

동아시아지역의 풍황 조건 고찰과 새로운 풍력발전기 개발 필요성

A Study on East Asia Wind Condition for wind turbine and A Need for developing New Type Wind turbine

김성주*
Kim Sung Ju

I. 서론

풍력발전 시스템이란 바람이 가지고 있는 운동 에너지를 로터 블레이드를 통해 기계적 회전력으로 변환시키고, 이를 이용하여 발전기를 구동시켜 전기 에너지를 생산하는 방식의 발전 시스템을 의미한다. 부존 에너지 자원들의 고갈이 다가오고 있는 현실과 UN 기후변화협약의 구체적 실천 지침인 도교의정서 발효에 대한 대응방안으로서 풍력발전과 같은 신재생 에너지 관련 기술 개발의 필요성이 전세계적으로 절실하게 대두되고 있는 실정이다.

이미 유럽 및 미국 등 선진국에서는 1960년대부터 비교적 빠른 기술개발 속도를 보이며 시스템 대형화를 서둘러 진행해 왔다. 현재 유럽 풍력발전 시스템 제작 업체 중심으로 3,000kW까지 상용화되어 보급이 진행중이다. 또한 유럽지역의 특성상 인구밀도가 높고 최근 들어 풍력발전 시스템에 대한 환경문제가 대두되는 현실에 맞추어 육상보다는 육지에서 가까운 바닷가에 설치하는 해상 풍력발전 시스템 개발에 대한 연구가 집중적으로 진행되고 있다.

아시아 지역에서는 인도, 중국, 한국 및 일본 등의 국가를 중심으로 최근 활발하게 풍력발전 시스템의 기술개발과 대형화에 박차를 가하고 있다.

가까운 일본의 경우 1970년대부터 국가와 대기업이 앞장서 집중적으로 풍력 시스템에 대한 기술개발을 진행해왔으나 자국 내 풍황 조건을 고려하지 않고 기존 외국 풍력발전 시스템과 동일한 형태가 가지는 문제점에 의해 결과적으로 실패하였다. 그 후 2000년대에 접어들어 동아시아 풍황 조건을 고려한 새로운 풍력발전 시스템의 개발에 몰두하고 있는 실정이다.

국내에서는 대체에너지개발촉진법에 따라 1988년부터 기본계획을 수립하여 본격적인 기술개발을 수행해온 결과 현재 준대형급 기술개발을 마치고 2MW급 풍력발전 시스템 기술개발이 진행되고 있으나 설계와 제작 시 동아시아 지역 풍황 조건을 고려하지 않는다는 문제점이 내포되어 있다.

이처럼 현재 대부분의 풍력발전기가 설치되어 운용되는 유럽지역과는 달리 동아시아 지역은 지형이 복잡하고 태풍등과 같은 풍력발전기를 운용하기에 매우 불리한 조건을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 풍력발전 시스템을 설계, 설치 및 운용을 위해 필수적으로 고려해야 할 사항들에 대해 고찰하고, 동아시아 지역의 기상학적, 지리적 특수성에 의해 나타날 수 있는 문제점을 사례를 통해 소개하고, 이를 극복할 수 있는 새로운 형태의 풍력발전 시스템의 필요성을 강조하고자 한다.

II. 본론

1. 풍력발전 시스템 설치를 위한 조건

1) 풍황 조건

바람의 운동 에너지를 전기 에너지로 변환하는 풍력발전 시스템을 설계 및 설치하는데 있어 가장먼저 고려해야할 것은 설치지역 바람의 질(Quality)이다.

* 김성주, 서남대학교 컴퓨터응용수학과, 063-213-9876, sjk1113@yahoo.com

현재 일반적인 풍력 발전기는 최소 약 5m/s에서 최대 25m/s의 풍속 범위에서 운용을 하고 있다. 이는 최소 풍속 이하의 바람에서는 바람의 운동에너지와 실제 풍력발전 시스템의 효율을 고려할 때 매우 낮은 전력이 생산되며, 최대 풍속 이상의 바람에서는 시스템 구조물의 안정성을 보장하지 못하기 때문이다.

