BTB STATCOM을 이용한 풍력발전의 계통 연계

여상민*, 최종윤*, 김준성*, 서인영*, 김철환**
(주)효성 중공업연구소*, 성균관대학교**

Grid Connection of Windfarm by BTB STATCOM

Sang-Min Yeo*, Jong-Yun Choi*, Jun-Sung Kim*, In-Young Suh*. Chul-Hwan Kim**
Hyosung Corporation*, Sungkyunkwan University**

Abstract - 일반적으로 BTB STATCOM은 계통 분리 운전이나 이종계통의 연계 등의 목적으로 이용한다. 기본 구성으로는 두 대의 STATCOM을 직렬로 연결하여 계통에 삽입되며, 구조 및 개념상 HVDC와 유사한 특징을 갖고 있다. 본 논문에서는 국내에서는 처음으로 독자 개발에 성공한 STATCOM의 기술을 바탕으로 BTB STATCOM을 개발하고, PSCAD/EMTDC를 이용하여 BTB STATCOM의 모델링 및 계통 연계 모의를 수행하였다. 풍력발전의 발전량이 변하더라도 BTB STATCOM이 응동하여 실제 발전량을 정상적으로 전달하고 있음을 확인하였다.

1. 서 론

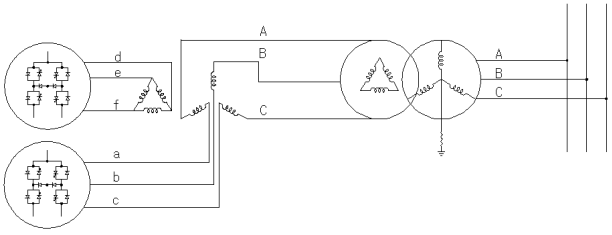
BTB STATCOM은 두 개의 STATCOM을 결합하여 전력계통에 직렬로 삽입되며, HVDC와 유사한 구조를 갖고 있다. HVDC와 동일하게 유효전력을 전송할 수 있다. 또한 기존의 STATCOM과 유사하게 무효전력 보상이 가능하다. 단, 전력 전송을 위한 송전선로가 존재하지 않으며, DC전압이 낮은 것은 HVDC와의 큰 차이점이다. 이는 송전선로의 부재, 낮은 절연 레벨 등으로 인하여 HVDC보다 낮은 가격으로 개발 및 설치, 시공이 가능함을 의미한다. 이러한 BTB STATCOM은 일반적으로 연계된 양측 전력계통을 전기적으로 분리하거나 서로 주파수가 다른 이종계통의 연계를 위한 Frequency Converter 등으로 활용될 수 있다. 국내의 경우 이종계통 연계의 필요성은 존재하지 않으나 고장전류의 증가로 인한 계통 분리 운전이나 최근 증가하고 있는 대규모 풍력발전 등의 추진에 따른 계통 연계 설비의 요구로 인해 BTB STATCOM의 활용 가능성이 높아지고 있다. 특히 풍력발전의 경우 바람의 조건에 따라 출력이 변동하여 우수한 전력 품질을 유지하기 어려운 점이 있다. 이러한 풍력발전을 계통에 연계함에 있어 BTB STATCOM의 활용은 풍력발전 측에서는 전압 안정의 특징을 제공하며, 계통 측에 대해서는 높은 전력 품질 확보가 가능하게 한다[1-2].

저자들은 BTB STATCOM을 개발함과 동시에 기존에 개발된 다중펄스 방식의 STATCOM 기술을 활용하기 위하여 BTB STATCOM의 한 쪽 인버터는 기존에 개발된 다중펄스 방식의 STATCOM을 이용하였으며, 유효전력 전송을 가능하게 하기 위하여 다른 하나의 STATCOM은 PWM 방식을 적용하여 새롭게 개발하였다. 본 논문에서는 BTB STATCOM의 실제 제작에 앞서 PSCAD/EMTDC를 사용하여 제어 알고리즘을 설계하고 계통 연계 모의 등을 통해 성능을 검증하였다.

