

계층적 구조를 갖는 풍력발전 실증단지 원격 풍황 모니터링 시스템 구축

Establishment of Remote Monitoring System for Wind Turbine Test Sites Based on Hierarchical Architecture

조병하¹, 이정완^{1,✉}

Byung Ha Cho¹ and Jeong Wan Lee^{1,✉}

¹ 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부 (Division of Mechanical Engineering and Mechatronics, Kangwon National University.)

✉ Corresponding author: jwlee@kangwon.ac.kr, Tel: 033-250-6377

Manuscript received: 2009.2.5 / Accepted: 2009.6.8

In this paper, remote monitoring system for wind turbine site is developed. This system is a hierarchical reliable monitoring system connected by wireless communication channels between monitoring host computer and modular slave measuring subsystems. The design of this systems; the slave measuring subsystems is placed in meteorological tower and wind turbine, and the supervisory host computer is in the safety zone. The slave measuring subsystems signals are from a meteorological tower, wind turbine generator and tower. For monitoring and command function, the supervisory computer is implemented with a PC using graphic user interface. This system can be transferred the information among host computer and remote computers through the Ethernet. Consequently, we can get reliability but economic system. The system has the concept of universality and modularity, so it is simple and easy to implement in wind turbine test sites.

Key Words: Remote Monitoring System (원격 모니터링시스템), Measure (계측), Wind Turbine Test Site (풍력발전 실증단지), Wireless-channel (무선 채널)

1. 서론

화석 연료의 사용 증가에 따른 환경 문제, 그리고 에너지 고갈에 대한 문제로 안전하고 재생가능한 에너지 개발에 전 세계적으로 관심이 고조되고 있다. 우리나라의 풍력에너지 보급은 대부분 시범보급 또는 지역에너지 사업형태의 소규모로 이루어져 왔으나, 에너지 자립과 온실가스 배출량 저감 대책으로 풍력에너지 보급을 위한 법안, 정책 등이 속속 갖춰지고 있다. 또한, 2004년 4월 경북 영덕군 일대에 조성된 국내 최초의 대단위 상업용 영덕풍력발전단지(39.6MW), 2005년 12월

1 단계(14기, 28MW) 사업이 완료된 총 설비 98MW 규모의 강원도 평창군 일대의 강원풍력발전단지 및 민간의 대규모 풍력발전단지 개발 계획이 속속 진행되고 있다. 정부에서도 2012년까지 2,250MW의 풍력에너지 보급을 목표로 하고 있으며, 국내 언론기관에 보도된 민간의 풍력발전단지 사업계획들을 정리하면 2013년까지 약 2,700MW를 초과하고 있다.¹ 이에 풍력발전기의 국산화 노력에 의하여 이미 750kW급 풍력발전기 개발이 완료되었다.²

국산화 풍력발전기의 개발 또는 수입된 풍력발전기를 실질적으로 발전단지에 적용하기 위해서는

국내의 풍황 조건하에 발전기의 성능을 실증하는 것이 반드시 먼저 선행되어야 한다. 이에 정부에서 ‘풍력 실증연구 사업’으로서 강원도 평창 지역에 ‘대관령 풍력실증 연구단지가 조성되어 풍력발전기에 관한 여러 기술 분야, 즉 시스템 성능 실증, 구조/진동/소음 해석, 그리고 전기 품질 및 계통연계 등에 대한 연구가 진행 중이다. 현재 풍력 실증연구 단지에는 실증용으로 도입된 프랑스 Jemont 사의 J48 풍력발전기를 대상으로 실증이 종료 되었다.^{3,4} 그리고 국산화된 750kW 풍력발전기에 대한 실증이 2005 년 하반기부터 대관령 풍력 실증연구 단지 내에서 시행되어 지고 있다. 이와 함께 여러 기의 소형 독립 형 풍력발전기들이 성능검사 및 실증연구가 이루어지고 있다(Fig. 1).^{5,6}

