Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 19, No.1, pp. 109~116 January 2005 논문 19-1-16

풍력 및 태양광 발전시스템의 일반 특성과 강풍제어기 및 DC-DC컨버터에 대한 연구

(A Study on General Characteristics of Wind and Solar Power System, Automatic Tail Safety Controller and DC-DC Converter)

최정훈* · 박성준 · 문채주
(Jung-Hoon Choi · Sung-Jun Park · Chae-Joo Moon)

요 약

풍력 및 태양광 발전시스템은 화석에너지의 고갈에 대한 대체에너지로 각광을 받고 있으며, 환경오염을 발생하지 않고 무한정으로 사용할 수 있으나 풍속과 태양광의 변화에 따른 안정성의 문제가 발생한다. 풍력발전시스템의 경우 태풍과 급속한 풍속의 변화에 의해 시스템의 안정성 문제가 발생한다. 본 논문에서는 풍속을 이용한 피드백 제어를 기초로 하는 자동강풍제어기를 포함하는 풍력 발전시스템을 구성하였으며, 이를 다양한 조건의 실험을 통하여 입증하였다. 태양전지 어레이의 최대 출력을 위한 MPPT제어와 고르지 못한 DC 전압을 정류하기 위하여 buck-boost컨버터를 사용하였고, 실험을 통하여 시스템 출력전류 리플 저감의 결과를 확인하였다.

Abstract

Abstract-Wind power and photovoltaic(PV) systems are getting into the spotlight as substitute energy. But problem is happened stability by speed change of wind and the power output of the sun's ray. The power output amount according to velocity of wind power system. System breakdown can happen at change of sudden velocity, typhoon and night. This paper shows a automatic tail safety brake controller based on feedback control using wind velocity. The operation of automatic tail safety controller verified by manual test. PV system is a energy change system by temperature of sun's ray and cell. Maximum power point tracking(MPPT) is used in PV systems to maximize the photovoltaic array output power. In existed PV system is low output and changeable DC voltage for boost and filtering the buck-boost converter use. But, this paper established deformed DC-DC converter. Changed Buck-boost converter's unlined output current to line output current using DC-DC converter. This is effect that reduce ripple of output current. Proved through an output waveform comparison experiment.

Finally, tail safety brake controller is established to wind turbine system for stability elevation and DC-DC converter is established on PV system for stability output.

Key Words : Wind and Solar Power, PV System , DC-DC Converter, MPPT

* 주저자 : 목포대학교 전기공학과 석사출업
Tel : 061-450-6451, Fax : 061-450-6285, E-mail : drooin@hotmail.com
접수일자 : 2004년 9월 16일 1차심사 : 2004년 9월 17일 심사완료 : 2004년 10월 14일

1. 서 론

최근 세계적으로 화석에너지의 고갈과 환경 문제에 대한 관심이 높아지면서 대체 에너지원에 대한 관심이 증대하고 있다. 풍력과 태양광이 주목을 받고 있고 이들을 이용한 발전 시스템의 새로운 기술개발과 발전설비 용량 증설에 각국은 노력을 기울이고 있다[1~3].

본 논문에서는 도서지역 및 독립전원으로 이용 가능한 소규모 풍력 및 태양광 발전시스템에 대하여 고찰하고, 풍력발전기 동작시 풍속의 변화에 대한 출력을 실험하며, 급속한 기상 변동으로 발생되는 돌풍이나 태풍에 대한 풍력발전시스템의 보호설비인 강풍제어방식을 고찰하였다. 이러한 자료를 토대로 3[kW]급 풍력발전기시스템에 대한 강풍자동제어기의 설계 및 제작을 한다.

태양광 발전시스템은 태양 전지 모듈을 비롯한 구성시스템 가격의 고가로 인하여 실용화 보급에 제한을 받고 있고, 낮은 변환 효율 때문에 전체시스템의 단가를 줄이는 대안으로 전력변환장치의 고효율화와 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어가 요구된다[6~7]. 본 논문에서는 MPPT제어를 위해 Buck- boost 컨버터를 변형한 DC-DC컨버터를 사용한다. 논문에서 구성한 풍력 및 태양광 발전시스템을 제작하고 실험하였다.

