

750kW급 풍력발전기의 부하 모니터링 시스템에 관한 연구

A Study on the Mechanical loads Monitoring System of a 750kW Wind Turbine

남 윤 수* 장 후 영** 윤 태 준**
Nam, Yun-Soo Jang, Hu-Yeong Yun, Tae-Jun

Abstract

The exact load measurements for the mechanical parts of wind turbine are important step both for evaluation of specific wind turbine design and for a certification process. A wind turbine monitoring system is essential equipment for mechanical load analysis of a wind turbine. This monitoring system is based on IEC 61400-13 and strain gage are used to measure a mechanical load of wind turbine. Also this system monitors signals from a meteorological mast. The measured signals which are sampled at 200 Hz are automatically saved on a data file in the unit of ten minutes. A detail explanation for the developed wind turbine monitoring system is presented in this study.

키워드 : 풍력발전기, 기계적 부하, 모니터링 시스템
Keywords : Wind Turbine, Mechanical Loads, Monitoring System

1. 서론

많은 선진국과 우리나라는 천연의 무공해 대체 에너지를 개발하고 있으며, 상당수 실용화에 더욱 박차를 가하고 있다. 이런 무공해 대체에너지 가운데 풍력 에너지를 이용한 풍력발전기는 세계적으로 보급되어 있으며 강원도 대관령, 제주도 등 우리나라의 여러 곳에 보급되어 풍력 발전 단지를 형성하고 있다. 2007년 8월에 발표한 삼성경제연구소의 자료에 따르면 2006년을 기준으로 국내 풍력 발전 보급량은 197.4MW로 국내 전체 발전량의

0.3%를 차지한다고 보고했다. 또한, 국내에서는 효성, 유니슨 등 국내 기업의 풍력발전 기술개발(750KW, 1.5MW 등)이 활발히 이루어지고 있으며 해상풍력발전 시스템개발에도 박차를 가하고 있는 상황이다. 풍력발전기의 보급이 확대되고 기술개발이 진행되는 과정에서 설계된 풍력발전기가 전력 생산 능력, 기계적 수명 등 여러 가지 설계 조건에 충족하는지를 실증하는 것은 대단히 중요한 과정이다. 실증 과정에서 필요한 데이터를 수집하기 위해서는 조건에 맞는 모니터링 시스템의 구축은 필수적이다. 데이터 수집을 위한 모니터링 시스템은 풍력발전기의 성능과 관련된 데이터를 수집하는 성능 모니터링 시스템과 기계적 부하와 관련된 데이터를 수집하기 위한 부하 모니터링 시스템으로 구성된다. 이러한 풍력발전기 모니터링 시스템은 IEC(International Electrotechnical Commission) Wind Turbine Standards에 근거하여 풍력발전기에 대한 성능 및 기계적 부하에 관련된 데이터를

* 강원대학교 기계메카트로닉스 공학부 교수, 공학박사
** 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스 공학과 석사과정

수집하게 된다.

이렇게 수집된 데이터를 바탕으로 설계 시 성능을 실제로 충족하는지 검증할 수 있으며 출력 조절(Regulation)을 위한 제어 기법 등의 개발에 이용하여 출력 성능을 향상시킬 수 있다. 뿐만 아니라 풍속에 따라 수집된 블레이드(Blade), 주축(Low speed shaft), 타워(Tower) 등과 같은 기계적 구조물의 부하 데이터를 이용하여 피로 수명 예측을 하거나 설계 시 요구 조건과도 비교할 수 있다. 블레이드의 경우, 풍속에 따른 블레이드 회전 시 걸리는 부하 데이터를 분석하여 풍속에 따라 블레이드의 피치(Pitch)나 회전 속도 등을 제어함으로써 공력에 의한 부하를 최소로 하면서 풍력발전기의 출력을 적절히 유지하도록 제어할 수 있게 된다. 이와 같이 본 연구는 풍력발전기 부하를 측정하기 위한 모니터링 시스템 구축 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 기계적 부하 측정을 위한 스트레인 게이지 설치 및 보정