풍력 발전기가 얻을 수 있는 출력(P)는 아래와 같이 풍속(V_0)의 세제곱에 비례한다.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_0^3 C_p \quad (\text{식 1})$$

여기에서 ρ 는 공기밀도, A 는 로터 단면적, C_p 는 출력계수 이다.

(식 1)에서 설치지역의 공기밀도가 비교적 일정하고 시스템의 출력계수 역시 일정하다고 가정할 때 풍속에 따라 아래의 그림 1과 같은 형태의 3차 곡선 형태의 출력을 가지게 된다.

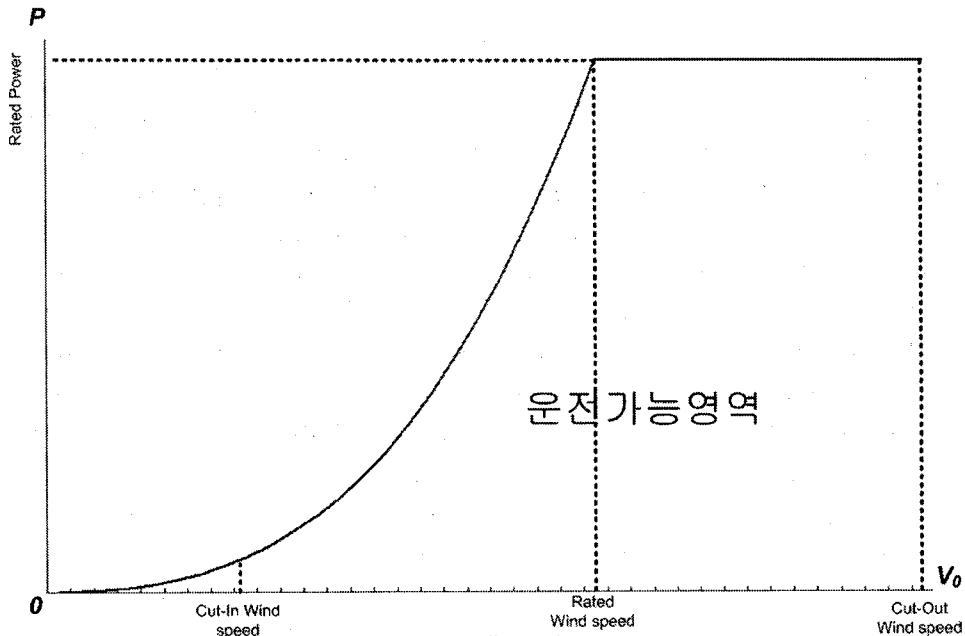


그림 1. 풍속에 따른 출력의 변화 추이

이처럼 바람의 속도는 풍력발전기의 성능과 이에 따른 경제성에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 작용되며 풍력발전기를 설치하고자 할 때 가장 먼저 고려되어야 할 요소라 할 수 있다.

바람의 속도와 더불어 바람의 방향 변화도 풍력발전 시스템의 설계, 설치 및 운용에 중요한 고려 사항이 된다. 그림 2에서 도시하는 바와 같이 출력은 요각(Yaw angle: ψ)의 코사인 함수로 결정 지어지게 된다 즉, 아래의 (식 2)에서와 같이

$$P = \frac{1}{2} \rho A V_0^3 C_p \cdot \cos \psi \quad (\text{식 2})$$

풍력발전 시스템의 출력은 시스템의 방향과 바람이 입력되는 방향의 일치 여부에 따라 시스템 또한 변화하게 된다. 이처럼 요각 제어는 시스템의 경제성에 큰 영향을 미치고 나아가 시스템의 안정성에도 큰 영향을 미치게 된다. 요각이 시스템의 안정성에 미치는 영향과 관련된 사항은 아래 2절에서 자세히 다루었다.