2. 풍력 및 태양광발전 시스템의 일반특성

2.1 풍력발전시스템

2.1.1 구성

풍력발전시스템의 기계장치 부는 공기가 갖는 유동의 운동에너지를 기계적인 에너지로 변환하는 회전날개(blade), 회전축(shaft)을 포함하는 회전자(rotor)로 구성된다. 동력 변환장치는 회전자의 회전속도를 적정 속도로 변환하는 증속기(gearbox)와 기동·제동 및 운용 효율성 향상을 위한 브레이크(break), 피치와 요시스템(pitching & yawing system) 등의 제어 장치부로 구성된다. 또한 무인운전이 가능하도록 설정, 운전하는 제어시스템과 원격지 제어 및 지상에서 시스템 상태판별을 가능하게 하는 모니터링 시스템으로 구성된다.

풍력발전시스템은 회전자의 회전방향에 따라 수직축 풍력시스템과 수평축 풍력시스템으로 구분되며 수직축 풍력 발전시스템은 바람의 방향에 관계없이 설치 가능하지만 소재가 비싸고, 수평축 발전시스템에 비해 효율이 떨어지는 단점이 있다. 수평축 풍력발전시스템은 비교적 간단한 구조로 이루어져 있어 설치 및 관리가 편리하나 바람의 방향에 영향을 받는 단점을 가지고 있다. 또한, 운전방식에 따라 정속운전방식(geared형)과 가변속 운전방식(gearless형)으로 분류된다. geared형은 대부분의 정속운전 유도형 발전기를 사용하며 유도형 발전기기의 높은 정격회전수에 맞추기 위해 회전자의 회전속도를 증속하는 기어장치가 포함 되어 회전자의 회전속도를 적정속도로 변환하여 계통연계에 적합한 전력으로 출력되는 형태이다. gearless형은 대부분 가변속 운전 동기형(또는 영구자석형) 발전기를 사용하는 풍력발전시스템이며 다극형 동기발전기를 사용하여 증속 기어장치가 없이 회전자와 발전기가 직결되는 직결식 형태이며 계통에 연계하기 위해서는 인버터가 반드시 필요하다.

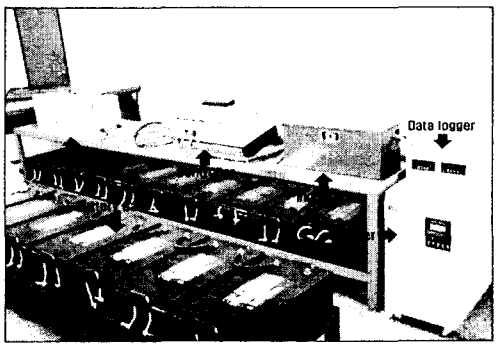


그림 1. 시스템 제어부
Fig. 1. System controller

본 논문에서 사용된 풍력 발전시스템은 수평축 풍력시스템으로 가변속 운전방식이며, 동기 발전기를 이용한 시스템구성이다. 교류계통과의 연계방식에 있어서 직접 계통과 연계하는 AC링크 방식의 경우

발전기 회전수와 계통주파수를 완전히 동기 되도록 해야 하는 문제점이 발생하기 때문에 동기발전기의 AC전력을 DC전력으로 변환 후 다시 AC로 변환하여 계통에 연계하는 AC-DC-AC링크 방식이다.

이러한 링크 방식은 고정익의 소형풍차나 다극 발전기를 이용한 증속기가 없는 직결식 풍차 등으로 채용되는 가변속 운전방식이다. 그림 1은 본 연구에서 사용된 제어기 및 시스템이다.

제어기는 인덕터에서 필터링된 전력이 AC에서 배터리 뱅크(battery bank)에 축전되기 위해 DC로 변환하며, 일정전류(10[A])이상 전류가 유입되면 배터리 및 시스템 보호를 위해 이상전류를 차단하여 dump load로 전송하며, 현재 발전기로부터 발전되어 입력되는 전압 및 전류를 표시한다.