기계 제품 설계 후 그 제품의 기계적 부하를 측정하고 분석하는 일은 제품의 설계검증을 위해 대단히 중요한 부분이다. 또한 공인시험기관 등에서 인증(Certification)을 획득하기 위해서도 위와 같은 부분은 반드시 수행되어야 된다. 풍력발전기 또한 각각의 중요한 기계 요소에 대한 부하를 측정 및 분석하는 과정이 필요하며 이를 위해 데이터를 수집하기 위한 부하 모니터링 시스템은 필수적이다. 기계적 구조물의 부하를 측정하는 가장 보편적인 방법은 스트레인 게이지를 부착하고 여기서 출력되는 신호를 증폭하여 기계적 부하에 비례하는 전기적 신호를 모니터링 하는 것이다. 이 관계를 수식으로 표현하면 다음과 같다

$$F=K \cdot V \quad (1)$$

위 식에서 F는 기계구조물에 걸리는 부하(N 또는 Nm), K는 스트레인 게이지 민감도(Sensitivity, N/volt 또는 Nm/Volt), V는 스트레인 게이지 출력 전압(Volt)이다. 식(1)에서 측정 가능한 양은 스트레인 게이지 증폭회로 출력전압(volt)이다. 따라서 기계적 구조물에 걸리는 부하를 알기 위해서는 스트레인 게이지 회로의 민감도(Sensitivity)인 K를 구하는 것이 필수적이다. 이 과정은 스트레인 게이지를 이용한 계측에 있어서 항상 이루어져야 하는 과정이며, 이러한 과정을 스트레인 게이지 회로 보정이라고 부른다. 풍력발전기의 주요 기계적 요소에 걸리는 기계적 부하를 측정하기 위해 스트레인 게이지를 사용하였다. 따라서 민감도 K값을 구하기 위한 스트레인 게이지회로 보정 작업이 필요하

며 보정 작업은 풍력발전기가 설치된 사이트에서 실시하였다.

2.1 스트레인 게이지의 설치

풍력발전기의 주요 기계적 요소는 블레이드, 주축, 발전기 타워로 구성된다. 그림 1과 같이 블레이드의 경우, 계측용 블레이드(Instrument blade)를 선정하여 블레이드 루트부(Root)에 2축에 대한 굽힘 모멘트(Bending Moment)와 1축에 대한 비틀림 모멘트(Torsion Moment)를 측정하기 위해 스트레인 게이지를 부착하였다. 주축의 경우에도 동일하다. 타워의 경우에는 2축에 대한 굽힘 모멘트를 측정하기 위한 게이지를 부착하였다.

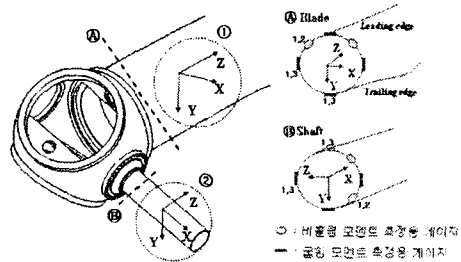


그림 1 블레이드 및 주축 좌표(①,②)와 스트레인 게이지 부착 위치

계측 블레이드에는 IEC 61400-13의 블레이드 좌표계(Blade coordinate system), 주축에는 허브 좌표계(Hub coordinate system)를 사용하였다. 다음은 실제 설치 완료된 스트레인 게이지의 모습이다.

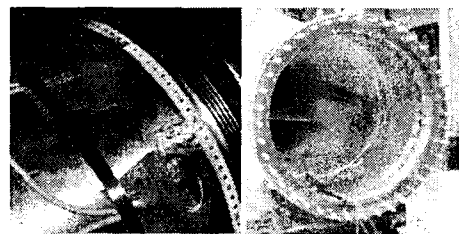


그림 2 실제 스트레인게이지 부착 모습

2.2 스트레인 게이지 보정 방법

보정 작업은 실제 풍력발전기가 설치된 사이트에서 실시하게 된다. 작업 수행을 할 경우 날씨, 지형 조건 등 주변 환경에 대한 영향을 고려해 실시한다. 그림3의 왼쪽과 같이 계측 블레이드의 각(Azimuth angle, 12시 방향을 0°로 정의)을 270°로 고정시킨 뒤 두 대의 크레인을 이용하여 하중의 인가 및 측정을 위한 지그(Zig) 및 로드셀

