

풍력발전단지의 효율적인 운전을 위한 STATCOM 적용 가능성 연구

論文
52A-5-2

A Study on the STATCOM Application for Efficient Operations of Wind Farm

張成一*·崔正煥**·朴仁琪***·黃諱美§·崔燉晚§§·金光鎬§§§·柳能秀#

(Sung-Il Jang · Jeong-Hwan Choi · In-Ki Park · Hye-Mi Hwang · Don-Man Choi · Kwang-Ho Kim · Neung Soo Yoo)

Abstract - In this paper, the STATCOM (STATIC synchronous COMPensator) application for efficient operations of wind farm is described. The wind farm connected with the electric power network is one of good alternative energy sources. However, it would be also highly possible that interconnection of wind farm causes unwanted influences on distribution system operation, protection and control. This paper proposes the STATCOM application for reducing the negative effects from interconnection of wind farm with distribution networks. The simulation results show that STATCOM would be an effective and useful device to resolve the bad influences from wind farm on distribution networks and improve the operational efficiency of wind farm. In the simulation, the radial distribution network of IEEE 13 bus was modeled using PSCAD/EMTDC.

Key Words : STATCOM, Wind Farm

1. 서 론

풍력발전은 바람에너지를 이용하여 전기를 생산하는 전원 시스템으로서 타 발전설비에 비하여 에너지 생산비용이 적어 세계적으로 주목을 받고 있는 새로운 대체 에너지원의 하나이다. 우리나라의 경우 세계적인 에너지환경의 급변과 발전사업 민영화 계획에 따라 많은 발전사업자들이 풍력발전전에 관심을 갖고 있으며, 이미 일부의 지역에서는 풍력발전기가 배전계통과 연계되어, 생산된 전력을 수용가로 공급하고 있다. 풍력발전기는 1기가 단독으로 계통에 연계되어 전력공급을 하는 경우도 있으나, 여러 기의 풍력발전기가 하나의 단지를 이루어 비교적 많은 양의 전력을 공급하는 것이 경제성이나 효율성 측면에서는 보다 유리하다. 이처럼 여러 기의 풍력발전기로 구성되는 풍력발전단지(Wind Farm)는 선진국에서 많이 볼 수 있는 운전형태이다.

풍력발전단지는 배전계통과 연계하여 운전되므로 풍력발전기의 계통 연계 운전 특성에 따라 연계 배전시스템에 부정적인 영향을 미칠 수 있고, 반대로 연계 배전계통 상황의 변화에 따라 풍력발전단지의 운전 특성이 영향을 받을 수 있다 [1-2]. 풍력발전단지의 연계 배전계통에 대한 영향의

예로는, 풍력발전기가 계통에 연계될 때 급격한 계통변화로 인하여 배전시스템에 과도현상이 발생할 수 있으며, 풍량 및 풍속 등 풍황 조건에 따른 발전기 무효전력 변동을 보상하기 위한 커패시터의 단계적인 조절로 인해 배전선에 과도현상이 발생할 수 있다는 것을 들 수 있다. 이와는 다른 측면에서, 계통 상황에 따라 풍력발전단지가 영향을 받을 수 있는 경우에는 풍력발전단지가 설치되어 있지 않은 외부 배전선에서 사고가 발생했을 경우를 들 수 있다. 일반적으로 배전선 보호계전기들은 보호의 안정적인 수행을 위하여 타 계전기와의 보호협조를 이룰 수 있도록 동작시간을 설정하고 있다. 리콜로져나 보호계전기의 동작시간 동안 풍력발전단지가 설치 운용되고 있는 간선의 전압이 외부 배전선 사고의 영향으로 크게 감소한다. 간선의 전압 감소로 인하여 전기적인 토크가 기계적인 외부 입력토크에 비하여 작아지므로 발전기 회전자의 속도가 급격히 가속된다. 이후 사고가 제거되어 정격전압이 연계 계통에 인가되면 큰 회전자 속도를 가진 유도발전기에 의해 계통에 돌입전류가 발생하고 계전점의 전압이 감소하는 특성이 나타날 수 있다. 만약 유도발전기의 가속된 회전 에너지가 계통의 회전 자계의 에너지보다 작을 경우 일정한 과도현상 후 정상상태로 복구되지만, 반대의 경우에는 회전자의 속도가 계속해서 증가하여 발전기의 보호기기가 동작하게 된다 [1].

본 논문에서는 풍력발전기의 계통 연계에 따른 배전선의 과도현상을 억제하고 외부 배전선사고에 대해서도 안정적인 풍력발전기 운전 특성을 얻기 위한 방안으로, 계통상황에 적용하여 무효전력을 효과적으로 공급함으로써 계통의 전압을 일정하게 유지할 수 있는 STATCOM의 적용에 대하여 연구하였다. 전력계통 과도 현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 유도발전기로 구성된 풍력발전단지를 모델링하고, 풍력발전단지가 연계 운전될 배전계통으로