배터리 뱅크는 12[V], 250[A]를 직렬로 10개를 연결하여 120[V], 250[A]를 구성하였다. 인버터는 배터리 뱅크에 충전된 DC전력을 일반 상용계통과 같은 60[Hz]로 주파수를 변환하여 부하에 전력을 공급한다. 무부하시 자체전력으로 1시간당 240[W]의 전력을 소비한다. 풍력발전기의 회전자가 회전하기 시작하는 속도는 2.5[m/s]이나 전력이 생산 가능한 속도는 3.5[m/s]이다.

2.1.2 강풍자동제어기에 대한 고찰

일반적인 소형 풍력발전시스템의 경우 대형 풍력발전시스템에서 사용되어지는 제어시스템을 사용하기에는 경제적으로 불합리하다. 따라서 일반적인 소형 풍력발전시스템의 제어방식은 수동으로 관리자가 직접 제어 하는 방식으로 구동모터를 수동으로 구동하여 풍력발전기의 꼬리날개를 접게 하는 방식이다. 이러한 기존의 수동 방식은 악천후나 야간에 관리의 어려움이 발생하게 되고 풍력발전기에 스트레스를 초래하고 결국 고장이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 자동 강풍제어기가 필요하다.

자동 강풍제어기의 구성은 그림 2에서 보는 것과 같이 컨트롤박스, 구동 모터, 강철와이어와 풍향 풍속타워, 데이터 로거가 포함된다. 컨트롤 박스는 수동 및 자동으로 구동모터를 제어 할 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.

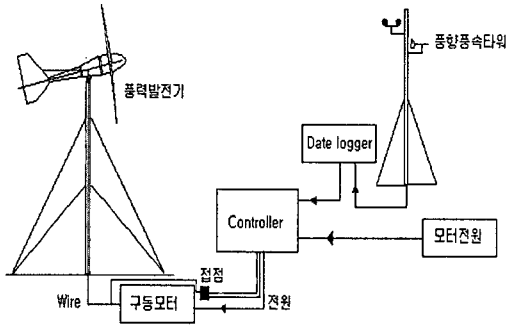


그림 2. 자동 강풍제어기 시스템도
Fig. 2. Diagram for automatic wind controller

풍력발전기 강풍제어기의 꼬리 제침 풍속은 17[m/s] 이며 꼬리날개 원상복귀 풍속은 8[m/s]로 설계하였다. 풍향/풍속계에서 측정되어진 풍속의 값이 데이터 로거에 입력되고, 이때 Hi값인 17[m/s] 이상의 풍속이 발생하여 일정시간(30초)이상 지속적으로 계속될 경우 꼬리날개에 연결된 와이어를 감아서 꼬리날개는 그림 3과 같이 바람방향과 직각방향으로 접게 되고, 이후 회전자의 방향이 바람방향과 평행하게 되어 회전자의 회전속도 및 출력이 감소된다.

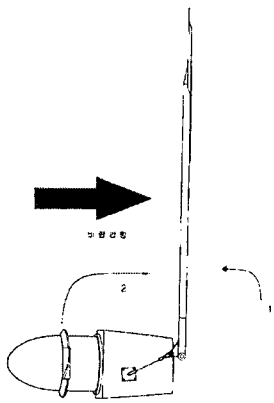


그림 3. 꼬리 제침 작동 모형
Fig. 3. Operation mode of folding tail

2.2 태양광 발전시스템

2.2.1 구성

태양광 발전시스템의 장점은 기계 가동부분이 없으므로 소음과 진동이 없는 청정에너지 시스템이며 수명이 길다. 또한 설치용량의 선택이 자유롭고, 일사량 데이터를 이용하여 쉽게 부존 자원량을 산정할 수 있다. 지역에 따른 자원의 편중성이 적고, 계절 및 시간에 따른 출력 변화가 적으며, 설치 기간이 짧은 장점을 가지고 있다. 특히 유지보수 등의 장점으로 인하여 독립형 시스템으로 가로등, 통신시설, 등대, 양수펌프 등에서 이용되고, 도서지역 등의 사용전원의 접근이 어려우며 소규모 전원시설 및 디젤발전이 용이하지 않은 시설에 사용된다[9][11]. 그림 4는 일반적인 태양광발전시스템의 구성도를 나타낸다.

