풍력발전시스템의 강풍제어기 개발 및 시스템 구성

Implementation of Wind Power System and Development of a Automatic Tail Safety Controller

최 정 훈* 문 채 주* 장 영 학* 이 현 주**
목포대학교* (주)약산전기기계**
Jung-Hoon Choi* Chae-Joo Moon* Yung-Hak Jang* Hyun-Ju Lee**

Abstract-A wind turbine system converts wind energy into electric energy, the system operated under normal environmental conditions. In case of particular turbulent wind flow such as typhoon, hurricane etc, the control of a blade used to a yaw control and a pitch control method. A small wind turbine has not a speed control system to only a manual tail safety brake. This paper shows a automatic tail safety brake controller based on feedback control using wind velocity. The controller composed of wired motor, relay system, steel wired motor turn down a perpendicular to wind flow and then the blade speed reduced high to zero. The operation of automatic tail safety controller verified by manual test.

1. 서 론

최근 환경문제와 화석에너지 고갈에 대한 문제로 대체에너지 개발이 전 세계적으로 활발히 연구되어지고 있다. 여러 가지 대체에너지가 있지만 이중 바람에너지를 이용한 풍력발전시스템은 거의 모든 지역에서 존재하며 무한량, 무공해의 자원으로 우리 생활에 유용한 전기적 에너지로 변환시키는 청정 발전시스템이다.[1][2]

풍력발전시스템은 공기의 유동에 의한 운동에너지의 공기 역학적 특성을 이용하여 회전자를 회전하여 기계적 에너지로 변환하고 이 기계적 에너지를 전기에너지로 변환하는 기술이다. 풍력발전기의 주요 구성요소는 날개(Blade), 허브(Hub)로 구성된 회전자, 회전을 증속하여 발전기를 구동시키는 증속장치(Gear Box), 전기를 발생하는 발전기, 각종 안전장치를 제어하는 제어장치, 전력제어장치 및 철탑으로 구성된다.[5]

일반적인 소용량 풍력 발전시스템의 경우 무제어(No Control)방식을 채택하여 모든 풍력발전시스템은 돌풍 및 지속적인 강풍에 견디도록 고안된 방법이 사용되거나 풍력발전기의 꼬리날개를 관리자가 직접 제어하는 수동방식으로 악천후에 대응하는 방식을 사용한다.

소형풍력발전기에서 기존의 수동방식은 관리자가 악천후나 강풍시 직접 풍력발전기의 꼬리날개를 접어 강풍에 대응하는 방식이나 악천후, 야간 관리에 문제점이 발생한다. 또한 무제어 방식은 풍력발전시스템이 과도한 스트레스를 발생하게 되고, 최종적으로 시스템 파손을 발생시키게 된다.

본 논문에서는 최근 대체에너지원으로 각광을 받고 있는 풍력발전시스템 중에서도 소규모로 도서지역 및 독립전원으로 이용 가능한 소형 풍력발전시스템에 대한 고찰과 풍속의 변화에 따른 소형풍력발전시스템을 보호하기 위한 기존의 강풍제어방식을 검토한다. 이러한 검토 자료를 토대로 3kW급 풍력발전기시스템에 대한 강풍자동제어기 설계를 하고 시스템을 구성하고자 한다.

2. 풍력발전시스템

2.1 풍력발전시스템 개요

풍력발전시스템이란 공기의 유동이 가진 운동에너지의 공기역학적 특성을 이용하여 회전자를 회전시

발표자 : 최정훈, 문채주, 장영학, 이현주
接手日子 : 2004年 4月 12日

켜 기계적 에너지로 변환시키고 이 기계적 에너지를 전기 에너지를 발생하는 시스템이다. 풍력발전시스템은 2가지의 형태를 가지게 되는데 지면에 대한 회전축의 방향에 따라 수평형과 수직형으로 분류되며 일반적으로 수직형은 다리우스형 발전기라고도 한다. 풍력발전시스템이 주요 구성 요소로서는 회전자가 있으며 이는 날개(blade), 허브(hub)로 구성되며 회전을 증속하여 발전기를 구동시키는 증속장치(Gear Box), 발전기 및 각종 안전장치를 제어하는 제어장치, 유압브레이크장치와 전력제어장치 및 철탑(Tower)으로 구성이 된다.