(Loadcell)을 설치한다. 이 때 지그는 계측 블레이드의 루트부에서 16.13m 떨어진 지점에 결합한다. 로드셀에 와이어를 연결한 뒤 크레인의 도르레를 이용해 크레인 바디에 연결 후, 크레인 바디와 와이어에는 1톤 체인 블록을 설치하여 하중(최대 1.4톤)을 인가하게 된다.

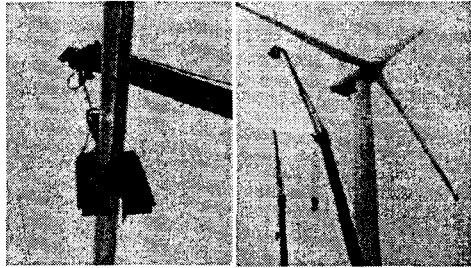


그림 3 지그 및 로드셀 설치 모습

지그와 로드셀을 설치하고 난 뒤 스트레인 게이지 출력 전압을 계측할 시스템을 구축한다. 스트레인 게이지와 로드셀의 출력신호는 HBM사의 MGCplus라는 계측용 하드웨어 중 스트레인 게이지 측정 모듈과 Catman이라는 소프트웨어를 사용하여 측정하였다.

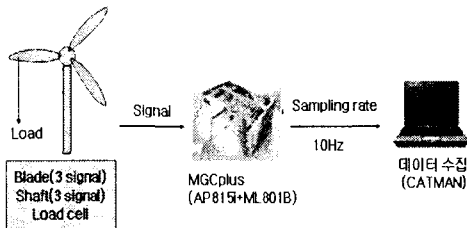


그림 4 신호 계측 시스템의 구성

계측 시스템이 완료되면 그림 5과 같은 방법으로 Flapwise 방향 및 Edgewise 방향으로 하중을 가하면서 하중에 따른 스트레인 게이지의 출력 신호를 측정한다.

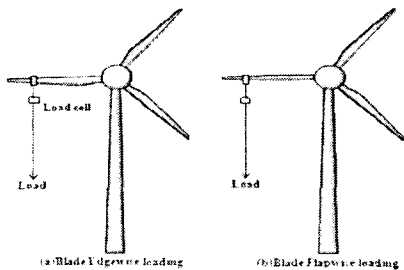


그림 5 하중 인가 방법

그 후 edgewise 방향에서 그림 6과 같이 계측

블레이드의 피치각(pitch angle)을 30°,45°,60°로 변화시키면서 데이터를 계측하였다.

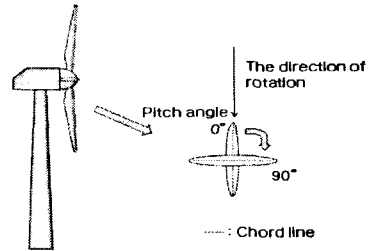


그림 6 피치각에 따른 하중 인가 방법

아래 그림 7과 8은 스트레인 보정 작업 시, 하중에 대한 스트레인 게이지 출력 신호를 나타내고 있다.

