

소형 풍력발전시스템을 위한 무선 원격 모니터링 시스템 개발

Development of Wireless Remote Monitoring System for Small Wind Turbine System

문대선* · 김성호***

Dae-Sun Moon, Sung-Ho Kim[†]

*군산대학교 전자정보공학부

**군산대학교 제어로봇공학과

요 약

최근 전 세계적인 기후변화와 기존 화석연료와 관련된 전 지구적인 관심사는 풍력발전에 대한 많은 관심을 불러 왔다. 특히, 10Kw이하의 소형 풍력발전시스템은 전 세계적으로 많은 국가에서 활발히 설치되고 있는 실정이다. 일반적으로 소형 풍력발전 시스템이 상업적인 목적으로 설치되기 위해서는 해당 풍력발전시스템의 성능 인증이 필수적으로 요구된다. 이를 위해서는 효율적인 운영이 가능한 풍력발전 원격 모니터링 시스템의 개발이 요구된다. 이에 본 연구에서는 새로운 형태의 지그비 기반의 무선통신 기법을 이용한 무선 원격 모니터링 시스템을 제안하고자 하며 제안된 기법의 유용성 확인을 위해 실제 실험을 수행하고자 하였다.

키워드 : 소형 풍력발전 시스템의 성능인증, Zigbee, 원격 모니터링

Abstract

Recently, concern over climate change and global politics associated with traditional fossil fuel energy sources has driven significant increase in wind energy utilization over the past decade. Especially, small wind turbine systems below 10kW are actively developed by several companies from all over the world. Generally, for the small wind turbine systems to be installed for commercial purposes, the performance of the system should be certified. For this, wireless remote monitoring system should be developed for efficient monitoring. In this work, a new type of wireless remote monitoring system based on Zigbee communication is proposed. Furthermore, practical experimentations are carried out to verify the feasibility of the proposed scheme.

Key Words : Performance of small wind turbine system, Zigbee, remote monitoring

1. 서 론

최근 화석에너지의 고갈에 대비한 친환경적인 대체 에너지원으로 풍력발전이 주목을 받고 있다. 독일, 덴마크를 중심으로 하는 서유럽 여러 나라에서는 1970년대부터 풍력발전에 대한 많은 연구를 진행해 왔으며 그 결과 최근에는 수 MW급 풍력발전 시스템을 상용화하기에 이르렀다. 국내에서도 다수의 연구기관을 중심으로 풍력발전 시스템의 실용화와 관련된 연구개발이 활발히 진행되고 있으며 정부차원에서도 제주도 등 다수의 지역에 중대형 풍력발전 시스템을 설치·운영함으로써 국내 풍력 발전의 가능성을 검토하고 있다[1].

풍력 발전 시스템은 100kW를 기준으로 중·대형과

소형으로 구분되고 있으며, 특히 소형 풍력발전기와 관련된 인증기준은 에너지관리공단의 공시에 의해 30kW 이하로 되어 있다[2]. 또한 현재 군산대학교 풍력 기술 연구센터에서는 10kW급 이하의 마이크로 풍력발전 시스템과 관련된 핵심 기술에 대해 연구하고 있으며 연구의 일환으로 풍력 가로등 개발과 관련된 연구를 기업들과 함께 개발하고 있다. 소형 풍력발전 시스템의 사업화를 위해서는 풍력발전시스템의 풍속 변화에 따른 발전 성능에 대한 인증이 요구되며 또한 인증된 풍력발전 시스템¹⁾에 대해서도 설치 후 지속적인 발전 성능의 모니터링이 요구된다[3].

최근 소형 풍력발전기 전문 생산업체인 (주)아하에 너지는 600W급 풍력 가로등의 인증을 위해 전라북도 군산시 비응도 부근에 풍력 가로등을 설치하고 수개월 동안 발전성능을 모니터링하고 있다. 실증 데이터의 취득이 완료되면 2012년 상반기 중 9대의 풍력가로등이 비응도 부근에 설치될 예정이며 따라서 설치될 다수의 풍력가로등에 대한 효율적인 모니터링 시스템의 개발이 절실히 요구되고 있다.

접수일자: 2012년 3월 14일

심사(수정)일자: 2012년 3월 14일

게재확정일자: 2012년 7월 16일

† 교신저자

본 연구는 지식경제부 신재생에너지 기술개발사업의 일환(2009T100100576)으로 수행되었습니다.

