

새로운 방식의 소형 풍력발전기 시스템 고찰

김영민, 황종선, 김종만, 김병욱*, 김동용*

남도대학 컴퓨터응용전기과, 전북대학교 전자정보공학부*

Research of New Type Small Wind Turbine System

Kim Yeong-Min, Hwang Jong-Sun, Kim Jong-Man, Kim Byoung-Wook, Kim Dong-Yong,

Dept. of Computer Applied Electric, Jeonnam Provincial College.

*Division of Electronics and Information Engineering Chonbuk National University

Abstract

The objectives of this study are to improve the aerodynamics performance on the down-wind blade system with folding type blade which consists of the folding type rotor blade, wind vane yawing stabilizer and a bevel gearbox. The aerodynamics performance for the new wind turbine system are compared with those of the conventional up-wind blade system. In addition to, a novel multi voltage inverter system is applied for reductions of harmonic.

Key words: down-wind blade system, folding type blade, wind vane yawing stabilizer, reductions of harmonic

1. 서 론

풍력은 대체에너지 가운데 비교적 저렴하게 전기를 얻을 수 있는 장점 때문에 전 세계적으로 각광을 받고 있는 대체에너지 자원의 하나이다.

풍차의 나라로 알려진 네덜란드의 경우, 2020년까지 전체 화석연료의 10%를 신·재생에너지원으로 교체하고 이중 20%정도인 300MW를 풍력으로 대체할 계획을 세우고 있다. 또한, 육상부지의 한정성으로 인해 1500MW를 해상풍력으로 공급할 계획을 추진하고 있다.[1]

양질의 풍황조건을 갖춘 육상부지가 매우 적은 우리나라에서는 참고가 될 만한 사항이다. 이러한 풍력에너지를 전기에너지로 바꿔주는 풍력발전시스템은 로터 블레이드의 위치에 따라 크게 업-윈드 방식과 다운-윈드 방식으로 분류된다. 업-윈드 방식에 비해 다운-윈드 방식의 경우, 별도의 제어장치 없이 프리-요 특성을 갖고 있어 중소형 발전기에 적용시 편리함이 있다. 우리나라의 경우 풍향 및 풍속의 변화가 심하고 연중 몇 차례의 태풍이 통과하는 지리적 특성으로 인하여 업-윈드 방식의

대용량 풍력발전기 운영에는 많은 어려움이 있다. 따라서 이러한 급변하는 풍향과 풍속, 태풍 등으로부터 보다 안정된 시스템의 필요성이 매우 절실하다. 또한 안정적이고 효율적인 운전을 위해서는 상용 계통과의 연계를 통한 병렬 운전이 필요한데, 최근 반도체 전력 변환장치의 사용 증가 등으로 인하여 고조파 발생량이 증가하고 있고, 전원계통에 유입된 고조파는 기계의 손실증가, 이상소음, 과열, 토크 맥동의 원인이 되고, 또한 통신선로의 유도장애 및 신호장애 등을 유발하고 있어 그 대책이 중요하다.[2]

본 연구에서는 별도의 풍향센서와 제어 설비 없이, 자동으로 풍향을 찾아가며, 돌풍이나 강풍에도 별도의 피치 컨트롤없이 블레이드 폴딩 작용으로 시스템을 보호하며 블레이드의 일정한 폴딩 각도에서도 발전을 지속할 수 있는 새로운 방식의 다운-윈드 방식의 풍력발전기 시스템에 멀티 전압형 인버터를 적용하여 고조파를 저감할 수 있는 시스템을 고찰하고자 한다.

2. 새로운 풍력발전 시스템

수평축 풍력발전시스템의 경우 가장 일반화되어 있는 방식으로 소형에서부터 대형까지 제작되며 주요 특성은 다음과 같다.

블레이드 로터 축과 수평으로 발전기가 부착(상부 나셀 내부에 부착)되어 가장 널리 사용되고 있는 일반적인 방식으로서 블레이드 로터에서 발전기까지 토크 전달 경로가 짧아 전달 효율이 좋으나 상부 회전부(나셀)가 무거워 신속한 요(Yaw) 동작이 어렵다. 또한, 상부(나셀)가 일정 횟수 이상 회전되면 풍력발전기 동작을 멈추고 꼬인 케이블을 원래 위치로 풀어주어야 하고 상부 회전부에 발전기가 탑재되어 냉각 및 유지 보수 등이 불편하며 요(Yaw) 컨트롤을 위한 보조 장치가 필요하다. 그리고 강풍 및 태풍 등으로 인한 비상시 피치 제어를 통한 완전 정지(emergency stop)로 발전이 불가능하며 돌풍과 같은 급격한 충격에 블레이드 파손을 초래할 수 있다.