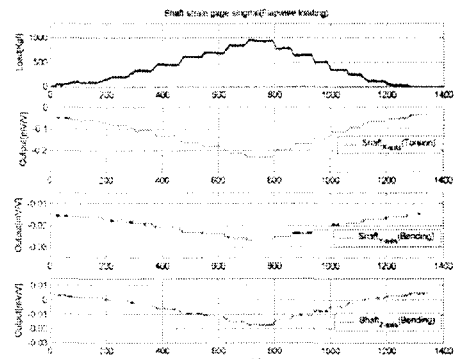


그림 7 Flapwise 방향 하중 인가 시 주축에 부착된 스트레인 게이지 출력 신호

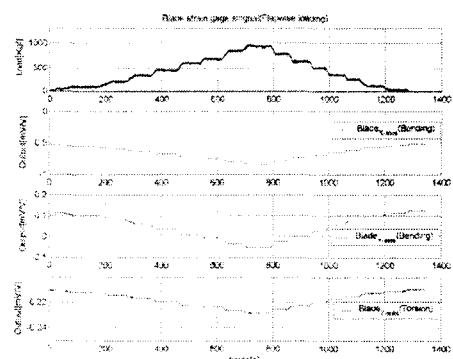


그림 8 Flapwise 방향 하중 인가 시 블레이드에 부착된 스트레인 게이지 출력 신호

그림 7은 하중 크기에 따른 주축에 설치된 스트레인 게이지의 출력 신호를 나타낸 것이다. 위에서 순서대로 로드셀에 인가되는 하중, 주축 x방향 스

트레인 게이지 출력, y방향 스트레인 게이지 출력, z방향 스트레인 게이지 출력 순으로 그래프가 나타나있다. 하중의 크기가 커짐에 따라 x방향의 비틀림 모멘트가 크게 걸리게 되므로 x축의 스트레인 게이지의 출력이 큰 것을 확인할 수 있다. y축과 z축 방향의 스트레인 게이지의 신호도 출력되지만 x축에 비해 크기가 작음을 알 수 있다.

그림 8은 하중 크기에 따른 블레이드에 설치된 스트레인 게이지의 출력 신호를 나타낸 것이다. 신호의 순서는 주축의 경우와 동일하다. 스트레인 게이지 출력은 하중이 증가함에 따라 y축 방향의 굽힘 모멘트를 크게 발생하기 때문에 x축 방향의 스트레인 게이지의 출력이 크게 출력되는 것을 그래프에서 확인할 수 있다.

위에서 언급한 보정작업으로 구한 하중에 따른 스트레인 게이지의 출력 전압에 대한 데이터를 이용하여 스트레인 게이지 민감도(K)를 구할 수 있다. 주축의 경우, 하중에 따른 스트레인 게이지 출력전압에 대한 관계식을 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{x0} \\ V_{y0} \\ V_{z0} \end{bmatrix} = KM + V_0 \quad (2)$$

식(2)에서 알고 있는 변수는 스트레인 게이지 출력전압 V, 초기 전압 V_0 와 인가된 하중에 의해 발생하는 모멘트 M이다. 따라서 pseudo inverse를 이용하여 K값을 구하면 식 (3)와 같다.

$$K = \begin{bmatrix} -9.8063 \times 10^{-7} & -8.0847 \times 10^{-9} & -6.2510 \times 10^{-9} \\ -8.3758 \times 10^{-10} & 1.0136 \times 10^{-6} & 2.5260 \times 10^{-9} \\ -2.3245 \times 10^{-9} & 1.3116 \times 10^{-8} & 1.0139 \times 10^{-5} \end{bmatrix} \quad (3)$$

식(2)를 다시 표현하면 식(4)와 같이 된다.

$$M = \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = A^{-1}(V - V_0) = A^{-1} \begin{bmatrix} V_x - V_{x0} \\ V_y - V_{y0} \\ V_z - V_{z0} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$K^{-1} = \begin{bmatrix} -1.0197 \times 10^6 & -8.0528 \times 10^3 & -6.2666 \times 10^3 \\ -8.3688 \times 10^2 & 9.8665 \times 10^5 & -2.4631 \times 10^3 \\ -2.3270 \times 10^3 & -1.2781 \times 10^4 & 9.8627 \times 10^5 \end{bmatrix}$$

$$V_0 = \begin{bmatrix} -1.3057 \times 10^{-3} \\ 4.1736 \times 10^{-3} \\ 2.5931 \times 10^{-3} \end{bmatrix}$$

따라서 스트레인 게이지 민감도는 K의 역행렬과 같다. 스트레인 게이지 출력에 따라 각 중요 부위에 가해지는 부하의 크기를 예측할 수 있게 된다.