이에 본 연구에서는 첫째, 일정 지역에 분산·설치된 다수 풍력발전기의 풍속 변화에 따른 발전능의 효율적 모니터링을 위한 무선 네트워크 토폴로지를 설명하고 둘째, 각 풍력 발전기로부터의 발전량을 효율적으로 전송할 수 있는 웨이블렛 기반의 데이터 전송기법을 제안하고 제안된 기법의 유용성을 확인하기 위해 실제 시스템에의 적용실험을 수행하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 소형 풍력 발전 시스템의 기본 구성요소에 대해 설명하며, 3장에서는 다수의 풍력발전 모니터링을 위한 지그비 기반의 무선 통신 네트워크 토폴로지를 설명하고 4장에서는 웨이블렛 기반의 데이터 압축 기법에 대해 설명한다. 5장에서는 제안된 기법의 유용성 확인을 위한 실제 적용 실험에 대해 기술하며 6장에서는 결론에 대해 기술하고자 한다.

2. 소형 풍력발전 시스템의 기본 구성요소

현재 일반적으로 사용되고 있는 소형풍력발전 시스템의 구성도를 나타내면 그림 1과 같다.

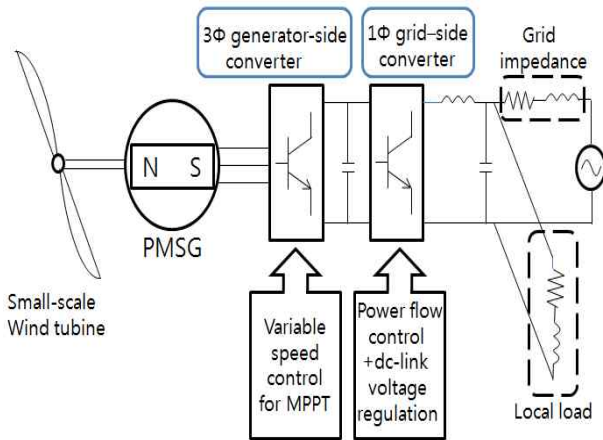


그림 1. 소형 풍력발전 시스템의 블록도
Fig. 1. Block diagram for small wind turbine system

2.1 터빈 블레이드의 특성

바람 에너지로부터 터빈 블레이드가 흡수하는 에너지는 다음과 같이 표현되며,

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_{wind}^3 C_p(\lambda, \beta) \quad [W] \quad (1)$$

여기서 R 는 블레이드의 반경[m], V_{wind} 는 풍속[m/s], ρ 는 공기의 밀도로 약 $1.25[Kg/m^3]$ 이다.

식(1)에서 전력계수 $C_p(\lambda, \beta)$ 는 V_{wind} 의 바람이 갖고 있는 에너지 중에서 블레이드가 받아들이는 에너지의 비율을 의미한다. 여기서 λ 는 풍속에 대한 블레이드의 회전 속도와 비(주속비: Tip Speed Ratio)로 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{V_{wind}} \quad (2)$$

일반적으로 소형 풍력발전 시스템의 경우에는 고정 피치를 사용하며 따라서 주속비의 변화에 대한 전력계수를 나타내면 그림 2와 같다.

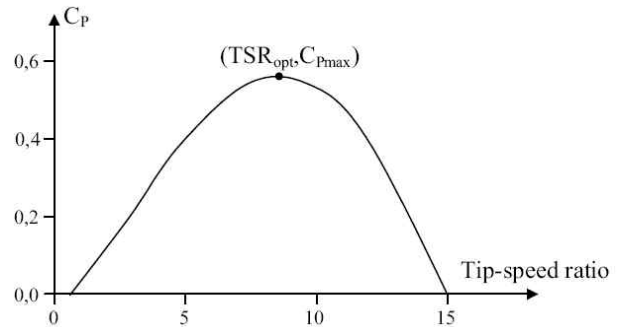


그림 2. 주속비 대 Cp곡선
Fig. 2. $C_p - \lambda$ curve

그림 2로부터 터빈이 회전을 개시하여 주속비가 점점 커지면 전력계수, 즉 효율이 증가하다가 어느 속도 이상으로 회전하게 되면 효율이 오히려 떨어짐을 알 수 있다. 이러한 출력 계수는 블레이드 설계 시 결정되며 Betz의 연구결과에 따르면 이론적 최대값이 0.593임이 알려져 있다[4].

2.2 발전기측 컨버터

발전기측 컨버터는 풍속이 변화할 경우에도 터빈 블레이드로부터 최대 출력의 인출을 위해 PMSG의 전류 제어를 통해 터빈 블레이드의 회전수를 제어하는 기능을 하며 MPPT(Maximum Power Point Tracking)가 수행되는 부분이다.

MPPT는 다양한 형태로 구현이 가능하며 소형 풍력 발전 시스템에 일반적으로 도입되고 있는 컨버터는 다음과 같다.

