

## PSCAD/EMTDC를 이용한 제주도 전력계통 기본 모델링

유현재\*, 김학만\*\*, 박민원\*\*\*, 정규원\*\*\*\*, 박재세\*\*, 신명철\*  
 성균관대\*, 인천대\*\*, 창원대\*\*\*, 한국전력\*\*\*\*

### Basic Modeling of Jeju Power System using PSCAD/EMTDC

Hyun-Jae Yoo\*, Hak-Man Kim\*\*, Min-Won Park\*\*\*, Gyu-Won Jung\*\*\*\*, Jae-se Park\*\*, Myong-Chul Shin\*  
 Sungkyunkwan University\*, Incheon University\*\*, Changwon University\*\*\*, KEPCO\*\*\*\*

**Abstract** - In this paper, we present basic modeling of Juju power system using PSCAD/EMTDC. In detail, models of bipolar HVDC system, power transmission line, basic thermal power plant, load, and wind farm have been developed for Jeju power system. For evaluating basic dynamic behavior, we tested the system with a simple scenario and the test result showed acceptable response.

#### 1. 서 론

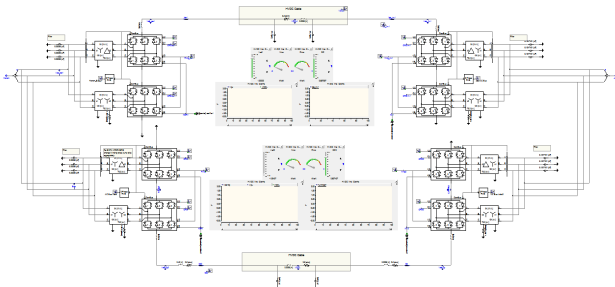
2009년 12월에 시작된 제주도 스마트그리드 실증단지 구축사업은 2013년 5월 까지 인프라구축 및 통합운영의 2단계 사업으로 구분되어 실시되고 있다. 이중 1단계 인프라 구축 사업이 2011년 5월에 끝나면서 6월부터 구좌읍 지역에 한정해 전력시장이 운영되는 등 제주도가 스마트 그리드의 활성화를 위한 전진기지의 역할을 하고 있다. 뿐만 아니라 2013년을 목표로 현재 제주도 한림읍 수원리에 3 MW급 풍력발전기 34기를 설치, 총 102 MW급 규모의 풍력발전단지가 조성되며, 또한 초전도 실증단지가 도입되고 있다. 효과적인 제주계통 해석을 위해서는 순시치 기반 해석 모델 및 계통이 요구되며, 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 기본적인 제주계통의 모델링을 수행하였다.

#### 2. 본 론

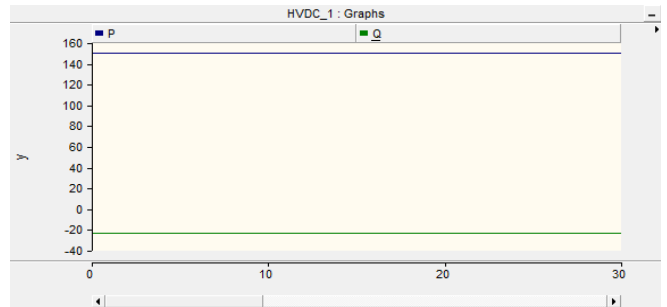
##### 2.1 Bipolar HVDC 시스템 모델링

현재 우리나라에 설치되어 있는 HVDC 시스템은 제주-해남 간에 설치되어 있는 150[MW]급 송전선로 2회선으로 평시에는 150[MW] 용량의 1회선을 운전하고 있다. 일반적으로 HVDC 시스템은 장거리 전력전송에 있어 교류 계통 보다 계통 손실이 적고, 교류 계통에 영향을 주지 않고 대용량의 전력을 전송할 수 있으며, 주파수가 다른 계통을 연계할 수 있는 특징이 있다. 또한 제어기를 통해 즉각적으로 전력송전을 제어할 수 있으며 과도 안정도 개선 및 고립된 소규모 계통의 주파수 제어 가능한 장점이 있다. 해마다 증가하는 제주도의 전력소비량에 대응하기 위해 현재 추가적으로 제주-진도간 총 설비용량 400[MW]규모의 HVDC 시스템이 2011년도 완공 목표로 건설 중에 있다.

본 논문에서는 현재 운전되고 있는 제주-해남간 HVDC를 사이리스터를 이용한 12-pulse 정류방식의 Bi-pole 구조로 모델링하였다. 모델링된 HVDC는 각각 150[MW]용량의 2회선으로 구성하였고 정류기 부분은 전압제어 인버터부분은 전류제어를 통해 HVDC의 출력전력을 제어하도록 모델링하였다[1]. PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용하여 모델링한 HVDC 모델을 그림 1에 나타내었고 정상상태의 출력파형을 그림2에 나타내었다.