2. BTB STATCOM

2.1 다중펄스 인버터를 이용한 STATCOM

본 논문에서 적용한 다중펄스 인버터를 이용한 STATCOM은 기존에 개발한 10MVA STATCOM으로 다음 그림 1과 같은 구조로 설계되었다. 그림 1에서 보인 바와 같이 다중펄스 인버터 STATCOM은 각 폴이 모듈 형태로 설계되어 3개의 3-Level 폴들이 1조의 3상 인버터를 구성하고, 총 2조의 3상 인버터가 DC bus에 연결된 형태로 조합되어 구성된다.

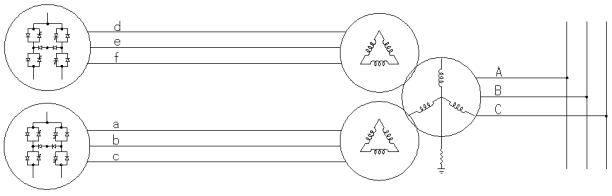


<그림 1> 다중펄스 인버터 STATCOM의 전력회로

인버터 출력 파형은 보조변압기에서 합성되며, 주변압기를 통해 계통에 연계된다.

2.2 PWM 인버터를 이용한 STATCOM

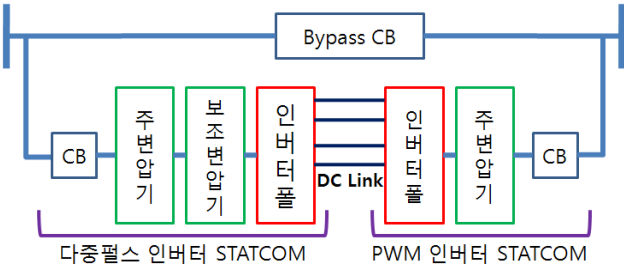
새롭게 개발한 PWM STATCOM은 BTB STATCOM 구성을 위하여 다중펄스 인버터 STATCOM과 기본적으로는 동일한 사양을 갖고 있으며, 다음 그림 2과 같은 구조로 설계되었다. 앞서 언급한 다중펄스 인버터 STATCOM과 동일한 구성이나 그림 2에서 보인 바와 같이 PWM 인버터 STATCOM은 보조변압기가 없이 3권선 주변압기를 통해 계통에 연계된다.



<그림 2> PWM 인버터 STATCOM의 전력회로

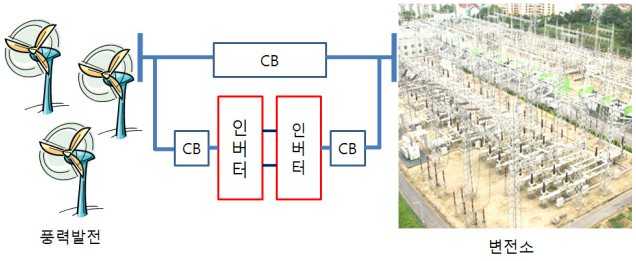
2.3 BTB STATCOM

그림 1, 2의 두 STATCOM의 DC Link를 결합하여 다음 그림 3의 개념도와 같은 구성의 BTB STATCOM을 개발하였다.



<그림 3> BTB STATCOM의 개념도

그림 3에서 보인 바와 같이 그림 1, 2의 두 STATCOM은 DC Link 공유를 통해 BTB STATCOM을 구성하고 있다. 본 연구 개발에서는 BTB STATCOM의 오동작에 따른 전력 품질의 저하를 방지하기 위하여 Bypass CB를 추가로 설치하여 구성하였다. 그림 3과 같이 구성되어 제작된 BTB STATCOM은 다음 그림 4와 같이 풍력발전과 전력계통 사이에 설치되며, 그림 3의 다중펄스 인버터 STATCOM은 풍력발전 측으로 풍력발전의 전압 조정을 목적으로 하며, PWM 인버터 STATCOM은 변전소 측으로 전력계통의 전력 품질 유지를 목적으로 한다.