풍력발전시스템은 기후에 대해 영향을 많이 받는 발전시스템으로 태양광 및 디젤 발전시스템을 연계하여 사용하는 경우가 많으며 일반적으로 풍력발전기의 효율은 날개의 형태에 따른 손실과 기계적인 손실 등을 고려하여 20~40%정도가 전기적인 에너지로 사용이 가능하다.

2.2 풍력발전시스템 장치

풍력발전시스템의 구성은 날개(blade), 허브(hub)를 포함하는 회전자(rotor)와 요(yaw)시스템, 발전기, 가변속 기어박스, 제어장치와 계통연계를 위한 연계보호 설비 등이 포함된다.

본 논문에서 사용된 풍력발전시스템은 3kW의 소용량 풍력발전기로서 경제성 측면에서 요(yaw) 시스템 및 가변속 기어박스, 제어장치 등은 사용되지 않았다.

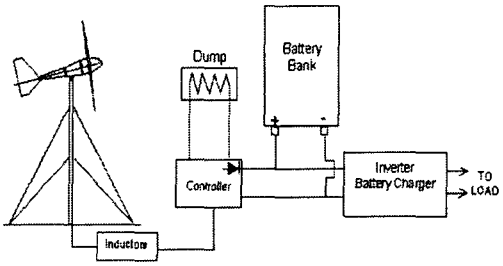

그림 1.풍력발전시스템도

그림 1에서 보는 것과 같이 풍력발전기에서 발전된 출력전력을 저장하기 위하여 축전지와 축전지의 과충전을 보호하기 위한 방전저항(Dump Load), 인버터, 제어반으로 구성되었다.

본 풍력발전시스템의 로터(rotor) 회전 가능속도는 3.0m/s이나 실질적인 전력생산이 가능한 Cut-in 풍속은 3.5m/s이다. Cut-out 풍속은 16m/s이며 본 풍력발전시스템이 견딜 수 있는 최대 풍속은 60m/s이다. 블레이드의 형태는 3-blade 프로펠러형으로 상향식(UP-Wind)이며 날개의 전체 길이는 3.7m이다.

2.3 계통연계

풍력에너지는 바람 속도에 대해서 변화한다. 바람이 속도 v 로 통과한 회전자의 면적을 A라 하면 바람이 가지는 에너지의 총량은 다음 식 2-1과 같다.

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A v^3 C_p \quad (식2-1)$$

여기서 P_w : 풍력에너지 총량 [Watts]
v : 풍속[m/sec]
ρ : 공기밀도[kg/㎥]
A : 통과면적[㎡]
C_p : 회전자의 출력계수

이론적으로 출력계수 C_p는 베츠 이론에 의하여 0.59의 값을 가지지만 일반적으로 0.35~0.5정도의 값만을 가지며 이는 공기의 점성과 회전자 끝의 흐름 간섭 등과 운전 상태에 따라 달라진다.

P_w는 회전자에 의해 바람에너지가 기계적인 에너지로 변환되는데 이 과정에서 동력전달계수 η_m과 발전기 효율 η_g가 포함되어 식 2-1은 식 2-2와 같은 실제 이용 가능한 출력 P_e를 나타낸다.

$$P_e = C_p \eta_m \eta_g P_w$$
$$= C_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2}\rho A v^3 \quad (식\ 2-2)$$

본 풍력발전시스템의 계통 연계를 위하여 발전기에서 발생된 AC전력을 축전지에 저장하기 위해 컨버터를 이용하여 DC로 변환하여 다시 계통에 연계하기 위하여 AC로 전력을 변환한다.

본 풍력발전시스템은 정류기와 인버터로 구성된 AC-DC-AC변환시스템이다. AC-DC-AC변환 부에서

는 풍속 가변성에 의하여 일정하지 않는 풍력발전기의 출력을 인덕터를 이용하여 정류 후 컨트롤러에서 발전기에 생산된 AC 전력을 축전지에 저장하기 위하여 DC로 변환한다. 이때 축전 되는 전력의 전류가 일정 전류(10A)이상 이면 축전지에 충전되지 않고 충전 및 컨트롤 장치의 파손방지를 위해 Dump Load에서 소비된다. 축전된 전력을 부하에 연결하기 위하여 인버터를 통해 일정 전압 및 주파수를 가지는 AC로 변환하여 계통에 연계한다.

