

인터넷기반의 풍력발전기 원격제어와 모니터링에 관한 연구

박장훈, 채정수, 문성룡, 정준익, 이호순, 노도환
 전북대학교 전자정보공학부

A Study on the Remote Control & Monitoring System for Wind Turbine System via Internet

*Jang-Hun Park, *Jeong-Su Chae, *Seong-Ryong Mun, *Jun-Ik Jeong, *Ho-Soon Lee *Do-Hwan Rho
 *Div. of Electronics & Information Engineering Chonbuk National University.

Abstract - This paper is concerned with a client-server architecture for the remote control of wind turbine system over the internet network. Recently the development of internet are study in remote area machine control, observation, remote control (teleoperation) automation industrial system in several fields. One of the important problems which should be solved in the remote control is an irregular time delay problem. This research practiced emergency system on-off experiment to Internet. Finally, we apply it to a wind turbine system that consists of a remote control and network via internet. It is experimented that real time of internet remote control and stability of wind turbine system.

1. 서 론

최근 인터넷망의 발달로 현장에서의 기기제어 및 감시가 가능한 원격제어(teleoperation) 시스템 개발이 활발하다. 풍력발전 시스템의 원격제어는 현장에 설치되어있는 풍력발전기의 기계적인 상태 및 운전상황을 각종 센서를 이용하여 수집하고 이를 인터넷을 이용하여 중앙 통제실에 전송하여 필요에 따라서 적절한 제어명령을 발전기의 제어시스템에 전송하는 역할을 수행한다. 대부분의 풍력발전 시스템이 접근성, 거주성이 용이하지 않은 지역에 설치되며, 대규모의 풍력발전 단지의 경우, 수기의 발전기 별로 현장 관리 사무소를 두고 수개 또는 수십 개의 현장 관리 사무소를 먼 거리의 중앙 통제실에서 종합 관리하는 상황을 고려할 때 원격 모니터링은 풍력발전 시스템의 구성에 있어서 필수 불가결한 시스템이다.

그리고 각 발전기별로 Pitch 제어 및 Yaw 제어가 적절한 알고리즘에 의하여 자동화 되어야 하며, 돌발 상황이나 즉각적인 제어가 필요한 상황이 언제라도 발생할 수 있어 유, 무선을 통한 상시 모니터링과 함께 원격조작이 가능한 시스템의 구성이 필요하게 된다. 또한, 먼 거리에 분산되어 있는 다수의 풍력발전기를 인터넷을 이용하여 관리자에게 데이터를 전송하고 이를 수신하여 시설들의 환경상태와 현장에서 발생하는 돌발 상황에 신속하게 대처하여 시스템을 안정적으로 운용하는 데 목적이 있다. 그러나 원격제어시 인터넷은 공유되어 있는 자원이기 때문에 선로상의 예측할 수 없는 지연과 보안의 문제로 기기를 실시간 제어 하는데 문제가 발생할 수 있다.

본 연구에서는 구성된 시스템을 인터넷상에서 실험하기 위해 부안 해상에 설치된 풍력발전 시스템을 이용하여 원격제어와 모니터링 실험, 시간지연 측정을 통하여 안정성을 실험하였다.

2. 인터넷을 이용한 원격제어 방법

초기의 원격제어 시스템은 제어기의 상태 기록을 위한

목적으로 단독 실행(stand alone)형태로 개발 되었다. 단독 실행형 제어 시스템의 공간적 제한을 극복하기 위해 인터넷을 이용한 서버/클라이언트 형태의 원격제어 시스템이 개발 되었다.

2.1 원격모니터링 시스템

본 연구에서의 원격모니터링 시스템의 의미는 인터넷을 통하여 현장 풍력발전기의 풍향, 풍속과 같은 대기상태와 블레이드의 회전 속도 및 전압, 전류 등의 발전 상태를 검출하고 감시 카메라를 통해 제어시스템과 외부상황을 인터넷으로 항상 감시 제어를 하는 것이다. 발전 설비들은 TCP/IP를 지원하지 않기 때문에 인터넷과 연결하기 위해서 PC기반으로 시스템이 구축된다. 네트워크 연결 구조를 보면 Client-인터넷망-IP공유기-서버-제어반-기기로 구성된다. 서버는 시스템을 인터넷 망과 연결하여 시스템을 원격제어 할 수 있도록 해주고, IP공유기는 서버와 인터넷망 사이에 위치하여 서버와 카메라에 IP를 할당해 준다. 그리고 제어반은 제어 신호를 받아 기기를 실질적으로 제어하는 역할을 한다. 위와 같은 원격모니터링 시스템의 개념도를 그림1에 나타내었다.