<그림 4> BTB STATCOM을 이용한 풍력발전의 계통 연계 개념도

3. 시뮬레이션 및 시운전

3.1 PSCAD/EMTDC 모델링을 통한 풍력발전 연계 모의

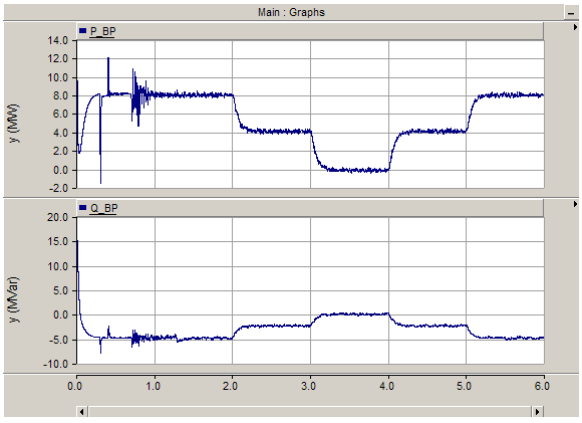
풍력발전의 출력 변화에 따라 BTB STATCOM이 어떻게 응동하는가를 모의하기 위하여 BTB STATCOM은 상세 모델링을 수행하고, 풍력발전의 경우 PSCAD/EMTDC의 3상 전압원 소자를 사용하여 모델링하였다. 사용된 3상 전압원 소자는 사용자에 의해 전원의 전압, 주파수, 위상을 제어하거나 출력 전력의 용량을 제어할 수 있는 소자이다. 본 논문에서는 풍력발전의 출력 가변을 위하여 3상 전압원 소자의 "Auto Power Control"을 활성화 시켰으며, 전압원 소자는 설정된 출력량에 따라 자동으로 전력량을 제어한다.

모의 조건은 다음 표 1과 같다. 풍력발전 전력을 가변하면서 BTB STATCOM의 응동 특성을 모의하였다. 이때 풍력발전의 전력 가변시의 BTB STATCOM의 특성을 모의할 때 전압원 소자의 출력 용량 가변 특성을 고려하기 위하여 BTB STATCOM이 영('0') 출력인 경우와 비교하였다. 또한 BTB STATCOM의 송전 능력 확인을 위하여 유효전력만 제어하는 것으로 제한하였다.

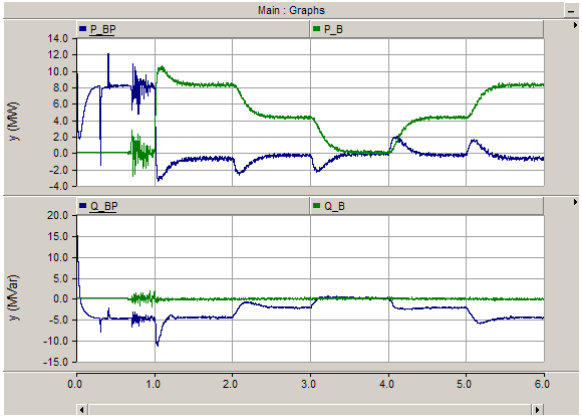
<표 1> 모의 시나리오

시간	동작
0s~1s	모의 시작 BTB STATCOM 기동 및 안정화 BTB STATCOM 출력 P=0, Q=0 (풍력발전 전력은 Bypass CB를 통해 전송)
1s~2s	BTB STATCOM으로 전력 전송
2s~3s	풍력발전 전력 초기 대비 50%
3s~4s	풍력발전 전력 초기 대비 0%
4s~5s	풍력발전 전력 초기 대비 50%
5s~6s	풍력발전 전력 초기 대비 100%

다음 그림 5는 BTB STATCOM이 영('0') 출력인 경우에 대한 모의 결과이며, 다음 그림 6은 BTB STATCOM이 표 1에서와 같이 1.5초부터 정상적인 전력 전송을 수행할 때의 모의 결과이다. 그림 5에서 보인 바와 같이 풍력발전의 출력은 초기 8MW/-5MVar로 시작하여 표 1에서 제시한 바와 같이 변하고 있음을 확인할 수 있다.