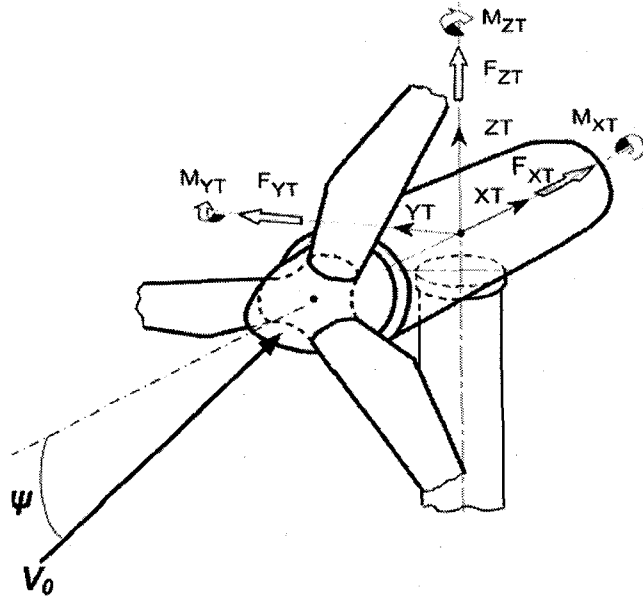


그림 2. 풍력발전 시스템의 바람맞이 각

2) 지리적 요건

앞서 언급한 바와 같이 풍력발전 기술의 발달에 따라 시스템은 대형화 추세이다. 그림 3에서 보는바와 같이 2000년대에 들어서면서 로터 블레이드의 직경은 100m를 상회하며 그 운반 및 보관이 새로운 난제로 부상하고 있다.

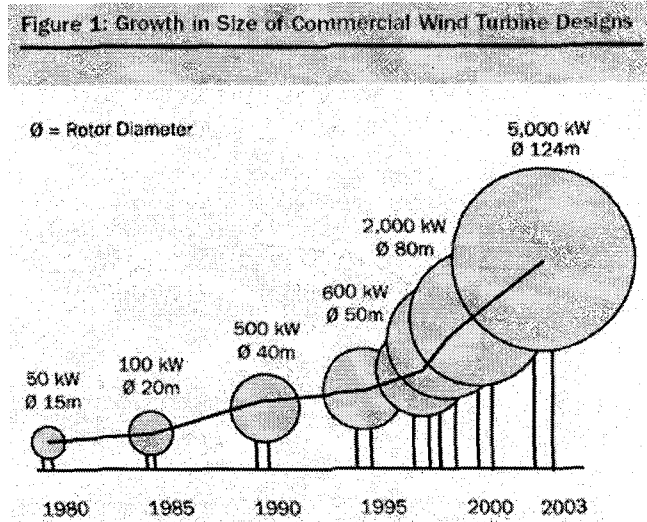


그림 3. 풍력발전 시스템 대형화 추세

풍력발전 시스템의 타워나 블레이드와 같은 대형 요소 부품의 육상운송을 위해서는 도로나 항만과 같은 사회 간접시설이 잘 갖추어져 있어야 한다. 그러나 현실적으로 풍황이 비교적 좋은 산악지형이나 바다에 인접한 지역은 일반적으로 이러한 여건이 잘 갖춰져 있지 않다. 육상운송을 위한 도로는 산길로 매우 좁고 그 경사가 심하며 터널과 다리가 많아 불가피하게 항공운송을 할 수밖에 없다. 이러한 지리적 여건에 의해 시스템의 경제성은 감소하게 되고 이는 기술개발에 부담을 가중하는 결과를 초래한다.

3) 그 외 기타 조건들

그 외 풍력발전 시스템을 위해서 고려해야 할 사항으로 태풍, 돌풍 및 낙뢰등이 있다. 우리나라는 연중 2~3회에 걸쳐 대규모 태풍의 피해를 입는 지역으로 평균 풍속 17m/s이상의 바람이 돌풍과 함께 불고 때로는 30m/s이상의 풍속으로 풍력발전 시스템에 치명적 손실을 야기한다. 또한 이러한 악천후와 동반되는 낙뢰는 순간적인 높은 전압으로 풍력발전 시스템의 블레이드의 파손 또는 전기적 시스템의 파손등을 일으키게 된다.

이처럼 풍력발전기의 설계, 설치 및 운용을 위해서는 위에서 언급한 많은 사항을 고려해야 하며 설치 지역의 특성에 맞는 시스템의 설계가 필수적이다.