PN접합으로 구성된 태양전지에 태양광이 입사되면 광기전력에 의해 기전력이 발생하고, 이때 외부에 접속된 부하에 전류가 흘러 전력이 발생되며 이 전력을 축전지나 계통에 연계하는 기술이다. 태양광 발전시스템은 태양전지와 전력변환장치로 구성되며, 변동하는 일사량에 대해 최대전력을 생산하기 위해서는 항상 최대 전력점(Maximum Power Point : MPP)에서 운전되어야한다.

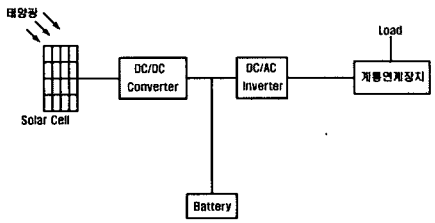


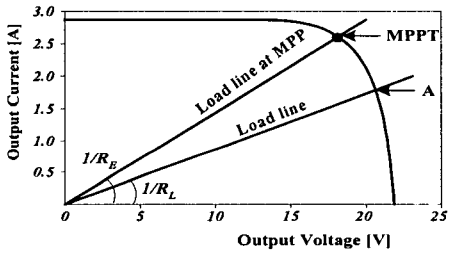
그림 4. 태양광 발전시스템의 기본 회로도
Fig. 4. Basic circuit diagram for PVS

그림 4와 같이 태양광 발전시스템은 다른 발전시스템에 비하여 비교적 단순한 형태를 가진다. 그러나 태양광 발전시스템은 발전전력량이 태양전지 array에 의해 결정되므로 발전전력량이 클수록 많은 태양전지 array를 필요로 하게 되어 넓은 면적의 토지를 필요로 하게 된다. 또한 전남 무안지역의 여름에 출력전력은 주로 오전 10시부터 오후 6시 사이에만 전력이 발생되므로 야간이나 흐린 날에는 발전을 할 수 없는 단점이 있다.

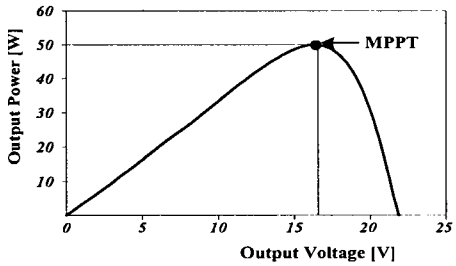
2.2.2 특성고찰

태양광 발전시스템은 2가지 형태의 시스템으로 분류되는데 발전된 전력을 저장할 수 있는 축전지 시스템이 반드시 필요한 독립형 시스템과 일반적인 계통과 연계되는 계통 연계형 발전시스템이 있다.

그림 5(a) 및 (b)는 태양전지의 I-V 특성 식으로부터 나타난 태양전지의 전압전류 특성 및 전압출력 특성을 나타내고 있다. 태양전지의 출력은 일사량 및 온도 등의 주변 환경에 따라 변하게 되고, 부하상태 또한 변하기 때문에 태양전지의 전압전류특성의 MPPT점과 부하에 의해 결정되는 점이 항상 일치하기란 거의 불가능하다.



(a) 전형적인 태양전지의 전류 전압 특성



(b) 전형적인 태양전지의 전력 전압 특성

그림 5. 태양전지의 특성
Fig. 5. The characteristics of a PV module

그림 5(a)에서 부하(R_L)에 의해서 결정되는 태양전지 전압 전류 점은 A가 되어 태양전지의 MPPT 점에서 벗어나 있게 된다. 이 동작 점을 MPPT점으로 이동하기 위해서는 등가부하가 MPPT점을 만족

하는 부하(R_E)로 바꾸어 주는 장치가 필요하다. 이러한 등가부하를 만들 수 있는 장치가 컨버터이다. 따라서 태양전지를 효율적으로 사용하기 위해서는 MPPT제어를 행하는 것이 바람직하며, 이를 위해서는 전압 또는 전류를 제어할 수 있는 컨버터의 설치가 필수적이다.

그림 6은 기존의 Buck-boost 컨버터를 변형한 승압형 컨버터이다. 본 논문에 적용시킨 컨버터는 Buck-boost컨버터의 입력전압과 출력전압이 직렬로 연결되도록 출력단자가 인출되었으며, 스위칭 소자의 전원 신호를 입력전압을 사용할 수 있도록 스위치의 위치를 바꾼 형태를 하고 있다.