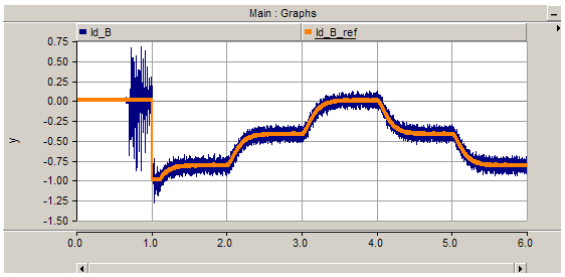
<그림 5> BTB STATCOM의 출력이 없을 경우 풍력발전 출력



<그림 6> 풍력발전 출력에 따른 BTB STATCOM의 응동

그림 5, 6으로부터 풍력발전의 출력 변화에 응동하여 BTB STATCOM이 올바르게 동작하고 있음을 확인할 수 있다. 단, 그림 5와 그림 6을 비교할 때 응동 시간은 BTB STATCOM이 동작함과 동시에 모델링시 사용한 3상 전압원 소자도 같이 응동하기 때문으로, BTB STATCOM은 정해진 출력 변화에 정확하고 빠르게 응동하고 있다고 판단할 수 있다. 또한 무효전력의 출력은 '0'으로 유지되고 있음을 알 수 있다.

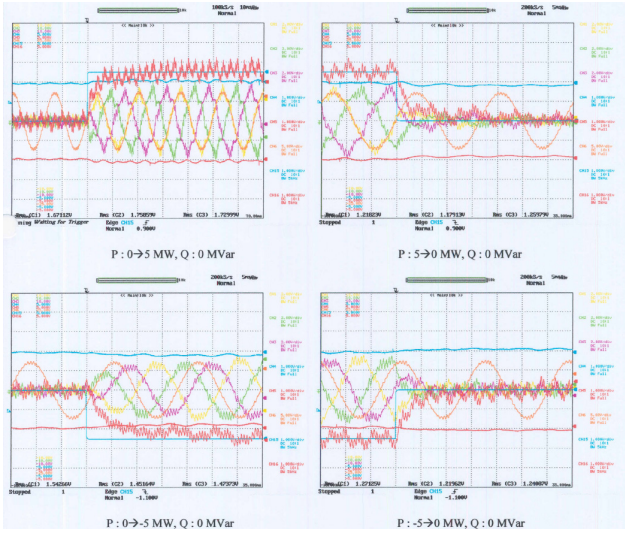
다음 그림 7은 실제 BTB STATCOM의 유효전력과 관련된 전류 지령치와 전류 출력 파형으로 BTB STATCOM은 지령치에 정확하게 응동하여 동작하고 있음을 확인할 수 있다.



<그림 7> BTB STATCOM의 유효전력 제어 지령치 및 출력

3.2 BTB STATCOM의 시운전 결과

다음 그림 8은 제주도 성산변전소에 BTB STATCOM을 설치한 후 가압 시험을 수행한 시운전 결과이다. 풍력발전의 용량을 임의로 변경하는 것이 불가능하여 Bypass CB의 경로를 활용하여 BTB STATCOM의 유효전력 전송 능력을 확인하였다.



<그림 8> BTB STATCOM 시운전 결과

3. 결 론

본 논문에서는 다중펄스 인버터 STATCOM과 PWM 인버터 STATCOM의 DC Link를 결합하여 BTB STATCOM을 개발하였다. 실제 동작 특성 및 제어 알고리즘 등은 PSCAD/EMTDC를 사용하여 모의 및 검증하였으며, 현장에 설치하여 시운전을 수행하였다. 고, 실제 제어에 필요한 제어 알고리즘을 설계하였다. 설계 및 모의를 위하여 PSCAD/EMTDC를 사용하였으며, 여러 형태의 모의 결과를 통하여 제어 알고리즘 및 각종 제어 파라미터 값들이 올바르게 지정되었음을 확인하였다. 또한 모의 결과를 통하여 BTB STATCOM이 정상적인 운전 범위에서 좋은 제어 특성을 보임을 확인하였으며, 이 제어 알고리즘을 적용하여 개발, 제작된 실제 BTB STATCOM의 실제 시험을 통하여 제어 알고리즘의 성능을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, Understanding FACTS, IEEE PRESS, 2000.

[2] 김찬기, 장길수, 임성주, 추진부, HVDC와 전력전자, 생능출판사, 2006.