* 正會員 : 江原大 電氣工學科 博士課程
 ** 正會員 : 江原大 電氣工學科 博士課程
 *** 準會員 : 江原大 電氣工學科 碩士課程
 § 準會員 : 江原大 電氣工學科 碩士課程
 §§ 準會員 : 江原大 電氣工學科 碩士課程
 §§§ 正會員 : 江原大 電氣電子情報通信工學部/次世代電力技術 研究센터 副教授
 # 非會員 : 江原大 機械·메카트로닉스工學部 教授
 接受日字 : 2002年 7月 5日
 最終完了 : 2003年 3月 24日

IEEE 13-bus [3]를 구성하였다. 다양한 모의를 통하여, 풍력발전단지에 설치된 STATCOM은 풍력발전기의 운전특성에 따라 발생하는 계통의 과도현상을 효과적으로 억제하였으며, 풍력발전기가 설치되어 있지 않은 외부 배전선 사고에 대해서도 풍력발전단지가 안정적인 운전 모드를 갖도록 동작하였음을 볼 수 있었다.

2. STATCOM의 설계

최근에 전력시스템의 전압크기를 조정하기 위하여 전압원 인버터를 이용한 STATCOM이 제안되어 많은 연구가 진행되고 있다. STATCOM은 넓은 무효전력 조정 범위, 안정적이며 빠른 제어 응답 특성, 적은 양의 고조파 등 많은 장점들을 가지고 있어 기존의 무효전력 보상기를 대체 할 수 있는 것으로 알려져 있다 [4-5].

2.1 STATCOM의 일반적인 구조

STATCOM은 전압원 인버터와 커패시터로 구성되어 있으며, 변압기를 통해 전력시스템에 병렬로 연결되어 무효전력을 흡수 또는 공급한다. 기존의 무효전력 보상기에 비해 기계적인 관성이나 오랜 여자 기간이 존재하지 않아 제어 응답 속도가 매우 빠르다. 만약, STATCOM의 출력전압이 전력선의 전압보다 큰 값을 가지면 무효전력을 계통으로 공급할 수 있으며, 그 반대의 경우는 계통의 무효전력을 흡수하는 역할을 한다. 그림 1은 일반적인 STATCOM의 기본 구조를 나타내고 있다 [5].

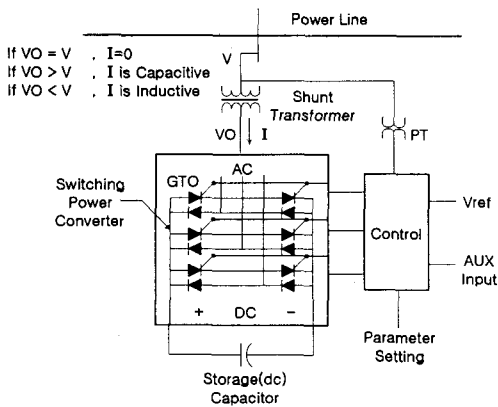


그림 1 STATCOM의 기본구조

Fig. 1 Basic configuration of the STATCOM

2.2 STATCOM의 동작

STATCOM은 전압유지와 전압불안정 방지, 과도 안정도 개선과 전력동요의 제동 등에 이용되는 기기로서 정지형 동기 전압원 인버터를 기본으로 사용하고 있다. 즉 출력전압의 크기를 가변 시킴으로써, 인버터와 교류 계통간의 무효전력 교환이 제어된다. 본 논문에서는 원하는 STATCOM의 출력을 얻기 위한 제어 기법으로 PWM (Pulse Width Modulation)을 이용하였다. PWM 인버팅 기법은 기준파형을 삼각파의 반송파와 비교하여 인버터 내부의 GTO 소자

의 점호시기를 조절하여 원하는 전압을 생성하는 기법이다. 그림 2는 STATCOM의 출력제어 기법으로 이용되는 PWM 기법을 나타내었으며, 그림에서 기준파가 반송파보다 클 경우 GTO가 점호되어 도통된다 [7]. 따라서 기준파의 크기를 조절하면 GTO의 점호시점을 조정할 수 있어 원하는 출력을 얻을 수 있다. 그림에서 V_c , V_r 은 각각 반송파와 기준파를 의미하며, V_{DC} 는 직류전압을 나타낸다.