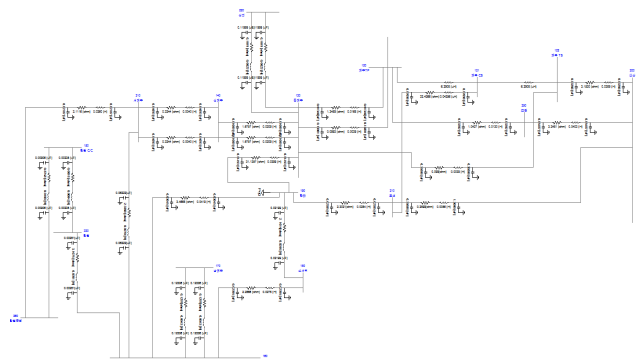
<그림 1> 제주도 - 해남 HVDC 모델링



<그림 2> 과도상태 이후 HVDC 출력 파형

##### 2.2 제주계통 송전선로 모델링

제주계통 송전선로는 실제 데이터베이스를 이용해 R, L, C 값을 계산한 후  $\pi$ 형 등가회로를 이용해 구성하였다. L과 C 값의 경우 계통의 정상상태 주파수인 60Hz를 이용하여 산정했으며, 사고모의 등 계통의 주파수 변화에 따른 과도현상을 해석하기 위해서는 PSCAD/EMTDC에서 제공하는 철탑 모델을 이용하는 것이 보다 정확하나[2] 우리나라 송배전 선로의 손실율이 5% 이내인 것을 감안해 본 논문에서는  $\pi$ 형 등가회로를 구성하여 송전선로를 다음 그림 3과 같이 구성하였다. 이와 같이 모델링된  $\pi$ 형 등가회로는 추후 철탑모델을 이용한 제주도 전력계통 모델을 구성하기 위한 기준을 제공할 수 있다.

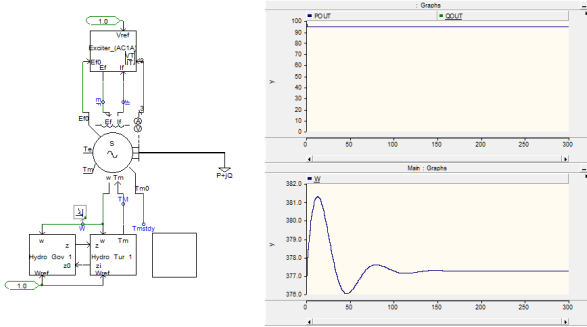


<그림 3> 제주계통 송전선로 모델링

##### 2.3 제주도 발전기 모델링 및 부하모델링

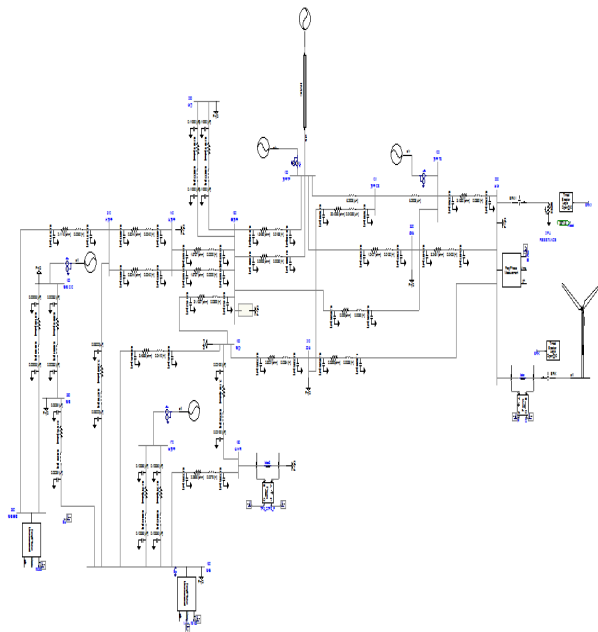
PSCAD/EMTDC 프로그램에서는 PSS/E 또는 RTDS와 같은 다양한 종류의 여자기 및 조속기의 모델이 제공되지 않는다. 따라서 실제통과 같은 발전기 모델을 구성하는데 어려움이 있다. 보다 정확한 모델을 위해서는 추후 상세한 발전기 모델의 개발이 필요하지만, 본 논문에서는 PSCAD/EMTDC에서 제공하는 발전기 제어계 모델을 이용하고 발전기의 출력 및 관성상수 등의 실제 데이터베이스를 사용하여 계통 응답 경향을 해석할 수 있도록 기본적인 제주도 발전기를 모델링하였다.

PSCAD/EMTDC에서 기본적으로 제공하는 부하 모델은 3가지 종류로 크게 나누어 볼 수 있는데 고정부하 (fixed load) 모델, 3상 부하 모델, 그리고 기본 소자인 R, L, C를 사용하는 모델이 있다. 본 논문에서는 고정부하 모델을 이용하여 제주 계통의 부하를 구성하였다. 그림 4는 발전기 모델 중 97[MW] 용량의 제주 화력발전 모델을 나타낸 것이다.