3. 자동 강풍제어기

3.1 자동 강풍제어기의 필요성

대용량 풍력발전시스템의 경우 단지의 형태를 가지며 풍속에 따라 중앙제어실과 각의 제어시스템으로 풍속의 변화에 대하여 즉각적인 대응이 가능하다. 그러나 소형 풍력발전시스템의 경우 일반가정이나 가로등 시스템, 도서 및 산간지형의 간이 상수용 보조 전력으로서 사용하므로 대용량 풍력발전시스템에서 사용되어지는 제어시스템을 사용하기에는 경제적으로 불합리하다. 소용량 풍력발전기들은 자체적인 제어시스템 없이 단순히 내구력을 높여 강풍에 견디도록 설계한 무제어 방식을 가지게 된다.

이러한 제어방식은 강풍이나 악천후시 기기 자체에 스트레스를 발생시키는 요인이 되고 기기의 수명을 단축하여 종래에는 기기의 파손을 발생한다. 또한 기존의 수동으로 관리자가 그림 2에서 보이는 구동모터를 컨트롤러를 이용하여 수동으로 풍력발전기의 꼬리날개를 접게 하는 방식 또한 야간 및 악천후, 오지에 설치된 풍력발전시스템의 경우 관리의 부재가 발생하게 된다. 이에 자동으로 강풍에 대하여 풍력발전기의 출력을 제어 할 수 있는 장치가 필요하다.

3.2 자동 강풍제어기의 구성

자동 강풍제어기의 구성은 그림 2에서 보는 것과 같이 컨트롤박스, 구동 모터, 강철와이어와 풍향 풍속타워, 데이터로거가 포함된다.

컨트롤 박스는 수동 및 자동으로 구동모터를 제어할 수 있으며 데이터 로거에서 풍속 값을 입력받아 구동모터를 제어한다.

구동모터는 컨트롤 박스에 의해 자동 또는 수동으로 구동이 가능하며 꼬리날개와 연결된 와이어의 당김 및 풀림이 과도하지 않도록 접점을 설치하여 이를 방지하였다.

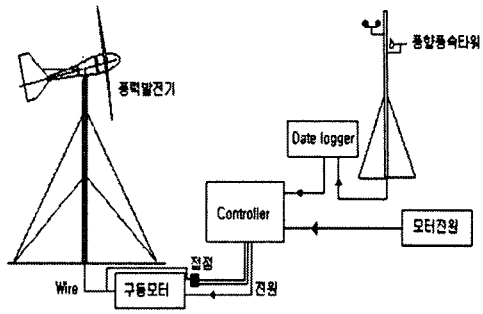

그림 2.자동 강풍제어기 시스템도

강철 와이어는 풍력발전기의 꼬리날개와 연결되어 강풍시나 기타 이상 발생 시 꼬리날개를 접을 때 모터와 연결하여 꼬리날개를 접거나 펴게 한다. 풍력발전기의 너셀 부분을 통과하는 와이어는 그림 3과 같다.

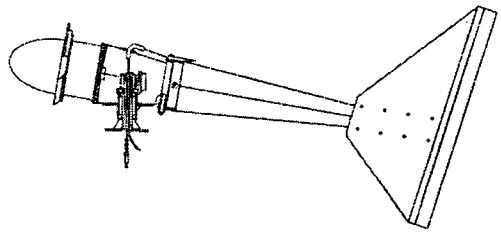

그림 3.너셀 측면도

3.3 강풍제어기의 원리

본 강풍제어기의 동작은 17m/s에서 작동되어 8m/s이하의 풍속이 되면 자동으로 원상태로 복귀하는 시스템이다.

풍향/풍속계에서 측정되어진 풍속의 값이 데이터 로거에 입력된다. 이때 Hi 값인 17m/s 이상의 풍속이 발생할 경우 데이터 로거에서 강풍제어기 컨트롤러로 Hi 신호를 보내게 되고 컨트롤러는 Hi 신호가 일정시간(30sec) 이상 지속적으로 입력될 경우 구동모터에 정회전 신호를 보내게 되고 구동 모터와 연결된 보조 모터에 의하여 와이어를 감게 되고 풍력발전기의 꼬리날개는 그림 4와 같이 바람방향과 직각방향으로 꼬리날개를 접게 되고 그림 5와 같이 회전자의 방향이 바람 방향과 평행하게 되어 회전자의

회전속도 및 출력이 감소된다. 이때 강풍제어기의 구동 모터에 의해 와이어의 감김이 과다하면 와이어 및 장치의 소손이 발생하므로 릴레이 접점을 장치하여 보조모터의 휠에 장치된 쇠막대가 이 릴레이 스위치를 누를 경우 모터의 동작이 정지하게 되어있다.

