

GH-Bladed를 이용한 풍력발전기의 질량 불평형 및 공력 비대칭 고장진단 시스템 개발

Development of fault diagnostic system for mass unbalance and aerodynamic asymmetry of wind turbine system by using GH-Bladed

김세윤* · 김성호**†
Se-Yoon Kim, and Sung-Ho Kim†

*군산대학교 전자정보공학부 **군산대학교 제어로봇공학과

School of Electronic & Information Engineering, Kunsan University

† Department of Control & Robotics Engineering, Kunsan University

요 약

풍력은 전 세계적으로 가장 각광을 받고 있는 신재생 에너지이며 당분간 이러한 추세는 계속될 것으로 기대되고 있다. 최근 풍력발전시스템의 O&M(Operation & Maintenance) 비용의 절감에 대한 필요성이 꾸준히 대두되고 있는 실정이다. O&M 비용의 절감을 위한 가장 효율적인 방법은 CMS(Condition Monitoring System)의 도입이며 이는 풍력발전기 부품들의 악화, 적절한 선제적 유지보수, 발전중지시간의 단축 및 궁극적으로 풍력발전기의 운전 효율을 증대시키는 것을 가능케 한다. 풍력발전기의 터빈 로터와 관련하여 질량 불평형 및 공력비대칭과 같은 고장이 발생할 수 있다. 일반적으로 이러한 고장은 다양한 형태의 진동을 야기시킨다. 이에 본 연구에서는 진동신호에 대한 스펙트럼과 간단한 max-min 진단 로직으로 구성된 고장검출 알고리즘을 제안한다. 또한 제안된 진단기법의 유용성의 확인을 위해 GH-Bladed 프로그램을 이용한 다양한 시뮬레이션 고찰을 수행한다.

키워드 : 풍력발전 시스템, Operation & Maintenance(O&M), Condition Monitoring System(CMS), 질량 불평형, 공력비대칭, 고장검출

Abstract

Wind power is the fastest growing renewable energy source in the world and it is expected to remain so for some times. Recently, there is a constant need for the reduction of Operational and Maintenance(O&M) costs of Wind Energy Conversion Systems(WECS). The most efficient way of reducing O&M cost would be to utilize CMS(Condition Monitoring System) of WECS. CMS allows for early detection of the deterioration of the wind generator's health, facilitating a proactive action, minimizing downtime, and finally maximizing productivity. There are two types of faults such as mass unbalance and aerodynamic asymmetry which are related to wind turbine's rotor faults. Generally, these faults tend to generate various vibrations. Therefore, in this work a simple fault detection algorithm based on spectrums of vibration signals and simple max-min decision logic is proposed. Furthermore, in order to verify its feasibility, several simulation studies are carried out by using GH-bladed software.

Key Words : Wind energy conversion systems(WECS), Operation and Maintenance(O&M), Condition Monitoring System(CMS), Mass unbalance, Aerodynamic asymmetry, Fault detection

1. 서 론

접수일자: 2013년 10월 17일

심사(수정)일자: 2014년 1월 9일

게재확정일자: 2014년 2월 7일

† Corresponding author

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구 결과임.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

전 세계적으로 풍력 발전은 전력생산을 위해 사용되는 신재생 에너지원 중 가장 빨리 성장하고 있는 분야로 새로 건설되는 풍력 발전 단지로부터 생산되는 전력은 전체 생산량에서 많은 부분을 차지해가고 있는 실정이다. 특히, 해상에 설치되는 해상 풍력 발전 시스템의 경우, 다양한 부속품의 고장으로 인한 유지보수 비용의 증가는 COE(Cost of Energy)를 증가 시키며, 따라서 적기의 유지보수 계획을 가능케 하는 CMS(Condition Monitoring System)의 개발이 절실히 요구되고 있다[1-3].

풍력 발전을 위한 CMS는 풍력 발전기에 설치된 각종 센서들로부터의 정보를 기반으로 기계의 운전 상태를 실시간으로 모니터링 함과 동시에 장기간에 걸쳐 누적되는 부품의 노후화 정도 및 갑작스런 이상의 발생을 조기에 검출하여 체계적인 유지보수를 가능케 하는 기능을 수행한다. 일반적으로 CMS를 설계하기 위해서는 고장검출 대상에 대한 고수준의 수학적 정보가 요구되나 이들 정보는 얻기 힘들뿐만 아니라 경우에 따라서 존재하지 않는다[4].