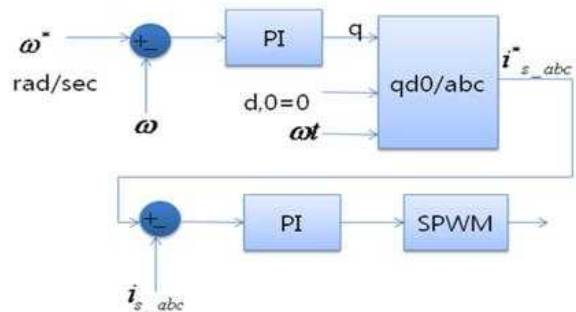


그림 3. 소형 풍력발전시스템용 컨버터
Fig. 3. Converter diagram for small wind turbine system

2.3 계통 연계형 인버터

계통 연계형 인버터는 발전기측 컨버터에 의해 충전되는 DC 커패시터의 전압을 입력으로 하며, 계통 주파수와 같은 교류전압의 크기 및 위상을 조절하여 계통에 유·무효 전력을 공급하는 기능을 수행한다.

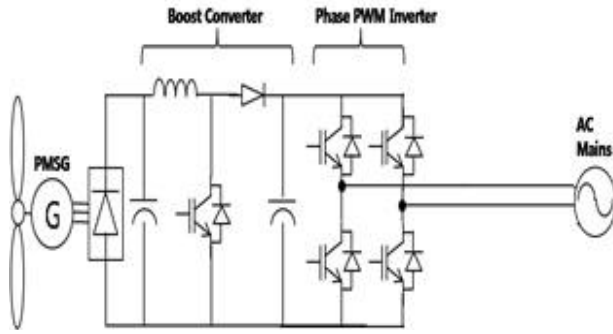


그림 4. 계통 연계형 인버터 블록도
Fig. 4. Grid-tied inverter system

3. 다수의 소형 풍력발전기의 효율적 모니터링을 위한 지그비 기반의 무선 통신 네트워크

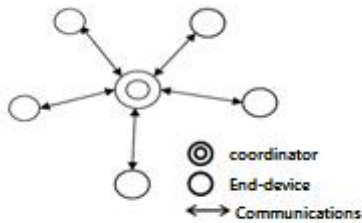
3.1 지그비 통신의 특징

지그비는 저전력, 저가격, 저용량 무선통신을 목표로 하는 국제표준으로서 허가 없이 사용될 수 있는 2.4GHz 대의 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 밴드에서 최대 16개의 채널을 사용할 수 있다. 또한 무선 전송속도는 250Kbps로 star, cluster-tree 및 Mesh 네트워크를 지원한다[5].

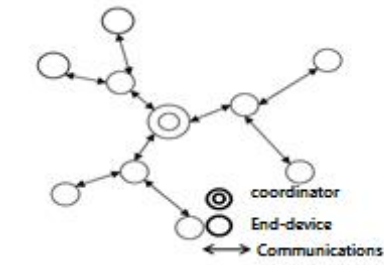
이에 본 연구에서는 인터넷의 접근이 힘든 장소에 분산·설치되는 다수의 풍력 발전기의 원격 모니터링을 위한 시스템을 구현하고자 하며 이를 위해 지그비 무선 통신기법을 채택하고자 한다. 지그비 통신기법과 관련된 네트워크 토폴로지 및 구성요소에 대해 살펴보면 다음과 같다.

3.2 지그비 통신 네트워크의 종류

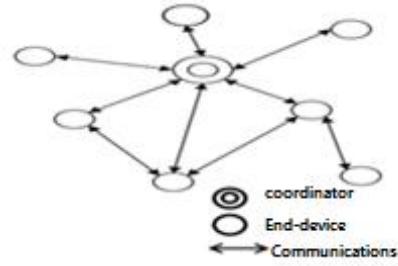
지그비 통신 네트워크 토폴로지는 다음과 같이 star형, cluster-tree형 및 mesh 형이 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 지그비 네트워크 토폴로지
(a)star형, (b)cluster-tree형, (c)mesh형
Fig. 5. Zigbee network topology
(a) star type (b) cluster-tree type (c) mesh type

Star형은 그림 5(a)에서와 같이 분산·설치된 각각의 엔드디바이스(end-device)로부터 코디네이터로 데이터 패킷을 전달하는 형태이다. star형은 네트워크 구성은 간단하지만 노드간의 경로가 하나만 존재한다는 단점이 있다.

그림 5(b)는 cluster-tree형으로서 라우터와 엔드디바이스 및 코디네이터로 구성되며 엔드디바이스는 라우터를 검색한 후 일치된 라우터가 존재하면 해당 라우터에 데이터를 전달하고 일치하지 않으면 트리경로에 따라 코디네이터에게 데이터 패킷을 전송한다.