3. 부하 모니터링 시스템의 구성

3.1 하드웨어의 구성

부하 모니터링 시스템에 사용된 하드웨어는 데이터를 수집을 위한 HBM사의 MGCplus, 계측 블레이드와 주축의 스트레인게이지 신호를 전송하기 위한 Gantner사의 슬립링(Slip-ring), Datatel사의 텔레메트리(Telemetry) 그리고 데이터 저장 및 모니터링용 컴퓨터로 구성된다. 슬립링, 텔레메트리, 풍황 계측 센서 등에서 측정된 신호는 출력 신호 특성에 따라 신호 처리 보드와 커넥션 보드의 조합으로 구성된 MGCplus에서 계속하게 된다. 이렇게 MGCplus로 계속된 신호는 랜을 통하여 실시간으로 컴퓨터에 저장된다.

표 1 풍력발전기 상단 MGCplus 계측 채널 설정

MGCplus(Top)		
ML801 & AP801	Ch. 1	Acceleration (X-axis, Tower)
	Ch. 2	Acceleration (Y-axis, Tower)
	Ch. 3	Low speed Shaft (X-axis, Torsion)
	Ch. 4	Low speed Shaft (Y-axis, Bending)
	Ch. 5	Low speed Shaft (Z-axis, Bending)
	Ch. 6	Blade (X-axis, Bending)
	Ch. 7	Blade (Y-axis, Bending)
	Ch. 8	Blade (Z-axis, Torsion)
ML801 & AP801	Ch. 9	Acceleration (Behind, Gearbox)
	Ch. 10	Acceleration (Front, Gearbox)
	Ch. 11	Temperature (Front, Gearbox)
	Ch. 12	Temperature (Oil pump, Gearbox)
	Ch. 13	Temperature (Break, Gearbox)

표 2 풍력발전기 하단 MGCplus 계측 채널 설정

MGCplus(Bottom)		
ML801 & AP801	Ch. 14	Power(CW240)
	Ch. 15	Power(PLC)
	Ch. 16	RPM
	Ch. 17	Yaw angle error
	Ch. 18	Pitch angle
	Ch. 19	Wind direction (ref. met mast)
	Ch. 20	Temperature (ref. met mast)
	Ch. 21	Pressure (ref. met mast)
ML801 & AP801	Ch. 22	Grid info.
	Ch. 23	Temperature (Bearing, Gearbox)
	Ch. 24	Temperature (Oil Pump, Gearbox)
	Ch. 25	Pressure (Oil, Gearbox)
	Ch. 26	Wind speed (ref. met mast)
ML460 & AP460	Ch. 27	Wind speed (Top)
	Ch. 28	Wind speed (Middle)
	Ch. 29	Wind bottom (bottom)
ML801 & AP815i	Ch. 30	Tower (X-axis, Bending)
	Ch. 31	Tower (Y-axis, Bending)

표1과 표2는 각각 풍력발전기의 상단부와 하단부에 설치되어 있는 MGCplus에 설정되어 있는 계측 채널 설정 상태를 나타내고 있다. MGCplus는 증폭모듈(Amplifier)와 연결보드(Connection board)를 어떻게 결합하느냐에 따라 계측할 수 있는 신호가 달라진다. ML801과 AP801 조합은 아날로그

신호, ML460과 AP460 조합은 주파수 신호, ML801과 ML815i 조합은 스트레인 게이지 신호를 계측할 수 있다. 또한 블레이드와 주축에 설치된 스트레인 게이지의 경우, 스트레인 게이지 부착 부위가 회전하기 때문에 다른 하드웨어를 사용하여 계측한 뒤, MGCplus로 전송하였다.

회전하는 주축에 부착된 스트레인 게이지 출력 신호를 측정하기 위한 슬립링 시스템은 그림 9과 같다.

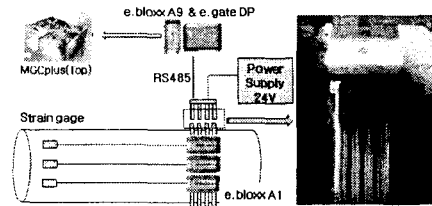


그림 9 슬립링 시스템의 구성도

스트레인 게이지는 e.bloxx A1으로 연결되어 있으며 측정된 신호는 e.bloxx A1을 통하여 RS485 통신(Profibus-DP)을 이용하여 e.gate DP로 전송이 된다. e.gate DP에서 e.bloxx를 통해 전송받은 데이터를 e.Bloxx A9을 통해 스트레인 게이지 출력에 따라 -10~10V로 출력한다.