〈그림 4〉 97[MW]급 제주 화력발전 모델

상기한 Bipolar HVDC 모델, 제주도 송전선로 모델, 고정 부하 모델 기반 부하모델, 그리고 발전기 모델을 이용하여 그림 5와 같이 제주 계통을 구성하였다.



〈그림 5〉 제주도 전력계통 모델

## 2.4 시뮬레이션

풍력단지는 기본 특성 검토 목적으로 3 MW 1기로 간략하게 구성하였다.

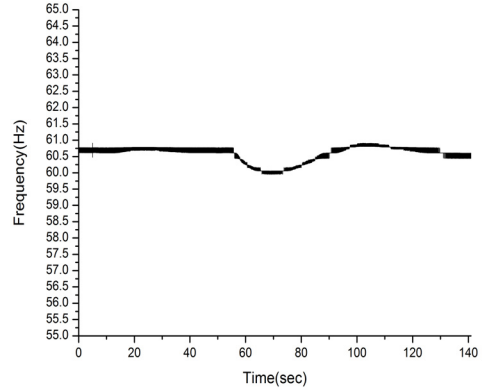
모델링된 제주계통의 부하용량 및 초기 과도상태 이후 측정된 발전용량은 다음 표 1과 같다.

〈표 1〉 제주계통 부하용량 및 발전용량

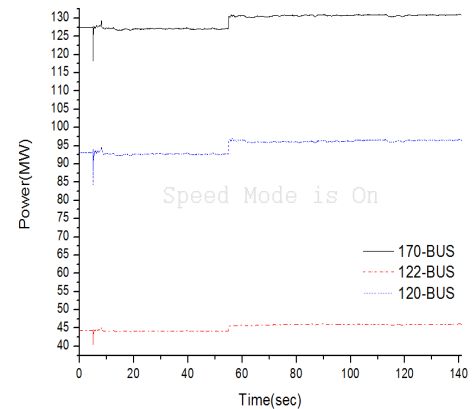
BUS name	Generating Capacity		Load Capacity	
	P	Q	P	Q
120 - 제주TP	93.11	39.93	1.6496	1.0269
122 - 제주TP	44.33	18.57	3.975	2.4764
170 - 남제주	127.38	70.24	6.3145	3.9111
150 - 한림 C/C	-	-	17.7452	5.8561
330 - 한림	-	-	43.5637	14.3692
160 - 안덕	-	-	72.6137	23.9511
190 - 한라	-	-	65.0201	21.4464
180 - 신서귀	-	-	68.6826	22.6545
210 - 표선	-	-	20.7275	6.8368
220 - 산지	-	-	86.6267	28.5732

검토 시나리오는 풍력 발전기 1기를 정상상태 이후 5초 뒤에 계통에 연계하고 50초 뒤에 10 MW 용량의 부하를 증가시켜 계통의 동특성을 검토하였다.

그림 6은 외란에 의한 제주 계통 주파수를 나타낸 것이고 그림 7은 외란에 의한 발전기들의 출력 변화를 나타내고 있다. 5초에 3 MW 용량의 풍력발전기의 계통투입 시 미세하게 주파수 및 각 발전기의 출력이 흔들리는 것을 볼 수 있고 이후 55초에서 10[MW]용량의 부하의 투입에 의한 제주 계통 주파수의 변동을 확인할 수 있다. 또한 170, 122, 120번 발전모선에서 측정된 유효전력 데이터로부터 갑작스런 부하증가에 따라 각 발전기의 유효 전력 출력이 증가한 것을 확인할 수 있다.



〈그림 6〉 외란에 의한 제주 계통 주파수 변동



〈그림 7〉 외란에 의한 각 발전기의 유효전력 출력 변화

## 3. 결 론

본 논문은 PSCAD/EMTDC를 이용한 제주계통의 기본적인 모델링 결과를 기술하였다. 세부적으로는 제주도과 해남을 연결하는 총 설비용량 300 MW의 Bipolar HVDC 시스템, 제주도 송전선로 모델, 제주 화력발전 모델, 부하 모델에 관하여 기술하였고 제주계통의 외란에 대한 영향을 살펴보기 위해 3 MW 용량의 풍력 발전기를 투입에 따른 계통 동특성과 이후 10 MW 용량의 부하를 증가에 의한 제주 계통 주파수 및 발전기들의 출력변동을 검토하였다.

추후 연구로는 제주 계통 발전기들의 정확한 발전기 제어계 모델링, 제주-해남간 HVDC의 제어기 모델, 진도-제주간 HVDC 모델, 풍력단지 및 초전도 실증단지의 초전도 기기 등에 대한 모델링을 지속적으로 개발해 나갈 계획이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김진근, 김아롱, 김경훈, 김대원, 박민원, 유인근, 박경도, 이동영, 이상진, "HVDC 초전도 직류 송전시스템의 제주도 연계운전 시뮬레이션 기법 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2010.
- [2] Neville Watson and Jos Arrillaga, Power Systems Electromagnetic Transients Simulation, The Institution of Electrical Engineers, 2003.
- [3] User's Guide of PSCAD/EMTDC, Manitoba HVDC Research Center, 2002.