

특히 중심으로 살펴본 풍력발전 상태감시 기술동향

2000년대에 들어 풍력터빈이 대형화됨에 따라 풍력발전 상태감시 기술의 중요성을 인식하고 풍력터빈 가동률 및 신뢰성 증대를 위한 관련 연구가 크게 활성화되고 있다. 본 고에서는 풍력발전의 핵심 운영기술 및 상용 제품에 대하여 소개하고 풍력발전 상태감시 기술과 관련하여 출원된 특허들을 중심으로 국내외 기술 개발 동향을 살펴본다.

■ 박준영
(한국전력공사 전력연구원)

I. 서론

풍력터빈은 지난 20년간 기술의 발전으로 점차 대형화되어 왔고, 이에 따른 풍력발전의 경제성 확보로 풍력에너지 시장은 급속히 성장하고 있다. 특히 가장 최근에 독일 Repower에서 개발한 6.15MW급 풍력터빈의 경우 로터의 회전 직경이 126m에 이르고 있고, 현재 Clipper Windpower Plc.에 의해 7.5MW급의 풍력터빈이 개발 중이다.

하지만 이와 같은 터빈의 대형화는 필연적으로 타워 높이와 블레이드(blade) 길이를 증가시키고 이로 인해 풍력터빈의 구성 요소들이 견디어야 할 기계적, 전기적 허용 용량의 증가를 가져 오기 때문에, 결과적으로 터빈 고장이 발생할 가능성을 더욱 높아지게 한다. 그림 2는 풍력터빈 운영 연수에 따른 정격 출력

(rated power) 그룹별 고장률(failure rate)을 나타낸 것으로, 터빈의 정격 출력이 높아질수록 실제로 고장률이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 높아진 고장률은 결국 유지보수 비용의 증가로 이어지고, 특히 육상풍력에 비해 접근성이 좋지 않은 해상풍력의 경우 유지보수 비용이 에너지 생산 비용의 23~35%를 차지하고 있다[2, 3].

따라서 대형 풍력터빈일수록 시스템 상태 감시를 통하여 고장을 사전에 진단 및 예방함으로써 풍력터빈의 가동률 및 신뢰성을 증대시키는 기술이 필수적이다. 그림 3은 풍력발전 상태감시기술 관련 국제특허 연도별 출원 현황으로, 2000년대 들어

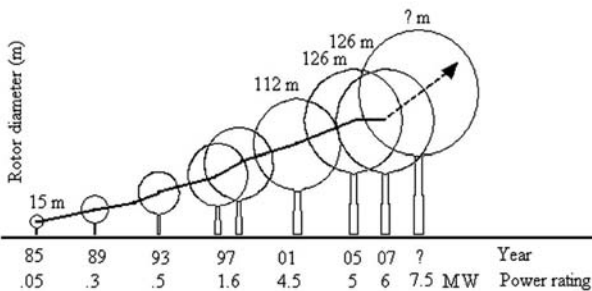


그림 1. 풍력터빈의 대형화(1).

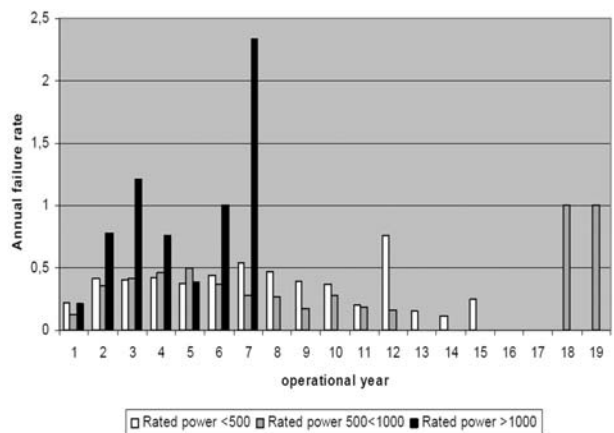


그림 2. 풍력터빈 운영 연수에 따른 정격 출력 별 고장률(4).

풍력터빈이 대형화됨에 따라 풍력발전 상태감시기술의 중요성을 인식하고 관련 연구가 크게 활성화되고 있음을 보여준다.

지금까지 개발된 풍력발전 상태감시 기술을 살펴보면[5, 6], 크게 진동 기반 감시 기술(vibration-based monitoring), 유체 기반 감시 기술(oil-based monitoring)과 블레이드 감시 기술로 나누어진다. 진동 기반 감시 기술은 풍력터빈 구성 요소들로부터 측정된 진동을 분석하여 구성 요소의 현재 상태 또는 성능을 추정한다. 이를 위해서 측정 대상의 진동 주파수 특성을 감지하기에 적합한 센서를 선정하여 장착하며, 위치 측정 센서, 속도 측정 센서, 가속도계 센서 등이 사용된다. 유체 기반 감시 기술은 풍력터빈의 베어링이나 기어 박스에 사용되는 오일들을 샘플링 또는 지속적 측정을 통하여 부품의 마모 진행 상태를 감시한다. 최근에는 풍력터빈의 대형화로 블레이드가 풍력터빈에 미치는 영향이 커지고 그림 4와 같이 터빈 전체 비용 중에서 차지하는 비중이 높아짐에 따라 블레이드 감시 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 광섬유를 이용한 블레이드 감시 기술이 크게 각광받고 있다.