이에 대하여 새로운 풍력발전시스템의 구성 및 특징은 다음과 같다.

2.1 풍력발전기 시스템 구성 및 동작 특성

제안된 시스템은 그림 1과 같은 구성으로 블레이드 로터 축의 동력이 베벨기어에 의해 수직축으로 전달되어 수직축에 설치된 발전기를 구동한다.

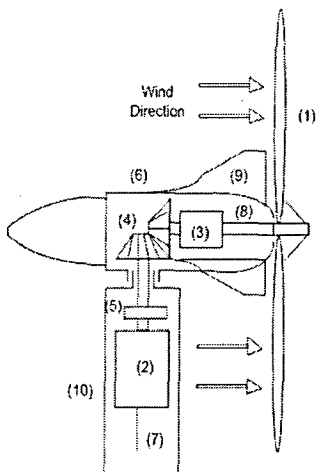


그림 1. 제안된 풍력발전기 시스템 주요 구성도

그림 1의 주요부분에 대한 명칭은 다음과 같다.

- (1) 폴딩형 블레이드, (2) 발전기, (3) 기어박스
- (4) 스피어럴 베벨기어, (5) 브레이크 디스크, (6) 나셀, (7) 전력 인출선(케이블), (8) 회전축, (9) 나셀 방향 키, (10) 타워

블레이드 동작 특성으로는 그림 2와 같이 블레이드가 풍압에 따라 뒤쪽으로 가변될 수 있어서 강풍으로부터 시스템을 보호할 수 있고, 이 때에도 회전이 가능하므로 발전이 가능하다.

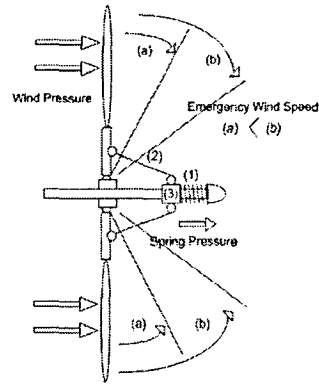


그림 2. 비상 풍속시 블레이드 동작 원리

비상 풍속시 블레이드 동작 원리를 나타낸 그림 2의 주요부분에 대한 명칭은 다음과 같다.

- (1) 스프링, (2) 블레이드와 (3)의 슬라이딩 부를 접촉한 지지대, (3) 슬라이딩 부

2.2 풍력발전 시스템 연계 계통의 고조파 저감

2.2.1 전체 시스템 구성도

인버터를 포함한 계통 연계형 풍력발전시스템의 구성은 그림 3과 같다.

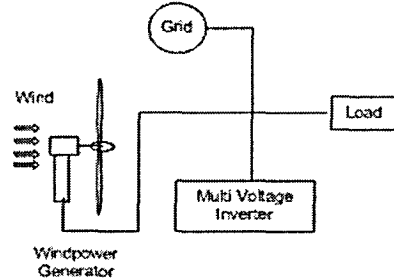


그림 3. 전체 시스템 구성도

계통의 연계시 양질의 전력품질 확보를 위해 고조파전류의 억제가 중요하다.

고조파 저감을 위한 인버터 회로는 그림4에 나타낸 바와 같이 3상 인버터(INV-I, INV-II)를 주회로로 사용했고, 소자 Tr1, Tr2, Tr1', Tr2'는 단상정류회로로 구성하여 동작시키고, 이 정류 회로에 단권변압기를 접속하여 보조회로를 구성하였다. 또한 파선에 나타낸 보조회로와 콘덴서(Ed), 인버터(INV-I, INV-II)를 연결한다. 그리고 인버터 1차측에 변압기 권선을 Δ-Δ, Δ-Y로 구성한다.