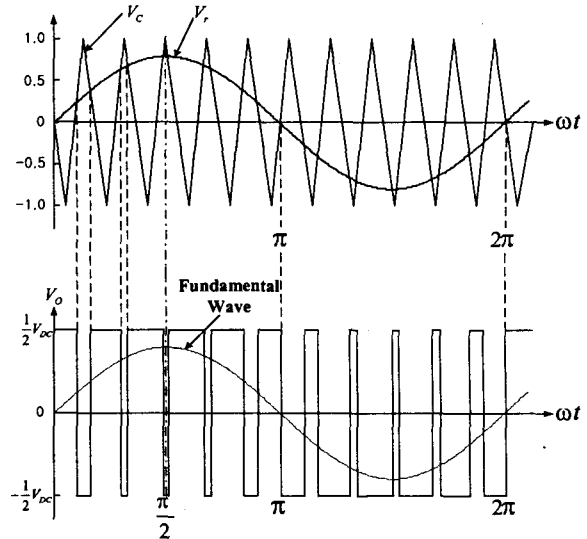


그림 2 정현파 PWM 제어

Fig. 2 Sinusoidal PWM control

3. 풍력발전단지의 모델링

3.1 농형 풍력 유도 발전기

풍력발전기는 공기의 유동성을 이용하여 회전자를 회전시켜 공기의 역학적 에너지를 기계적인 에너지로 변화시키고, 만들어진 기계적 에너지를 이용하여 전력을 생산하는 발전기를 일컫는다. 바람의 에너지를 통하여 전력을 생산하는 풍력 발전기는 크게 동기 발전기와 유도 발전기의 형태로 분류가 가능하다. 풍력발전기로 동기기를 이용할 경우 일정한 크기와 주파수의 전력을 생산하기 위하여 여자와 조속기 및 피치각 조절 등 섬세한 제어가 필요하다. 반면 유도 발전기의 경우 구조가 간단하고 경제적이며 견고하다는 장점과 일정 범위의 슬립 영역(0~2%)에서 계통전압과 유사한 양질의 전력을 생산할 수 있어 풍력발전기에 많이 설치되어 운전되고 있다. 따라서 본 논문에서는 4대의 750 kVA 농형 풍력유도발전기로 구성된 풍력발전단지를 모델링하여 STATCOM의 적용 가능성을 검토하였다.

전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC 에서는 동기 발전기는 물론 유도 발전기 등 다양한 형태의 발전기를 제시하고 있으며, 이중 농형 유도 발전기[8]를 그림 3에서 나타내었다. 그림에서 A, B, C는 배전계통에 연결되는 3상 전원을 의미하며 W, S, T는 발전기의 출력을 조절하는 외부단자를 표현한다. 여기서 W는 풍력 유도발전기의 회전속도, S는 발전기 출력특성 제어 변수, 그리고 T는 음의 값으로 유도발전기의 외부 입력이 된다. 풍력 유도 발전

기는 풍속과 풍량에 따라 회전속도가 변동하며 토크의 크기도 변화한다. 농형의 경우 내부 용량이 주어지면 일반적인 내부파라미터를 생성하므로 이를 이용하여 750 kVA의 일반적인 풍력발전기를 모델링 하였다.

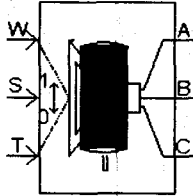


그림 3 EMTDC 유도 발전기 모델
Fig. 3 Induction generator module in EMTDC

3.2 연계 배전 계통

풍력발전기가 연계 운전될 배전 계통은 용량이 5000 kVA인 변압기와 선간전압이 4.169 kV인 IEEE 13-bus 데이터로 구성하였다 [3]. 모델링된 배전계통은 다양한 단상, 삼상 부하 및 분산 부하들이 존재하며 계통 평형을 위하여 단상 및 삼상 커패시터 뱅크가 연결되어 있다. 우리나라의 경우 풍력발전단지외의 전체용량이 3000 kVA 이하일 경우 전용선의 설치 없이 배전계통에 직접 연계하는 것이 가능하므로 풍력발전단지를 계통 말단 bus 75에 투입시켜 연계 및 다양한 운전 특성에 대하여 모의하였다 [9]. 외부 배전선 사고에 대한 풍력발전단지의 영향을 살펴보기 위하여 IEEE 13 bus와 같은 계통 조건을 갖는 배전선을 전원 임피던스의 부하단에 설치하여 시뮬레이션을 실행하였다. 그림 4는 풍력발전단지가 설치된 IEEE 13-bus 배전계통 단선도를 나타내고 있다.

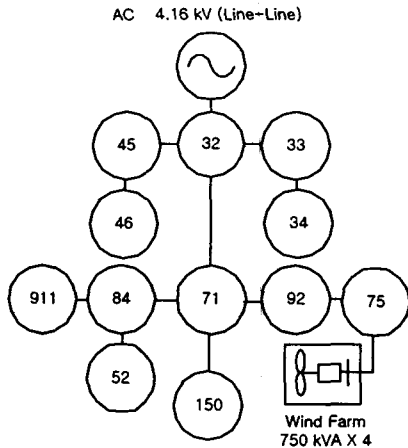


그림 4 IEEE 13-bus 계통 단선도
Fig. 4 IEEE 13-bus circuit diagram

4. 풍력발전단지에서의 STATCOM 적용

본 연구에서는 풍력발전단지의 계통 연계운전으로 인한 전력 시스템의 과도현상과 풍력발전단지의 무효전력 변동을 보상하기 위한 커패시터 뱅크의 동작으로 계통에 발생하는

계통 변화 및 외부 배전선사고에 의한 풍력발전기의 비정상적인 운전 상황 등을 효과적으로 해결하기 위하여 STATCOM을 풍력발전단지에 적용하는 문제에 대하여 연구를 수행하였다.