풍력 발전기에서는 다양한 형태의 고장이 발생될 수 있다. 이 중 블레이드의 결빙(icing) 등에 의해 발생하는 질량 불평형 및 피치 제어기 고장 등에 의해 발생하는 공력 비대칭은 풍력발전 전체 시스템의 안정도에 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 체계적인 검출 및 진단 기법의 개발은 매우 중요하다. 이에 P. Caselitz 등은 풍력발전기에서 발생하는 질량 불평형 및 공력비대칭의 효율적인 검출을 위해 발전기로부터의 전력 및 진동 신호에 대한 체계적인 주파수 스펙트럼 분석을 수행한 바 있다[5-7].

또한 [8]에서는 블레이드에서 질량 불평형 및 공력비대칭이 발생되었을 경우, 풍력발전기에서 생산되는 전력 및 진동신호에 대한 주파수분석에 기반한 고장 진단 시스템을 제안하고 시뮬레이션을 통해 유용성을 입증한 바 있다.

이에 본 연구에서는 최근 개발되고 있는 대형 풍력발전 시스템의 경우, 개별 피치제어기의 도입으로 인해 발전기의 회전속도 검출을 위한 회전속도 센서가 기본적으로 사용되고 있다는 점에 착안하여 기존의 고장진단을 위해 사용한 전력신호 대신에 로터의 회전속도를 사용하는 새로운 형태의 고장 검출 및 진단 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 블레이드에서 발생하는 고장의 종류 및 특성에 대해 고찰하고, 3장에서는 진동신호에 대한 스펙트럼 분석과 이의 Max-Min 로직에 기반한 고장검출 알고리즘에 대해 기술하고, 4장에서는 제안한 고장검출 알고리즘에 대한 시뮬레이션 고찰을 통해 유용성을 확인하고자 한다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 기술한다.

2. 블레이드에서 발생하는 고장의 종류

블레이드를 포함한 로터의 고장은 풍력 발전기의 전체 구조물에 추가적인 동적 부하를 인가하게 되므로 이에 대한 조기의 검출이 매우 중요하다. 블레이드와 허브를 포함한 로터의 고장은 크게 질량 불평형과 공력 비대칭으로 나눌 수 있다. 질량 불평형은 블레이드 제조시의 불 균일한 질량 분포 및 블레이드 표면에서 발생하는 결빙(icing) 등에 의해 발생되며, 공력 비대칭은 피치제어기의 고장 등에 의해 발생된다.

2.1 블레이드에서의 질량 불평형

3개의 블레이드를 갖는 로터의 모델을 나타내면 그림 1과 같다. 3개 블레이드의 질량과 무게 중심이 각각 r_1, m_1 , r_2, m_2 및 r_3, m_3 (r : 블레이드 반경, m : 블레이드의 무게 중심)이고, 블레이드가 w (w : 회전속도)로 회전할 경우, 완벽한 질량 평형이 이루어 졌다면 다음의 관계가 성립된다.

$$r_1 \cdot m_1 = r_2 \cdot m_2 = r_3 \cdot m_3 \quad (1)$$

각각의 블레이드에서의 원심력의 합은 식(2)와 같이 0이 된다.

$$F_{c1} = F_{c2} = F_{c3} \Rightarrow \vec{F}_{c1} + \vec{F}_{c2} + \vec{F}_{c3} = 0 \quad (2)$$

만일 i 번째 블레이드의 질량 m_i 및 로터 축에서 무게 중심까지의 거리 r_i 가 변하게 되면 로터의 질량 불평형이 발생하게 되며, 이러한 로터의 불평형은 가상의 거리 r_R 에 존재하는 가상의 질량 m_R 에 의해 표현될 수 있다. 이는 회전축으로부터 $F_{CR} = m_R \cdot r_R \cdot w^2$ (F : 원심력) 크기의 원심력을 발생하게 되고 로터의 반경 방향의 진동을 야기시킨다. 이들 진동 주파수는 블레이드의 회전주파수와 일치하는 것으로 알려져 있다[2].