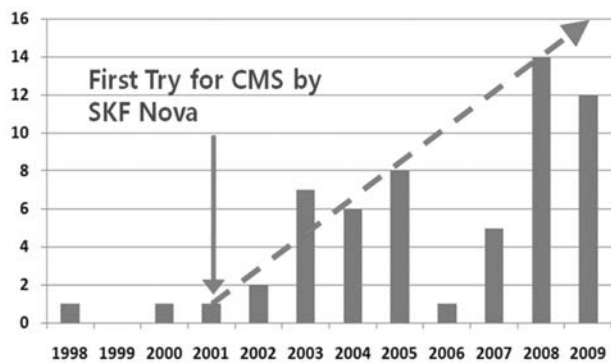


그림 3. 풍력발전 상태감시기술 연도별 국제특허 출원 건수.

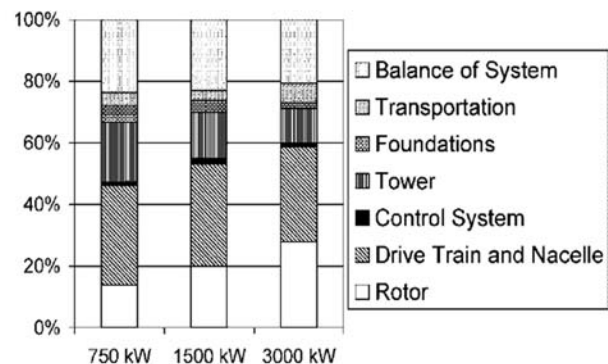


그림 4. 풍력터빈 전체 비용에 대한 터빈 구성요소의 비용(%)

본 고에서는 풍력발전 상태감시 기술과 관련하여 출원된 특허들을 중심으로 국내외 기술 개발 동향을 살펴본다. 이에 앞서 2장에서는 풍력발전의 핵심 운영기술에 대하여 개략적으로 소개하고 관련 출시 제품들을 열거한다.

II. 풍력발전의 핵심 운영기술

대단위 풍력단지의 경우 효율적이고 안정적인 운영이 매우 중요하며, 이를 위한 대표적인 핵심 운영기술로는 원방감시제어(SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템과 상태감시시스템(CMS : Condition Monitoring System)이 있다.

SCADA 시스템은 풍력터빈의 제어기(Controller)와 연계하여 원격으로 풍력터빈 제어 기본 기능을 수행하고 풍력터빈 운영 성능을 분석 및 보고하기 위한 데이터 수집을 수행하는 컴퓨터 기반 시스템으로 크게 Control, Monitoring, Analysis 및 Reporting 기능을 수행하며, 풍력발전 시스템 구성에 있어서 제어기와 함께 반드시 갖추어야 할 필수적인 구성요소이다. SCADA 시스템은 풍력단지의 전반적인 운영에 초점을 맞추어 개발되었기 때문에, 개별 터빈의 이상 조기 진단보다는 전반적인 운영 상태를 감시하는 데에 주안점을 두고 있다. SCADA 시스템은 각 풍력터빈의 감시를 위하여 터빈의 운전 관련 정보, 각 구성요소의 대표 특성치, 특히 온도 및 압력 감시에 주력하고 있으며, 보통 미리 결정된 Time-at-Level Limits에 의해 알람을 발생시킨다.

풍력발전용 SCADA 시스템은 터빈 제작사별로 자사 터빈 전용으로 개발되어 오다가, Garrad Hassan 에 의해 영국 DTI (Department of Trade and Industry, 통상산업부)의 Sustainable Energy Program의 일환으로 이중 터빈용 SCADA 시스템인 GH

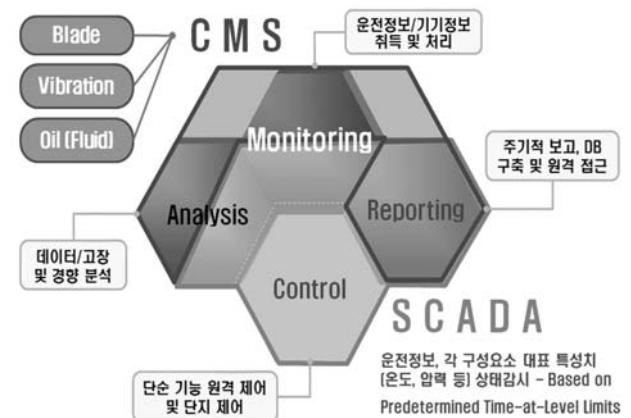


그림 5. 원방감시제어시스템과 상태감시시스템.

SCADA가 개발되었다. 그림 6은 GH SCADA 시스템의 구성을 보여준다. GH SCADA 시스템은 다양한 터빈들의 제어기와 호환되기 위하여 각 터빈들, 기상탑과 변전소(substation)에 RIU (Remote Interface Unit)이라는 별도의 장치를 각각 설치하여 운영하고 있다.

현재 SCADA 시스템은 개발자에 따라 다음과 같은 제품들이 개발되어 있다[8].

- 터빈 제작사 개발 시스템: ENERCON SCADA system (ENERCON, USA), Gamesa WindNet (Gamesa, Spain), GE - HMI/SCADA - iFix 5.1 (GE, USA).
- 신재생에너지 컨설팅 회사 개발 시스템: GH SCADA (Garrad Hassan, UK), SgurrTREND (SgurrEnergy, UK).
- 산업용 소프트웨어 회사 개발 시스템: BaxEnergy WindPower Dashboard (BaxEnergy GmbH, Germany), CONCERTO (AVL, Austria), CitectSCADA (Schneider Electric Pty. Ltd., Australia), ICONICS for Renewable Energy (ICONICS Inc., USA), InduSoft Wind Power solutions (InduSoft, USA), reSCADA (Kinetic Automation Pty. Ltd., USA), WindCapture (SCADA Solutions, Canada), Wind Systems (SmartSignal, USA), Wind Asset Monitoring Solution (Matrikon, Canada).
- 풍력발전 운영회사 개발 시스템: SIMAP (Molinos del Ebro, S.A., Spain).
- 전기 장치 공급자 개발 시스템: INGESYS Wind IT (IngeTeam, Spain), Gateway System (Mita-Teknik, Denmark).