Mesh형은 그림 5(c)와 같으며 그림에서와 같이 개별 노드사이에 여러 개의 경로가 존재하기 때문에 하나의 경로가 성립되지 않아도 다른 경로를 통해 데이터를 전송할 수 있다는 장점을 갖는다. 하지만 구현이 복잡하고 더 많은 메모리와 전력을 사용해야 한다는 단점이 있다[6].

3.3 제안된 지그비 기반의 다수 풍력발전용 원격 모니터링 시스템

전절에서 고찰한 지그비 네트워크는 다수의 풍력 가로등이 그림 6과 같이 일정 영역에 분산·설치되는 환경에서 효율적인 발전성능의 모니터링을 위해 도입된다. 일반적으로 가로등은 설치 이격거리가 50m이며 특정 위치의 풍력발전기의 지그비 모듈이 고장이 발생하여도 데이터 전송을 원활히 하여 이들 발전기의 효율적 모니터링을 위해 앞서 고찰한 지그비 프로토콜 중 mesh형을 채택하고자 한다.

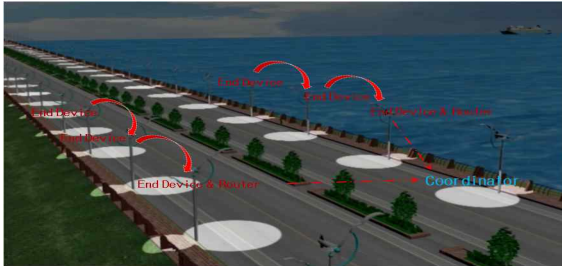


그림 6. 다수의 소형 풍력발전 시스템을 위한 지그비 기반 원격 모니터링 시스템
Fig. 6. Zigbee based remote monitoring system for multiple small wind turbine systems

4. 지그비 통신 네트워크에 적용 가능한 데이터 전송기법

4.1 DWT를 이용한 다해상도 분해

DWT(Discrete Wavelet Transform)은 정규 직교 웨이블릿 기저함수를 사용하여 원신호에 포함된 잡음 등의 제거 및 데이터의 압축을 효율적으로 수행할 수 있다는 장점을 갖는다[7].

이러한 DWT에 의한 데이터압축은 그림 7의 다해상도 분해과정에 의해 설명될 수 있다. 그림에서 원신호 $c_j[n]$ 는 저역통과필터 $h[n]$ 과 고역통과필터 $g[n]$ 에 의해 고주파 성분 $d_{j-1}[n]$ 과 저주파 성분 $c_{j-1}[n]$ 의 두 부분으로 분리될 수 있다. 다음 단계에서 저주파 필터를 통과한 신호 $c_{j-1}[n]$ 는 전 단계에서와 마찬가지로 고역 및 저역통과 필터를 통해 다시 두 부분으로 분리된다. 각 분해 단계에서 얻어진 신호의 길이는 이전 단계의 신호 길이의 반이 된다.

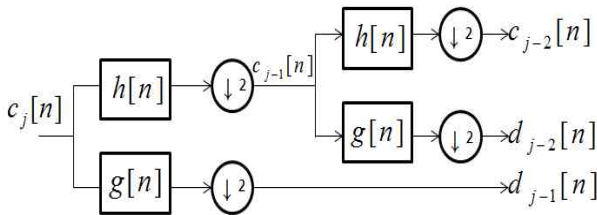


그림 7. 다해상도 분해 과정
Fig. 7. Multi-resolution process

웨이블릿 함수가 정규직교함수일 경우 두 필터는 QMF 필터로 되며 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$c_{j-1}[n] = \sum_k h[k-2n]c_j[k] \quad (3)$$

$$d_{j-1}[n] = \sum_k g[k-2n]c_j[k] \quad (4)$$

$$g[n] = (-1)^n h[n] \quad (5)$$

4.2 데이터의 압축 및 무선 전송

상기와 같은 DWT에 의해 압축된 데이터는 그림 8에서와 같이 지그비 무선 통신을 이용하여 원격의 계측 서버로 전송되며, 원격의 계측서버에서는 수신된 데이터에 대해 IDWT(Inverse Discrete Wavelet Transform)를 적용함으로써 원 데이터의 복원이 가능하게 된다.



그림 8. 지그비 무선 통신에 의한 압축 데이터의 전송 및 복원
Fig. 8. Data compression and reconstruction by using Zigbee wireless communication

4.3 압축 데이터 복원시의 신호지연

IDWT에 의해 복구된 신호에는 원 신호에는 없던 복원 오류 신호가 포함된다. 이러한 신호는 정확한 데이터의 복원을 위해 효과적으로 제거되어야 하며 본 연구에서는 복원된 신호에 대한 이동 평균이 설정된 임계치 이상이 되었을 때의 시각을 구하고 이 시각 이후의 데이터를 복원에 사용하고자 하였다[8]. 임계치 검사와 관련된 유효 시각 t_0 의 결정 과정은 다음과 같다.

$$MA[t_0] \geq \theta \quad (6)$$

여기서 임계치 θ 는 실험적으로 결정되는 상수이다.