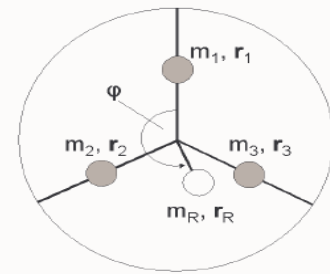


그림 1. 3개의 블레이드를 갖는 로터
Fig. 1. Rotor with three blades

2.2 공력 비대칭

공력 비대칭은 각각의 블레이드가 서로 다른 공력 특성을 갖게 될 때 발생된다. 예를 들면 어떤 하나의 블레이드에서의 입사각 θ (angle of attack)가 다른 블레이드와 다를 경우 발생하게 되며, 이러한 입사각의 변화는 그림 2와 같이 블레이드로부터 생성되는 공력 토크의 크기 F 를 변화시키게 된다. 이상적으로 평형을 이룬 로터의 경우, 추력(thrust)과 반력(propulsion)은 모든 블레이드에서 같으나 만일 각각의 블레이드에서의 입사각이 다르면 블레이드로부터의 추력도 달라지며, 이로 인해 구조물에 주기적인 힘을 가하게 된다. 공력 비대칭으로 인해 발생하는 추력은 축 방향, 반경 방향 및 뒤틀림(torsional) 진동을 발생 시키며, 이들 진동 주파수는 질량 불평형시와는 달리 블레이드의 회전 주파수인 1p 및 3p 주파수 성분을 갖는 것으로 알려져 있다[5].

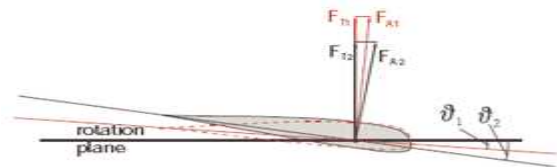


그림 2. 블레이드로부터 생성되는 공력
Fig. 2. Aerodynamics that are generated from the blade

3. 회전속도와 진동 신호의 스펙트럼에 기반한 고장검출 및 진단 알고리즘

가변속 풍력 발전 시스템의 경우, 시동풍속에서 정격 풍속구간에서는 바람이 갖는 에너지로부터 최대 전력의 인출을 위해 로터의 회전 속도는 변화하게 된다. 만일 전 절에서 고찰한 질량 불평형 및 공력 비대칭이 발생된다면 이로 인해 다양한 형태의 진동이 발생하게 된다. 고장발생시 나타나는 진동 신호들 중 질량 불평형 및 공력비대칭에 가장 큰 영향을 받는 신호는 로터 블레이드의 회전신호 및 너셀의 side-to-side 진동 신호로 알려져 있다.

이에 본 연구에서는 로터 블레이드 및 너셀 side-to-side 진동신호에 대한 스펙트럼과 간단한 Max-min 로직에 기반한 로터 블레이드의 고장 검출 및 진단 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 연구에서 제안된 로터의 질량 불평형 및 공력 비대칭의 고장 검출 및 진단을 위한 시스템의 구성은 그림 3과 같다.