반면, CMS는 풍력터빈 구성요소의 상태를 보다 면밀히 감

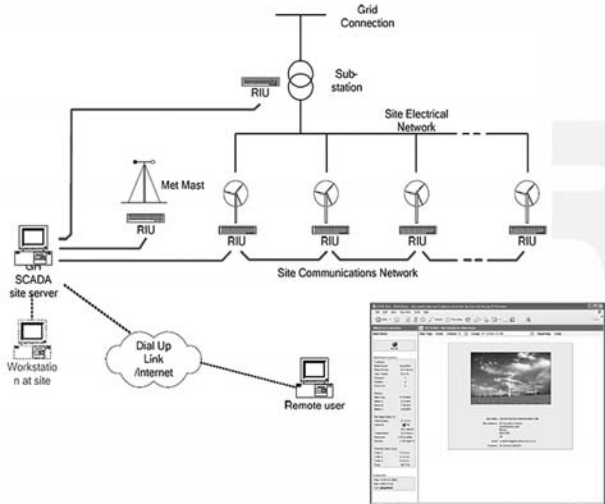


그림 6. Garrad Hassan의 GH SCADA.

시, 분석 및 예측을 함으로써 풍력터빈의 이상 발생을 조기에 진단하여 고장을 사전에 예방하는데 목적을 두고 개발된 시스템으로 풍력터빈의 신뢰성 및 경제성을 향상을 도모할 수 있다. CMS는 서론에서 전술한 바와 같이 그 감시 영역에 따라 크게 진동 상태 감시, 오일 상태 감시 및 블레이드 상태 감시 기반 시스템으로 구분되며, 보다 다양하고 진보된 분석 기법을 활용하여 이상 여부를 사전에 진단한다. CMS의 기능은 Monitoring, Analysis 및 Reporting으로 나누어지나, 전술한 바와 같이 감시 영역, 분석 기법 및 이상 조기 진단 차원에서 SCADA 시스템과 차별화된다. SCADA 시스템과 달리, CMS의 경우 과거에는 반드시 필요하지는 않은 선택적인 구성요소로 여겨졌으나, 풍력터빈의 대형화와 함께 신뢰성 확보 문제가 대두됨에 따라 대형 풍력터빈의 경우, 특히 접근성이 좋지 않은 해상 풍력의 경우 반드시 필요한 구성요소로 인식이 바뀌어가고 있다.

현재 CMS는 그 감시 대상에 따라 다음과 같은 제품들이 개발되어 있다[6].

- Drive Train의 진동 분석 기반 시스템: Bruel & Kjaer Vibro (Bruel & Kjaer, Denmark), CMS (Nordex, Germany), CBM (GE, USA), Condition Diagnostics System (Winergy, Germany), OneProd Wind (Areva, France), SMP-8C (Gamesa Eolica, Spain), System1 (Bentley Nevada, USA), TCM (Gram & Juhl A/S, Denmark), WindCon3.0 (SKF, Sweden), WinTControl (Flender Service GmbH, Germany), WiPro (FAG Industrial Services GmbH, Germany), WP4086 (Mita-Teknik, Denmark).
- 오일 감시 기반 시스템: HYDACLab (HYDAC Filtrertechnik GmbH, Germany), PCM200 (Pall Industrial Manufacturing, USA), TechAlert 10 & TechAlert 20 (MACOM, UK).
- 블레이드 감시용 진동 분석 기반 시스템: BLADEcontrol (IGUS ITS GmbH, Germany).
- 블레이드 Fibre Optic Strain 측정 기반 시스템: FS2500

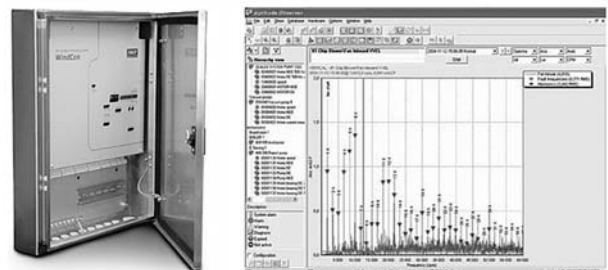


그림 7. SKF의 CMS.

(FiberSensing, Portugal), RMS (Moog Insensys Ltd., UK).

Ⅲ. 특허 동향

전술한 바와 같이 풍력발전 상태감시 기술 자체는 크게 진동 기반 감시 기술, 유체 기반 감시 기술과 블레이드 감시 기술로 분류될 수 있으나, 관련 출원특허들은 적용 대상 및 출원 범위에 따라 그림 8과 같이 구분될 수 있다. 본 장에서는 이 구분에 맞추어 관련 출원특허들을 소개하고자 한다.

각 특허 소개 내용 뒤의 괄호 안에는 출원인과 출원일자를 기재하였다.

3.1 블레이드 관련 출원특허

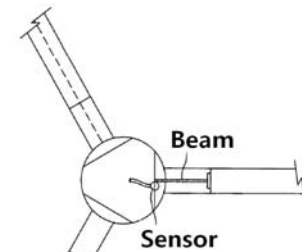
서론에서 기술한 바와 같이 풍력터빈의 대형화에 따라 블레이드 감시 기술 개발이 활발하게 진행되고 있고, 이는 그림 8에서 블레이드 감시 관련 출원 건수가 가장 많다는 점에서도 확인될 수 있다.