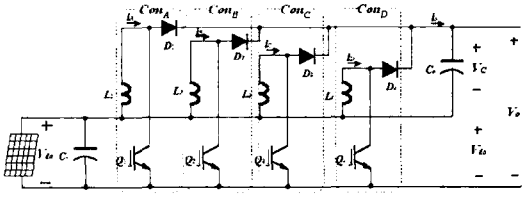


그림 6. DC-DC컨버터
Fig. 6. DC-DC converter

PV용 DC-DC컨버터의 출력증가 및 효율 향상을 위해 DC/DC 컨버터 4조를 사용한 병렬회로 구성으로 되어있다.

컨버터가 병렬로 구성될 경우 부하분담의 문제가 발생하게 된다. 부하 분담의 편중을 막기 위해 각 DC-DC컨버터에는 전류제어기가 설치되었다. 병렬로 연결된 각 DC-DC컨버터에서 발전되는 양의 균일한 분담을 위해서 전류 제어형으로 구성되었으며, 이를 위해서 속응성이 뛰어난 피크전류 제어방식으로 전류를 제어하는 방식이 사용되었다.

태양광 발전용 DC-DC컨버터의 효과를 극대화하기 위해서는 각 컨버터 간에 상호 연관된 스위칭 기법이 필요하다. 그림 7은 4조로 구성된 병렬 컨버터에서 출력전압 리플을 저감하기 위한 컨버터의 전류제어 블록도이다. 전류제어기는 DSP, 플립플롭 및 비교기로 구성되어 있다. DSP칩인 TMS320F2406은 자체에 2개의 타이머를 갖고 12개의 PWM단자로 구성되어 있다. 본 제어기에서는 타이머 1과 타이머 2의 값을 90[°] 위상차를 갖는 값으로 초기화하여 사용하고, 각 타이머에서 발생되는 정 및 부의 PWM 단자를 사용함으로 위상차 90[°]를 갖는 4개의 연속적인 펄스를 발생하게 하여 각 컨버터의 스위치를 온하게 하였으며, 각 컨버터의 전류를 피드백 하여 지령전류와 비교하여 각 컨버터의 스위치를 오프하게 하였다. 이때 전류신호에는 스위칭 노이즈에 의한 오동작을 방지하기 위해서 저역통과 필터가 사용되었다.

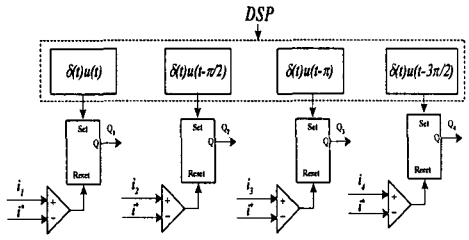


그림 7. 출력전압 리플저감을 위한 전류제어기
Fig. 7. Current controller for the ripple reduction of voltage output

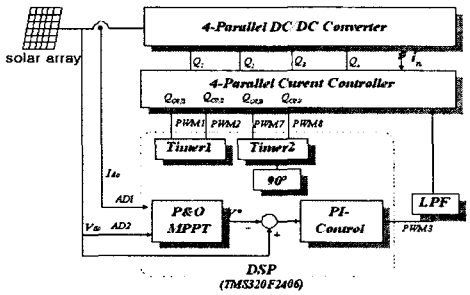


그림 8. 제어블록도
Fig. 8. Control block diagram

그림 8은 태양광 발전용 DC-DC컨버터의 전체 제어 블록도를 나타내고 있다. 우선 DSP의 자체 12[bit] AD를 통하여 태양전지의 전압, 출력전압 및 전류를 검출한다. 각 센서로부터 검출된 전압 전류로부터 태양전지의 동작전압을 제어하여 MPPT가 되도록 제어한다. P&O MPPT에서 발생한 전압을 제어하기 위한 전류 지령치는 비례적분 제어기를 사용하여 전류 지령치를 발생하였다. 4조로 구성된 병렬 컨버터의 스위치의 온 신호는 90[°]위상차를 갖는 타이머 1과 타이머 2를 이용하여 PWM1, PWM2, PWM7, PWM8단자에서 발생하며, 오프 신호는 태

양전지 단자전압의 지령치 와 실제치에 의한 비례적분제어 값을 PWM3을 통하여 펄스폭으로 발생하고 이를 저역통과 필터를 통한 값과 각 컨버터의 전류를 피드백 하여 지령전류의 비교에 의해 발생한다.

