아가서 근처 인가의 지붕이나 도로에 떨어져 2차 사고로 이어지는 경우가 있다는 보고도 있다. CWIF에 따르면, 풍력발전단지의 근처에는 가급적 인가를 비롯한 사람이 거주하는 시설은 건설하지 말라고 권고하고 있었다.

또한 많은 빈도를 차지하는 것은 낙뢰사고 이

다. 최근 풍력발전기의 용량이 커지면서 블레이드 크기와 함께 타워의 높이도 커지고 있다. 지상에서 100m 이상의 높이로 건설되는 풍력발전기도 많다. 물론 낙뢰의 위험을 보호하기 위해 피뢰침이 설치되지만, 이 보호 장치는 주로 너셀(Nacelle)에 부착되기 때문에 블레이드 끝 부분이 더 높게 올라가게 되면, 블레이드에 낙뢰를 맞을 확률이 더 많게 된다.

블레이드가 낙뢰를 맞게 되면, 블레이드 손상은 물론 화재를 발생시키고 다른 기계장치에도 영향을 주게 된다. 그래서 낙뢰에 대한 풍력발전기의 보호가 필요하다. 1996년 독일에서 발표된 보고서에 따르면⁴⁾, 독일에서 발생한 1992년부터 1995년까지 393건의 낙뢰 중 124건이 풍력발전기에 직접 떨어졌다고 한다.

표 2. 블레이드 고장 및 파손 사고

원 인	사 고 수 (건)	빈 도 (%)
폭풍, 강풍	25	29.4
낙뢰	21	24.7
기계 결함	3	3.5
혹한	1	1.2
타워 충돌	1	1.2
원인 불명	34	40.0
계	85	100



그림 1. 폭풍으로 파손된 블레이드⁵⁾

4) "External Conditions for Wind Turbine Operation- Results from the German '250MW Wind Programm e'", M Durstewitz, et al, European Union Wind Energy Conference, Goeteborg, May 20-24, 1996.

그밖에도 혹한이나 충돌에 의한 사고와 원인이 밝혀지지 않은 사고도 40%를 보이고 있다. 원인 불명이 많은 이유는 풍력발전기들이 무인 설비가기 때문에 관리자가 상주하지 않는다. 그래서 사고시에 현장에 사람이 없기 때문에 정확한 사고 원인을 밝히지 못하는 사고가 많다.

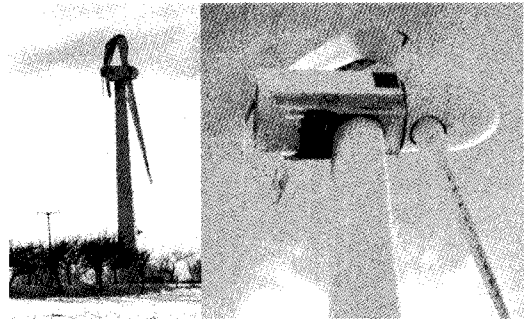


그림 2. 낙뢰로 파손된 블레이드⁶⁾

2.2 구조적 손상으로 인한 사고

구조적 손상은 블레이드 이외의 다른 부분이 내부적 또는 외부적 원인으로 구조에 손상을 주어 피해를 발생시킨 것을 의미한다.

구조 손상(표 3 참조)도 역시 회전체인 로터 쪽에 사고가 많았으며, 타워도 큰 빈도를 차지했다. 로터에서 발생하는 손상은 폭풍이나 화재로 인해 타워에서 분리되어 떨어져 나간 경우와 내부적인 기계 부품들의 고장으로 발생한 사고가 있었다. 이러한 사고는 타워에도 영향을 주어서 타워자체도 무너져 내리는 사고가 발생했다. 그 밖의 원인은 기계 손상, 화재, 전기장치 손상 등 주로 내부에서 발생한 사고가 타워나 블레이드에 영향을 주어 터빈 전체 구조에 손상을 가하기도 했다.

5) 독일, Dörenhagen bei Paderborn, NEG-Micon 750kW, 폭풍으로 블레이드가 파손, 5.5톤의 블레이드 하나가 30m까지 날아감. 2002/03/13.

6) 독일, Zobes, NED Wind 40m high, 낙뢰로 인해 블레이드가 손상되고, 화재 발생, 너셀 고장, 블레이드 하나는 구부러지고, 하나는 떨어짐. 2003/12/23.