4.1 풍력발전기의 계통 연계 모의

풍력 유도 발전기는 회전자계 속도가 회전자계 속도보다 빠른 속도로 회전할 때 발전기로서 동작하게 된다. 따라서 풍력발전기의 계통연계는 배전시스템에서 발생하는 과도현상을 감소시키기 위하여 고정자의 회전자계 속도와 같은 동기속도에서 이루어져야 한다. 그런데 풍력 유도 발전기가 계통의 회전자계 속도와 같은 동기속도에서 배전계통에 투입된다 할지라도 일시에 연결되면 계통에 큰 과도 상태가 나타날 수 있다. 그러므로 일반적인 풍력 유도발전기의 계통 연계는 동기속도 부근에서 계통에 점차적으로 연결시켜 주는 Soft Cut-in 기법이 이용된다 [10]. Soft Cut-in 기법은 동기속도 부근에서 싸이리스터의 점화각을 서서히 변화시켜 풍력발전기를 계통에 연결한다. 이후 풍력발전기가 완전히 계통에 전기적으로 연결되면 Bypass Contactor를 이용하여 도통시켜준다. 이 연계 기법으로 과도상태를 많은 부분 감소시킬 수 있지만 여전히 배전계통에 적지 않은 과도 현상이 발생한다. 풍력발전단지에 STATCOM을 설치하여 연계 시 계통에서 발생하는 과도현상의 감소를 모의하고, 얻어진 결과를 STATCOM이 설치되어 있지 않은 경우와 비교 분석하였다. Soft Cut-in 기법을 그림 5에 나타내었다.

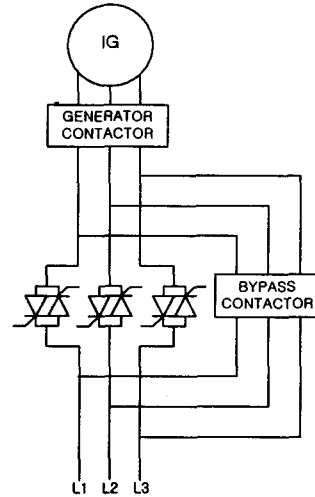


그림 5 Soft Cut-in 기법
Fig. 5 Soft Cut-in method

4.2 풍력발전기 출력 변동 모의

풍력발전기는 유·무효 전력이 함께 변동하는 것이 일반적이며, 이러한 무효전력의 변동은 연계 배전 계통으로부터 큰 무효전력을 요구함으로써 계통 역률을 감소시키는 역할을 할 수 있다. 이에 역률 감소를 보상해주기 위하여 풍력발전단지에는 무효전력 보상기가 설치되어 운전된다. 풍력발전단지에의 역률 보상을 위한 커패시터의 동작은, 먼저 풍력발전기의 무효전력 발생량의 상·하한 값을 설정하고 풍력발전기

의 무효전력이 이 범위를 초과했을 경우 단계적으로 투입 혹은 절체된다. 여기서 큰 용량의 커패시터가 순간적으로 계통에 투입, 절체되면 계통 전압, 전류가 많은 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 커패시터 뱅크를 풍력발전기 출력에 따라 4단계로 동작시켜 계통측면에서 발생하는 무효전력의 변동을 감소시키는 방법과 커패시터 뱅크 대신 STATCOM을 설치하여 운전하는 방법을 모의 비교하였다.

4.3 외부 배전선 사고에 대한 풍력발전기 운전 모의

그림 6은 풍력발전단지가 설치되어 있지 않은 배전선 B에서 발생한 사고에 의해 배전선 A에 연계 운전되고 있는 풍력발전단지가 받는 영향을 분석하기 위해 모의한 계통도이다. 외부 배전선의 사고로 인하여 계통의 전압이 급격히 감소할 경우, 배전선 A에 연계 운전되고 있는 풍력발전기는 정상적인 출력을 낼 수 없는 상태가 될 수 있다. 대부분 배전선에서 발생한 사고는 가능한 신속하게 배전계통으로부터 제거시켜 사고로 인한 현상을 최소화 시켜야 하지만, 배전선의 보호기간의 보호협조에 의한 차단기 동작까지는 일정한 동작대기시간이 필요하게 된다. 따라서 재폐로계전기나 차단기에 의해 사고가 제거되기 이전까지는 풍력발전기가 사고의 영향을 그대로 받게 되는 불안정 상태로 남아 있게 되어 발전기로서 동작하지 못하는 경우도 발생할 수 있다 [1]. 따라서 풍력발전기의 안정적인 출력을 위해서는 외부 배전선 사고 시 계통보호절차와 무관하게 풍력발전기 연계점의 전압을 일정하게 유지하는 것은 대단히 중요하다. 본 논문에서는 이러한 문제의 해결을 위해 STATCOM의 적용을 제시한다.

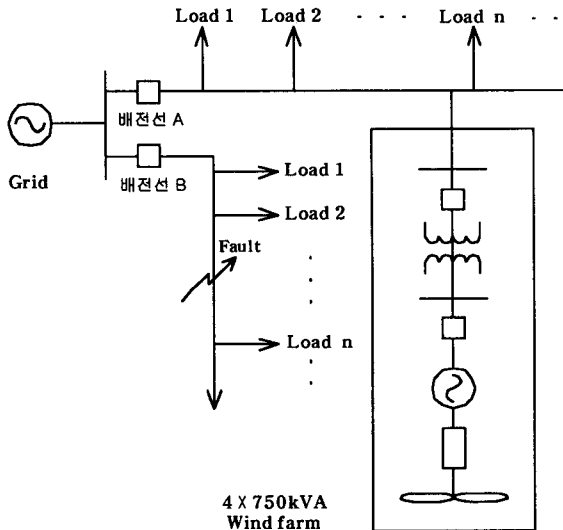


그림 6 외부 배전선 사고 모의용 배전 계통도
Fig. 6 Schematic diagram of the investigated network with wind farm for fault conditions

5. 풍력발전단지 운전 모의

STATCOM이 설치된 풍력발전단지의 운용 효율성을 테스트하기 위하여 발전단지에서 발생하는 일반적인 운전 상

태인 연계운전, 출력변동에 따른 커패시터 뱅크의 투입 및 외부 배전선 사고에 대한 영향을 모의 분석하였다.