3. 실 험

3.1 강풍제어기

3.1.1 실험장치

실험 장치의 구성은 그림 1과 같이 실내에 설치되는 제어기 및 배터리부분과 외부에 설치되는 풍력발전기, 구동모터, 컨트롤러 박스로 구성이된다.

컨트롤러는 그림 9와 같으며 외부의 각 스위치는 강풍제어기의 자동 및 수동 변환 스위치 및 수동 동작시 구동 모터의 상하 조정 스위치다.

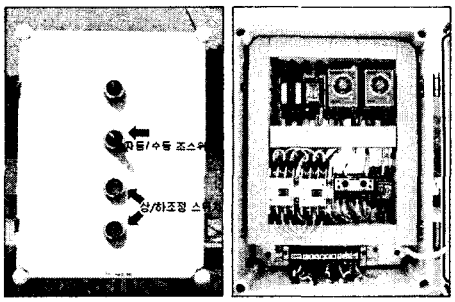


그림 9. 강풍제어기 컨트롤러
Fig. 9. Control system for automatic wind control

본 컨트롤러는 외부 전원을 입력받아 구동 모터에 전달하며 Data logger에서 수신되어지는 풍속의 Hi 또는 Lo값을 입력받아 풍력발전기의 강풍자동제어기를 작동 시킨다.

구동 모터는 풍력발전기와 직접연결 되는 부분으로 그림 10과 같은 형태이다. data logger에서 컨트롤러에 입력되는 Hi 및 Lo값에 의해 일정시간이 지난 후 컨트롤러에 의하여 일정한 신호를 받아 와이어를 감거나 풀어주어 풍력발전기의 꼬리 날개를 바람 방향과 직각 또는 평행으로 조절하게 된다. 이때 구동 모터가 와이어를 과하게 감거나 너무 느슨하게 풀리는 것을 방지하기 위하여 상·하점 릴레이를 설치하였다.

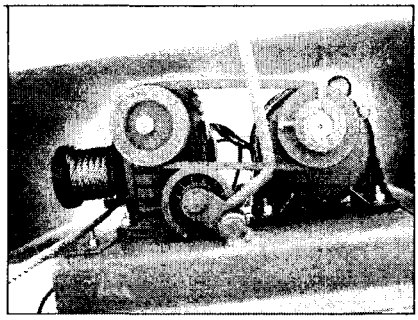


그림 10. 강풍제어기 구동 모터
Fig. 10. Driving motor for automatic wind control

3.1.2 실험방법 및 결과

본 강풍제어기의 실험은 건물옥상에 설치된 풍력발전시스템을 이용하여 수차례에 걸쳐 수행하였다. 최고 풍속으로 정한 17[m/s]이상의 풍속은 우리나라의 기후 특성상 여름에 태풍이나 장마철, 섬 지형에만 한정된 풍속이며, 실증실험이 불가능하여 5~10[m/s]의 풍속으로 실험하였다. 풍속에 대한 강풍제어기의 동작 지연 시간은 강풍제어기 꼬리날개 제침 풍속을 Hi(10[m/s]), 강풍제어기 꼬리날개 원상복귀풍속을 Lo(5[m/s])로 설정하였다. 풍속에 대한 지연 시간은 Hi, Lo풍속에 대하여 10~30[sec]의 지연시간을 10[sec] 간격으로 각각 설정하였으며, 또한 강풍제어기를 수동 및 자동으로 각각 실험하였다.

강풍제어기의 실험에서 지연시간을 10[sec], 20[sec], 30[sec]로 각각 실험한 목적은 지형적인 특성상 풍속의 고저가 심하여 최적 지연시간을 찾기 위해 실시하였다. 실험을 실시한 지형에서 풍속의 변화에 대한 최적에 지연 시간은 30[sec]로 나타났다.