본 논문에서는 다수의 풍력발전기 관련 실증 데이터들을 통합적으로 계측/저장하고 외부에서 관리 가능한 모니터링 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 하위의 분산형 측정모듈과 상위의 호스트 컴퓨터 데이터 서버간의 계층적 구조를 지니고 있다. 하위의 분산형 측정 모듈은 풍력발전 실증단지내의 기상관측타워로 부터 나오는 각종 풍황 데이터(풍향, 풍속, 온도, 대기압 등)와 각각의 발전기로부터 나오는 개별 발전기에 관한 데이터(전력생산량, 스트레인, 회전속도, 요잉각 등)들을 정확히 계측하고 계측되어진 데이터들을 서버 컴퓨터 데이터베이스에 저장한다. 또한, 저장된 데이터들은 다수의 외부 사용자들에게 모니터링 될 수 있다. 또한 외부 사용자가 모니터링 시스템을 원격 관리할 수 있게 설계되었다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 갖는다. 2 장에서 제안된 원격 모니터링 시스템의 전체적인 구성 및 개발환경에 대하여 설명하고, 3 장에서는 분산형 모듈, 4 장에서는 호스트 컴퓨터와 통신 프로토콜에 대하여 기술하였다. 그리고 5 장에서는 실험을 통하는 개발된 시스템을 평가하였고 6 장은 결론에 관하여 고찰하였다.

2. 전체 시스템의 구성 및 개발 환경

Fig. 2 는 대관령 풍력실증 단지의 원격 모니터링 시스템의 전체 구성도이다. 개발된 시스템은 하위의 분산형 측정 모듈과 상위의 호스트 컴퓨터의 계층적 구조로 설계되었다.

분산형 측정 모듈은 원격리에 분산되어 있는 풍력발전기들과 기상관측타워에 설치되며, 데이터

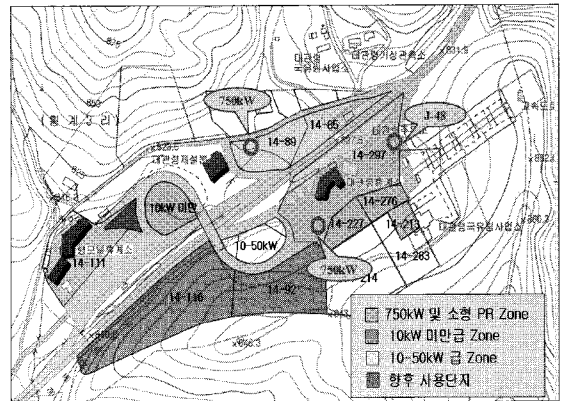


Fig. 1 Daegwallyeong wind turbine test site

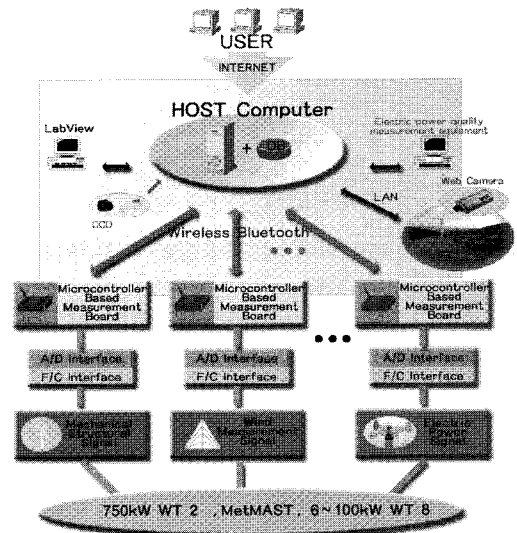


Fig. 2 Block diagram of dual modular hierarchical measurement system for wind test sites

를 수집한 다음 호스트 컴퓨터의 데이터베이스 서버로 전달하는 기능을 수행한다. 측정하는 양은 풍력발전기의 경우에는 발전기의 회전속도, 날개의 회전속도, 순간전력생산량, 타워의 스트레인 값을 측정하게 되고, 기상관측 타워의 경우에는 풍향, 풍속, 온도, 대기압을 측정한다. 또한 분산형 측정모듈과 호스트 컴퓨터간에는 1Mbps 다중 무선 통신을 통하여 매 2 초마다 자료 전송이 이루어진다.

호스트 컴퓨터는 연구동내에 설치되어 모니터링의 기능과 분산형 측정 모듈의 동작명령을 보내는 기능을 수행한다. 또한, 연구동내에 설치되어

있는 전력품질 측정장치로 부터 나오는 전력품질 신호와 웹카메라를 통한 단지 내의 연구동, 풍력 발전기의 실시간 영상을 전송받아 원격지의 사용자가 모니터링할 수 있도록 해준다. 원격지의 사용자와 호스트 컴퓨터간의 통신은 인터넷을 통하여 이루어진다.