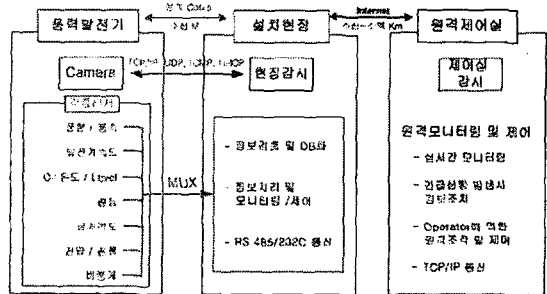


그림1 원격모니터링시스템 개념도

풍력발전기의 종합적인 상황을 근거리에서 설치되어 있는 카메라를 통하여 감시하고, 풍향, 풍속 등의 대기 상태와 함께 블레이드의 회전 속도, 자세를 포함한 기계시스템의 상태 및 전압, 전류 등의 발전 상태를 각종 센서를 이용하여 순차적으로 검출되어 제어 프로그램에 입력된다. 클라이언트의 중앙 통제실에서는 현장에서 전송되어온 각종 정보를 실시간 모니터링하며, 필요한 경우 조작자를 통하여 원격조작 및 적절한 조치를 취한다.

이 경우 현장과 원격지의 중앙 통제실과는 인터넷으로 연결되어 있어 그림2와 같은 인터넷 기반의 원격모니터링 및 제어시스템 구성이 필요하게 된다. 원격제어 프로그램은 이용하여 서버의 제어를 조작함으로써 기존의 제어 프로그램 방식에 비하여 경유지 지연이 거의 없으며 송수신 데이터 형식에 제한이 없고, 접속 상태를 유지할 수 있으며 다양한 응용 protocol의 이용과 동적 페

이지의 구성이 가능하다.

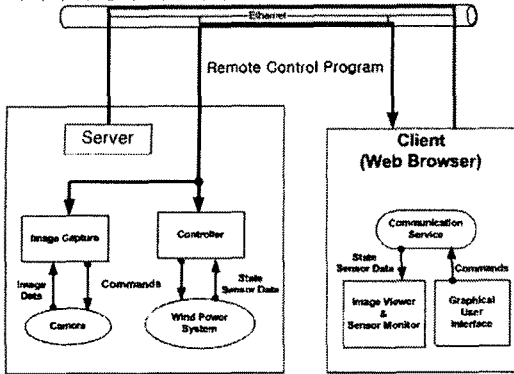


그림2 원격 조작시스템의 구성

한편, 원격조작에 있어서는 인터넷의 랜덤한 통신시간 지연이 고려되어야 하며, 실제 인터넷의 통신시간 지연을 일정시간 판측해 보면 네트워크의 부하에 따라서 불규칙적으로 변동함을 확인할 수 있다. 과도한 네트워크 부하는 원격제어 시스템의 안정성을 해치게 되므로 이에 따른 대책이 필요하다.

2.2 풍력발전기 감시제어시스템

전북대학교에서는 2001년 3월 국내기술로 자체 설계하고 제작한 30kw급 소형 풍력발전기를 개발하여 전북 부안군 하서면 해창 섬터에 설치하여 운용하고 있다. 이 시스템은 한국 지형의 잦은 풍향 변화 특성에 적용할 수 있도록 타워 상부의 무게를 최소화하였으며, 듀얼 로터 블레이드를 채택하여 공기 역학적 효율을 극대화시켰다. 현장에서 정전 상황이나 생존 한계 풍속 이상 또는 부분적인 풍력발전시스템의 고장이나 공진 등이 풍력발전시스템에 치명적인 손상을 끼칠 수 있다. 특히, 장마철이나 태풍이 자주 발생하는 계절에는 풍향 및 풍속의 변화가 빈번하거나 생존한계 풍속 이상일 경우 등 긴급한 상황이 발생하였을 경우에는 원격지의 감시제어시스템에서 알람경보를 통해 비상상황을 인식하여 원격지에서 주날개 각도를 90도 이동 시켜 풍력발전시스템의 운전을 정지할 수 있다. 이처럼 현장에서의 예기치 않은 돌발 상황이 발생하거나 인위적인 개입이 즉시 필요한 상황이 발생하면 원격지에서 적절한 제어를 하여 풍력발전시스템을 안정적으로 운용할 수 있다.