2. 아시아 지역의 풍황 및 지리적 조건

앞 선 1절에서는 풍력발전 시스템의 설계, 설치 및 운용을 위해 필수적으로 고려해야 할 조건들에 대해서 언급하였다. 현재 동아시아 지역에 설치되어 있는 풍력발전 시스템의 대부분은 국제전기기술회원(IEC) 또는 독일의 GL(Germanischer Lloyd AG)사에서 제공하는 설계기준(Design Guide line)에 따라 설계 및 제작되고 있다. 그러나 이러한 국제 규정은 대부분 유럽이나 미주지역의 바람의 특성에 부합되도록 작성되어 있어 이를 토대로 설계/제작된 풍력발전 시스템을 동아시아 지역에 설치하였을 경우 동아시아 특유의 기후적, 지리적 조건에 의해 많은 문제점이 발생되고 있는 현실이다.

본 절에서는 이러한 동아시아 지역의 풍황 및 지리적 조건에 대해서 언급하고 동아시아적인 특성이 풍력발전 시스템에 미치는 영향을 실제의 경우 예를 들어 분석하였다.

1) 태풍

아래의 그림 4에서 보는 바와 같이 북위 30도 미만에서는 무역풍이 북동쪽에서 불어오고 북위 30도 이상에서는 편서풍이 남서쪽에서 불어오는 경계지점에 동아시아 지역의 주요 국가 및 도시들이 위치하고 있다. 또한 이들 국가들은 동쪽으로는 태평양, 남쪽으로는 인도양을 접하고 있어 적도에서 발생하는 태풍과 열대성 저기압에 의한 폭풍의 직접적 피해 영향권에 위치하고 있다.

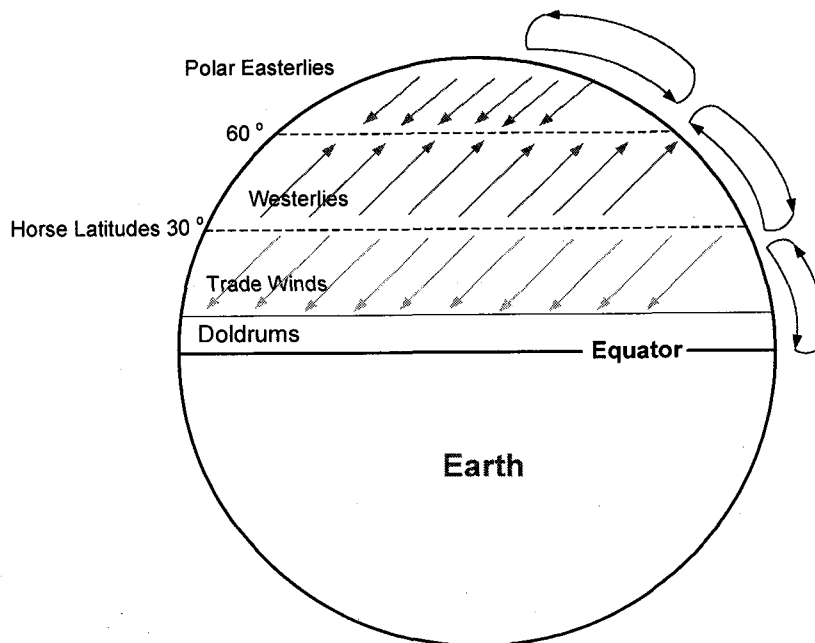


그림 4. 지구 북반구 대기의 순환

그림 5에서서는 지난 2004년 동아시아 지역을 지나간 태풍을 도시하고 있다. 연간 총 10개의 태풍이 발생하여 한국 및 일본을 통과하였다. 태풍은 강한 바람과 더불어 바람의 방향이 심하게 변화하는 돌풍(Gust)를 동반한다. 또한 많은 강우와 낙뢰는 기계적 시스템에 치명적 위협을 가하게 된다.