전체시스템의 개발환경의 주된 하드웨어와 소프트웨어는 다음과 같다.

1) 하드웨어

- 마이크로 컨트롤러 보드와 I/O 인터페이스 보드를 이용한 분산형 측정보드
- 중앙 컴퓨터 서버
- 블루투스를 이용한 무선통신

2) 소프트웨어

- 마이크로 컨트롤러의 ROM 프로그램을 위한 C 크로스 컴파일러 (CodeVision AVR)
- 호스트 컴퓨터 내의 모니터링 시스템을 위한 Visual C++ 컴파일러

3. 분산형 측정 모듈

원거리에 분산되어 설치되는 분산형 측정 모듈은 마이크로 콘트롤러와 센서들과의 I/O 인터페이스가 하나의 보드에 설계되었다. 또한, 분산형 측정모듈은 호스트 컴퓨터와 양방향 무선통신의 기능을 수행한다.

3.1 마이크로 콘트롤러를 사용한 구현

일반적으로 복잡한 프로세서의 경우 낮은 신뢰성을 지닌다. 특히, 높은 신뢰성을 요구하는 시스템의 경우에는 단순한 구조의 프로세서의 선정이 더 좋은 선택이다. 따라서, DSP(Digital Signal Processor)가 임베디드 시스템에 널리 사용되고 있지만, ATmega128 칩을 마이크로 콘트롤러로 선정하였다. 선정된 칩은 매우 단순하면서도 높은 신뢰성을 니지고 있으며, 본 논문에 주어진 작업을 충분히 수행할 수 있는 성능을 지니고 있다.

분산형 측정 모듈에 사용된 ATmega128 칩의 기능은 다음과 같다; i) AVR 코어, ii) 4096 X 8 RAM, iii) 8 비트 멀티플레스 ADC, iv) 2 UART, v) 온칩 와치도그 타이머, vi) 부가적 I/O 포트,¹⁰ 분산형 측정 모듈의 블록선도는 Fig. 3 과 같으며, 하나의 마이크로 콘트롤러와 주변의 아날로그 센서 신호들(풍

향, 전력량)과 디지털 센서 신호들(풍속, 물각, 오일 각동)을 연결하는 I/O 인터페이스를 사용하여 하나의 보드를 설계하였다. 측정모듈은 원거리에 있는 기상계측 타워와 풍력발전기에 설치되며, 먼저 주변 I/O 인터페이스를 통하여 아날로그와 디지털 센서 신호를 받은 다음 이 신호들을 처리한 다음 호스트 컴퓨터에 무선으로 송신과 수신하는 구조로 되어 있다. 보드의 설계는 많은 신호의 잡음에 대하여 강인하게 처리할 수 있도록 설계되었다.

분산형 측정 모듈은 호스트 컴퓨터에 무선통신을 이용하여 매 2 초 간격으로 디지털화된 데이터를 전송한다. 분산형 측정 방식은 추가 설치가 필요한 상황에서 확장성 및 설치가 용이하다는 장점을 지닌다. 무선통신은 RS232C 표준 통신규격에 따르는 블루투스 모듈을 사용하였고 통신가능거리는 패치안테나 사용 시 최대 1000m 까지 가능하여 대관령 풍력 실증 연구 단지 내 모든 지역에서 통신이 가능하다. 또한 지역적 요건에 의하여 통신이 불가능한 지역은 중계기를 설치하여 풍력 실증 단지 내에 통신이 모두 가능하게 하였다.

무선통신의 사용은 발전기 가동 중 기존 유선 통신 사용 시 케이블에 노이즈 간섭에 영향을 적게 받으며, 유선 설치가 어려운 지역의 문제점을 해결하였다. 또한 풍력 실증단지 여건상 많은 소형 발전기들이 추가로 실증되어지기 때문에 유선 설치 시 많은 센서들의 케이블 공사가 요구 되었는데 본 계측장비는 무선을 사용하므로 간단한 작업을 통하여 계측기 설치가 용이하다. Fig. 4 는 실제 구현된 측정보드의 사진이다.