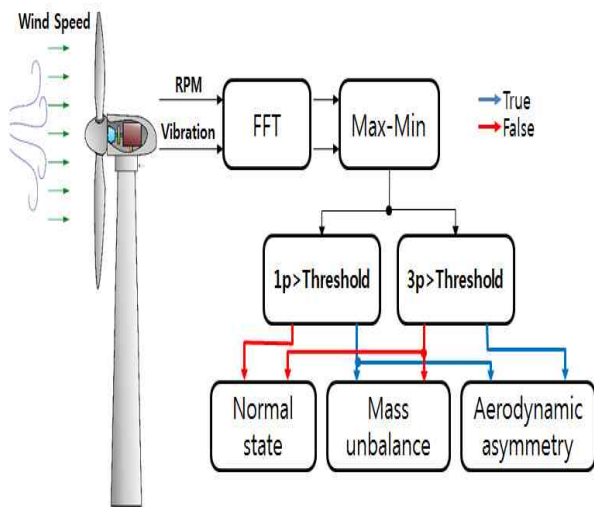


그림 3. 질량 불평형 및 공력 비대칭에 대한 고장 검출 시스템

Fig. 3. Fault detection system of mass unbalance and aerodynamic asymmetric

그림 3의 Max-min 로직에 기반한 고장 검출 및 진단 알고리즘의 동작 흐름을 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4에서 제안된 고장진단 알고리즘의 첫 번째 단계는 로터의 회전속도 및 너셀의 side-to-side 진동신호에 대한 스펙트럼을 구하는 과정이다. 일반적으로 고장발생시 진동신호에 대한 FFT 변환은 발생된 고장의 크기 및 회전속도에 따라 해당 주파수에서의 스펙트럼의 크기가 변하게 된다. 따라서 고장진단 알고리즘의 두 번째 단계는 이러한 진동 스펙트럼의 크기를 회전속도 및 고장의 크기에 영향을 받지 않도록 하기 위해 정량화(Normalization)하는 과정이다. 고장 진단 알고리즘의 마지막 단계는 정량화된 진동 스펙트럼에 대해 Max-min 로직을 적용하는 과정이다. 본 연구에서 검출하고자 하는 질량 불평형 및 공력비대칭은 서로 다른

주파수 특성을 나타내는 것을 알려져 있다[5].

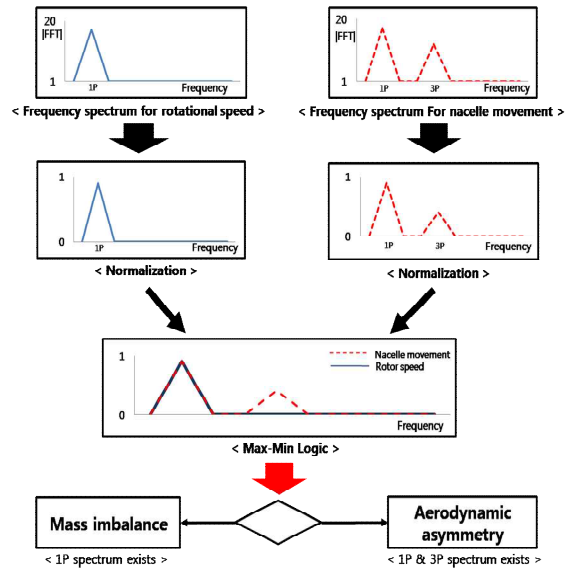


그림 4. 회전속도 및 진동 신호의 스펙트럼에 기반한 고장검출 및 진단 알고리즘

Fig. 4. Fault detection and diagnostic algorithm based on spectrum of rotor speed and vibration signal

일반적으로 질량 불평형이 발생되었을 경우, 로터 회전에 대한 진동 스펙트럼은 로터의 회전 주파수(1p)에서 큰 값을 갖으며 이와 동시에 너셀의 side-to-side 진동 스펙트럼도 같은 주파수(1p)에서 큰 값을 갖는다. 이에 반해 공력비대칭이 발생된 경우에는 로터의 회전주파수 및 너셀의 진동 신호에 대한 주파수 스펙트럼은 1p 및 3p 주파수에서 상당히 큰 값을 갖게 된다. 따라서 고장의 진단은 식(3),(4)와 같이 표현되는 Max-Min 로직에 의해 구해지는 값을 기반으로 수행된다.

$$F_{\min}(f) = \min(F_1(f), F_2(f)) \text{ for every } f; \quad (3)$$

$$F_{\max}(f) = \max(F_{\min}(f)) \text{ for every } f; \quad (4)$$

여기서 $F_1(f)$ 및 $F_2(f)$ 는 로터의 회전속도 및 너셀의 진동 신호에 대한 정규화된 스펙트럼을 의미한다.

따라서 식(4)에 의해 구해진 $F_{\max}(f)$ 에 1p 회전 주파수에 피크가 존재하고 3p 회전 주파수에 피크가 존재하지 않는다면 질량 불평형으로 진단할 수 있으며, 1p 회전 주파수와 3p 회전 주파수 모두에 피크가 존재한다면 공력 비대칭으로 진단하는 것이 가능하다.