표 3. 구조적 손상으로 인한 사고

원 인	사 고 수 (건)	빈 도 (%)
로 터	14	31.1
타 워	12	26.7
기계 손상	7	15.6
화 재	4	8.9
전기 장치	3	6.7
유압 장치	1	2.1
기 타	4	8.9
계	45	100

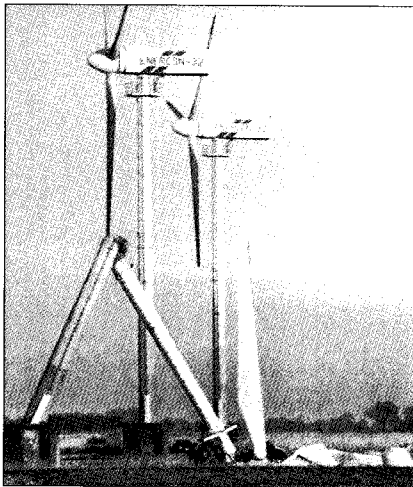


그림 3. 구조 손상으로 파손된 사고⁷⁾



그림 4. 구조 손상으로 파손된 사고⁸⁾

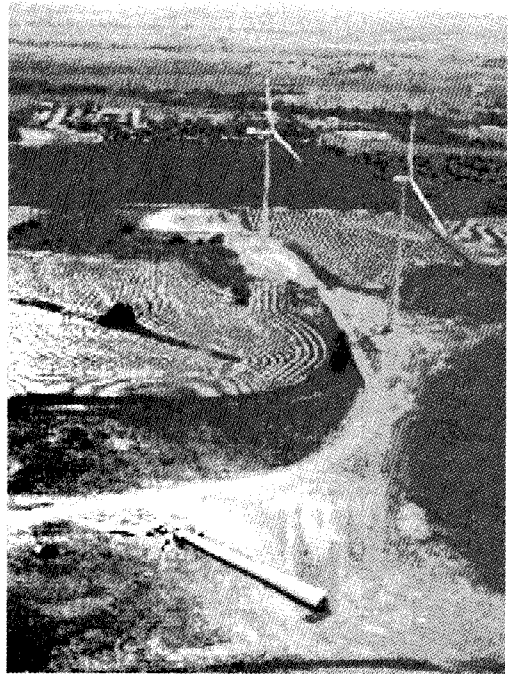


그림 5. 구조 손상으로 파손된 사고⁹⁾

2.3 화재로 인한 손상

풍력발전기에서 화재는 여러 가지 원인(표 4 참조)으로 발생한다. 낙뢰로 인한 화재는 외부의 원인으로 발생하는 사고 중의 하나이다. 내부적으로 기계 결함이나 브레이크 과열 등이 있다. 이 화재 사고에서는 원인 불명이나 정확한 원인을 찾지 못한 것들도 많이 있다.

풍력발전기에서 발생하는 사고는 대부분 진화에 어려움을 발생 시킨다. 그 이유는 기술이 발전할수록 타워가 높아지기 때문이다. 그래서 화재가 발생해도 자연적으로 화재가 꺼지기를 기다릴 수밖에 없다. 이러한 이유로 일단 화재가 발생하면 많은 피해가 발생하게 된다. 화재로 인해 구조 전체가 무너지기도 하고, 주변으로 화재 파편이나 유독가스가 퍼져 더 많은 피해를 발생하기도 한다.

7) 독일, Wittmund, Enercon E32. 터빈이 갑자기 무너져 내림, 유사한 터빈 44기를 정지시킴. 2000/02/10.

8) 독일, Schneeberg, Kirchheimbolanden, Vestas V80 2MW, 불완전한 용접으로 타워가 완전히 무너짐. 2002/12/18.

9) 미국, Windrad in Oklahoma, 블레이드가 타워와 부딪히면서 타워도 함께 무너짐. 2005/06/03.

표 4. 화재로 인한 손상

원 인	사 고 수 (건)	빈 도 (%)
낙뢰	8	21.6
결함	4	10.8
원인 불명	3	8.1
과열	2	5.4
기타	20	54.1
계	37	100

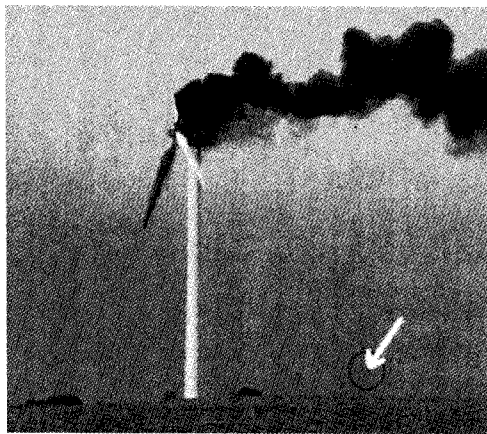


그림 6. 화재로 인한 사고¹⁰⁾



그림 7. 화재로 인한 사고¹¹⁾

10) 독일, Wulfshagen/Tüttendorf Kreis Rendsburg-Eckemförde/Schleswig-Holstein, NEC-Micone 2MW, 터빈에 낙뢰보호 장치가 있었음에도 불구하고, 낙뢰로 화재 발생, 64m의 높이라서 진화가 어려워 주위를 통제하고 지켜보기만 함. 2004/06/09.