5. 적용 실험

본 절에서는 제안된 지그비 기반의 다수 풍력발전 시스템 원격 모니터링 시스템의 성능확인을 위해 전라북도 군산 비응항에 설치된 (주)아하에너지의 600W급 풍력 가로등에 적용실험을 수행하였다.

5.1 풍력 가로등 원격 모니터링을 위한 하드웨어 구성

군산 비응항에 설치된 풍력 가로등의 제원 및 설치 사진을 나타내면 표 1 및 그림 9와 같다.

표 1. 600W급 풍력가로등 시스템 사양
Table 1. Specification of 600W wind-street light system

항 목	사양
정격출력	600W
최대출력	1000W
블레이드 반경	1m
정격 회전 속도	450rpm
정격풍속	9m/s
요잉시스템	Free yawing
과풍속 제어	Dump load 제어

최대 풍속	35m/s
블레이드 재질	Glass Fiber
타워 높이	9.1~12m
타워 재질	Steel

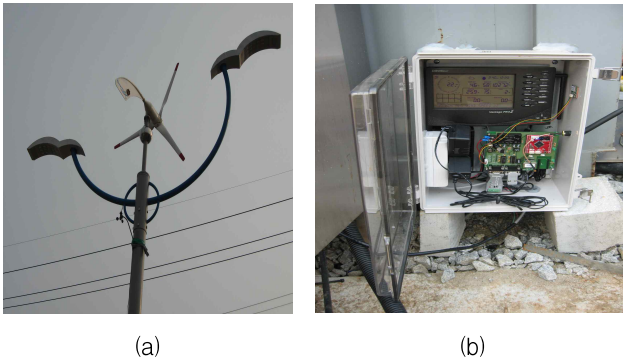


그림 9. 풍력가로등(a) 및 지그비 기반 무선 데이터 전송장치(b)

Fig. 9. Wind-street light(a) and Zigbee based wireless data communication device(b)

5.1.1 풍속계

풍력가로등의 풍속에 따른 발전량 특성곡선의 취득을 위해서는 풍력가로등이 설치된 위치의 풍속/풍향의 측정이 요구되며 이를 위해 본 연구에서는 그림 10과 같은 Davis Instrument사의 Vantage Pro-2를 사용하였다. Vantage Pro-2는 풍속, 풍향 및 온습도 등을 측정하고 측정된 데이터는 Bluetooth 무선 통신을 이용하여 콘솔로 전송된다. 콘솔에 저장된 풍속, 풍향 데이터는 RS232 인터페이스를 통해 계측서버로 전송된다. Vantage Pro2 풍속계는 고가이기 때문에 계측 서버 인근에 하나만을 설치하였다.



그림 10. Vantage Pro-2의 구성도
Fig. 10. Configuration of Vantage Pro-2

5.1.2 전력 측정 및 지그비 무선 통신 모듈

풍력발전기로부터 생산되는 순시전력은 풍력가로등에 사용된 계통 연계형 인버터로부터 RS485 인터페이스를

통해 출력된다. 이를 위해 본 연구에서는 그림 11과 같이 지그비 무선통신 모듈에 순시전력의 입력을 가능케 하기 위한 RS485 인터페이스 기능이 탑재된 장치를 개발하였다.

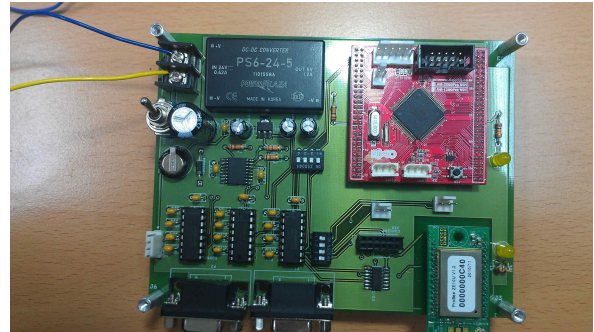


그림 11. RS485 인터페이스 기능이 탑재된 지그비 무선 통신 모듈

Fig. 11. Zigbee based wireless communication module with RS485 interface

5.2 데이터 압축 및 전송 시스템

본 연구에서 제안된 지그비 기반의 다수 풍력발전기 원격 모니터링 시스템의 전체 구성을 블록도로 나타내면 그림 12와 같다.