4. 시뮬레이션 고찰

4.1 5MW급 풍력 발전기 특성

질량 불평형 및 공력 비대칭 발생시의 시뮬레이션을 위해 NREL에서 제공한 5MW급 풍력 발전기를 사용하였으며, 이에 대한 설계사양을 나타내면 표 1과 같다

[9].

표 1. NREL 5MW급 풍력발전기 사양

Table 1. Specification of NREL 5MW wind turbine

Rating	5MW
Rotor Orientation Configuration	Upwind, 3 Blades
Control	Variable speed, Collective pitch
Drive train	High speed, Multiple-stage gearbox
Gear ratio	1:97
Rotor, Hub Diameter	126m, 3m
Hub Height	90m
Cut-in, Rated, Cut-out wind speed	3m/s, 11.4m/s, 25m/s
Cut-in, Rated rotor speed	6.9rpm, 12.1rpm
Rated tip speed	80m/s

5MW급 풍력 발전기의 풍속 대 전력 곡선을 나타내면 그림 5와 같다.

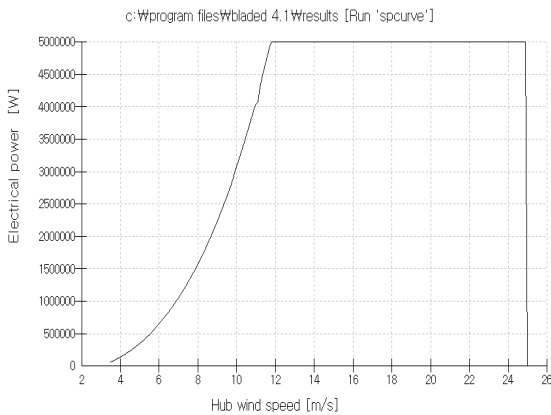


그림 5. 5MW급 풍력 발전기의 전력 곡선

Fig. 5. Power characteristic of 5MW Wind Generator

상기와 같은 풍력 발전기의 로터에 질량 불평형 및 공력 비대칭 등의 고장이 발생된다면 풍력 발전기 너셀 및 전력에 고장으로 인한 진동 특성이 나타나게 된다. 이에 본 연구에서는 고장으로 인해 발생하는 너셀의 진동 및 전력에 대한 주파수 분석을 수행하고, 이를 기반으로 체계적인 진단 알고리즘을 제안 하고자 한다.

본 절에서는 시동풍속에서 정격풍속 사이의 가변속 제어되는 구간과 피치제어기 고장으로 인해 발생하는 공력 비대칭을 고려하여 6m/s, 8m/s, 10m/s 풍속에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

4.2 정상 동작시의 주파수 특성 분석

블레이드에 고장이 없을 경우, 풍속이 6[m/s]에서 10[m/s]로 변화하였을 때의 로터의 회전 속도 및 너셀

의 진동 특성을 나타내면 그림 6과 같다.

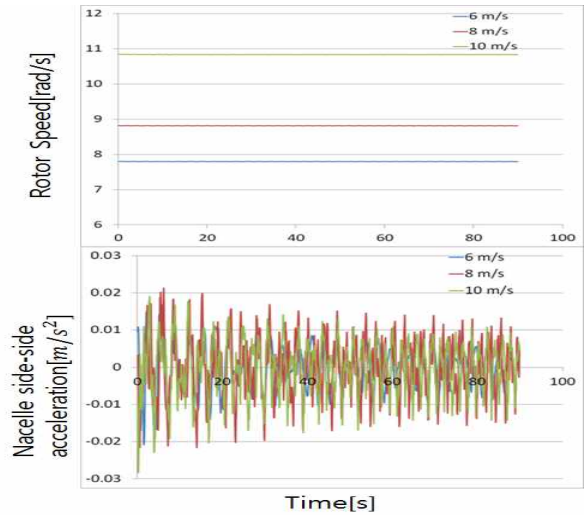


그림 6. 정상동작시의 회전속도 및 진동 신호 특성

Fig. 6. Characteristics of rotor speed and vibration signal in case of normal operation

4.3 질량 불평형 발생시의 주파수 특성 분석

블레이드에 질량 불평형이 발생되었을 경우를 나타내면 그림 7과 같다.