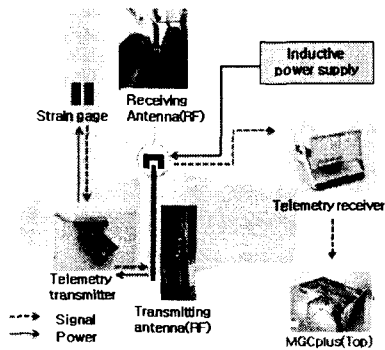


그림 10 텔레메트리 시스템 구성

텔레메트리 시스템은 블레이드에 설치된 스트레인 게이지 출력신호를 전송하는 텔레메트리 송신부(Telemetry transmitter)부와 주축 베어링 하우징에 고정되어 트랜스미터가 전송하는 신호를 수신하는 텔레메트리 수신부(Telemetry Receiver)로 구성된다. 스트레인 게이지 출력신호는 텔레메트리 송신부로 전송되어 RF신호로 변환된 후 송신안테나(Transmitting antenna)로 전송된다. 변환된 데이터는 송신안테나를 통해 베어링의 하우징에 고정되어 있는 텔레메트리 수신안테나(Receiver antenna)로 보내어진다. 수신된 데이터는 텔레메트

리 수신부로 전송되어 스트레인 게이지 출력 전압에 따라 -10~10V로 변환된 후 MGCplus로 전송이 된다. 텔레메트리 송신부와 스트레인 게이지의 전원은 데이터 전송과 반대로 텔레메트리 수신부를 거쳐 텔레메트리 송신부를 통해 공급된다.

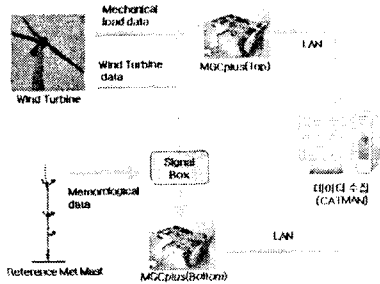


그림 11 부하 모니터링 시스템 구성도

그림 11은 부하 모니터링 시스템의 전체 구성을 나타내고 있다. 텔레메트리와 슬리핑의 출력 신호, 타워에 부착된 스트레인 게이지 출력 신호, 풍향 신호(풍속, 풍향 온도 압력 등) 및 그 밖의 계측 신호들(가속도, 출력 등)은 HBM사의 MGCplus 모듈을 이용하여 초당 200개씩 샘플링 되어 계측된 후 모니터링 컴퓨터에 의해 저장, 표시되어 진다.

3.2 소프트웨어의 구성

Catman 프로그램은 HBM사의 MGCplus에서 측정되는 데이터를 수집, 저장 및 하드웨어를 제어하기 위해 사용되는 응용프로그램이다. 이 프로그램은 MGCplus의 하드웨어의 채널을 설정하는 I/O definition, 직접적으로 장비에 접속하여 설정값을 변경하는 Device setups, 데이터 측정 및 저장에 사용될 수 있는 기본 모듈, 데이터를 관리하는 Data manager와 Data explorer, 사용자가 프로그램을 제작하기 위한 catman Script 등으로 구성된다.

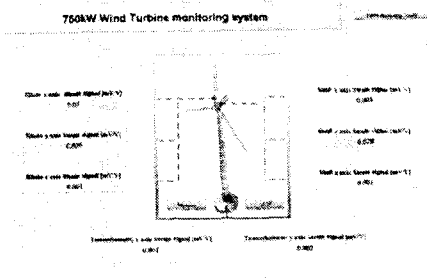


그림 12 실시간 부하 모니터링 화면

그림 12는 catman을 이용하여 제작한 모니터링

프로그램의 화면의 일부이다. 그림 10의 화면 프로그램 시작 시 화면이며 스트레인 게이지가 설치되어 있는 곳의 위치와 변화량을 표시한다. 풍력발전기 하단 좌측에 measure 버튼을 누르게 되면 데이터의 계측 및 저장이 실행된다. 하단 우측에 위치한 Stop 버튼은 프로그램을 정지시킬 시 사용된다.