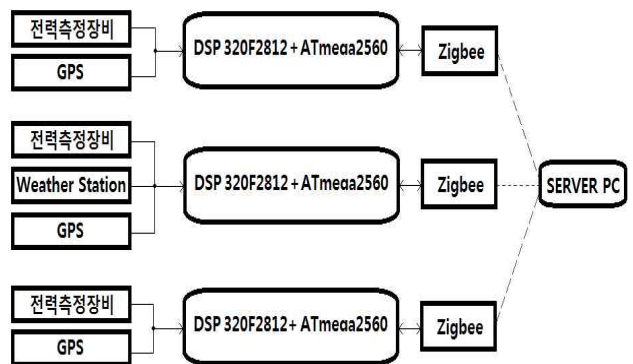


그림 12. 지그비 기반의 다수의 풍력발전 원격 모니터링 시스템

Fig. 12. Zigbee based remote monitoring system for multiple wind turbine systems

각 풍력 가로등의 인버터로부터 출력되는 순간 전력은 10초 간격으로 DSP320F2812로 입력되고 1024개의 데이터가 버퍼에 쌓이게 되면 이산 웨이블릿 변환을 통해 데이터의 압축을 수행하게 된다. 또한 압축된 데이터는 ATmega128과 Zigbee 무선통신모듈을 통해 원격의 서버로 전송된다.

5.3 전력 데이터 압축 및 복원 특성

웨이블릿 변환에 의한 데이터 압축 및 복원 특성을 확인하기 위해 그림 13과 같은 순시전력을 고려하기로 한다. 순시전력 데이터는 총 1024개이며 10초마다 측정된 전력 데이터이므로 약 3시간정도의 데이터이다.

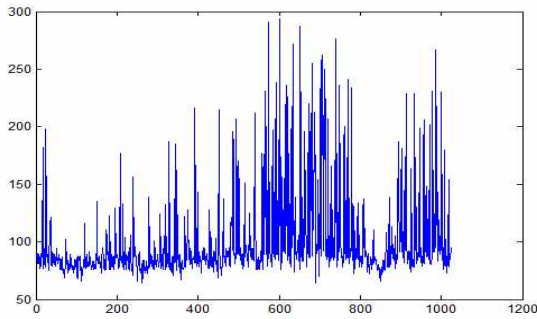


그림 13. 데이터 압축 및 복원에 사용된 전력 데이터
Fig. 13 Instantaneous power data for data compression and reconstruction

상기와 같은 1024개의 데이터에 대한 이동평균 (윈도우 크기: 6)을 취하면 그림 14와 같다.

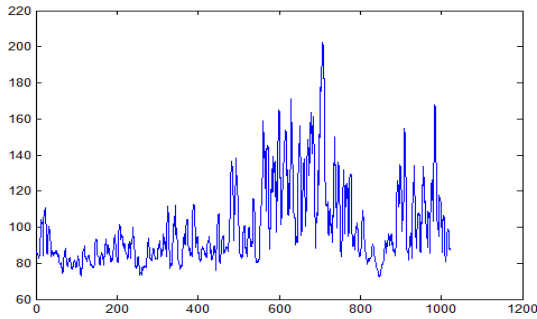


그림 14. 이동 평균을 취한 발전량 그래프
Fig. 14 Power graph obtained from moving average

그림 13의 데이터에 Daubichi db3의 기저 웨이블릿 함수와 3-단계의 압축 과정을 통해 얻은 데이터를 나타내면 그림 15와 같다. 압축된 데이터는 총 128개로 약 1/10의 데이터의 압축이 이루어짐을 알 수 있다.

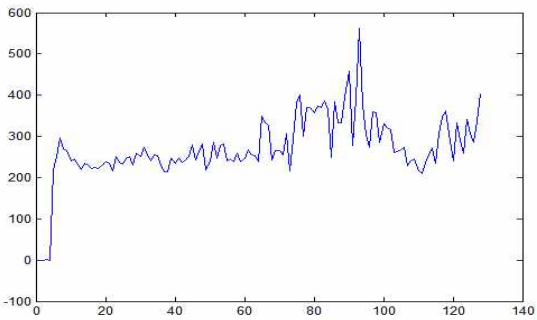


그림 15. 웨이블릿 변환을 통하여 압축된 데이터
Fig. 15. Compressed Data using DWT

지그비 무선 통신에 의해 계측서버로 전송된 압축 데이터는 IDWT에 의해 원래 신호로 복원될 수 있다.

IDWT에 의해 복원된 전력신호 파형을 나타내면 그림 16과 같다.