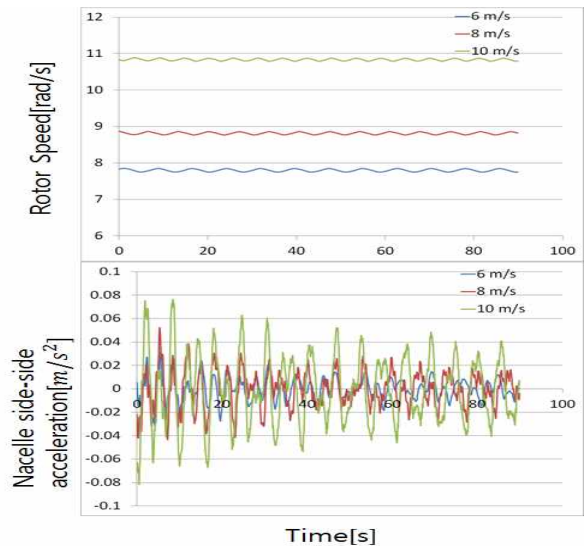


그림 7. 질량 불평형이 발생되었을 경우의 회전속도 및 진동 신호 특성

Fig. 7. Characteristics of rotor speed and vibration signal in case of mass unbalance

그림 7로부터 블레이드에 질량 불평형이 발생되었을 경우, 회전속도의 자승에 비례하는 원심력으로 인해 회전속도가 증가함에 따라 진동의 크기가 커짐을 알 수 있다.

그림 7의 질량 불평형이 발생되었을 경우, 풍속의 변화에 따른 회전속도와 진동 신호에 대한 주파수 스펙트

를 나타내면 그림 8과 같다.

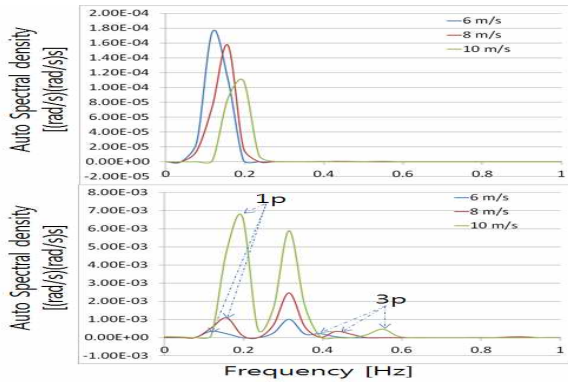


그림 8. 질량 불평형 발생시의 회전속도 및 진동신호에 대한 주파수 스펙트럼
Fig. 8. Frequency spectrum of rotor speed and vibration signal in case of mass unbalance

그림 8로부터 질량 불평형이 발생되었을 경우, 로터의 회전속도 및 진동 신호에 대한 주파수 스펙트럼은 로터의 회전 주파수(1p)에서 큰 값을 갖게 되며 3p 주파수에서는 상대적으로 작은 크기의 값을 갖게 됨을 알 수 있다. 또한 그림 8의 1p와 3p 사이에 존재하는 주파수 성분은 타워의 공진 주파수에 해당된다.

4.4 공력 비대칭 발생시의 주파수 특성 분석

블레이드에 인위적인 공력 비대칭의 발생을 위해 본 연구에서는 GH-Bladed에서 제공하는 "Turbine Fault" 중 "Pitch Faults" 옵션을 사용하여 첫 번째 블레이드에서 "Permanent stuck"이 발생되도록 하였다. 이 경우 회전속도 및 진동 신호에 대한 특성을 나타내면 그림 9와 같다.

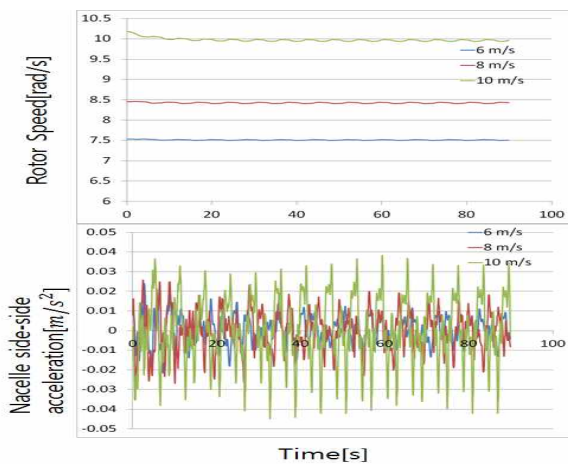


그림 9. 공력 비대칭 발생시의 회전속도 및 진동 신호 특성
Fig. 9. Characteristics of rotor speed and vibration signal in case of aerodynamic asymmetric

그림 9와 같이 공력 비대칭이 발생되었을 경우, 회전속도 및 진동 신호에 대한 주파수 스펙트럼을 나타내면

그림 10과 같다.