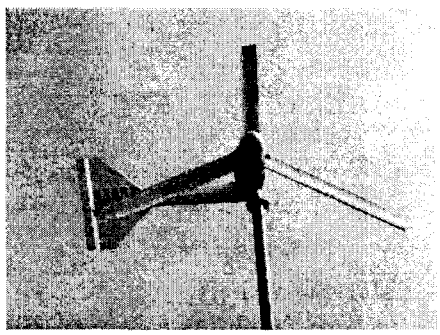


그림 11. 풍력발전기 꼬리 제침
Fig. 11. The folding tail of wind generator

자동 시험의 경우 데이터 로거로부터 Hi 신호가 컨트롤러에 입력되기 시작한지 30[sec]에 꼬리날개가 접히기 시작하여 5[sec] 후 그림 11과 같이 완전히 접히게 되어 회전자의 속도가 점차적으로 줄기 시작하여 10[sec] 후에는 정지하게 되었다.

3.2 DC-DC컨버터

3.2.1 실험장치

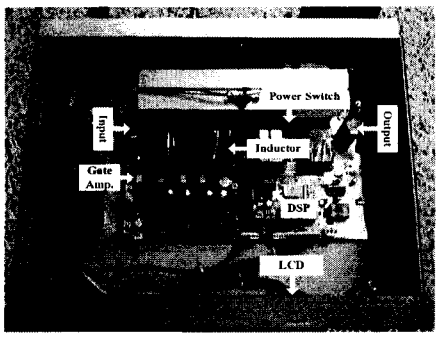


그림 12. 제작된 시작품 컨버터
Fig. 12. Prototype of converter

3.2.2 실험방법 및 결과

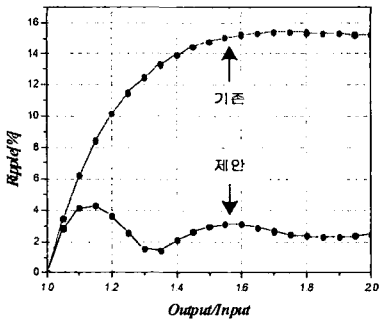


그림 13. 기존 및 적용된 컨버터의 리플비교
Fig. 13. The ripple comparison of the existing and the proposed converter

그림 12는 제작된 컨버터의 사진을 나타내고 있다. 정격용량이 400[W]인 인버터 4조를 사용하여 병렬 구동방식으로 구성되었으며, DSP (TMS320-F2406)에서 모든 제어를 행하게 하였다.

그림 13은 일정 전류제어모드로 둔 상태에서 출력전압변동에 따른 출력측 전압 리플율에 대한 시험결과이다. 입력전압 출력전압 비가 적은 부분에서는 실험에 적용된 컨버터의 출력 리플율은 기존의 것과 비슷한 결과를 가지나, 출력전압이 어느 정도 높은 부분에서는 기존의 컨버터 방식에 비하여 본 논문에 사용된 인버터 방식이 출력전압 리플에서 우수함을 알 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 자동강풍제어 시스템 및 태양광 발전에 적합한 전력회로 설계를 위해 입력전압과 직렬형태를 취하여 출력전압을 형성할 수 있는 DC-DC 컨버터를 사용하여 풍력 및 태양광 발전시스템을 설계하였다.

풍력발전시스템 실험결과, 기존 소형 풍력 발전시스템의 악천후나 야간에 관리자의 부재로 인한 시스템 관리의 문제점을 해결하였으며, 안정성을 확보할 수 있었다. 이러한 시스템으로 소형 풍력발전 단지를 구성할 경우, 특별한 제어 시스템 없이도 풍력단지의 구성이 가능할 것으로 연구되었다.

태양광 발전시스템인 경우에 적용된 DC-DC 컨버터는 입력전압에 대한 출력전압비가 1.3이며, 상스위칭 신호에 위상차를 두지 않은 경우와 위상차를 90[°]로 설정하여 시뮬레이션 하였다 시뮬레이션 결과 기존 DC-DC 컨버터는 출력전류가 비선형을 보였으나, 출력전압이 높은 부분에서는 기존의 컨버터 방식에 비하여 출력전압 리플리 10~12[%] 정도 우수한 것으로 나타났다. 또한 시뮬레이션을 바탕으로 프로토타입을 구성하여 실험한 결과에 있어서도 부하분담 특성이 양호한 것으로 나타났다.