5.1 풍력발전기 계통 연계

A. Soft Cut-in을 이용한 연계기법

그림 7은 Soft Cut-in 기법을 이용하여 풍력발전기 4대를 동시에 0.5초에서 계통으로 연계하고; 1초에서 풍력발전단지의 출력이 100%가 되도록 서서히 증가시켰을 경우의 모의 결과이다. 풍력발전단지의 출력증가에 따라 무효전력이 동시에 증가하므로 무효전력에 의한 계통의 역률 감소를 보상하기 위하여 커패시터 뱅크를 단계적으로 투입하였다. 모의 결과에서 알 수 있듯이 과도현상 저감 기법에도 불구하고 급격한 임피던스의 변화로 인하여 풍력발전단지에서 큰 무효전력 변동이 발생하였다. 이에 따라 계통에 많은 양의 무효전력이 요구되어 계전점 기본과 전류는 최대부하전류의 1.3배까지 증가한다. 전류 변동과 마찬가지로 전압도 10%까지 감소한 후 안정된 전압으로 복귀한다. 그림에서와 같이 풍력발전단지의 계통 연계 시 큰 전류과도현상으로 인하여 과전류 보호 계전기가 오작동을 일으킬 수 있다. 부하의 일부를 풍력발전단지에서 담당하므로 과도상태 이후 계전점의 전류는 풍력발전단지 용량만큼 감소하는 것을 볼 수 있다. 여기서, 전원 무효전력은 변압기용량을 기준으로 나타내었다.

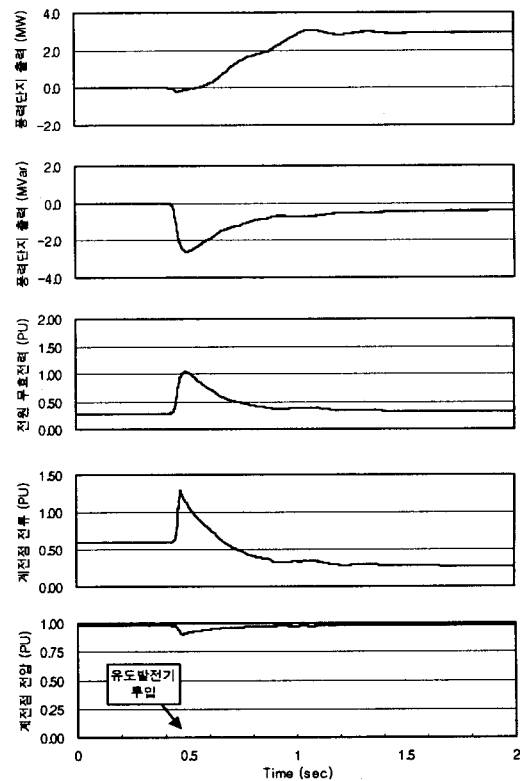


그림 7 Soft Cut-in 기법을 이용한 계통연계 모의 결과

Fig. 7 Simulation results for connecting wind farm to power networks using Soft Cut-in method

B. STATCOM을 적용한 연계기법

풍력발전단지의 계통 연계운전으로 배전선에서 발생하는 무효전력의 변동을 보상하기 위하여 풍력발전단지 전단에 STATCOM을 설치하고 이에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. STATCOM은 풍력발전단지의 계통 연계 시에 발생하는 무효전력의 변동에 대하여 능동적으로 동작하여 결과적으로 전원단의 무효전력, 계전점 전류와 전압의 변동을 크게 감소시켰다. 그림 8은 풍력발전단지의 계통 연계시 발전기의 유·무효전력과 STATCOM의 출력특성 및 전원 무효전력, 계전점 전류와 전압을 나타내고 있으며 STATCOM이 설치되어 있지 않은 경우의 모의 결과와 비교하여 계전점에서의 출력 변동이 상당부분 개선된 것을 알 수 있다. 연계 후, 풍력발전단지의 출력증가로 인한 계통의 전압, 전류의 변화는 STATCOM이 설치되어 있지 않은 경우와 유사한 특징을 가진다.