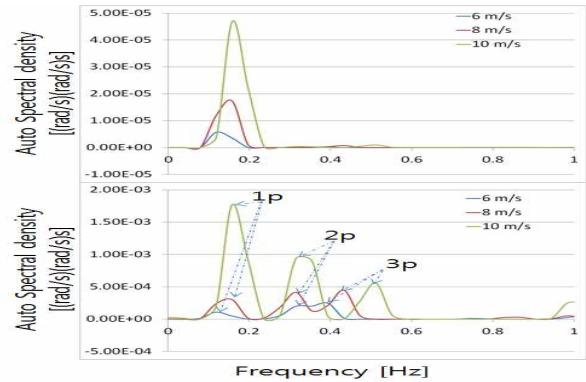


그림 10. 공력 비대칭 발생시의 회전속도 및 진동신호에 대한 주파수 스펙트럼
Fig. 10. Frequency spectrum of rotor speed and vibration signal in case of aerodynamic asymmetric

그림 10으로부터 공력 비대칭이 발생되었을 경우, 질량 불평형이 발생되었을 때보다 3p의 주파수에서 상대적으로 큰 주파수 성분이 존재함을 알 수 있다.

4.5 Max-Min 기법을 이용한 블레이드 고장진단 기법의 성능 분석

일반적으로 공력 비대칭이 발생되었을 경우, 회전속도 및 진동 신호에 대한 주파수 스펙트럼은 그림 10에서와 같이 3p 주파수에 해당하는 성분은 1p 주파수에 비해 작게 된다. 따라서 3p 주파수 성분의 존재를 검출하기 위해 3p 주파수의 성분의 크기를 1로 하여 주파수 스펙트럼을 정규화 할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 풍속이 8[m/s]일 경우, 공력 비대칭이 발생되었을 때의 3p 주파수에 해당되는 성분의 크기가 1이 되도록 정규화를 수행하였다. 또한 공력 비대칭이 발생되었을 때의 3p 주파수에 해당되는 성분으로 질량 불평형에서도 정규화를 진행 하였으며 정규화된 회전속도 및 진동 신호에 대한 주파수 스펙트럼에 Max-Min 기법을 적용한 결과를 나타내면 그림 11과 같다.

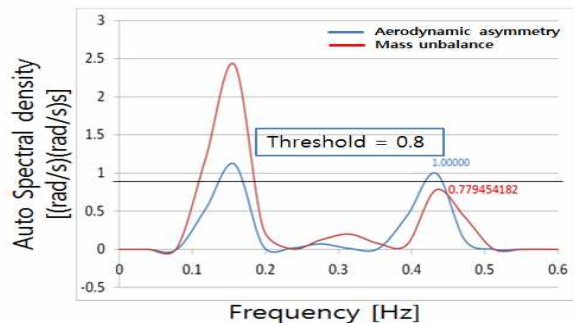


그림 11. Max-Min 기법의 적용을 통해 얻어진 주파수 스펙트럼
Fig. 11. Frequency spectrum obtained from Max-min method

그림 11으로부터 질량불평형이 발생되었을 경우에 발생하는 공진 주파수 성분은 Max-min 기법에 의해 제거됨을 확인할 수 있으며 따라서 1p 및 3p 주파수에 해당하는 주파수 성분의 크기에 대한 임계치를 적절히 선정하면 질량 불평형 및 공력 비대칭의 진단이 가능함을 알 수 있다. 임계치의 선정은 고장진단 시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 요소로 이의 선정을 위해서는 많은 실험이 수행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 그림 11에서와 같이 3p 주파수 성분을 토대로 질량불평형이 발생 하였을 경우 0.7794, 공력비대칭이 발생 하였을 경우 1.0000 이므로 주파수에 대한 임계치를 0.8로 선정하였다.