블레이드의 상태 감시를 위해 고안된 특허들을 살펴보면, Beam의 휘어짐(deflection), 가속도계, 하중 센서, 레이저 등이 응용한 기술들이 개발되었고 상술하면 다음과 같다.

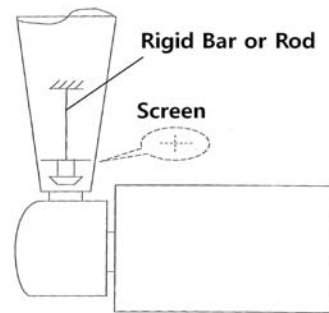
- Beam의 휘어짐 이용
- Beam의 한 쪽 끝을 블레이드에 고정하고 허브 부근의 다른 한 쪽 끝의 움직임을 센서를 이용하여 측정(General Electric, 2004.6.30).
- Rigid Bar의 한 쪽 끝을 블레이드에 고정하고 자유롭게 움직일 수 있는 Root 방향의 다른 한 쪽 끝에는 눈금을 매기거나 표시가 된 Screen을 설치하여 블레이드의 휘어짐에 따른 눈

금이나 표시의 움직임을 Optical Profiling Sensor 또는 CCD Imaging Device로 감지하는 장치로, 이를 통해 Edgewise, Flapwise 또는 Rotational 방향으로의 하중을 감지(VESTAS, 2009.11.27).

- 가속도계 이용
- 로터에 가속도계를 장착하여 측정된 주파수 스펙트럼을 블레이드 손상에 따른 레퍼런스 스펙트럼과의 비교를 통하여



(a) GE



(b) VESTAS

그림 9. Beam의 휘어짐을 이용한 블레이드 모니터링.

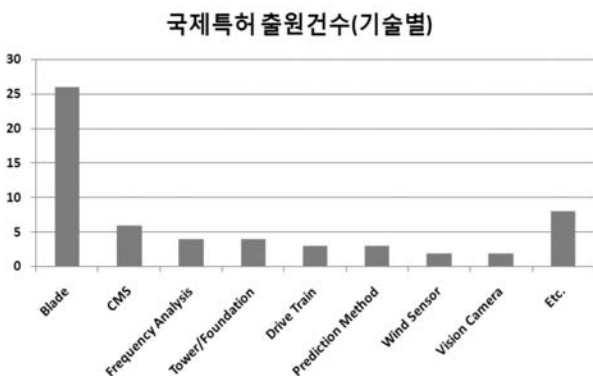
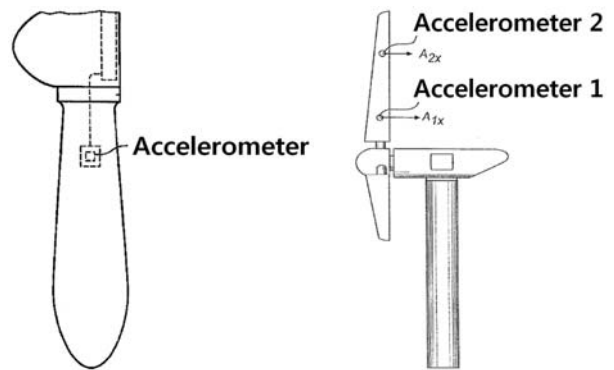


그림 8. 풍력발전 상태감시 관련 기술별 국제특허 출원 건수.



(a) IGUS

(b) VESTAS

그림 10. 가속도계를 이용한 블레이드 모니터링.

- 로터 블레이드의 상태를 감시하는 장치(IGUS, 2005.7.6).
- 로터에 두 개의 가속도계를 장착하고, 두 번째 가속도의 측정치와 추정치의 차이를 이용하여 로터 블레이드 상태를 감시하는 장치(VESTAS, 2009.10.12).
- 하중 센서 또는 가속도계 이용
- Idling 상태에서 하중 센서 또는 가속도계로 Edgewise Oscillation을 감지하는 특허로, Yaw 제어를 통하여 Edgewise Oscillation을 감소시킴. Edgewise Oscillation은 타워를 중심으로 한 주파수 0.9~1.8Hz의 나셀 진동을 유발할 수 있음.(VESTAS, 2008.11.27).
- 센서를 장착하여 진동 또는 하중 조건을 측정하여 Icing Model로부터의 모의시험 결과와 비교를 통하여 결빙 여부 판단(General Electric, 2005.7.28).
- 레이저 이용
- Electromagnetic Radiation Emitter Output에서 방출된 Laser 빛이 Blade Reflector에 의해 반사되어 Electromagnetic Radiation Receiver Input으로 수광되도록 시스템이 구축되어 있음. 하

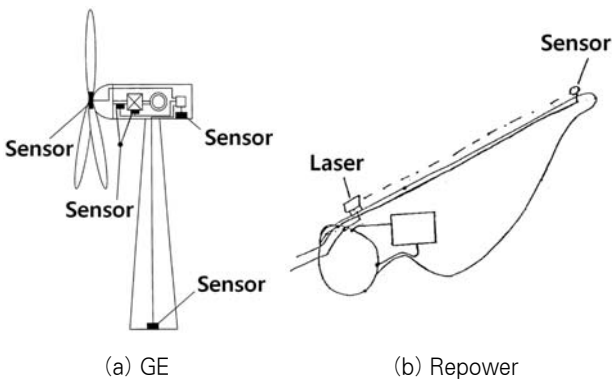


그림 11. 블레이드 결빙 감지 기술.

