

한국형 풍력발전기 감시제어 시스템 개발

김지안, 동경민, 송승호, 오영진, 최석우, 신 찬, 노도환  
(주)코윈텍, 전북대학교 차세대 풍력발전 연구센터

Development of Wind Turbine Monitoring and Control System

Ji Yon Kim, Kyung Min Dong, Seung-Ho Song, Young Jin Oh, Seok Woo Choi, Chann Shin, Rho Do Hwan  
Kowintec Inc., Advanced Windpower System Research Center, Chonbuk Nat'l. Univ.

**Abstract** - 한국형 풍력발전기의 감시제어 시스템은 순시적인 발전 상황과 풍향, 풍속 등을 모니터링하는 기능뿐만 아니라, 인버터 시스템과 전력 변환 지령값을 전달하고, 인버터의 현재 상태를 감시하고 최적의 피치각을 유지시켜주는 피치제어 시스템 등으로 구성되어 있다. 이러한 감시제어 시스템은 풍력발전기의 효율을 증가시킬뿐만 아니라 각종 예측이 불가능한 사고를 예방하는데 있어서 필수적이라 할 수 있다.

1. 서 론

풍력발전은 1990년대 말부터 선진국들을 중심으로 지속적인 연구가 진행되어, 현재 2.5MW급 풍력발전기가 상용화 되는 등 많은 기술의 진척이 이루어진 상태이다. 국내에서는 단발적인 기술개발사업이 정부주도로 이루어졌으나 그 실적은 미비한 상태이며 최근들어 대기업들을 중심으로 외국의 시스템을 수입하여 풍황조건이 좋은 지역에 보급/설치하는 사업이 진행중이다. 한편 전북대학교 학내 벤처기업 (주)코윈텍에서는 지난 2001년 3월 전라북도 부안군 하서면 해창섬에 자체 설계한 30kW급 한국형 풍력발전기를 설치하여 운용하고 있다. 이 시스템은 잦은 풍향의 변화에도 적응할 수 있도록 타워 상부의 무게를 최소화하였으며, 공기역학적 효율을 극대화시키기 위하여 듀얼(Dual) 로터 블레이드를 택하였다. [2]

풍력발전 시스템을 효율적으로 운영하기 위해서는 이를 모니터링하고 제어해주는 감시제어 시스템이 필수적이다. 이러한 감시제어 시스템은 전원의 안정적인 공급뿐만 아니라 자연 상태에 노출되어 있는 시스템을 안전하게 운용하는 역할을 하며 나아가서 구조역학적 피로현상에도 능동적으로 대처하도록 설계되어야 한다. 기존의 외국 풍력발전기에 포함된 감시제어 시스템들은 마이크로프로세서(Micro processor)를 기반으로 원보드(One-board) 형태로 구현되었고, LED나 LCD를 이용하여 디스플레이 함으로써 단순한 입출력만이 가능하도록 설계되어 있었다. [1] 이러한 시스템은 사용자에게 제한된 정보만을 제공하며, 시스템의 성능향상을 위한 알고리즘의 변경이나 튜닝이 불가능하다. 또한 설치 사이트(Site)가 변경되거나, 풍향이 변화했을 경우 이에 대처하기가 어렵다는 단점이 있다. 이에 반하여 본 논문에서 소개하는 제어감시 시스템은 PC를 기반으로 설계함으로써 확장성을 극대화 시켰으며, 사용자에게 좀더 많은 정보를 제공하기 위한 GUI(Graphic User Interface)환경을 구축하였다. 또한 화상감시 시스템을 도입하여 원거리에서도 발전기의 상황을 모니터링 할 수 있도록 설계하였다. 그림 1은 감시제어 시스템의 전면도이다. 본 논문에서는 현재 설치 운용중인 30kW급 한국형 풍력발전기의 감시제어 시스템의 구성과 임무에 대하여 소개하고자 한다.