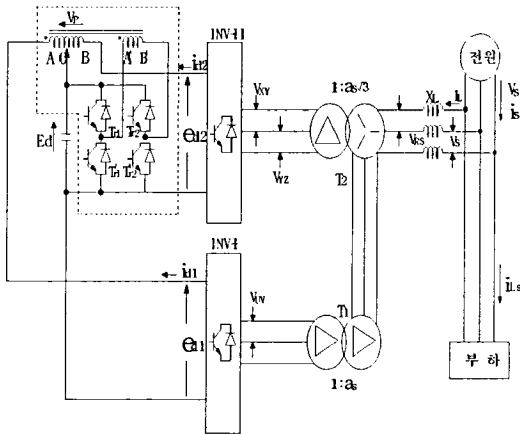


그림 4. 인버터 접속 회로

이 시스템은 비교적 간단한 보조회로와 주 인버터 구성으로 1차측 전압 파형이 정현파에 가깝다는 큰 개선점을 갖는다.

2.2.2 동작원리 및 왜형률 최소 조건

그림 4의 파선 부분은 본 연구에서 제안된 보조회로이다. 보조회로는 상간리액터 2차측에 설치된 권선 A', B'사이 권선을 N0, 1차측 권선 중점 O에 대한 AO 및 OB사이 권선을 N1이라 하면, 상간리액터 권수비 am을 N1/N0라 한다. 보조회로 스위칭 소자 Tr1, Tr' 및 Tr2, Tr2'의 제어각을 각각 β1, β2로 동작시키고, O점은 주 인버터 INV-I의 전류시에 사용하고, Tr1 및 Tr2를 비대칭 제어하면 보조회로 동작은 그림 5에 표시한 바와 같이 4개의 동작모드로 나누어진다.

모드 A에서 인버터 입력 전압을 ed1, ed2라 하고, AO, OB 사이의 전압 Vp를 상간리액터 전압이라고 하면, 다음 수식(1)과 같이 놓을 수 있다.

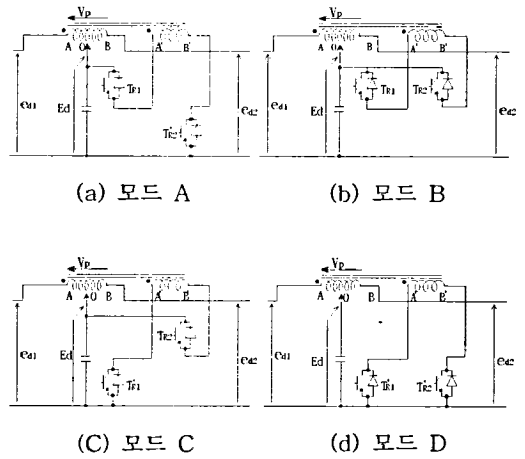


그림 5. 보조회로 동작모드

$$e_{d1} = E_d + V_p \quad e_{d2} = E_d - V_p \quad (1)$$

단 $V_p = a_m E_d$ 이다.

모드 B, C, D에서도 인버터 입력 전압 ed1, ed2를 구할 때는 수식(1)을 사용하고, 상간리액터 전압 Vp는 수식(2)와 같이 놓을 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \text{모드 B: } V_p &= 0 \\ \text{모드 C: } V_p &= -a_m E_d \\ \text{모드 D: } V_p &= 0 \end{aligned} \right\} (2)$$

출력 전압 파형을 36스텝화하기 위해서는 입력 전압 ed1, ed2를 3레벨 파형으로 해야 하며 출력전압 파형의 왜형률을 최소로 하는 μ는 다음식과 같다.

$$\mu = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_{RSn})^2}}{V_{RS1}} = \sqrt{\left(\frac{V_{RS}}{V_{RS1}}\right)^2 - 1} \times 100(\%) \quad (3)$$

여기서, V_{RSn} : n차 고조파 실효치, V_{RS1} : 기본파 실효치, V_{RS} : 전 실효치이다.

$$V_{RS} = \frac{a_s E_d}{3} \sqrt{12 + 6\sqrt{3} + (8 - 4\sqrt{3})a_m^2} \quad (4)$$

$$V_{RSn} = a_n a_s \sin(n\theta) \quad (5)$$

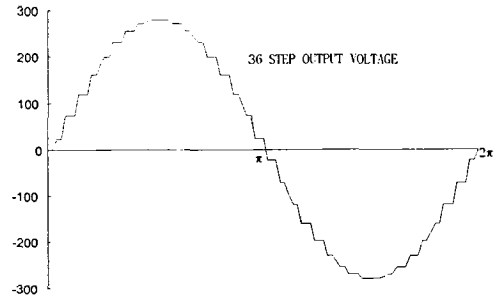
a_m 에 대한 왜형율 μ 의 변화를 시뮬레이션 결과 최적 권수비 $a_m=0.655$ 로 구해졌다.