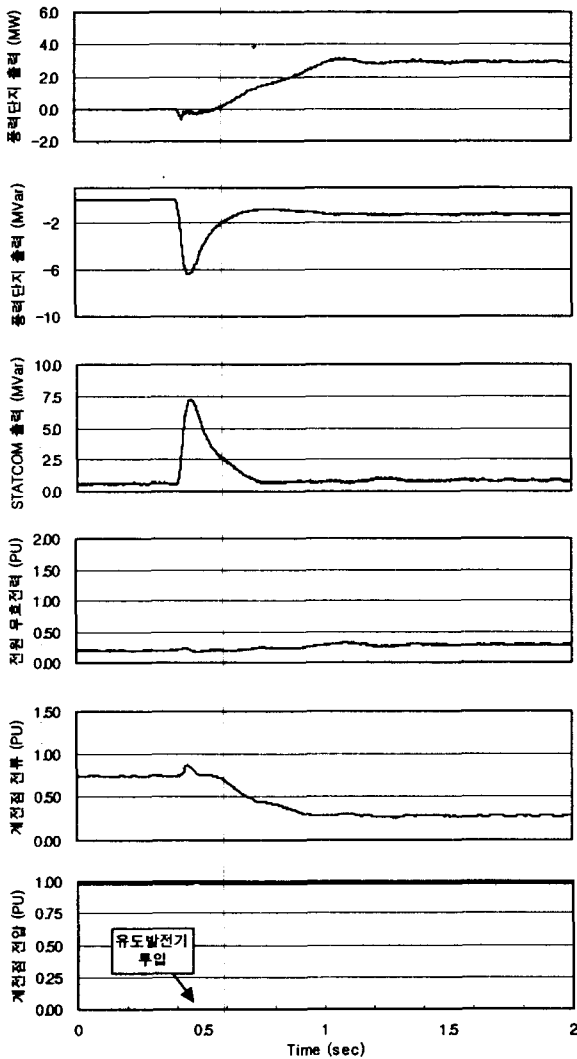


그림 8 STATCOM이 설치된 풍력발전단지의 계통연계 모의 결과

Fig. 8 Simulation results for connecting wind farm equipped STATCOM to power networks

5.2 풍력발전기 출력변동

A. 풍력발전기 출력 변동에 따른 커패시터의 동작

풍력발전단지는 풍량과 풍속에 따라 출력이 변동하는데, 이와 마찬가지로 무효전력도 변동한다. 이에 풍력발전기에서 발생하는 무효전력의 변동을 일정 범위 내에서 제어하기 위하여 풍력발전기 전단에 설치되어 있는 커패시터 뱅크를 단계적으로 투입 혹은 절체시킨다. 그림 9는 풍력발전기가 정격출력의 50%로 운전하고 있을 때, 풍량과 풍속의 증가로 0.5초에서부터 발전기 출력이 서서히 증가하여 1초에서 100%로 변동하고 이에 따라 발생하는 무효전력의 증가를 보상하기 위하여 커패시터 뱅크를 단계적으로 투입하였을 경우에 대한 계전점 전류와 전압의 변동을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 순간적인 커패시터 뱅크의 동작으로 인하여 계전점 전류, 전압은 작지만 변동하는 것을 모의를 통하여 확인하였다.

B. 풍력발전기 출력 변동에 따른 STATCOM의 동작

그림 10은 STATCOM을 풍력발전단지에 설치하고 풍량과 풍속의 변동에 따른 풍력발전단지의 출력변동이 계통에 미치는 영향을 모의한 결과이다. 모의 상황은 커패시터 뱅크가 투입되는 경우와 같도록 하였다. 결과에서 알 수 있듯이 순간적으로 큰 용량의 커패시터 뱅크를 계통에 투입하는 경우에 비하여 안정된 계전점 전압, 전류 특성을 볼 수 있다.

5.3 외부 배전선 사고에 대한 모의

A. STATCOM이 설치되지 않은 풍력발전단지

외부 배전선 사고에 대한 풍력발전단지의 영향을 모의하기 위하여 단일 피더로 이루어진 IEEE 13-bus에 같은 용량의 배전선을 추가하여 그림 6과 같이 구성하였다. 배전선 B의 71번 버스와 92번 버스 사이에서 3상 지락 사고를 0.5초에서 발생시키고 1초에서 사고를 제거하여 정상상태로 복구시켰다. 외부 배전선 사고 시 STATCOM이 설치되어 있지 않은 경우의 풍력발전기 출력 변동과 계통 변화에 대한 모의 결과를 그림 11에 나타내었다. 모의 결과, 사고로 인한 계통전압의 급격한 감소로 풍력발전기 연계점 전압이 작아진다. 이에 따라 일정한 외부 입력 토크에 비하여 전원에 의한 전자기적인 토크가 감소하여 풍력발전기의 회전자 속도는 증가하기 시작한다. 사고 초기에는 기계적인 관성으로 인하여 서서히 증가하다가 일정기간 후부터 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 큰 회전자 속도를 갖는 풍력발전기는 외부 배전선 사고가 제거 된 이후에도 사고 이전 상태로 복구되지 못하고 불안정한 상태로 남아 발전기로서 동작을 하지 못하는 것을 알 수 있다. 따라서 풍력발전단지가 연계 운전되고 있는 배전선 A의 계전점 전압은 외부 배전선 사고 제거 이후에도 사고 이전의 전압으로 복구되지 못하며, 풍력발전기의 회전자 속도가 계속해서 증가하여 발전기 보호용 기기들의 동작이 예상된다. 만약 사고지속 시간이 작을 경우 풍력발전기는 진동 후 사고 이전의 상태로 복구될 수 있으며, 복구가 가능한 사고 지속 시간은 풍력발전기의 특성에 따라 달라질 수 있다.