2. 풍력발전기의 감시제어

우리나라는 지역적 특성상 삼면이 바다로 이루어져 있어 바람의 방향이 수시로 변하며 그 크기역시 급속하게

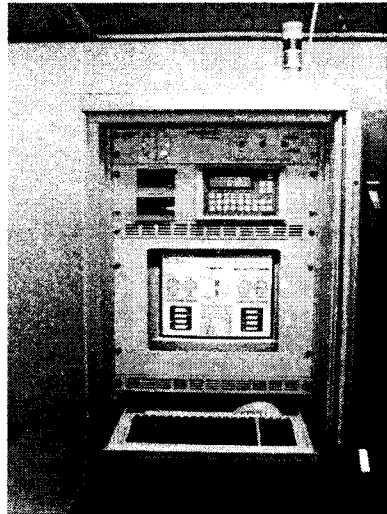


그림 1 30kW급 한국형 풍력발전기 감시제어 시스템

변하는 특징이 있다. 이러한 특징은 풍력발전기를 운용하는 입장에서는 매우 불리하게 작용하며, 이를 극복하고 적응할 수 있도록 효과적으로 제어해주는 시스템이 필수적으로 고려되어야 한다. 본 논문에서 제안하는 감시제어 시스템은 급속하게 변화하는 풍향과 풍속을 정밀하게 예측하고 이를 분석하여 로터 블레이드의 피치각을 제어하며, 계통연계를 위한 인버터와 통신하여 지령을 내리는 시스템으로 구성되어 있다. 그림 2는 전체 감시제어 시스템의 구성도이다.

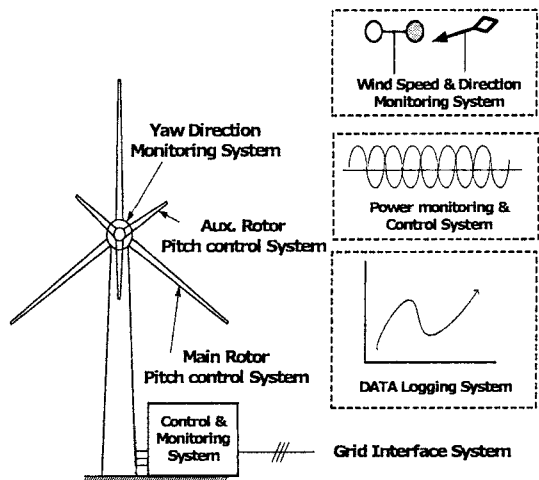


그림 2 감시제어 시스템의 구성도

이러한 시스템의 모니터링 부분과 제어 부분은 상호 의존적으로 작동하므로 명확하게 구분하기에는 어려움이 있으나, 설명을 위해 모니터링 시스템과 제어시스템으로 구분하여 설명하였다.

## 2.1 모니터링 시스템

본 시스템은 PC를 통하여 모든 제어 입력력이 가능하도록 설계하여 현재 풍향과 풍속, 생산되는 순시 발전량을 비롯한 각종 제어 변수들이 모니터에 표시되도록 설계함으로써 사용자로 하여금 한눈에 발전상황을 알 수 있도록 구성되어 있다.

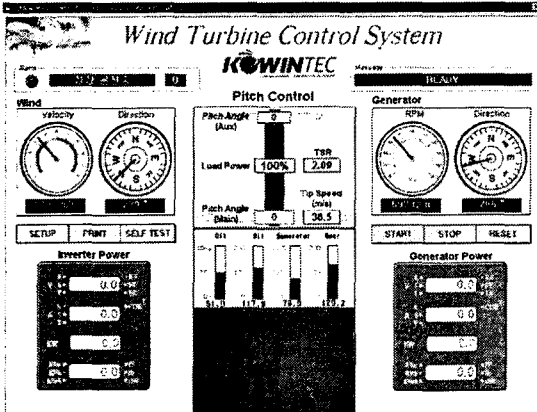


그림 3 모니터링 시스템 감시화면

그림 3은 PC 모니터상에 표시되는 화면이다. 좌측 상단의 알람(Alarm)등은 현재 발전 시스템의 운용상태를 표시하고 있다. 즉, 정상적으로 시스템이 운용될 경우 녹색등이 표시되어 정상임을 표시하고, 붉은색등이 켜질 경우 시스템의 이상을 알리며 에러코드를 발생시킨다. 풍향과 풍속에 관한 정보는 아날로그 타입의 디스플레이 화면과 디지털 화면을 동시에 보여주며, 그림 4는 풍향/풍속 계측부의 흐름도이다.

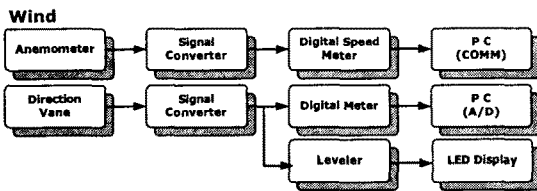


그림 4 풍향/풍속 계측부 흐름도

모니터링 화면의 우측 상단에서는 발전기에 설치된 RPM 센서를 통하여 입력되는 발전기 RPM과 발전기의 요(Yaw)방향을 표시하고 있다. 이때 발전기의 요방향은 풍향과 비교함으로써 프리요(Free Yaw)시스템의 성능을 실증하고 데이터를 분석하는데 있어서 유용한 정보로 활용된다.