2.2.1 감시제어시스템 네트워크 구성

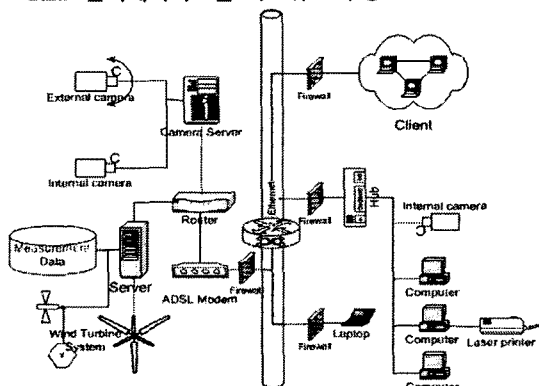


그림3 감시제어시스템 네트워크 구성도

그림3의 원격 감시제어 시스템의 네트워크 구성도를 살펴보면 서버는 발전상태를 각종 센서를 이용하여 검출하고, Pitch 제어 및 Yaw 제어는 설계한 제어 프로그램

에 의하여 운용되고 있다. 원격지에서는 풍력발전기의 종합적인 상황을 현장에 설치되어 있는 감시카메라를 통하여 감시하고, 현장의 감시제어 시스템을 통해 풍력발전기 상황을 24시간 모니터링하며, 제어프로그램을 이용하여 인터넷으로 안정적인 원격제어를 할 수 있음을 보여주고자 한다.

2.2.2 풍력발전기 제어시스템

시스템 구성은 권선형 동기발전기가 시동풍속 이상에서부터 여자 전류를 제어하여 정류기를 거쳐 직류로 변환된 후 배터리 충전기를 통해 배터리에 저장된다. 저장된 에너지는 일정한압과 주파수를 가진 교류의 형태로 인버터를 통해 변환되고 필터와 변압기를 거쳐 최종적으로 부하 측에 공급된다. 제어부는 현재의 풍향, 풍속, 발전기RPM등의 데이터를 받아 최적의 블레이드의 피치를 조절하여 효율을 극대화 시킨다. 그리고 감시제어를 위한 내·외부카메라는 시스템감시뿐만 아니라 실시간 발전 상황을 모니터링 할 수 있다.

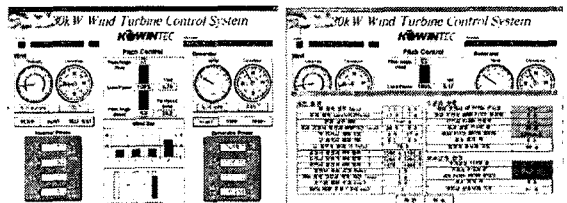


그림4 원격 모니터링 제어화면

안정적인 서버운동을 위하여 OS는 윈도우2000 이며 현재의 풍향, 풍속 등을 모니터링하고, 로터블레이드의 피치 각을 효율적으로 제어하도록 PC를 통한 시스템의 제어입출력이 가능하도록 설계되었으며, 시스템의 모든 입출력정보를 한 눈에 알아볼 수 있도록 GUI(Graphic User Interface)환경을 도입하여 시스템을 구축하였다. 웹을 통해 제어기에 접근하는 경우 서버를 거쳐 원하는 대상에 접근하게 되며, 서버와 웹상의 클라이언트에서 동시에 제어를 시도하는 경우 제어의 우선권이 서버에 있기 때문에 클라이언트는 그 기간 동안 접근하고 제어하는데 제한을 받게 된다. 또한 다수의 클라이언트가 동시에 접속하여 제어를 시도하는 경우 접속 프로그램에서 우선순위를 결정하게 된다.