본 연구는 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역전략산업 석 · 박사 연구인력 양성사업의 연구결과입니다.

References

[1] 에너지 경제 연구원 "http://www.keei.re.kr".
[2] 박문동, 백민식, 이간운, 이영수 "울산 남동부 해안지역에서의 소용량 풍력발전 가능성에 관한 연구" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.1392~1934(2003).

[3] 권병국, 이승철, 박찬영 "태양광-풍력 복합발전 시스템의 최적구성에 관한 연구" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp. 1306~1308(2002).
[4] 허종철 "풍력발전시스템의 국내외 동향 및 풍력에너지 예측과 풍력단지조성" (2000).
[5] Mukund R. Patle "wind and solar power system" CRC press.
[6] Johanna M. A. Myrzik, "Novel Inverter Topologies for Single-Phase Stand-Alone or Grid Connected Photovoltaic Systems", IEEE PEDS, pp.103~108(2001).
[7] 송진수 "태양광발전 기술의 개발과 보급동향" 전기저널 (2001. 1).
[8] 강병복, 임중열, 윤정필, 차인수 "소형 풍력발전시스템의 보상 운전에 관한 연구".
[9] 정변환, 조준석, 고재석, 최규하, 김응상, 이창성 "태양광 풍력 디젤 복합발전을 위한 전력균형제어에 관한 연구" 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 pp.1388~1390(2002).
[10] 고은석 "풍력발전시스템 운전실태 분석을 통한 소형화 설계 방안" 전남대학교 산업대학원 석사논문집.
[11] 김말수, 이상훈, 홍종석, 최재호 "독립운전기능을 갖는 계통연계형 태양광 발전시스템의 설계" 전력전자학술대회 논문집 pp.969~972 (2003).
[12] 권병국 "태양광-풍력 복합발전 시스템의 구성에 관한 기초연구" 중앙대학교 대학원 석사논문 (2002. 6).
[13] 박원훈, 백기황, "태양복사와 일사량" 태양에너지 제2권 2호, (1979).
[14] Michihiko Nagao, and Koosuke Harada, "Power Flow of Photovoltaic System using Buck-Boost PWM Power Inverter", IEEE/PEDS, pp.144~149 (1997).
[15] B. K. Bose et al, "Microcomputer Control of a Residential Photovoltaic Power Conditioning System", IEEE Trans. On Industry Application, IA-215, pp. 1182~1191(1985).
[16] H. Watanable et al, "A Novel Unity Interactive Photovoltaic Inverter", IEEE/IECON98, Vol. 2, pp. 721~725(1998).
[17] S. Nonaka, "A Novel Three-Phase Sinusoidal PWM Voltage Source Inverter and its Application for Photovoltaic Power Generation System", IEEE/PCC'97, pp. 755~761(1997).
[18] G. Keller et al, "Module Orientated Photovoltaic Inverters A Comparison of Different Circuits", IEEE/ WCPEC94, pp.929~932(1994).
[19] Abraham I. Pressman, Switching Power Supply Design, McGraw-Hill, Inc. (1991).

◇ 저자소개 ◇

최정훈 (崔晶薰)
1977년 8월 15일생. 2002년 목포대학교졸업(학사). 2004년 동대학원 졸업(석사).

박성준 (朴成俊)
1965년 3월 20일생. 1991년 2월 부산대학교전기공학과 졸업. 1993년 2월 동대학원 졸업(석사). 1996년 동대학원 졸업(박사). 2002년 동대학원 지능기계공학과 졸업(박사). 1996~2000년 거제대학 조교수. 2000~2003년 동명대학 조교수. 2003년~현재 전남대 산업 및 전기공학계열 조교수.

문채주 (文彩柱)
1959년 12월 26일생. 1981년 전남대학교 계측공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986~1996년 한국전력기술 부설 전력기술개발연구소 책임연구원. 1996~1997년 한국전력기술 원자로설계개발단 책임연구원 1997~1999년 목포대학교 공과대학 전기제어공학부 전임강사. 1999~현재 목포대학교 공과대학 전기공학과 부교수.