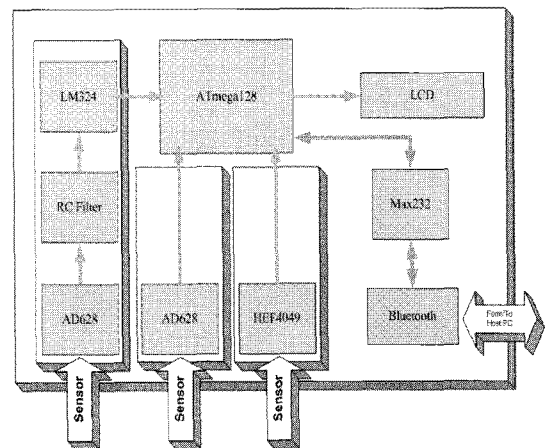


Fig. 3 Block diagram of the measurement module

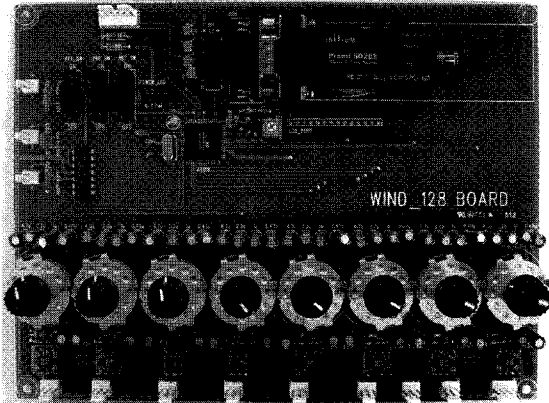


Fig. 4 The measurement module board

3.2 분산형 측정 모듈의 소프트웨어 프로그램

분산형 측정 모듈의 소프트웨어 프로그램은 센서로부터 받은 아날로그와 디지털 신호값을 처리하는 기능과 처리된 결과를 호스트 컴퓨터와 무선 통신하는 기능을 수행한다.

Fig. 5 는 분산형 모듈의 소프트웨어 블록다이어그램이며, 마이크로 프로세서 프로그램은 C 언어를 통해 EEPROM 에 프로그래밍되었다. 입력으로 아날로그 신호와 주파수 신호를 받으며 이를 A/D 변환, 주파수 카운팅, 그리고 데이터 통신의 기능을 주기적으로 수행하는 구조로 설계되었다. 전체적으로, 한 개의 타이머는 2 초 간격으로 인터럽트를 제공하고 3 개의 카운터는 풍속센서로부터 오는 신호를 카운터 한다. 2 초마다 발생하는 인터럽트는 카운터를 초기화 시키고 각종 센서의 ADC 를 실행한다. 그리고 수집된 신호는 바로 무선통신을 통해 호스트 컴퓨터로 전송된다.

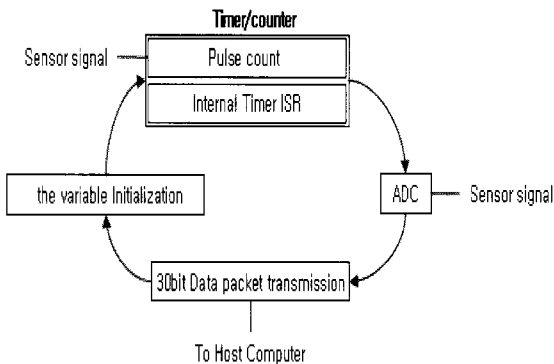


Fig. 5 Block diagram of micro-controller software

4. 호스트 컴퓨터

호스트 컴퓨터는 분산형 모듈들이 수집하고 전송한 데이터를 종합적으로 처리하여 데이터베이스에 저장한다. 기상관측 타워로부터 풍향, 풍속, 온도, 습도의 데이터를 받고, 여러 개의 발전기로 부터는 순간 전력생산량, 롤각 요잉각의 데이터를 받는다. 저장된 데이터는 전용 모니터링 프로그램을 통해 인터넷에 연결된 사용자에게 실시간으로 제공된다. 호스트 컴퓨터의 하드웨어 구성과 무선 통신의 구성도는 Fig. 6 과 같다.