B. STATCOM이 설치된 풍력발전단지

그림 12는 배전선 B에서의 3상 사고에 대한 풍력발전단지에 설치된 STATCOM의 출력특성과, 이때의 풍력발전기 회전자 속도 및 계전점 전압과 풍력발전기 전단의 전압을 나타낸 것이다. 배전선 B의 사고로 인하여 풍력발전기 연계점 전압은 급격히 감소하고, 이를 보상해 주기 위하여 STATCOM의 출력이 신속히 증가한다. STATCOM의 출력 증가로 풍력발전기가 연계되어 있는 연계점 전압은 외부 사고 이전에 비하여 큰 변화 없이 일정한 크기를 가지는 것을 볼 수 있다. 외부 배전선 사고 시 풍력발전단지의 연계점 전압이 일정하므로 풍력발전기의 회전자 속도는 미소한 변동 후 다시 정상적으로 복구되었다. 외부 배전선 사고 제거 이후에도 풍력발전기의 회전자 속도가 일정한 것을 볼 수 있다. 모의 결과에서 알 수 있듯이 풍력발전단지에서의 STATCOM 설치는 외부 배전선 사고에 대하여 풍력발전기가 정상적으로 운전하도록 동작하였다.

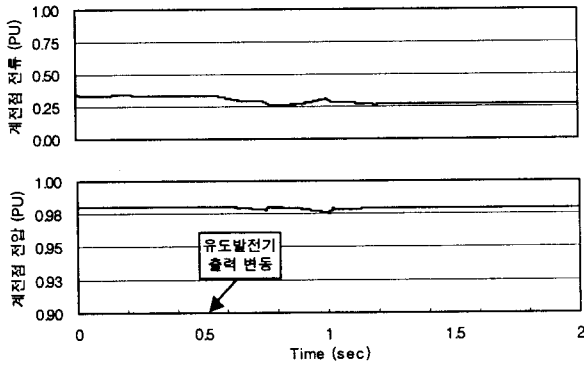


그림 9 커패시터 뱅크가 설치된 풍력발전단지의 출력 증가에 대한 모의 결과

Fig. 9 Simulation results for increasing the output power of wind farm equipped capacitor banks

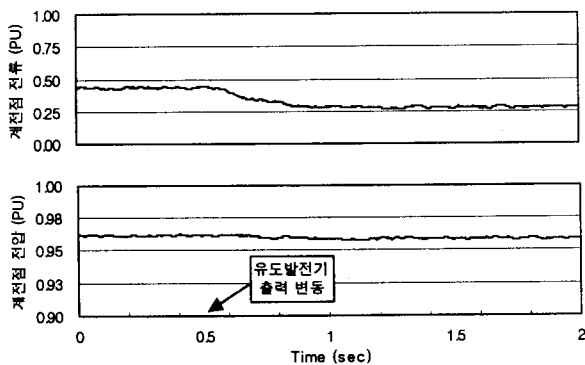


그림 10 STATCOM이 설치된 풍력발전단지의 출력 증가에 대한 모의 결과

Fig. 10 Simulation results for increasing the output power of wind farm equipped STATCOM

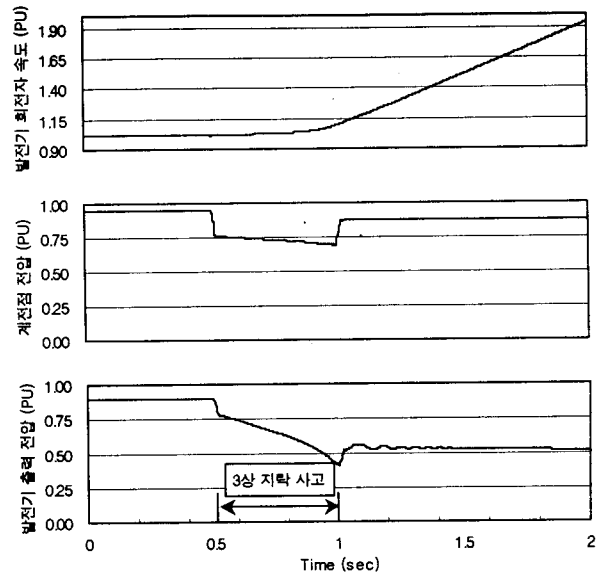


그림 11 외부 배전선 사고에 의한 풍력발전단지의 영향 모의

Fig. 11 Simulation results for the operation of wind farm when fault occurred in other distribution line without wind turbine generator