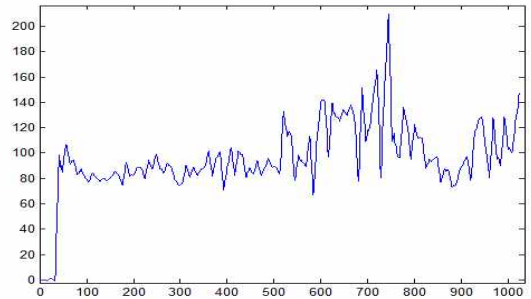


그림 16. 웨이블릿 역변환을 통해 복원된 데이터
Fig. 16 Reconstructed data using IDWT

그림 16에서와 같이 복원된 데이터에는 유효한 신호가 나올 때까지 일정 시간의 지연이 발생되며 본 연구에서는 식(6)에 의해 t_0 를 구하였다. 식(6)의 θ 는 10이며 이 경우 t_0 는 38이 되었다.

계측서버에서 복원된 데이터와 이동평균을 적용하여 구한 1분간 평균 발전량과의 오차를 나타내면 그림 17과 같다.

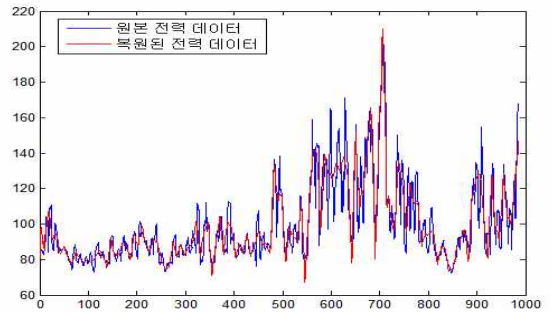


그림 17. 1분 평균 발전량과 복원된 발전량과의 비교
Fig. 17. Comparison between original and reconstructed data

복원된 데이터의 오차를 나타내면 그림 18과 같다.

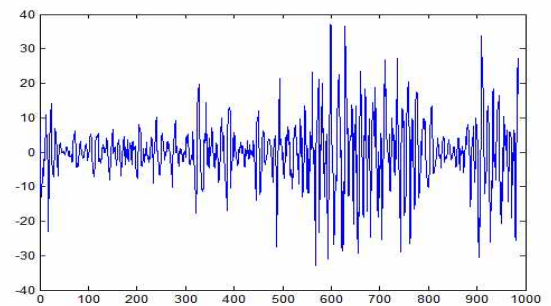


그림 18. 데이터 복원 오차
Fig. 18. Reconstruction error

그림 18로부터 잡음이 포함된 10초마다의 순시전력 데이터에 대한 DWT 변환 결과를 원격의 서버로 전송한 후, 이를 IDWT에 의해 복원할 경우, 그림 14와 같은 1분 평균 발전량에 대한 효율적인 복원이 가능함을 알 수 있다.

5.4 원격 모니터링 서버 시스템

원격 계측 서버에는 풍속계로부터의 풍속 데이터와 각 풍력발전기로부터 전송되어 복원된 1분간 평균 발전량이 데이터베이스에 저장된다. 데이터베이스에 저장된 풍속 및 발전량을 나타내면 그림 19와 같다.

[번호]	[년]	[월]	[일]	[시]	[분]	[풍속]	[전력]
8377	2011	12	22	0	7.1	9.75	
8378	2011	12	22	0	1	5.8	3.65
8379	2011	12	22	0	2	8.9	58.55
8380	2011	12	22	0	3	8.9	57.80
8381	2011	12	22	0	4	7.5	62.75
8382	2011	12	22	0	5	8.9	58.30
8383	2011	12	22	0	6	8.4	55.30
8384	2011	12	22	0	7	9.3	12.00
8385	2011	12	22	0	8	10.2	11.45
8386	2011	12	22	0	9	11.1	8.40
8387	2011	12	22	0	10	10.2	9.75
8388	2011	12	22	0	11	9.3	6.75
8389	2011	12	22	0	12	11.1	10.30
8390	2011	12	22	0	13	11.1	60.00
8391	2011	12	22	0	14	11.1	50.60
8392	2011	12	22	0	15	11.6	60.00
8393	2011	12	22	0	16	7.1	10.60
8394	2011	12	22	0	17	8.9	13.90
8395	2011	12	22	0	18	9.3	63.75
8396	2011	12	22	0	19	9.9	25.35
8397	2011	12	22	0	20	10.2	6.35
8398	2011	12	22	0	21	5.3	10.95
8399	2011	12	22	0	22	8.0	6.60
8400	2011	12	22	0	23	7.1	17.45
8401	2011	12	22	0	24	6.7	11.90
8402	2011	12	22	0	25	5.8	10.20
8403	2011	12	22	0	26	4.9	7.55
8404	2011	12	22	0	27	6.7	9.15

그림 19. 데이터베이스에 저장된 풍속 및 복원된 발전량 데이터

Fig. 19. Wind speed and reconstructed power data from data base

서버에서 복원된 순시전력과 서버에 부착된 풍속계로부터의 풍속정보를 기반으로 얻어진 600W급 규모의 풍력발전 시스템에 대한 풍속 대 전력 곡선을 나타내면 그림 20과 같다.