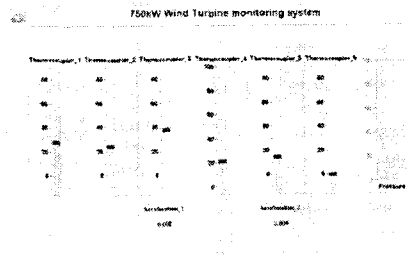


그림 13 기타 신호 계측 시 모니터링 화면

그림 13에서 화면 상단 좌측에 있는 버튼을 누르게 되면 그림 12과 같이 스트레인 게이지 출력을 제외한 온도, 압력, 가속도 등 그 밖의 다른 신호의 계측값을 표시한다. 그림 14는 catman script로 제작된 모니터링 프로그램을 제어 코드 부분이다.

```

File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
-----
[1] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[2] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[3] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[4] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[5] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[6] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[7] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[8] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[9] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[10] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[11] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[12] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[13] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[14] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[15] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[16] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[17] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[18] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[19] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[20] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[21] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[22] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[23] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[24] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[25] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[26] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[27] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[28] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[29] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[30] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[31] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[32] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[33] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[34] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[35] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[36] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[37] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[38] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[39] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[40] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[41] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[42] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[43] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[44] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[45] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[46] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[47] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[48] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[49] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[50] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[51] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[52] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[53] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[54] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[55] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[56] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[57] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[58] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[59] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[60] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[61] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[62] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[63] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[64] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[65] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[66] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[67] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[68] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[69] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[70] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[71] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[72] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[73] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[74] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[75] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[76] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[77] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[78] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[79] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[80] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[81] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[82] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[83] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[84] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[85] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[86] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[87] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[88] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[89] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[90] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[91] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[92] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[93] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[94] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[95] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[96] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[97] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[98] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[99] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)
[100] File: monitor (C:\SIB\200801\Turbine)

```

그림 14 모니터링 프로그램 제어 코드

모니터링 프로그램은 Main, CheckChannel, display, FormResize, Measure, min_check부분으로 구성되어 있다. Main부분은 프로그램 시작 부분으로 catman script 실행 후 장비 및 채널의 초기화 후, CheckChannel 함수를 호출하여 유효한 채널 수를 체크한 뒤 채널 수에 맞게 데이터 저장을 위한 공간을 확보하여 데이터 수집 준비(ACQ함수 초기화)를 완료한다. 그 후 FormResize 함수를 호출하여 화면에 맞게 프로그램 창을 재구성한다. 실행이 끝난 뒤에는 대기모드로 들어간다. 이 때 start버튼을 누르면 Measure함수를 호출하여 데이터 수집(ACQ 함수 사용)을 시작한다. 수집 중간에 항상 Display함수를 호출하여 화면에 데이터 값을 표시한다. 또 min_check함수도 호출하면서 10분이 되었을 경우 데이터를 저장하게 된다. 데이터는 200Hz로 샘플링이 되며 저장과일은 10분 간격으로

하나씩 생성된다.

을 사용하여 조건에 맞는 행렬요소에 파일명을 저장하는 방법으로 처리하였다.

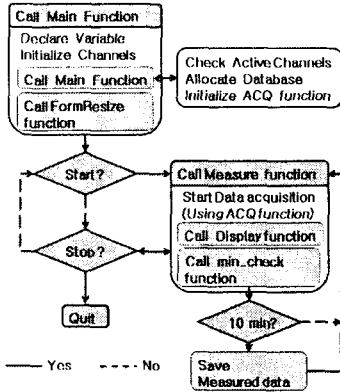


그림 15 프로그램 실행 순서도

위 그림 15는 프로그램 실행 순서를 나타내고 있다. 프로그램에 의해 저장된 데이터는 초당 200 개씩이며 표1과 표2에 제시되어 있는 MGCplus의 채널 순서와 같이 저장이 된다.