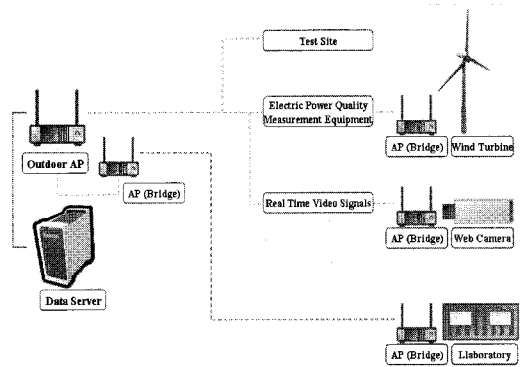


Fig. 6 Structure of host computer and wireless network

4.1 데이터 베이스 서버

호스트 컴퓨터에 사용된 데이터베이스는 마이크로 소프트 사의 SQL 2000 서버를 사용 하였다. 데이터베이스 서버 컴퓨터는 계속데이터를 저장하는 것뿐만 아니라 정확한 실증연구를 위하여 풍력 실증연구를 위한 기준 규격서인 IEC61400-13⁸ 에 의거하여 처리하였다.

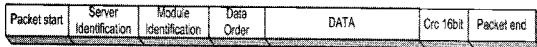
IEC61400-13⁸ 에 의하면, 저장된 계속데이터들을 10 분 평균값, 최대값, 최소값, 표준편차 의 량으로 처리하게 되어 있으며, 그를 근거로 그 값들을 데이터베이스에 저장하였다. 또한 외부사용자의 모니터링의 편의성을 위하여 시간별, 일별, 월별 단위로 각각의 데이터에 해당하는 평균값, 최대값, 최소값, 표준편차값을 데이터베이스에 저장 하였다.

또한, 분산형 모듈의 데이터 신호의 이상 유무를 체크하였으며, 이를 데이터베이스에 저장하게 되며 각종 실증연구를 위한 발전기와 기상 계측타워들의 특성 및 제원 그리고 각종 센서들을 저장 관리한다. 데이터 수집주기는 Table 1 과 같다.

Table 1 Cycle of the data collection

period	action
1 minute	operation of wind turbine
10minutes	calculate minimum, maximum, and average values in 10 minutes from real time raw data.
1hour	calculate minimum, maximum, and average values in 10 minutes from real 10 minutes data.
1day	operation time and history of wind turbine
	calculate the one day data from the hour data
1month	calculate the one month data from the day data

- Structure of Send Packet Data



- Structure of Reply Packet Data

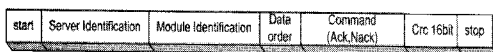


Fig. 7 Structure of packet data

4.2 통신 프로토콜

분산형 측정모듈과 데이터베이스 서버간의 통신프로토콜은 RS232C 표준 통신규격에 따르는 블루투스 모듈을 이용한 무선 통신을 사용하였으며, 다음과 같은 사양을 갖고 있다.⁹

- (1) 블루투스 규격 : v1.1
- (2) 작동 범위 : 1Km 이내
- (3) 프로토콜 : RFCOMM, L2CAP, SDP
- (4) 지원 프로파일 : serial port
- (5) 주파수: 2.4 GHz

데이터의 송수신 패킷은 Fig. 7 의 형태로 설계 하였으며 최대 20 개의 측정 모듈간에 스타 네트워크 형태로 구성하였다.

4.3 응용 프로그램

데이터베이스 서버 컴퓨터에 저장된 계측데이터들을 원격지에서 모니터링 가능하게 하기 위하

여 어플리케이션을 개발하였다. 실제 사용자 화면은 Fig. 8 과 같으며, 개발된 통합 모니터링 시스템 어플리케이션은 강원도 대관령 풍력 실증단지 상황을 한눈에 알 수 있도록 GUI 환경으로 구성되었다. 또한, 데이터 서버에 저장된 단지 내 기상 상황, 각각의 발전기 상황 그리고 수집된 데이터를 IEC61400-13⁸에 의거하여 분석, 관리 그리고 수집을 할 수 있도록 개발되었다(Fig. 9). 본 어플리케이션은 서버에 부담을 주지 않으며 많은 사람이 원격지에서 모니터링할 수 있다.