풍속이 8m/s이하의 값이 풍속계에 의해 측정되고 데이터 로거에 의해 Lo 신호가 강풍제어기의 컨트롤 박스에 일정시간(30sec)이상 지속될 경우 구동 모터에 역회전 신호가 입력되게 되고 강풍제어기의 와이어가 풀리게 되고 꼬리날개는 바람방향과 평행한 상태로 그림 6과 같이 원상복귀 되어 풍력발전기는 발전을 시작하게 된다.

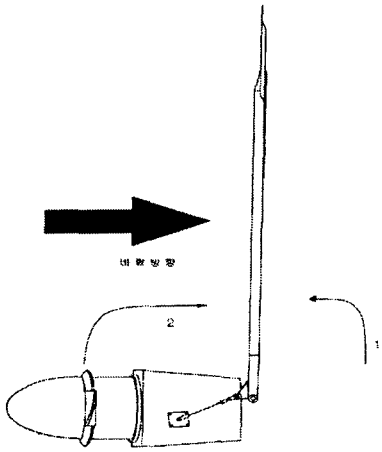

그림 4.꼬리 제침 작동 모형

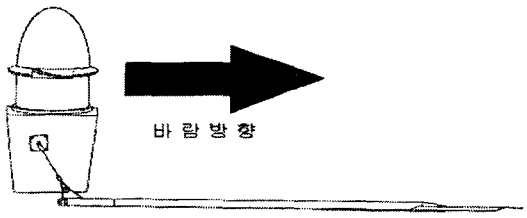

그림 5.꼬리 제침 작동이후 풍력발전기 모형

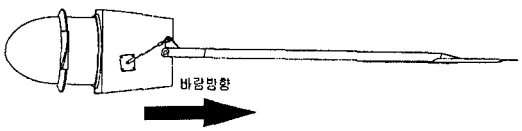

그림 6.꼬리 제침 동작

3.4 자동 강풍제어기 실험

본 강풍제어기의 실험은 일반적인 대지에 설치된 풍력발전시스템이 아닌 그림 7에서 보는 바와 같이 건물옥상에 설치된 풍력발전시스템이며 수차례에 걸쳐 수행하였다. 본 연구에서 최고 풍속으로 정한 17m/s이상의 풍속은 우리나라의 기후 특성상 여름에 태풍이나 장마철, 섬 지형에만 한정된 풍속이며, 본래 의도하였던 풍속인 8m/s ~ 17m/s의 풍속이 아닌 5m/s ~ 10m/s의 풍속으로 조정하였다. 풍속에 대한 지연 시간은 Hi, Lo풍속에 대하여 10sec ~ 30sec의 지연시간을 10sec 간격으로 각각 설정하였으며, 또한 강풍제어기를 수동 및 자동으로 각각 실험하였다.

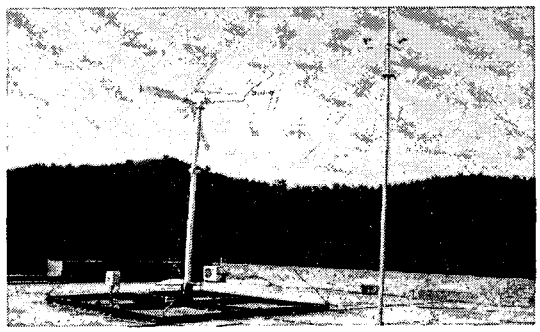

그림 7.풍력발전기 강풍제어기

강풍제어기의 실험에서 지연시간을 10sec, 20sec, 30sec로 각각 실험한 목적은 지형적인 특성상 풍속의 고저가 심하여 최적 지연시간을 찾기 위해 실시하였다.

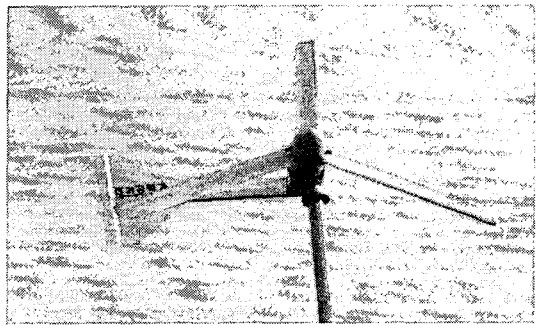

그림 8.풍력발전기 꼬리 제침

본 실험을 실시한 지형에서 풍속의 변화에 대한 최적에 지연 시간은 30sec로 나타났다.