계통연계 인버터 시스템은 발전기에서 출력된 가변전압/가변주파수의 전력을 일정전압/일정주파수의 전력 계통 선로측으로 보내는 역할을 담당한다. 내부구성은 정류 및 승압기능을 하는 컨버터부와 전전파 동기된 일정전압 및 주파수 출력을 발생하는 인버터부로 나누어진다.

그림 5는 발전되는 전력과 인버터로부터 한전에 송전되는 전력이 디스플레이 되는 흐름을 표시한 흐름도이다. 전력량은 디지털 메터를 통하여 보여지며 이 데이터는

RS-485통신을 통하여 PC에 입력된다. PC에 입력된 데이터는 그림 3에서 보는바와 같이 좌우측 하단에 표시된다.

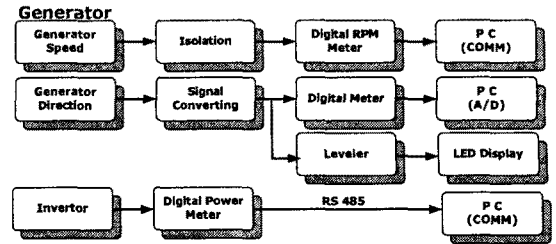


그림 5 발전기/인버터 전력 계측부 흐름도

그림 3의 중앙위쪽에는 현재 주블레이드와 보조블레이드의 피치각과 주블레이드의 블레이드팁 선속도(Tip Speed) 및 주속비(Tip Speed Ratio: TSR)이 표시된다. 이 값들은 발전기의 회전속도와 풍속에 의해서 결정이 되며 이 값들에 의하여 최적의 블레이드 피치각을 결정하여 피치각 지령을 내리게 된다. 식 (1)과 식 (2)는 팁속도와 주속비를 나타낸다. (3,4,5)

$$v_{tip} = \frac{2\pi R_m}{60K} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{R_m \cdot \Omega}{v_0} \quad (2)$$

여기서  $R_m$  은 주날개 반경

$K$  는 주날개의 증속비

$\Omega$  는 주날개의 회전 각속도

$v_0$  는 입력풍속 이다.

이와 같이 측정되고 계산된 데이터는 그림 6에서와 같이 사용자가 지정한 주기로 저장(Logging) 되어 향후 시스템의 성능향상에 관한 연구에 기초 데이터로 활용될 수 있다.

Date	Time	Wind Velocity	Wind Direction	Generator RPM	Generator Pitch	Yaw Pitch	Power Gen	Power Inv	EP	
		m/s	Dir	RPM	Pitch	Yaw	Kwh	KWh	KWh	
02:04:30	14:51:21	02.0m/s	218°	0460°	234cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:51:26	02.5m/s	211°	0465°	233cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:51:31	02.5m/s	208°	0465°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:51:36	02.5m/s	210°	0465°	234cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:51:41	02.7m/s	214°	0467°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:51:46	02.7m/s	210°	0467°	234cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:51:51	02.4m/s	209°	0464°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:51:56	02.1m/s	215°	0467°	234cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:01	02.4m/s	208°	0460°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:06	02.7m/s	208°	0460°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:11	02.7m/s	198°	0463°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:16	02.3m/s	201°	0465°	230cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:21	02.3m/s	203°	0465°	230cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:26	02.5m/s	203°	0468°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:31	02.5m/s	203°	0460°	234cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:36	02.1m/s	215°	0467°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:41	02.4m/s	195°	0463°	230cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:46	01.8m/s	194°	0360°	232cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:51	01.8m/s	195°	0348°	234cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:52:56	01.9m/s	209°	0490°	207cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:53:01	02.3m/s	209°	0490°	207cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:53:06	02.2m/s	212°	0480°	207cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:53:11	02.4m/s	202°	0317°	208cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:53:16	02.3m/s	198°	0317°	210cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:53:21	02.3m/s	210°	0327°	212cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50
02:04:30	14:53:26	02.0m/s	203°	0324°	210cm	+000°	+000.0	+0992.60	-000.2	+0001.50

그림 6 출력 데이터의 예

## 2.2 제어 시스템

로터 블레이드의 피치각은 풍력발전기의 출력을 좌우하는 최대 변수로서, 순시적으로 변화하는 바람에 즉시 대응하고 최대의 전력을 생산하도록 설계되어야 한다.