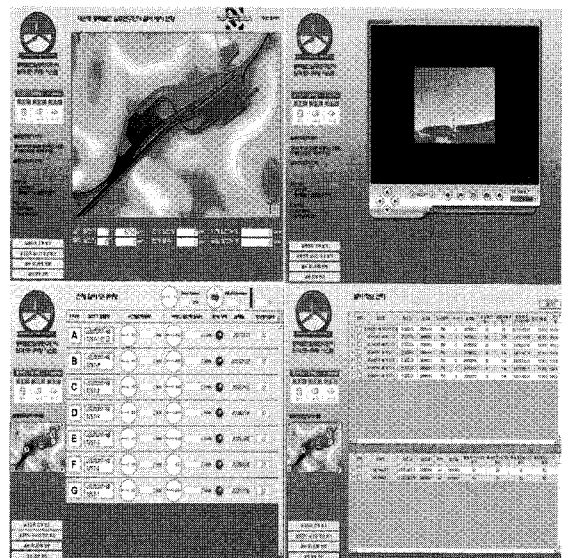


Fig. 8 Web-based program for remote monitoring system

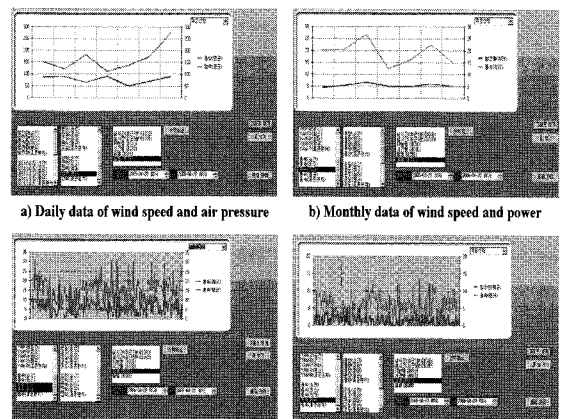


Fig. 9 Analysis of the data using monitoring system based on the IEC61400-13's rule

5. 실험을 통한 성능평가

개발된 전체시스템을 대관령 풍력실증연구 단지에 실제 설치하여 실험을 통한 성능을 평가하였다. 성능의 평가 방법으로 다음의 두가지 실험을 수행하였다.

- 1) 분산형 측정 모듈과 호스트 컴퓨터 간의 신호처리 및 통신 성능의 평가
- 2) 개발된 시스템과 기존에 사용되는 측정 시스템의 측정 결과의 비교

- 첫번째 평가를 통한 실험 결과는 다음과 같고,
- 분산형 모듈의 ADC 수행시간: 89us
 - 분산형 모듈의 디지털 센서의 처리시간: 46us
 - 무선통신을 통한 전송시간: 6.6ms

전체적인 시스템의 요구조건에 따른 동작은 다 음과 같으며, 이 성능은 IEC 61400-13 에서 요구하는 풍력 실증단지의 조건에 부합하고 있다.

- i) 센서의 신호의 매 1msec 마다 갱신된다.
- ii) 측정된 값은 매 100msec 마다 호스트 컴퓨터로 전송되어야 한다.
- iii) 호스트 컴퓨터는 매 2sec 마다 모니터링한다.

두번째 실험에서는 개발된 시스템과 실제 IEC 규정 의거하여 실증 실험을 수행하고 있는 기존의 장비와 비교실험을 수행하였다. 대관령 실증연구 단지에서의 계측타워에는 NRG Logger⁷ 라는 전용 계측기와 LabView 모니터링시스템이 데이터를 수집하고 있다. 풍황 계측타워의 전용 계측기인 NRG Logger 는 안정적이고 신뢰성 있는 전용 계측기로써 분산형 모듈의 신뢰성검사의 대상으로 충분하다.

NRG Logger 는 계측타워 46m 위치의 풍속계를 이용하였고 LabView 모니터링 시스템과 분산형 모듈은 45.6m 위치의 서로 다른 풍속계를 이용하였다. NRG Logger 와 LabView 모니터링시스템, 분산형 모듈의 데이터 신뢰성검사는 같은 시간대에 IEC 61400-13(5)에 기준하여 10분 평균으로 실험하였다.

Fig. 10 의 그래프를 보면 NRG Logger 의 데이터와 LabView, 분산형 모듈이 수집한 데이터가 일정하게 따라가는 것을 볼 수 있다. 데이터의 오차는 센서의 높이에 따른 풍속의 차이때문에 발생한 오차로 분석된다.