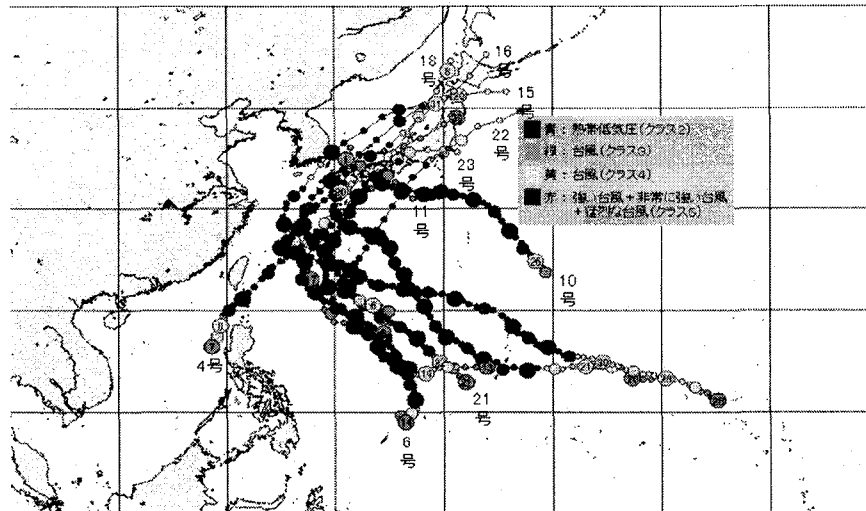


그림 5. 2004년 극동아시아 지역을 지나간 태풍의 경로

이러한 태풍에 의해 풍력발전 시스템은 아래 그림 6 ~ 그림 8에서 도시하는 바와 같이 심하게 파손되는 것을 알 수 있다. 그림 6에서는 태풍의 강한 풍속에 의해 타워의 하단이 좌굴되었다. 좌굴은 타워 하단에 위치한 타워내부 진입 통로쪽으로 발생하였으며 이는 타워의 재료나 제작상의 문제라기보다는 설계상의 문제로 판단된다. 즉 설계상의 안전계수(Safety factor) 설정 시 태풍과 같은 상황을 고려하지 않아 발생한 문제인 것이다.