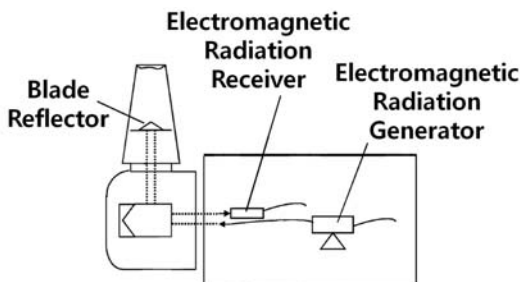
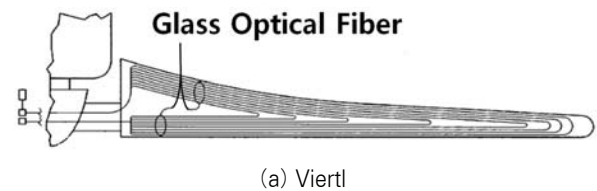


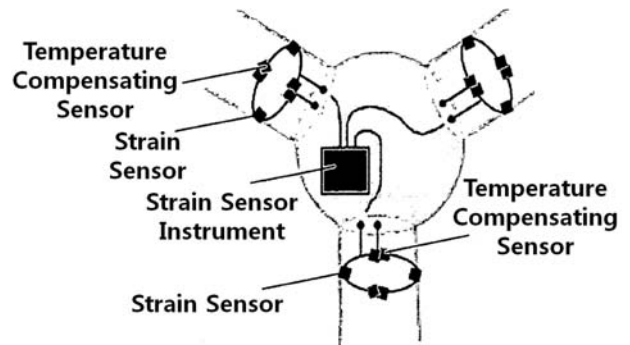
그림 12. VESTAS의 레이저를 이용한 블레이드 모니터링.

- 중에 의해 블레이드가 휘어져서 Electromagnetic Radiation의 변화가 발생하는 정도로부터 블레이드의 휘어짐 및 상태 감지(VESTAS, 2009.11.11).
- 레이저를 이용한 결빙 감지 특허(Repower Systems AG, 2006.07.13).
- 광섬유 이용
- 그림 13(a)와 같이 블레이드 표면에 포설된 광섬유에 대한 빛 전송량을 확인하여 블레이드에 큰 응력 발생 여부를 감지 (Viertl, 2005.10.31).
- 광섬유 이용
- 그림 13(a)와 같이 블레이드 표면에 포설된 광섬유에 대한 빛 전송량을 확인하여 블레이드에 큰 응력 발생 여부를 감지 (Viertl, 2005.10.31).
- 광섬유 이용
- 그림 13(a)와 같이 블레이드 표면에 포설된 광섬유에 대한 빛 전송량을 확인하여 블레이드에 큰 응력 발생 여부를 감지 (Viertl, 2005.10.31).

- 광섬유 이용
- 그림 13(a)와 같이 블레이드 표면에 포설된 광섬유에 대한 빛 전송량을 확인하여 블레이드에 큰 응력 발생 여부를 감지 (Viertl, 2005.10.31).
- 광섬유 이용
- 그림 13(a)와 같이 블레이드 표면에 포설된 광섬유에 대한 빛 전송량을 확인하여 블레이드에 큰 응력 발생 여부를 감지 (Viertl, 2005.10.31).
- 광섬유 이용
- 그림 13(a)와 같이 블레이드 표면에 포설된 광섬유에 대한 빛 전송량을 확인하여 블레이드에 큰 응력 발생 여부를 감지 (Viertl, 2005.10.31).



(a) Viertl



(b) INSENSYS

그림 13. 광섬유를 이용한 블레이드 모니터링.

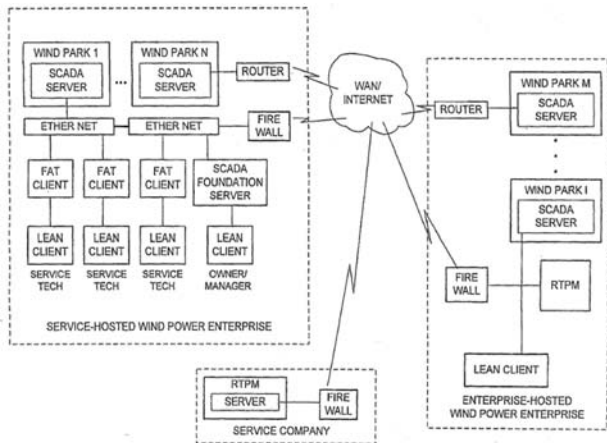


그림 14. Wind Power Management System.

- Strain Sensors로부터 측정된 Bending Moments를 이용하여 Rotation Speed, Angular Position, Drive Torque, 로터에 가해지는 Resultant Load를 계산(INSENSYS LIMITED, 2008.5.2).

- 블레이드 내 Strain Sensor 설치에 관한 특허(INSENSYS LIMITED, 2008.10.3).

블레이드 감시에 대하여 상기와 같이 다양한 접근법들이 개발되고 있지만, 가장 많이 적용되고 있는 센서 유형은 Accelerometers, Acoustic Emission Detectors, Fibre-Optical Strain Gauges이다. 이에 대하여 덴마크의 Risø 팀에서 시험한 결과[9], 세 센서 모두 만족스럽게 동작하였고 서로를 보완할 수 있을 것으로 평가하였다. 각각에 대한 평가는 다음과 같다.