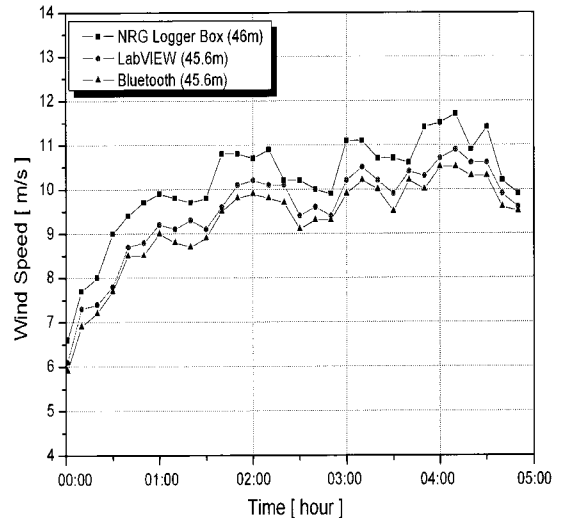


Fig. 10 Experimental results of wind speed

6. 결론

본 연구에서 대관령 풍력 실증연구 단지를 위한 통합적인 원격 모니터링 시스템과 이와 함께 계층적 구조를 가진 분산형 측정모듈을 제안하였다. 제안된 원격 모니터링 시스템은 단지 내에서 풍력 발전기 실증 및 성능 검사를 위한 각종 필요 데이터들을 현장과 원격지에서 모니터링할 수 있으며 기존 모니터링 시스템과 비교하여 사용자 중심의 GUI 환경을 구성하여 보다 쉽고 편리하게 모니터링 및 풍황 데이터를 분석, 관리할 수 있다.

또한 범용성이 높은 분산형 측정 장비의 개발을 통하여 앞으로 여러 종류의 풍력발전기 실증 및 성능검사에 많은 도움을 주게 되었다. 제안된 원격 모니터링 시스템은 현재 강원도 대관령 풍력 실증 연구단지에서 750kW 급 풍력 발전기와 소형 풍력발전기의 실증 및 성능검사를 위하여 사용되어지고 있으며, 풍력과 관련된 다양한 분야에서 모니터링 시스템으로써 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Byun, H. I., Ryu, J. Y. and Kim, D. H., "The Study of the Wind Resource and Energy Yield Assessment for the Wind Park Development," J. of The Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 1, No. 2, pp. 19-25, 2005.
2. Chung, C. W., Sohn, Y. U., Son, J. B., Park, I. S.,

- Kim, Y. C., Kim, K. R., Kwon, S. J. and Chun, C. H., "Design of a 750kW direct-drive wind turbine generator system," WWEC, pp. 1-4, 2004.
3. Yoo, N. S., Kim, S. H., Nam, Y. S. and Lee, J. W., "Wind Turbine Certification Research for the Daekwanryung Test Site," Korean Wind Energy Conference, pp. 32-36, 2002.
 4. Nam, Y. S., Yoo, N. S. and Lee, J. W., "Site Calibration for the Wind Turbine Performance Evaluation," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 18, No. 12, pp. 2250-2257, 2002.
 5. Kim, S. H., Nam, Y. S., Yoo, N. S., Park, M. Y., Kim, T. H. and Park, H. G., "Vibration Performance Monitoring of a 1kW Small Wind Turbine Generator," Journal of Industrial Technology, Kangwon National Univ., No. 26A, pp. 68-72, 2006.
 6. Nam, Y. S., Kim, H. G., Yoo, N. S. and Lee, J. W., "Development of a Wind Turbine Monitoring System usig Labview," Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 20, No, 5, pp. 134-139 2003.
 7. NRG Systems Inc., "Symphonie Data Logger and Accessories : User Manual," NRG Systems Inc., 1996.
 8. IEC, "Technical specification IEC TS 61400-13, Wind Turbine generator system-Part13: Measurement of mechanical loads," IEC, pp. 19-28, 2001.
 9. Initium Promi-SD User Guide, "Bluetooth, Rs232C Serial Dongle," Initium, 2005.
 10. ATMEL, "ATmega128, 8-bit AVR Microcontroller with 128K Bytes In-System Programmable Flash," ATMEL, 2006.