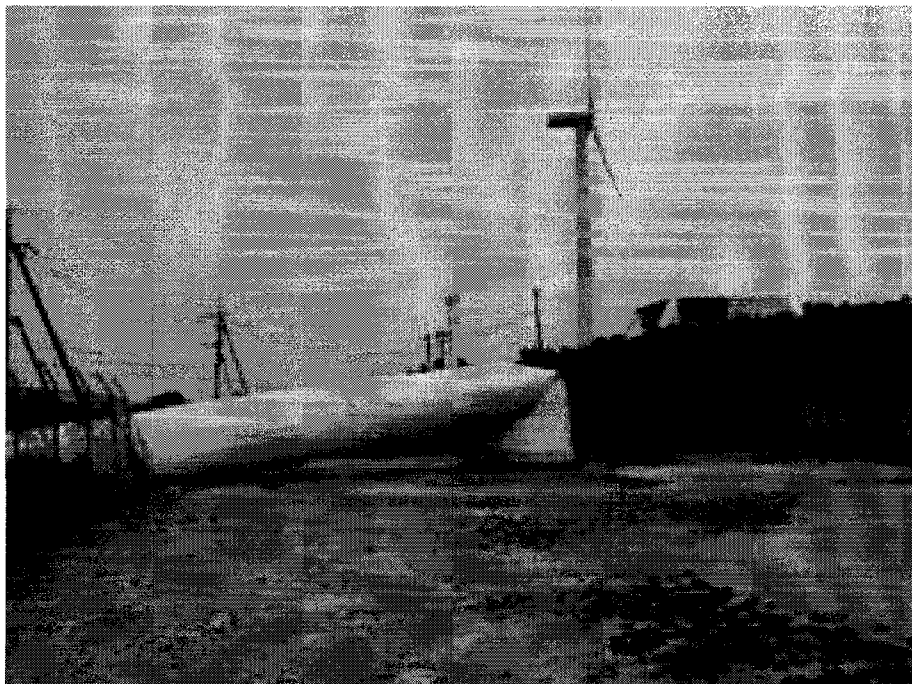


그림 6. 강한 풍속에 의한 타워 좌굴의 예



그림 7. 강한 풍속과 돌풍에 블레이드 파손의 예

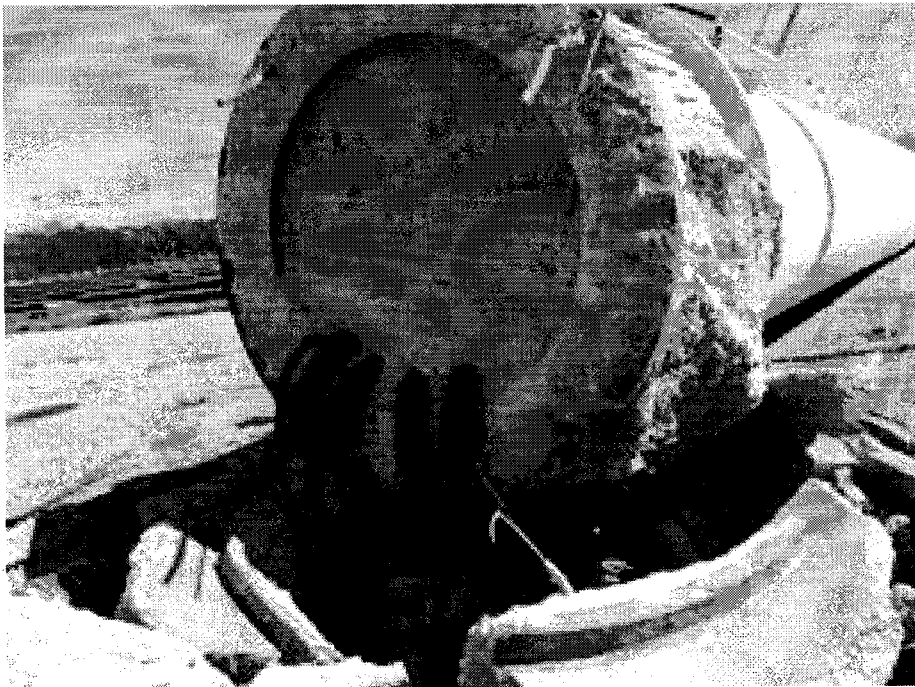


그림 8. 강한 풍속에 의한 타워 기초 파손의 예

그림 7과 8에서 역시 태풍의 강한 풍속과 돌풍에 의해 블레이드 및 타워 기초가 파손된 예를 보여주고 있다. 태풍에 수반되는 강한 돌풍은 심한 요각 오차를 발생시켜 시스템에 큰하중을 미치게 된다. 그림 9는 태풍과 같은 큰 바람이 불어왔을 경우 플랩방향 굽힘 모멘트(Flapwise Bending Moment) 분포를 바람의 방향을 변화시켜 측정한 결과이다. 같은 풍속에서도 풍력발전기의 방향과 풍향이 일치하지 않을 경우, Down wind 형태로 바람을 받는 것 보다 최고 약 2.5배 이상의 하중이 더 작용함을 알 수 있다. 이 결과는 기존의 업윈드(Up wind) 형태의 풍력발전 시스템이 요각이 고정되어 있을 경우 태풍과 같이 순간적으로 불어오는 돌풍에 의해 블레이드 및

타워 등에 반복적인 하중이 집중됨을 알 수 있다. 또한 이러한 반복적인 하중은 풍력발전기 각 요소에 피로하중으로 작용되어 시스템의 고장 또는 파손을 초래하게 된다.