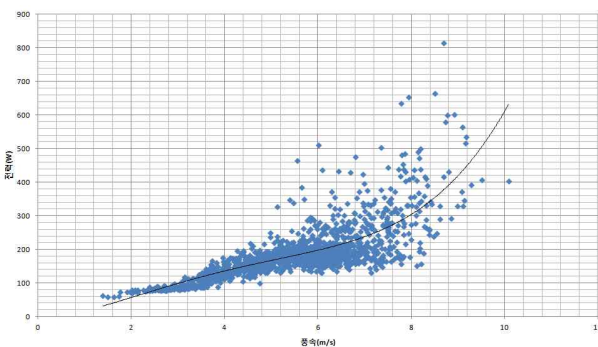


그림 20. 제안된 기법을 통해 얻어진 성능 특성 곡선
Fig. 20. Performance characteristic obtained from proposed scheme

6. 결론

본 연구에서는 소형 풍력발전 시스템의 풍속 및 발

전량 모니터링을 위한 지그비 기반의 원격 모니터링을 제안하였으며 제안된 기법의 유용성 확인을 위해 군산 비응항에 설치된 풍력 가로등에 적용 실험을 수행하였다. 수행 결과 10초 마다 측정된 순시전력에 대한 DWT에 의한 압축 데이터는 지그비 기반의 무선 전송을 통해 원격의 서버로 효율적인 전송이 가능하였으며 또한 원격 서버에서 복원된 데이터는 1분 평균 발전량을 나타냄을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 김은일, “풍력발전기술 연구개발의 약사,” *한국태양에너지학회지*, 제3권, 제3호, pp. 21-31, 2004.
- [2] 정병창외, “중·대형급 풍력발전 시스템용 에너지 변환 방식에 대한 연구,” *2001년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계학술대회 논문집*, pp. 459-462, 2001.
- [3] 김건훈, 하종호, “소형 풍력발전기기 성능검사,” *한국태양에너지학회, 2006년도 춘계학술발표대회 논문집*, pp. 115-120, 2006.
- [4] 전중환, “풍력 발전 기술 소개,” *한국물리학회, 물리학과 첨단기술*, 제15권, 제6호, pp. 50-54, 2006.
- [5] 고덕영, 정동규, “Zigbee를 이용한 원격 조도 제어 시스템,” *한국정보기술학회 2010년도 IT기반 콘텐츠 융합기술 워크숍 및 하계 종합학술대회 논문집*, pp. 168-173, 2005.
- [6] 주재환, 김태훈, “Zigbee 통신을 이용한 누전 전류 제어 시스템 설계,” *한국통신학회 논문지*, 제34권, 제12호, pp. 330-339, 2009.
- [7] S. Mallat, “A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation,” *IEEE Trans. Pattern Anal. and Machine Intell.*, vol. 11, no. 7, pp.674-693, 1989.
- [8] 정영식, “웨이브렛 변환을 이용한 전력품질 데이터 압축에 관한 연구,” *전기학회논문지*, 제54권, 제12호, pp. 561-566, 2005.
- [9] Tongxin Zheng, Elham B. Makram, A.G. Girgis, “Power system transient and harmonic studies using wavelet transform,” *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 14, no. 4, pp. 1461-1468, 1999.

저 자 소 개



문대선(Dae-Sun Moon)

2010년 : 군산대학교 전자정보공학부 학사졸업
 2012년 : 군산대학교 대학원 전자정보공학부 석사졸업
 2012년~현재 : 군산대학교 대학원 전자정보공학부 박사과정

관심분야 : 풍력발전, 고장진단, 인공신경망
Phone : 010-2972-0351
E-mail : nalba01@kunsan.ac.kr



김성호(Sung-Ho Kim)

1984년 : 고려대학교 공과대학 학사졸업
1986년 : 고려대학교 대학원 석사졸업
1991년 : 고려대학교 대학원 박사졸업
1988년~1990년 : 고려대 생산기술연구소
연구원

1995년~1996년 : JAPAN HIROSHIMA
UNIVERSITY POST-DOC

1991년~현재 : 군산대학교 제어로봇공학과 교수

관심분야 : 풍력발전, 인공신경망, 센서 네트워크, 공장 자동화, 고장진단
Phone : 010-2610-1224
Fax : 063-468-6224
E-mail : shkim@kunsan.ac.kr