- Accelerometers는 진동 감지 및 경향 분석을 통하여 막 생성되기 시작한 손상을 검출하는데 적합하다.
- Acoustic Emission은 작은 Laminate Flaws를 검출하는데 최고의 성능을 보인다.
- Fibre Optic Displacement Transducers는 특히 Adhesion Failures를 검출하는데 효과적이다.

3.2 CMS 관련 출원특허

상대감시시스템을 구성하는 방법에 관한 특허이다.

- 이종(異種) 터빈/SCADA 시스템으로 구성된 풍력단지에 대한 통합된 관리 시스템(SEAWEST HOLDINGS, 2003.12.14)
- 풍력 터빈에 제어기와 연계된 감시 및 처리 장치를 설치하여 원거리에 위치한 감시 및 제어 시스템에 네트워크를 통하여 알람을 보내줄 수 있는 Predictive Maintenance System (Romo & Gonzalez, 2004.11.12).

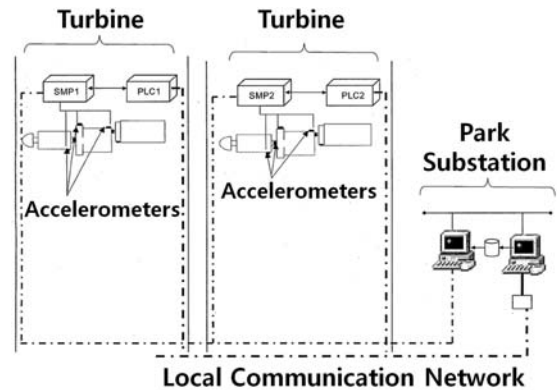


그림 15. Predictive Maintenance System.

- 풍력터빈 구성요소의 움직임을 감시하는 센서들을 사용하는 Condition-based Monitoring을 제공하는 장치로, Drive Train 구성요소와 블레이드의 Fatigue Assessment 및 Trending, Diagnostic Analysis 등을 위해서 Main Shaft Flange Displacement Sensor System을 사용함(LeMieux & Moroz, 2005.9.2).

이 외에 시스템 관련 특허로는 VESTAS(2008.11.07)와 MITSUBISHI(2001.05.25)의 특허가 있다.

3.3 주파수 분석기법 관련 출원특허

- 주파수 스펙트럼의 Cepstrum을 계산하는 분석기법에 관한 특허로, 서로 가깝게 놓여있는 주파수들을 분리해야 하는 경우 또는 Fault 진동 성분의 크기가 주위 환경 소음의 크기와 거의 같은 경우의 환경 하에서 좋은 성능을 보임(SIEMENS, 2000.7.7).
- Tower Shadow 효과에 의한 진동과 같이 유지기간이 짧은 경우에도 진동주파수를 정확하게 추정하여 운전상태를 판별하는 방법으로, 출력전력신호의 감쇄진동의 Auto Regressive Model을 이용(Tokyo Electric Power, 2005.3.3).

3.4 타워/지지구조물 관련 출원특허

- 나셀 내에 가속 센서 2개를 서로 수직으로 장착하여 감시하는 특허로, 타워의 공진 주파수에서의 발진을 방지하고 또한 로터의 불균형을 감지(Wobben, 2002.3.14).
- 풍력터빈 타워에 인가된 부하를 검출하는 장치와 방법에 대한 특허로 저항 스트레인 게이지를 타워의 베이스 영역에 배치하여 부하를 측정(Wobben, 2002.3.14).
- 풍력터빈 지지구조물(Foundation)에 인가 하중 측정시스템