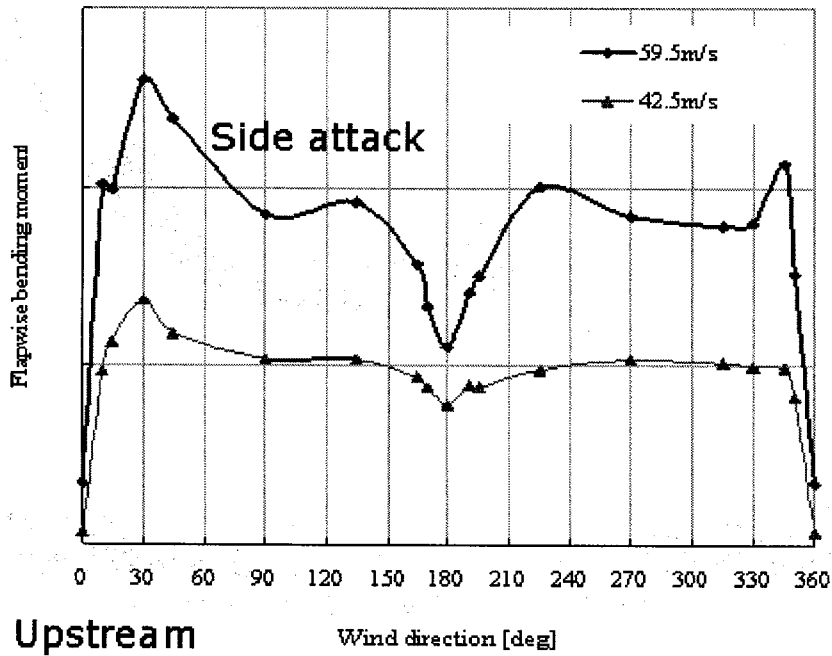


그림 9. 요각 변화에 따른 플랩방향 굽힘 모멘트 변화 추이

2) 낙뢰 및 지리적 요인

일반적으로 낙뢰는 태풍에 수반되기도 하나 아열대성 저기압에 심한 강우와 함께 수반되기도 한다. 이러한 낙뢰는 순간적으로 높은 전압을 동반하여 블레이드를 포함한 기어박스 및 전기 시스템에 치명적 손상을 일으킨다. 최근 들어 모든 풍력발전기는 낙뢰로부터 시스템을 보호하기 위한 장치를 각 요소부품별로 설치하는 추세이다. 블레이드의 경우 무게를 감소시키고 강도를 높이기 위한 소재로 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic)를 많이 사용한다. 이러한 유리섬유가 낙뢰에 노출될 경우 블레이드는 파손되며 이 파손에 의해 나머지 블레이드 역시 하중의 불균형에 의해 연쇄적으로 파손되게 된다. 이러한 현상을 막기 위해 블레이드의 표면 또는 내부에 낙뢰를 통과시키기 위한 컨덕터(Lightning conductor)를 부착하고 허브를 포함한 기어박스에도 낙뢰로부터 발생하는 강한 전압을 지상으로 통과시키기 위한 장치를 설치한다. 통신 및 전기 시스템 역시 낙뢰 방지장치(Lightning arrester)를 설치하여 낙뢰로 인한 피해를 최소화 할 수 있도록 설계한다. 아래 그림 10에서는 낙뢰에 의해 파손된 블레이드를 도시하고 있다.

동 아시아의 주요국가인 우리나라와 일본은 3면 또는 4면이 바다로 둘러싸여져 있고 내륙은 산악지형으로 이루어져 있다. 산악지형은 높은 봉우리와 깊은 골짜기로 구성되어 있어 심한 돌풍이 빈번히 발생하며 이러한 돌풍은 풍력발전기의 옆면을 강타하거나 타워에서 나셀(Nacelle)방향으로 지속적으로 불어올 경우 설계 시 예측치 못한 하중이 반복적으로 발생하게 되어 시스템의 손상을 가져오는 요인으로 작용된다.

또한 산이 많은 지형에서는 시스템의 운반 및 설치가 용이하지 못하다. 현재 개발이 완료되고 상용화 테스트가 진행 중인 5MW급 풍력발전 시스템의 경우 그 블레이드 길이만도 약 60m에 이르게 되며 이를 산악지형에서 운송 하는 것은 불가능하다고 볼 수 있다.

따라서 특히 동 아시아 지역에서의 풍력발전 시스템은 다른 대륙에서 운용되는 시스템보다 경량화, 소형화가 필수적으로 요구된다.