5. 결론

본 연구에서는 급성장하는 풍력 발전 시스템의 효율적인 운영과 유지보수를 위한 CMS에 대한 연구로 풍력 발전 시스템의 로터에서 발생할 수 있는 질량 불평형 및 공력 비대칭에 대한 체계적인 고장진단을 가능케 하는 주파수 스펙트럼 기반의 고장 진단 기법을 제안하였다.

제안된 진단 기법의 유용성 확인을 위해 GH-Bladed 프로그램을 이용하여 5MW 급 풍력발전시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며 시뮬레이션 결과 제안된 진단 기법은 적절한 임계치의 선정에 의해 효율적으로 로터 블레이드에 발생하는 질량 불평형 및 공력 비대칭을 검출할 수 있음을 확인할 수 있었다.

References

- [1] Hameed. Z., Hong. Y.S., Cho. Y.M., Ahn. S.H., Song. C.K., "Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, No. 1, pp. 1~39, 2009.
- [2] Bin. Lu., Yaoyu. Li., Xin. Wu., Zhongzhou. Yang., "A Review of Recent Advances in Wind Turbine Condition Monitoring and fault Diagnosis," *IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications*, pp. 1~7, 2009.
- [3] Xiang. G., Wei. Q., "Imbalance Fault Detection of Direct Drive Turbines Using Generator Current Signals," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 27, No. 2, pp. 468~476, 2012.
- [4] Sanz-Bobi. M.A., Garcia. M.C., "SIMAP: intelligent system for predictive maintenance application to the health condition monitoring of a wind turbine gear box," *Computers in Industry*, Vol. 57, pp. 552~568, 2006.
- [5] Caselitz. P., Giebhardt. J., "Rotor Condition Monitoring for Improved Operational Safety of Offshore Wind Energy Converters," *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 127, No.2, pp. 253~261, 2005.
- [6] Caselitz, P, Giebhardt, J., "Development of a fault

detection system for wind energy converters," *Development of a Fault Detection System for Wind Energy Converters*, EUWEC'96, 1996.

- [7] Jeffries. W. Q., Chambers. J.A., Infield. D.G., "Experience with bicoherence of electrical power for condition monitoring of wind turbine blades," *Vision, Image and signal Processing, IEEE Proceedings*, Vol. 145, No. 3, pp. 141~148, 1998.
- [8] Dae Sun Moon, Sung Ho Kim, "Characteristic analysis on the mass unbalance and aerodynamic asymmetry of wind turbine system by using GH-Bladed", *The Korean Society of Mechanical Engineers conference*, pp. 7-11, 2013.
- [9] Jonkman. J., Butterfield. S., Musial. W., Scott. G., "Definition of a 5-MW reference wind turbine for offshore system development," *Technical Report*, NREL/TP-500-38060, 2009.
- [10] Ahn. S.I., Choi. S.J., Kim. S.H., "Development of Fault diagnostic algorithm based on spectrum analysis of acceleration signal for wind turbine system," *Journal of Korean Institute of Intelligent System*, Vol. 22, No. 6, pp. 675~680, 2012.

저 자 소개



김세윤(Se-Yoon Kim)

2008년 : 군산대학교 전자정보공학부 졸업
2013년 : 동 대학원 석사
2013년~현재 : 동 대학원 박사 과정

관심분야 : 풍력발전, 고장진단 및 검출, 지능형 시스템
Phone : +82-18-278-0053
E-mail : ksydiary@kunsan.ac.kr



김성호(Sung-Ho Kim)

1984년 : 고려대학교 전기과 졸업
1986년 : 동 대학원 석사
1991년 : 동 대학원 박사
1988년~1990년 : 고려대 생산기술 연구소 연구원
1995년~1996년 : JAPAN HIROSHIMA University POST-DOC
1991년~현재 : 군산대학교 제어로봇 공학과 교수

관심분야 : 풍력발전, 인공지능경망, 센서 네트워크, 공장 자동화, 고장진단
Phone : +82-10-2610-1224
E-mail : shkim@kunsan.ac.kr