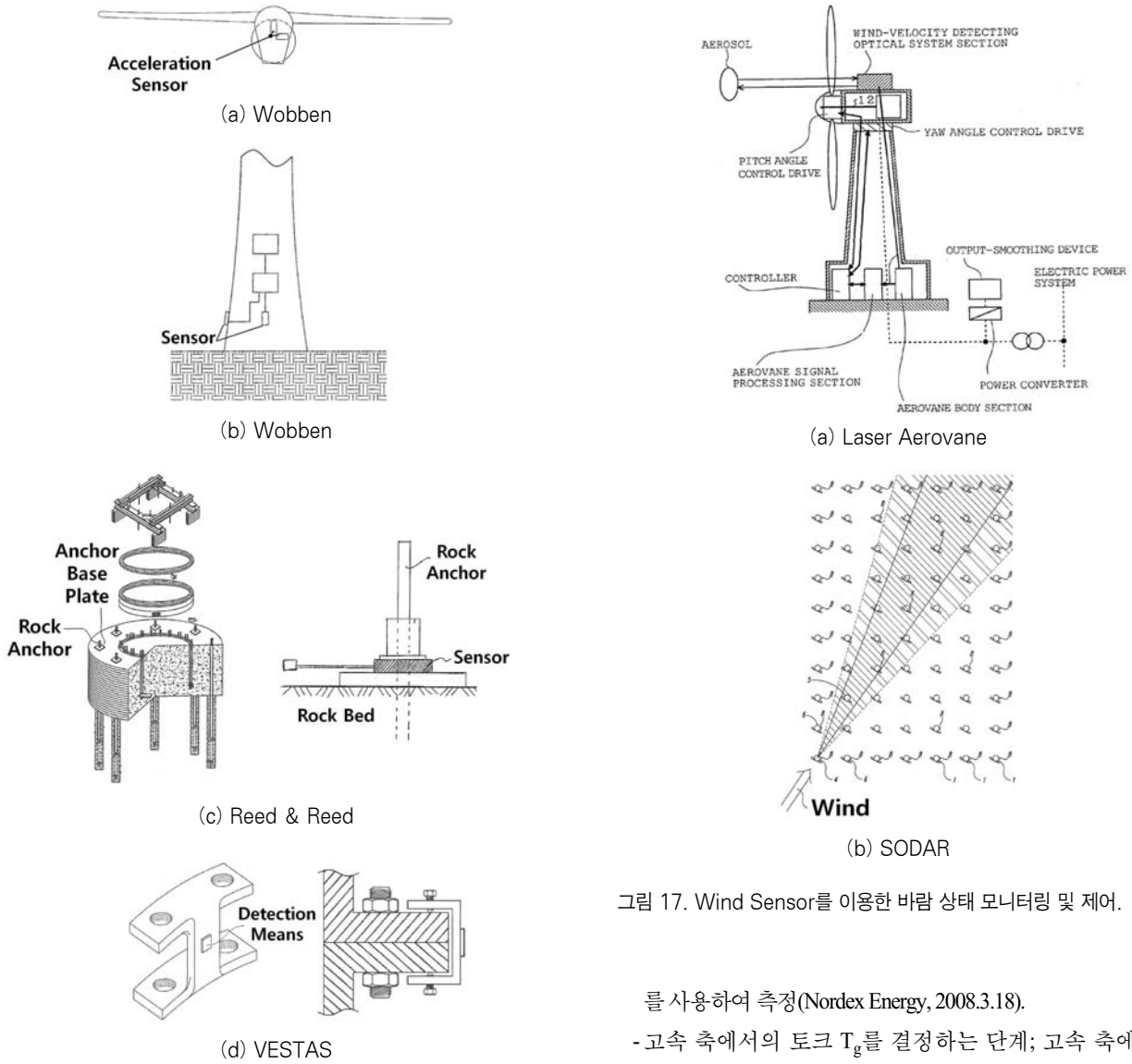


그림 16. 타워/지지구조물 모니터링.

으로, Rock Anchor Pad에 장착되어 Anchor에 부가되는 하중을 측정(Reed & Reed, 2009.10.16).

- 풍력터빈의 타워를 구성하는 여러 섹션들을 연결해주는 Flange에서 인접한 두 섹션들의 상대적인 움직임을 감지하는 장치(VESTAS, 2009.11.20).

3.5 Drive Train 관련 출원특허

- 로터의 축과 발전기 축의 회전 속도를 각각 측정하여 속도가 설정된 최대치를 넘어설 경우 에러 시그널을 발생시키는 특허로, 각 축의 속도는 적어도 2개 이상의 독립적인 속도 센서

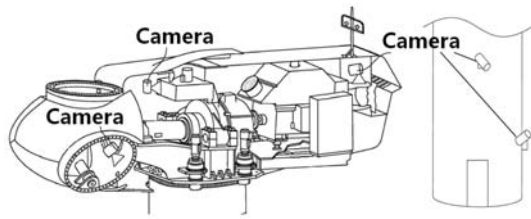
그림 17. Wind Sensor를 이용한 바람 상태 모니터링 및 제어.

를 사용하여 측정(Nordex Energy, 2008.3.18).

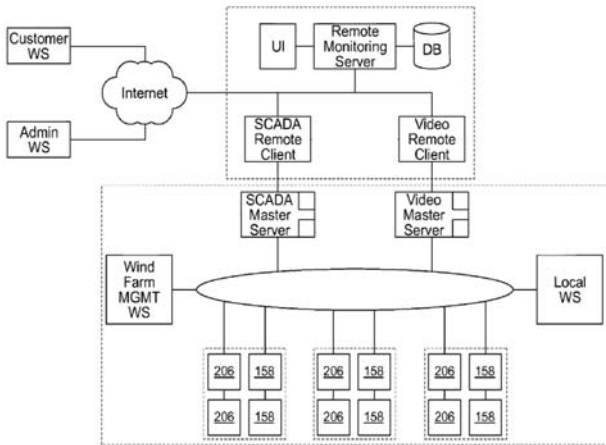
- 고속 축에서의 토크 T_g 를 결정하는 단계; 고속 축에서의 Moment of Inertia I_g 를 결정하는 단계; 고속 축에서의 각 가속도 α_g 를 결정하는 단계; 공식 $T_r = (T_g - I_g \cdot \alpha_g) \cdot i$ 를 통해서 Power Train의 저속 축에서의 토크 T_r 를 결정하는 단계; Rainflow-counting 알고리즘을 토크 T_r 에 적용하여 모든 토크 평균값을 위한 토크의 범위에서 Number of Cycles(Torque Oscillations에 의한 Fatigue Damage)를 결정하는 단계로 구성된 특허(ECOTECNIA, 2008.10.21).
- Drive Train 구성요소의 상태를 평가하기 위하여 다른 로터 rpm에서 측정된 진동 스펙트럼들을 중첩(Superposition) 스펙트럼으로 표시(PRUEFTECHNIK, 2009.9.29).

3.6 Wind Sensor 관련 출원특허

- 나셀 위에 설치된 Laser Aerovane을 이용하여 풍력터빈을 향



(a) General Electric



(b) Qu

그림 18. 감시 카메라를 이용한 모니터링.

해 부는 바람의 방향과 속도를 미리 예측하고 이에 맞춰 Yaw 와 Pitch 각을 예측 및 제어하여 출력의 최대 효율을 추구 (MITSUBISHI, 2003.11.13).