3. 제안된 풍력발전시스템 실험 결과

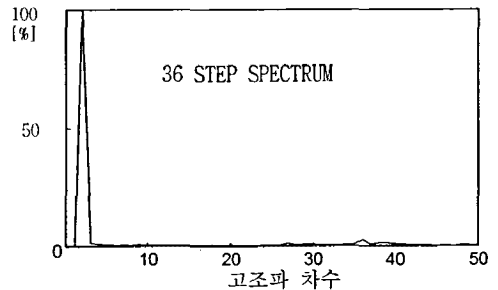
제안된 시스템의 기계적 동작특성은 다음과 같다.

- 발전기가 수직축에 고정되므로 전력선 인출 및 유지 보수 등에 유리하다.
- 상부의 낫셀에 발전기가 탑재되지 않으므로 경량화 되어 낮은 풍속에도 요(yaw) 동작이 원활히 이루어진다.
- 별도의 보조 장치 없이 요(yaw) 동작이 이루어지는 프리 요(free yaw)방식이다.
- 기존의 수평축 풍력발전 시스템의 경우, 발전기에서 나오는 전력선들이 꼬아지는 현상이 있는데, 본 방식에서는 이러한 전력선의 꼬아짐 현상이 없다.
- 낫셀 동체에 3개의 방향키가 부착된 형태로서 보다 안정된 프리 요(free yaw)동작이 이루어진다.
- 블레이드 회전시 원심력으로 인해 디스크 브레이크로 회전속도를 제어해 주지 않으면 블레이드가 풍압에 따라 뒤쪽으로 풀딩되기 어려운 현상이 나타났다.
- 정상적인 발전 풍속에서 블레이드에 작용하는 원심력과 블레이드가 받는 풍압과의 합력에 의해 약간 뒤쪽으로(약 2° 정도) 블레이드가 가변되어 회전하는 현상이 나타났다.

멀티 인버터에 의한 고조파 저감 특성은 다음과 같다. 36스텝 인버터의 출력전압 파형 및 고조파 스펙트럼은 다음의 그림 6과 같다.



(a) 출력전압 파형
($a_m = 0.655, \beta_1 = 20^\circ, \beta_2 = 40^\circ$)



(b) 고조파 스펙트럼
($a_m = 0.655, \beta_1 = 20^\circ, \beta_2 = 40^\circ$)
그림 6. 출력전압 파형 및 고조파 스펙트럼(36스텝)

- 본 방식의 고조파 함유율은 기존의 12스텝과 비교해서 왜형율이 15.2%에서 5.09%로 되어, 고조파저감 효과가 우수함을 나타내었다.

4. 결 론

제안된 시스템은 구조적으로 단순하며 별도의 제어장치 필요없이 요(yaw) 동작이 이루어지는 특징을 갖는다. 그리고 풍력발전 계통연계측에 출력축의 고조파를 효과적으로 저감시킬 수 있는 36스텝 3상 전압형 인버터를 이용할 경우 출력전압의 왜형율이 12스텝 제어시 15.2%에서 36스텝시 5.09%까지 감소가 가능함을 보였다.

향후 과제로서는 비상 풍속 이내의 발전풍속시 블레이드가 약간 접히는 현상에 대한 대책 연구와 원심력으로 인한 블레이드 풀딩 동작 억제를 최적으로 제어할 수 있는 브레이크 제어시스템에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] AWEA, "Global Wind Energy Market Report", 2001
- [2] F. Curtarelli, "Current Harmonics in Industrial Power Systems Arising from AC/DC Converters," IPEC-Tokyo '83, vol. IEC-28, no. 4, NOV., 1981.
- [3] Anders Grauers, "Efficiency of three wind energy generator systems", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 11, No. 3, 650-657, 1996
- [4] Keiju Matsui et al, "A Dual Thyristor Converter Reducing Harmonics of Power Supply Without Input Transformer," IEEE Trans. Ind. Appl. vol.27 no.1, Jan/Feb, 1991.