1260.328	-2.475	2.437	-40.460	26.073	14.732	-56.421	78.387	0.008	-0.624	0.613
1260.295	-2.925	2.815	-40.481	26.157	14.581	-56.453	78.702	-0.009	-0.619	-0.602
1260.338	-2.918	2.775	-40.476	26.141	14.566	-56.412	78.639	-0.005	0.613	-0.605
1260.143	-2.633	2.850	-40.459	26.067	14.306	-56.411	78.563	0.010	-0.627	0.615

그림 16 계측 데이터의 내용

이렇게 저장된 데이터는 IEC 61400-13에서 정상 상태 출력 시, 정상 출력 도중 여러 발생 시, 정지 시(Parking 및 idling) 등의 상태와 풍속, 난류 강도에 따라 측정된 부하를 나누어 처리하도록 제안하고 있다. 이 기준은 실제 풍력발전기 설계 시 정해진 조건(IEC 61400-1)에 따라 결정된다.

Turbine name	Nominal power production									
	Wind speed bin level 1 (m/s)					Wind speed bin level 2 (m/s)				
Wind speed length	10 min					At least: 2 min				
Wind speed	1st	2nd	3rd	4th	5th	1st	2nd	3rd	4th	5th
1st										
2nd										
3rd										
4th										
5th										
Minimum recommended number of measurements	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Minimum recommended number of measurements for wind direction	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Minimum recommended number of measurements for wind speed	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

그림 17 정상 상태 출력 시 capture matrix

그림 17은 IEC 61400-13에 나와 있는 여러 가지 조건 중 정상 출력이 나올 경우에 대한 capture matrix를 나타낸 것이다. 이 후처리과정은 Matlab

4. 결론

풍력발전기의 보급이 늘어감에 따라 국내 업체들도 풍력발전기 사업에 뛰어들고 있는 실정이다. 이렇게 개발된 풍력발전기의 성능 및 기계적 안정성을 평가하기 위해서는 그에 맞는 기준과 기준에 대해 비교 평가 할 수 있는 풍력발전기에 대한 근거자료가 필요하게 된다. 본 논문에서는 기계적 안정성에 대한 설계 기준에 대해 비교 평가하기 위한 자료를 획득하기 위한 풍력발전기 모니터링 시스템을 구축하기 위한 방법과 절차에 대해 언급하였다.

본 논문에서는 스트레인 게이지를 이용한 방법을 사용하였지만 실제로 정보를 검색하여 보면 광섬유라든지 다른 방법을 이용하여 부하 모니터링을 실시하는 경우도 있다. 각각의 장단점이 있기 마련이며 주어진 시간과 비용, 장소 등 여러 가지 영향을 고려하여 효율적인 모니터링 시스템을 구성하는 것이 올바른 선택일 것이다.

본 논문에 언급된 사이트에서 실시한 스트레인 게이지 보정 작업이 몇 가지 원인에 의해 아직 끝나지 않아 보류된 상태로 남아있으며 추후 보완되어야 할 점이다.

참고 문헌

- [1] IEC 61400-1, "Wind Turbine Generator Systems - Part 1: Safety Requirements.", *International Electrotechnical Commission*, 1999.
- [2] IEC 61400-13, "Wind Turbine Generator Systems - Part 13 : Measurements of Mechanical Loads.", *International Electrotechnical Commission*.
- [3] 남윤수, 유능수, 이정완, "풍력발전 시스템의 기계부하 신호 모니터링 및 보정.", *한국 풍력에너지 학회 2006 춘계학술대회*, pp. 287-293, 2006.
- [4] *catman 5.0 user manual*, HBM, 2004.
- [5] *MGCplus with AB22A/AB32 operating manual*, HBM, 2004
- [6] 고경남, 허종철, *풍력공학개론*, 문운당, 2006
- [7] T.G. van Engelen E.L. van der hooft, P. "Wind turbine control algorithm", *Technical report-ECN-C-03-111*, 2003.
- [8] 기계와 재료, 한국기계연구원, 제19권, 제 2호, 2007.Vol.10, No.1, pp.15-29, 1994.