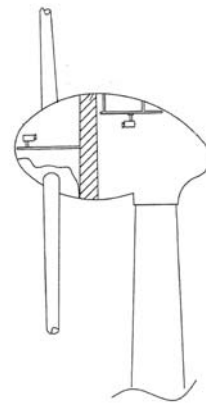
- 로터의 전면에서 SODAR(음파 탐지기)를 통해 바람의 상태를 측정하고 바람직하지 않은 바람 상태(돌풍, 스콜)가 발생했을 때 블레이드의 받음각을 적절하게 변경시킴으로써 풍력 단지의 설비를 보호하는 조기 경보 시스템(Wobben, 2004.1.30).

3.7 Vision Camera 관련 출원특허

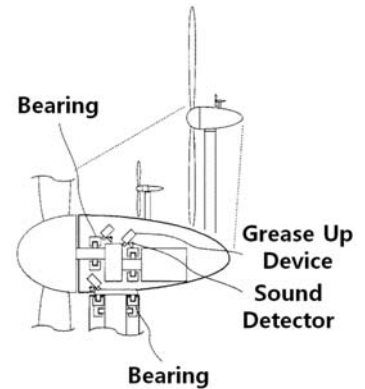
- 풍력터빈 나셀 내부 및 타워 하부 등에 설치된 감시 카메라들과 촬영된 영상을 전송 받는 중앙 감시 장치로 구성된 특허(General Electric, 2007.12.12).
- 감시 카메라와 연계한 비디오 감시 시스템과 SCADA 시스템을 결합하여 풍력터빈을 감시하는 방법(Qu, 2009.9.30).

3.8 기타 관련 출원특허

- 음향 모니터링



(a) Wobben



(b) Toyo Electric

그림 19. 음향 모니터링.

- 풍력터빈 나셀 내부에서 발생하는 음향을 채집하여 소음 스펙트럼을 기록하고, 저장된 레퍼런스 스펙트럼과 비교하여 이상 소음이 발생할 경우 카메라 등의 광학 센서가 소음이 발생하는 장소를 향할 수 있도록 마련된 풍력터빈 감시 시스템(Wobben, 2002.2.14).

- 풍력터빈 나셀 내 구동부 근처에 음향 검출기를 장착하고 정상 상태와 다른 소음이 발생 시 자동적으로 윤활유를 공급하여 윤활유 부족에 따른 기계적 열화를 방지하는 장치(Toyo Electric, 2003.8.26).

· 기타

- 광섬유를 이용하여 광통신과 온도 측정 및 감시를 동시에 수행(LS전선, 2008.05.07).
- 여러 개의 Data Processors를 가진 풍력발전시스템에서 Events를 기록하는 방법으로, Data Processors를 동기화하는 방법을 제공(VESTAS, 2008.11.26).
- 풍력터빈 나셀 내 구성요소인 발전기 내부의 Rotor와 Stator 사이의 Air Gap의 크기를 감시하여 발전기의 이상 여부를 판단하는 방법(XEMC DARWIND BV, 2009.12.17).

IV. 결론

본 고에서는 풍력발전 상태감시 기술동향에 관해 다루었다. 풍력발전의 핵심 운영기술 및 출시 제품들에 대하여 소개하였고, 풍력발전 핵심 구성요소의 상태를 진단하기 위하여 현재까지 활발히 개발되고 있는 기술들을 출원특허들을 중심으로 설

명하였다.

전술한 바와 같이 선진외국에서는 풍력터빈의 대형화에 따른 상태감시기술의 중요성을 인식하여 관련 연구가 활성화되어 있고, 국내에서도 2010년 11월에 발표된 지식경제부의 서해안 2.5GW 해상풍력 추진로드맵에 의하면 해상풍력이 고부가가치를 창출하는 차세대 성장산업으로 육성될 전망이다. 앞으로 관련 분야의 기술 개발에 집중 투자하여 지속적으로 수행해나간다면 풍력 단지의 신뢰성 및 경제성을 제고할 수 있을 뿐만 아니라 세계시장을 선도해나갈 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] C. C. Ciang, J. -R. Lee and H. -J. Bang, "Structural health monitoring for a wind turbine: a review of damage detection methods," *Measurement Science and Technology*, vol. 19, no. 12, 122001, Oct. 2008.

[2] E. J. Wiggelinkhuizen, et al., *Connow final report*, ECN-E-07-044, Jun. 2007.

[3] T. W. Verbruggen, *Wind turbine operation & maintenance based on condition monitoring - final report*, ECN-C-03-047, Apr. 2003.

[4] J. Ribrant, "Reliability performance and maintenance - A survey of failures in wind power systems," Master Thesis, KTH School of Electrical Engineering, 2006.

[5] Z. Hameed, Y. S. Hong, Y. M. Cho, S. H. Ahn and C. K. Song

"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.

[6] C. J. Crabtree, "Survey of commercially available condition monitoring systems for wind turbines," Durham University, May. 2010.

[7] R. W. Hyers, J. G. McGowan, K. L. Sullivan, J. F. Manwell, and B. C. Syrett, "Condition monitoring and prognosis of utility scale wind turbines," *Energy Materials*, vol. 1, no. 3, pp. 187-203, 2006.

[8] B. Chen, "Survey of commercially available SCADA data analysis tools for wind turbine health monitoring," Durham University, Nov. 2010.

[9] G. Marsh, "In-service monitoring of turbine blades," *Reinforced Plastics*, vol. 52, iss. 5, pp. 24-27, 29, May. 2008.

저자약력



박준영

- 1995년 KAIST(한국과학기술원) 전기 및 전자공학과 학사 졸업
- 1997년 KAIST 기계공학과 석사 졸업
- 2004년 KAIST 기계공학과 박사 졸업
- 2004년~현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원.

· 관심분야 : 풍력발전 CMS 및 SCADA 시스템, 전력산업용 로봇.