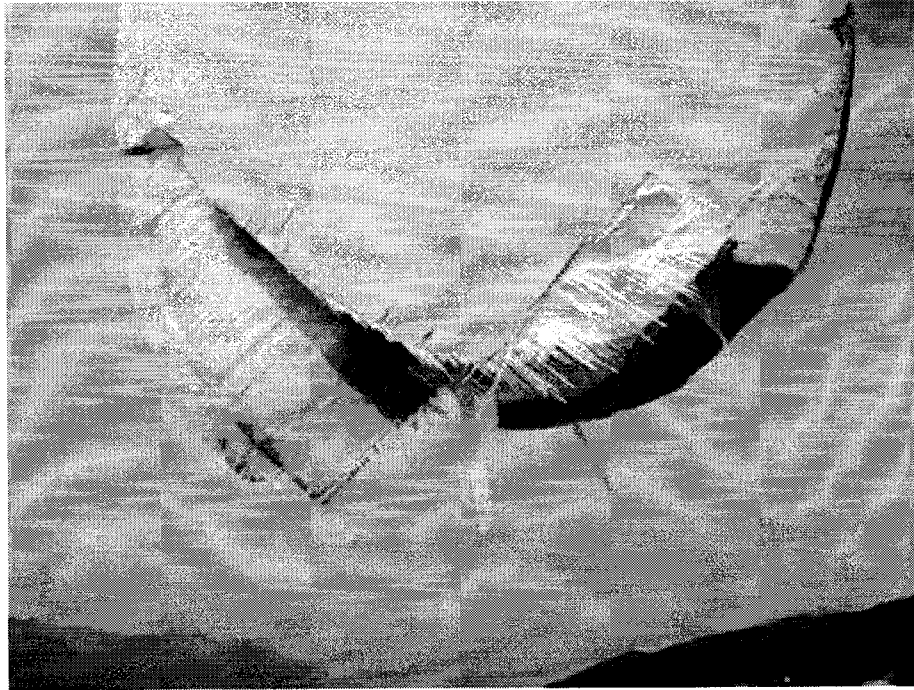


그림 10. 낙뢰로 인한 블레이드 파손의 예

III. 결론

본 논문에서는 풍력 발전기가 설치 및 운용되어지기 위한 조건을 고찰하였다. 풍력발전기가 설치되기 위해서는 우선 그 지역 바람의 특징을 파악하고 이에 적합한 풍력발전 시스템의 설계가 선행되어야 한다. 또한 기후적으로 강한 비바람과 함께 수반되는 낙뢰등도 설계단계부터 고려되어야 한다. 또한 아시아 지역중 주로 풍력발전기가 설치되고 향후 설치될 가능성이 많은 우리나라와 일본의 기상학적 조건과 지리적 조건을 검토하고 실제 이러한 기후적 특성에 의해 풍력발전 시스템이 파손된 실례를 들었고 향후 풍력 발전 시스템 설계에 필수적으로 반영되어야 할 요인에 대해 분석하였다.

- 풍력발전기 설치를 위해 고려해야 할 조건
 - 기상학적 조건: 설치지역의 풍황(Wind condition)
 - 지리적 조건: 평지 또는 산악 지형 여부
 - 그 외 조건들: 심한 강우 또는 낙뢰 등

- 동아시아 지역의 풍황과 지리적 요인
 - 태풍: 강한 돌풍을 동반한 높은 풍속 → 시스템 파손 유발
 - 낙뢰 및 지리적 요인: 시스템의 파손 및 운송/설치 상 제약

이처럼 전세계 풍력발전기의 대부분이 운용되고 설계의 기준이 되는 유럽지역과 기상학적으로나 지리적으로 다른 동아시아 지역에는 이곳에 적합한 새로운 형태의 풍력발전 시스템이 제안되어야 하며, 제안되는 시스템은 아시아 지역의 특성을 설계 단계부터 설치까지 모두 고려한 시스템에 되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 동경민, 『상반회전 풍차 블레이드의 공력성능 및 구조 동역학 해석에 관한 연구』, 2002.
- [2] Wilson, R. E., Lissaman PBS, and Walker S. N., *Aerodynamic Performance of Wind Turbines*, Report No. NSF/RA-760228, NTIS, Chapters I-III, Oregon State Univ., June 1976.
- [3] *Guidelines for Design of Wind Turbines*, DNV/Risø, 2002.
- [4] David A. Spera, Ph.D., *WIND TURBINE TECHNOLOGY*, 1994.
- [5] Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins and Ervin Bossanyi, *WIND ENERGY HANDBOOK*, 2001.
- [6] www.windpower.org
- [7] www.ewea.org
- [8] www.awea.org