자동 시험의 경우 데이터 로거로부터 Hi 신호가

컨트롤러에 입력되기 시작한지 30sec에 꼬리날개가 접히기 시작하여 5sec 후 그림 9와 같이 완전히 접히게 되어 회전자의 속도가 점차적으로 줄기 시작하여 10sec 후에는 정지하게 되었다.

Lo 신호가 입력되어 강풍제어기가 원상태로 복귀되어야하나 꼬리날개가 그림 9와 같이 정지하여 더 이상 움직이지 않고 정지하였다.

풍력발전기를 해체하여 너셀 내부를 살펴본 결과 그림 10과 같이 너셀 내부와 꼬리날개 연결 부분의 와이어가 파손되는 사고가 발생하였다.

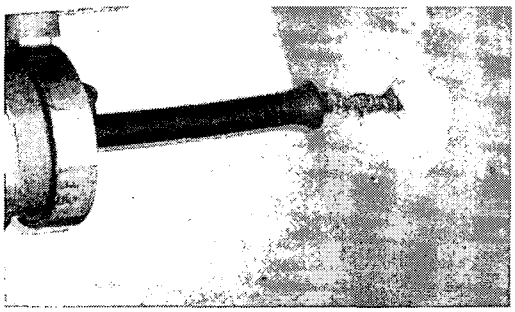

그림 9. 와이어 파손 형상

이 사고는 와이어 꼬임 방지기가 풍력발전기의 풍향에 대한 속도를 따라가지 못하여 와이어 꼬임 방지기와 전력선이 타워 내부에서 엉킴으로 인하여 발생한 사고이다.

이에 대한 사고의 조치로서 와이어를 교체하였으며, 와이어 꼬임 방지기의 회전속도를 높이기 위하여 윤활유 작업을 하였다.

추후 유사한 사고 발생 시 와이어가 아닌 전력선이 파손되면 감전으로 인한 인명사고로 이어질 수 있어 그림 10과 같이 와이어 꼬임 방지기와 전력선 간에 2차로 피복 작업을 실시하였다.

그림 10. 와이어 꼬임 방지기 수리 장면

4. 결과 및 고찰

풍력발전기의 강풍 자동 제어 시스템을 설계하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 기존 소형 풍력발전시스템의 악천후나 강풍시, 야간에 관리가 거의 불가능한 문제점을 해결할 수 있다.
(2) 악천후시 가로등이나 산간지형의 소형 풍력발전시스템의 안전을 확보할 수 있다.
(3) 풍속의 변화 시 풍력발전기의 출력변동을 어느 정도 억제 할 수 있을 것이라고 판단된다.
(4) 소형 풍력발전시스템 단지를 구성할 경우 특별한 제어 시스템 없이도 풍력단지의 구성이 가능할 것으로 판단된다.
(5) 와이어 꼬임 방지기와 전력선간의 꼬임 이외의 고장이나 사고는 발생하지 않았으나 추후 다른 형태의 와이어 꼬임 방지기의 개발이 요구된다.

본 논문은 산업자원부 출연금등으로 수행한 지역전략산업 석 박사 연구인력 양성사업의 연구결과물입니다.

참 고 문 헌

[1] 박문동, 백민식, 이간운, 이영수 "울산 남동부 해안지역에서의 소용량 풍력발전 가능성에 관한 연구" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp 1392-1934 2003
[2] 강병복, 임중열, 윤정필, 차인수 "소형 풍력발전시스템의 보상 운전에 관한 연구"
[3] 정변환, 조준석, 고재석, 최규하, 김응상, 이창성 "태양광 풍력 디젤 복합발전을 위한 전력균형제어에 관한 연구" 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 1388-1390 2002
[4] 권병국, 이승철, 박찬영 "태양광-풍력 복합발전 시스템의 최적구성에 관한 연구" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp 1306-1308 2002
[5] 고은석 "풍력발전시스템 운전실태 분석을 통한 소형화 설계 방안" 전남대학교 산업대학원 석사 논문집