2.3 원격 시스템 운오프

원격지에서 현장과 동일하게 풍력발전 시스템을 운용하는 데 있어서 앞 절에서 언급한 바와 같이 누구도 예측할 수 없는 상황이 발생할 수 있다. 야간의 경우 현장 감시제어 시스템실을 점검하고 확인할 필요가 있거나 정전으로 인해 현장의 감시제어 시스템의 기능이 상실하였을 경우에는 원격지에서 내부카메라의 릴레이 접점을 이용한 전력선 모뎀을 통해 야간에도 식별이 가능하도록 내부 조명을 점등 및 소등할 수 있다. 또한 원격지에서 PC를 강제로 부팅하거나 PC Reset을 통하여 감시제어 시스템을 정상적으로 운용하게 함으로써 풍력발전 시스템의 안정적인 기동이 가능하다. 그림 5는 전력선 모뎀을 이용하여 현장의 감시제어 시스템 시스템을 정상적으로 운용할 수 있도록 한 원격지 전력선 제어기 구성이다.

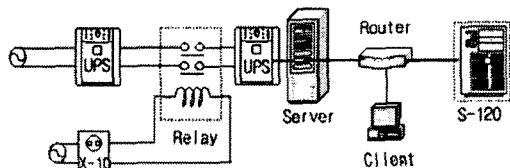


그림 5 전력선모뎀을 이용한 운오프

3. 실험 및 고찰

3.1 인터넷상의 시간지연 문제와 네트워크 특성

원격제어 시스템은 제어하기 위한 제어 데이터와 사용자에게 현장의 환경을 정확히 알려주기 위한 영상 데이터가 있다. 인터넷을 통하여 향상되고 있는 수많은 기술을 이용하여 새로운 시스템을 디자인하는 경우는 많았다. 그러나 인터넷 특성을 고려하여 원격제어시 중요한 시간지연에 대하여 실험을 통한 최대값에 대한 고려만 하였을 뿐 그 값의 동적인 변화에 대한 실험은 미비하다. 원격제어 시스템의 안정성이 시간지연 자체보다는 시간지연의 변화에 따라 달라질 수 있기 때문이다.

공유된 인터넷에서의 시간 지연인 임의의 시간지연(random time delay)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{시간지연} = \text{고정 지연시간} + \text{큐잉 지연시간} = (\text{광속 전파지연시간} + \text{전송 지연시간}) + \text{큐잉 지연시간}$$

$$\text{광속전파 지연시간(propagation delay)} = \text{거리/광속}$$

$$\text{전송 지연시간(transmission delay)} = \text{패킷 크기/대역폭}$$

$$\text{큐잉 지연시간} = \text{nondeterministic}$$

이중 광속전파 지연시간과 전송 지연시간은 계산가능하고 데이터 전송속도 고정된 항목임을 알 수 있다. 그러나 큐잉 지연시간은 현재 인터넷에 접속중인 사용자에 의해 결정되므로 불규칙적으로 변화한다.

3.2 웹을 통한 서버와 클라이언트 응답속도

현장에 설치된 서버의 인터넷 연결은 한국통신 ADSL이며 접속시 이론상 속도는 최대하향 2.0Mbps, 최대상향 384Kbps 이다. 서버(부안 해장컴터)와 클라이언트(전북대)간 거리는 약 60Km 이며 제어프로그램을 실행하며 500ms 간격으로 128바이트의 패킷을 연속적으로 보낸 결과는 아래와 같다.

#	IP Address	Name	RT (ms)	Avg (ms)	Min (ms)	Max (ms)	# Sent	# Recv	% Loss	Network	Graph
1	211.117.181.186	FREN.	0	0	0	0	13	13	0	0%	
2	211.117.181.1		0	1	0	13	13	0	0%	CHOR.	
3	211.254.137.29		0	1	0	22	13	0	0%	CHOR.	
4	211.117.181.189		0	1	0	31	13	0	0%	CHOR.	
5	211.117.181.65		3	2	0	22	13	0	0%	CHOR.	
6	211.251.45.25		126	131	6	302	13	12	5%	KORFE.	
7	211.225.41.1	기타	72	125	2	35	13	42	2%	KTCO.	
8	211.225.127.1		167	217	2	347	1045	21	2%	KORFE.	
9	211.225.127.1		165	154	2	32	1100	928	5%	KORFE.	