11) 독일, Wulfshagen/Tüttendorf Kreis Rendsburg-Eckemförde, NEG-Micon, 화재로 거의 2백만 유로 손실 입음. 높이 때문에 진화에 어려움. 2005/05/16.

2.4 인명 사고

풍력발전기에서 발생하는 인명사고는 대부분 넷셀이나 타워에서 작업을 하다가 추락하는 사고이다. 주로 터빈의 설치 및 수리 시에 발생한다. 타워의 높이가 점점 높아지기 때문에 그만큼 추락의 위험도 높아지고 있다. 표 5에서도 보듯이 CWIF에 보고된 사망자만 8명이나 된다. 대부분 안전장치 없이 타워에 오르다가 발생한 사고이다. 그 외에도 브레이크를 해놓지 않고 작업을 하다가 로터가 회전하면서 사고가 발생하기도 했으며, 전기장치 설치 및 보수 시에 감전사고도 일어났다. 특이사항으로는 비행 중에 타워에 부딪치는 사고도 있었다.

표 5. 인명사고

원 인	사 고 수 (건)	빈 도 (%)
사 망	8	22.2
부 상	28	77.8
계	36	100

2.5 Ice로 인한 손상 및 사고

Ice로 인한 사고는 혹한으로 블레이드나 넷셀 쪽에 얼음이 생겼다가, 터빈이 움직이면서 그 얼음 파편들이 주위로 떨어져 발생하는 사고를 말한다. CWIF에 보고된 내용 중 총 23건의 Ice 사고가 있었다.

보고된 내용 중에 이러한 얼음 조각이 최대 130m 까지 날아갔다는 보고도 있었다. 또한 크기도 커서, 50cm이상 되는 얼음 조각이 14건(60%)이나 보고되었다. 이러한 얼음 조각들이 주위의 도로까지 날아가서 차량이 통제 되는 경우도 발생하기도 했다. 핀란드에서 2003년 발표된 보고서에 따르면¹²⁾ 독일에서 발생한 1990년부터 2003년까지 Ice사고 880건 중에 해안선

12) `A Statistical Evaluation of Icing Failures in Germany's `250MW Wind `Programme-Update 2003, M Durstwitz, BOREAS VI 9-11 April 2003 Pyhäntunturi, Finland.

이나 저지대의 경우가 33%, 산악지역은 67%로 나타났다.

2.6 구성 요소의 손상 및 사고

로터와 타워를 제외한 구성요소 중 가장 많은 손상을 입는 것은 기어박스이다. 기어박스는 로터가 회전하면서 발생하는 기계적 에너지를 발전기로 연결해 준다. 그러므로 기계적인 마찰이나 마모로 인해 항상 사고가 발생할 수 있는 조건을 가지고 있다. 이러한 구성 요소의 손상은 앞에서 언급한 여러 사고들에 비해 피해가 적은 편이다. 그래서 수리 시간도 빠른 편이다. 그러나 발전이 정지되기 때문에 전력을 공급 받는 곳에 피해를 줄 수 있다.

표 6. 구성요소의 손상

원 인	사 고 수 (건)	빈 도 (%)
기어 박스	6	66.7
유압 장치	1	11.1
기계 장치	1	11.1
전기 장치	1	11.1
계	9	100

2.7 도로에서 발생한 사고

도로에서 발생하는 사고는 주로 타워를 건설지까지 수송하는 도중에 발생하는 것이 대부분이다. 즉, 운전 부주의로 인해 주변의 시설물들을 손상시키거나 다른 차량 또는 인명 피해도 발생시킨다. 이러한 수송 중에 사고를 발생 시키면, 길이

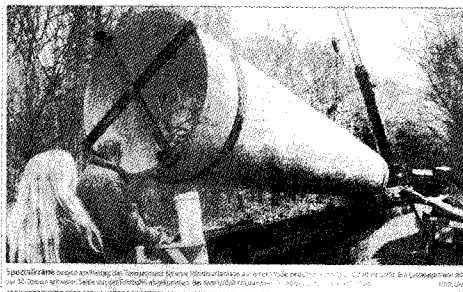


그림 8. 도로에서 발생한 사고¹³⁾

와 무게 때문에 사고 처리가 무척 힘들게 된다. 그래서 주변의 도로를 장시간 차단시켜 통행에 불편을 주기도 한다.