본 논문에서 제안하는 피치 제어시스템은 보조 블레이드와 주 블레이드의 피치각을 제어하여 앞 절에서 언급한 주속비를 최적의 상태를 유지시켜주는 방식으로 설계되었다. 또한 발전기의 안정된 운용을 위하여 한계풍속을 넘어서는 상황에서는 피치각을 더이상 블레이드가 회전되지 않도록 제어하고, 만약 시스템의 고유진동수와 블레이드의 회전수에 의한 진동수가 일치하였을 경우 나타날 수 있는 공진현상을 대비하여 공진시 피치각과 인버

터의 부하를 제어함으로써 이를 회피할 수 있도록 설계하였다. 아래의 그림 7은 피치제어 시스템의 구성도이며 그림 8은 간략화된 피치제어 알고리즘이다. 그림 8에서의 위급상황이란 한계풍속과 시스템의 정전상황등을 나타내며, 경고상황은 발전 시스템의 부분적 고장 또는 공진등과 같이 미리 결정된 경고상황을 의미한다.

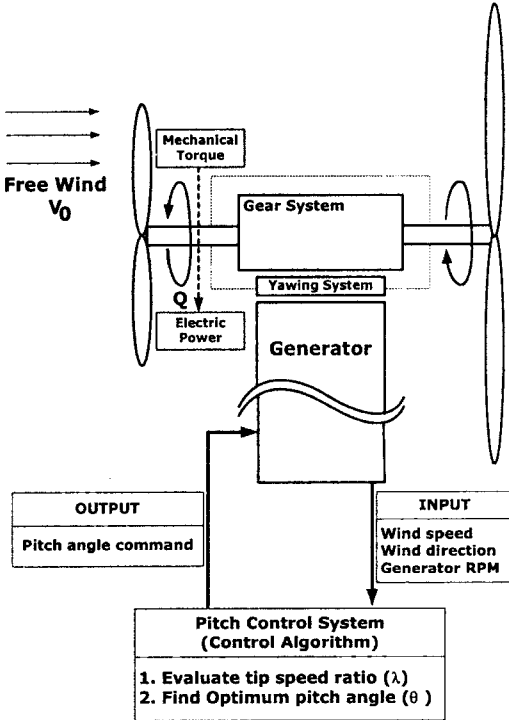


그림 7 피치제어 시스템 구성도

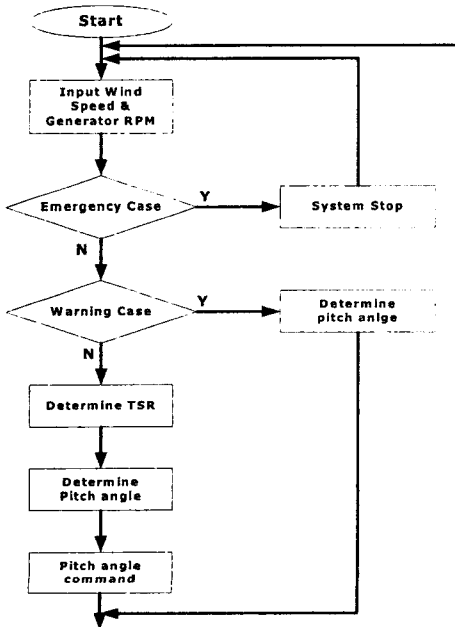


그림 8 간략화된 피치 제어 알고리즘

### 3. 결 론

본 논문에서는 (주)코윈텍에 의해 개발되어 전북 부안 군에서 운용중인 30kW급 한국형 풍력발전기의 감시제어 시스템을 소개하였다. 종전의 감시제어 시스템과는 달리 PC를 기반으로 GUI 개념을 도입하여 사용자로 하여금 시스템의 모든 정보를 한눈에 알 수 있도록 설계하였다. 최적 피치각 제어를 통해 시스템으로부터 보다 많은 출력을 얻을 수 있도록 설계하고, 위험상황에 능동적으로 대처할 수 있도록 하였다. 향후 시스템의 소형화와 먼거리에서 제어할 수 있는 원격제어 시스템에 대한 연구를 계속할 예정이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Vestas, "V39/V42/V44-500/600kW Electrical Operating and Maintenance Manual", 1997
- [2] 신찬, 김지연, 송승호, 노도환, 김동용, 정성남, "수직/수평축 통합형 풍력발전 시스템", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환 시스템 학회 2001추계 학술대회 논문집, pp 289-292, 2001
- [3] 동경민, "상반회전 풍차 블레이드의 공력성능 및 구조 동역학 해석에 관한 연구", 석사학위논문, 전북대학교 대학원, pp 11-12, 2002
- [4] 황성준, "수평축 풍력발전기의 피치제어 시뮬레이션", 석사학위논문, 경북대학교 대학원, 22-24, 2000
- [5] Robert E. Wilson, "Aerodynamic Behavior of Wind Turbines", Wind turbine technology, 215-247, ASME Press, 1994