그림6 응답속도 측정

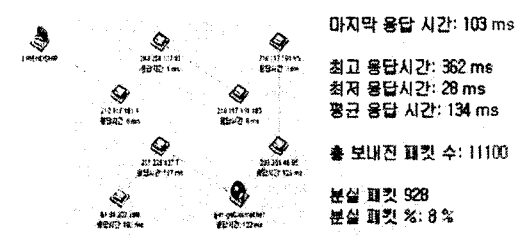


그림7 측정 결과

실험에서 보인 것과 같이 서버까지의 노드 수는 8개이고 응답시간의 차이가 크게 나타남으로서 측정이 인터넷의 이용자에 따라 동적으로 불규칙하게 시간지연이 발생함을 알 수 있다. 주간에 전송 지연시간을 측정함으로써 불규칙한 지연시간 때문에 발생하는 패킷손실이 현장의 제어 프로그램의 동작의 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 불규칙한 지연시간으로 인한 다량의 패킷손실은 제어력을 상실하지만 제어 신호보다 영상 신호에 미치는

영향이 더 크기 때문에 테스트 환경에서는 제어력 상실이 발생하지 않았다. 왜냐하면 네트워크로 전송시 필요한 데이터는 처리량과 트래픽 데이터로 나누어지는데 각각의 패킷 손실 분석을 통해 살펴보면 안정적인 인터넷 환경이었음을 알 수 있다. 이로써 풍력발전기를 원격지에서 사용자 임의의 제어가 가능하지만 과도한 패킷 손실은 원격지의 제어 명령이 전달되지 않는 단점을 보인다. 그러나 현재의 인터넷 환경에서는 제어시 영향은 미미하며 현장의 감시 상황을 하나의 시스템으로 모니터링 하는 것보다 각각의 역할을 분담하여 운용한다면 인터넷 환경하에서 보다 원활하게 원격제어를 할 수 있게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 인터넷을 이용하여 풍력발전기의 원격 감시제어를 수행 하였으며, 인터넷의 임의의 시간지연을 측정하고 원격제어 실험을 통한 성능평가와, 인터넷 기반의 제어시스템에 적용을 하기위해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 인터넷에 일정 시간동안 부하를 주어 그에 따른 응답속도를 측정하여 제어 알고리즘이 위 시스템에 적합하게 사용되었음을 확인하였다.

둘째, PC 기반으로 TCP/IP 통신프로토콜을 이용해 거리에 설치되어 있는 풍력발전시스템에 적용함으로써 현장에서와 똑같이 원격지에서도 발전시스템 운용이 가능하였다.

셋째, 다수의 풍력발전시스템이 설치되어 있는 풍력발전단지(Wind Farm)의 경우에도 원격지의 중앙통제실에서 다채널의 감시제어시스템을 이용한다면 환용이 가능하다.

이를 바탕으로 보다 안정적인 원격제어를 위해 불규칙한 통신시간 지연이 미치는 영향인 거리와 노드 수, 임의의 사용자에 따른 통계적 분석과 프로토콜별 응답속정이 필요하다. 추후 수백Km 거리에 떨어진 인터넷 환경에서의 실험과 다각적인 시각에서 원격제어를 통한 검증이 이루어져야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김병욱, 강신일, 박장훈, 송승호, 노도환, 김동용, "인터넷을 이용한 풍력발전기 원격 감시제어시스템 개발", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp. 335-337, 2003.
- [2] 김지연, 동경민, 송승호, 오영진, 최석우, 신찬, 노도환, "한국형 풍력발전기 감시제어 시스템 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1355-1357, 2002.
- [3] 심현승, 허경무, 김장기, "인터넷을 통한 원격제어기의 임의의 시간지연의 예측가능성에 대한 연구", 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제7권 10호, pp.849-858, 2001.
- [4] 박홍성, 정명순, 김봉선, "웹 기반 실시간 모니터링 시스템의 구조", 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제7권 7호, pp.632-639, 2001.
- [5] 이세, 오병주, "인터넷을 통한 원격 측감제어", 한국자동차공학술대회, pp.235-238, 2000.
- [6] 이재훈, 차인혁, 이병주, 한창수, "그래픽 모니터링 시스템을 활용한 원격제어 시스템 개발", 한국자동차학회논문집, pp.1822-1826, 1998.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공통 공학연구소 주관으로 수행된 과제임.