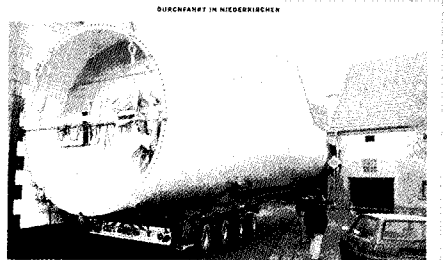


그림 9. 도로에서 발생한 사고¹⁴⁾

2.8 환경오염 사고

환경오염은 주로 기계 장치에서 사용하는 오일이 누출되어 발생 한다. 풍력발전기는 회전을 하는 회전체로서 여러 기계장치들의 복합적인 결합으로 이루어져 있다. 따라서 이러한 기계장치들이 부드럽게 움직일 수 있도록 많은 오일이 필요하다. 또한 풍력발전기는 관리자가 없이도 전력 생산을 할 수 있기 때문에 이러한 오일 누출을 늦게 발견하는 경우가 많다. 그러므로 오일 누출에 대비한 안전장치가 필요하다.

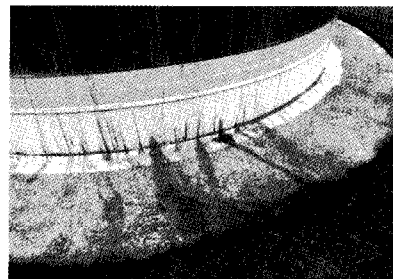


그림 10. 오일 누출로 인한 사고¹⁵⁾

- 13) 독일, Hersfeld/Huenfeld, 56톤에 달하는 터빈이 수송 중 차량에서 떨어지는 사고 발생. 2002/11/15
- 14) 독일, Niederkirchen bei St.Wendel/Saarland, 46m의 터빈을 수송 중에 짐을 틀어 받는 사고. 2004/11/25.
- 15) 독일, Schluechtern Hohenzell in the Main Kinzig circle/Hessen, WindWorld 600kW, Hydraulic oil의 누출로 주변 대지가 오염, 심각한 환경오염 우려. 2005/01/07.

이러한 오일 누출은 주위의 대지오염에 큰 영향을 미친다. 특히 주변지역이 상수원 보호 구역일 때는 그 피해는 더욱 커지게 된다. 이러한 오일은 항상 점검해서 누출 피해를 막도록 해야 한다.

2.9 기 타

그 밖의 사고로는 기계 결함, 전기장치, 설치 공사 시에 발생한 사고 등이 있었다. 이러한 사고들은 블레이드나 타워에 발생하는 사고보다는 그 빈도나 영향이 적은편이지만, 충분히 예방할 수 있는 사고 다. 자연재해로 인한 사고는 피할 수 없지만, 사람의 실수나 기계적인 결함으로 발생하는 사고는 예방책을 충분히 연구하고 주의하면 이러한 사고를 줄이는데 효과가 있을 것이다.

3. 결 론

지금까지 2005년 CWIF에서 발표된 풍력발전기의 사고 내역에 대해서 정리하였다. 이 자료는 CWIF에 발표되었던 자료를 정리한 것이다. 대부분 규모가 큰 풍력발전단지에서 발생되었던 사고들이다. 이 사고 자료에서 보면, 풍력발전기가 강풍이나 낙뢰에 크게 취약한 것을 알 수 있다. 이러한 강풍이나 낙뢰 시에 블레이드가 가장 많은 손상을 입었다. 최근 풍력발전기의 규모가 커지면서 블레이드 직경과 타워의 높이도 같이 증가하고 있다. 블레이드의 직경이 커지면서 무게 또한 증

가되는데, 이러한 블레이드 손상이 다른 구조물의 손상, 특히 타워붕괴로 이어질 수도 있다. 그만큼 구조물 전체의 안전 대책이 필요하다.

최근 국내에서도 풍력발전 단지가 대규모화 되고 있다. 국내에 설치되고 있는 대규모의 풍력발전기 또한 외국의 제품들이 많은 실정이다. 앞에서 정리한 사고 자료를 바탕으로 국내 풍력발전단지에서 운용 하는데 활용한다면 사고 예방에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 한국에너지관리공단 기술개발본부가 지원한 "풍력발전 성능 평가 기준 기반 구축 연구"의 일부로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Caithness Windfarms Information Forum, Wind Turbine Accident Data, David Craig, 2005.06.30.
2. Wind Energy-The reath of Life or the Kiss of Death: Contemporary Wind Mortality Rates, Vol.14, No.4, Paul Gipe, 2001.10.
3. 풍력발전 자원조사 연구, pp.43-50, 한국에너지기술연구원, 2004.11.