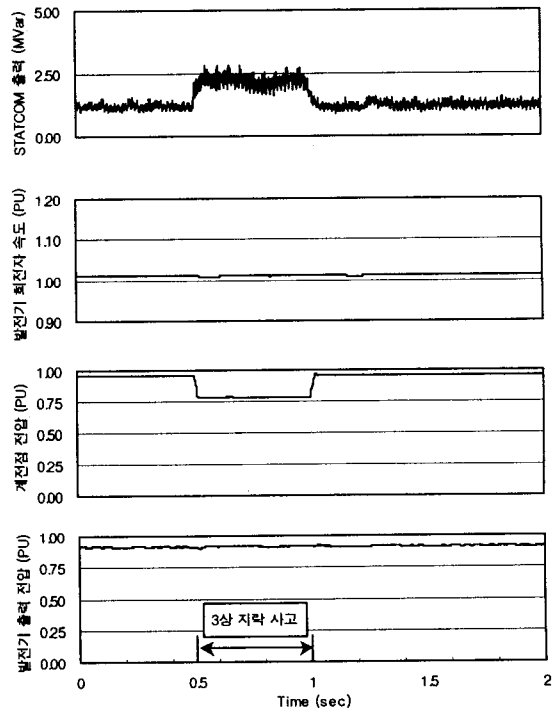


그림 12 외부 배전선 사고에 의한 STATCOM이 설치된 풍력발전단지의 영향 모의

Fig. 12 Simulation results for the operation of wind farm equipped STATCOM when fault occurred in other distribution line without wind turbine generator

6. 결 론

본 논문에서는 풍력발전단지의 계통 연계 운전으로 배전선에서 발생하는 과도현상을 억제시키고 외부 배전선 사고에 대하여 안정적으로 풍력발전단지를 운전하기 위한 방안으로, 계통상황에 맞게 무효전력을 효과적으로 계통으로 공급하여 계통전압을 일정하게 유지할 수 있는 STATCOM의 적용 가능성을 제시하였다. 모의 결과에 의하면 풍력발전단에 설치된 STATCOM은 풍력발전기 운전 특성에 따라 계통에서 발생하는 과도현상을 억제하였으며, 외부 배전선 사고 시에도 풍력발전단지가 안정적인 운전 모드를 갖도록 동작하였다. 일반적으로 외부 배전선 사고의 지속시간에 따라 풍력발전단지의 운전 특성은 상당부분 영향을 받게 되는데, 이러한 영향을 피하기 위해 배전 계통 전체의 보호협조 체계를 수정한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 따라서 풍력발전단지에서의 STATCOM 설치에 배전계통의 보호협조 체계를 유지하면서 외부사고에 대한 영향을 능동적으로 해결 할 수 있는 효과적인 방법이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 유도 발전기로 구성된 풍력발전단지에 대해서만 STATCOM의 적용 모의를 진행하였지만, 위의 시뮬레이션 결과는 동기기 형태의 풍력발전기에도 그대로 적용이 가능하며, 물론 다양한 분산전원에 대해서도 응용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 풍력발전시스템의 실증 연구단지 조성 및 실증에 대한 연구사업을 통해 이루어 졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] Salman K. Salman, Ibrahim M. Rida, "Investigating the Impact of Embedded Generation on Relay Settings of Utilities' Electrical Feeders." IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, April 2001

[2] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part1- Radial Distribution Systems." IEEE, No. 0-7803-6420-1/00, 2000

[3] IEEE Distribution Planning Working Group Report, "Radial Distribution Test Feeders." IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 3, August 1991

[4] L. Gyugyi, N. G. Hingorani, P. R. Nannery, N. Tai, "Advanced static var compensator using gate turn-off thyristors for utility applications." Cigre paper No. 23-203, 1990.

[5] 김선호, 원동준, 한학근, 이송근, 문승일, "STATCOM의 출력전압 구현방식에 따른 동특성 해석" Trans. KIEE. Vol. 49A, No. 7, JUL. 2000

[6] C. Schauder, M. Gernhardt, E. Stacey, T. Lemak, L. Gyugyi, T. W. Cease, A. Edris, "Operation of ± 100MVAR TVA STATCON." IEEE Trans. on PWD,

Vol. 12, No. 4, October 1997.

[7] 노의철, 정규남, 최남섭, " 전력전자공학", 문운당.

[8] Manitoba HVDC Research Centre, " EMTDC V3 User's Manual"

[9] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침" 1996. 8.

[10] Mita-Teknik, "Technical Information - Calibration routine for WP4060 Connection Model" 1999. 9

저 자 소 개

장 성 일(張 成 一)

전기학회논문지 제 52권 제3호 참조

최 정 환(崔 正 煥)

전기학회논문지 제 51권 제1호 참조



박 인 기(朴 仁 琪)

1977년 1월26일생. 2002년 강원대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 033-254-0312 Fax : 033-241-3775

E-mail : acepark@kwnu.kangwon.ac.kr



황 혜 미(黃 諤 美)

1979년 7월9일생. 2002년 강원대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 033-254-0312, Fax : 033-241-3775

E-mail : hwanggongju@naver.com



최 돈 만(崔 燮 晩)

1978년 1월11일생. 2002년 강원대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정

Tel : 033-254-0312 Fax : 033-241-3775

E-mail : donmany@mail.kangwon.ac.kr

김 광 호(金 光 鎬)

전기학회논문지 제 52권 제3호 참조



유 능 수(柳 能 秀)

1950년 11월 1일생. 1974년 연세대학교 기계공학과 졸업. 1982년 Univ. of Poitiers 기계항공공학과 졸업(공박). 1983년~현재 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 교수. 2001년~현재 강원대학교 풍력실증사업단 단장

Tel : 033-250-6371, Fax : 033-257-4190

E-mail : yoonesoos@kangwon.ac.kr