

## PSCAD/EMTDC 제주-해남 HVDC(High-Voltage Direct Current)시스템 해석모형을 이용한 교직연계계통 분석

오관일\*, 윤종수, 전영수, 장병훈, 임성주, 추진부  
한전 전력연구원

### A Study of the AC/DC Interconnected system Using the Cheju-Haenam HVDC PSCAD/EMTDC Model

Kwan-Il Oh\*, Jong-Su Yoon, Young-Soo Jeon, Sung-Joo Lim, Jin-Boo Choo  
KEPRI(Korea Electric Power Research Institute)

**Abstract** - 본 논문은 PSCAD/EMTDC 프로그램을 이용한 제주-해남 HVDC시스템의 해석모형 개발과 해석모형을 이용한 제주-해남 HVDC시스템의 운전특성에 대한 분석 내용을 기술하였다. 제주-해남 HVDC의 안정적인 운용을 위해서는 HVDC시스템의 이해와 함께 제주교류계통의 계통특성도 같이 고려되어야 한다. 이를 위해서는 제주-해남 HVDC와 제주교류계통을 포함하는 시뮬레이션 모델을 개발하여 다양한 상황에서의 시뮬레이션을 수행하여야 한다. 본 논문에서는 AC계통과 DC계통의 상호작용에 의한 영향 분석과 교직연계계통의 계통운용 특성에 대해서 EMTDC 제주-해남 HVDC모델과 제주 AC계통 등가축약 모델을 이용하여 분석한 결과를 설명하였다. PSCAD/EMTDC는 EMTTP와 더불어 전력시스템의 과도현상 해석을 위한 신뢰성 있는 프로그램이다.

#### 1. 서 론

최초의 HVDC(High Voltage Direct Current) 시스템은 1954년 스웨덴 본토와 Gotland섬간의 HVDC로 이는 mercury arc valve를 사용하였으나, 1960년대 반도체 소자 기술에 기반한 Thyristor의 도입으로 전세계적으로 HVDC의 사용이 확대되었으며, 경제성장과 전력망의 대형화, 복잡화에 따라 그 중요성이 증가하고 있다. HVDC 송전 기술은 일반적으로 대용량 장거리 송전시 경제적인 이득과, 비동기 전력시스템간 전력전송의 유일성, 해저나 지중전송<sup>2)</sup>을 위한 케이블 사용, 전 송전력량의 증대 등의 이유로 적용되고 있으며 이미 많은 project로부터 그 효용성이 입증된 기술이다. 학계의 보고에 따르면 HVDC 운전이용률이 90% 이상이며, 이

는 시스템 고장률과 기기보수 시간의 감소와 redundancy의 사용의 증가에 의한 것으로 보고되고 있다.<sup>1)</sup> 이와 같은 이유로 HVDC는 확대 적용될 것으로 예상된다. 국내에서도 제주-해남간 HVDC가 1994년부터 상용 운전중에 있다. 제주-해남 HVDC는 직류전압이  $\pm 180kV$ 이며, 직류전송 정격전력은 300MW이다. 제주-해남 직류 송전계통의 운용은 교류계통과 달리 국내에서는 최초로 시도된 것으로 안정적이고 합리적인 계통운용을 위해서는 AC-DC 연계계통의 제어 및 보호 협조에 대한 깊은 이해가 필요하다. 이를 위해 HVDC 시스템의 해석과 교류계통의 해석이 같이 수행되어야 한다. 직류 송전시스템의 해석은 주로 PSCAD/EMTDC를 사용하지만 이는 시간정수가 수초에 이르는 교류계통 현상을 모의하기에는 어려움이 많다. 그런 이유로 현재까지 제주-해남 HVDC시스템 자체에 대해서는 심도있는 연구가 수행되었지만 HVDC시스템을 포함하는 교류계통에 대한 연구는 미흡하였다. 본 논문에서는 AC-DC연계계통의 해석을 위해서 PSCAD/EMTDC 프로그램을 사용하여 제주-해남 HVDC시스템 모델 개발과 제주교류계통의 등가모델을 개발하였다. 제주-해남 HVDC시스템 모델은 전력연구원에서 개발한 상세모델의 파라메타를 이용하였으며, 시뮬레이션 수행시간 단축을 위하여 HVDC시스템의 스위칭제어는 포함하지 않았다. 본 연구에서 개발한 모델의 제어 scheme은 본문에서 자세하게 설명하겠다. 그리고, 제주등가계통 모델의 정확도를 높이기 위해 최신의 발전기 특성시험 데이터와 제주 154kV 계통데이터를 조사하였다. 본 논문에서는 제주 교류계통의 부하탈락시 직류송전계통의 응답 특성과 제주모선의 사고시 영향을 분석하였다.

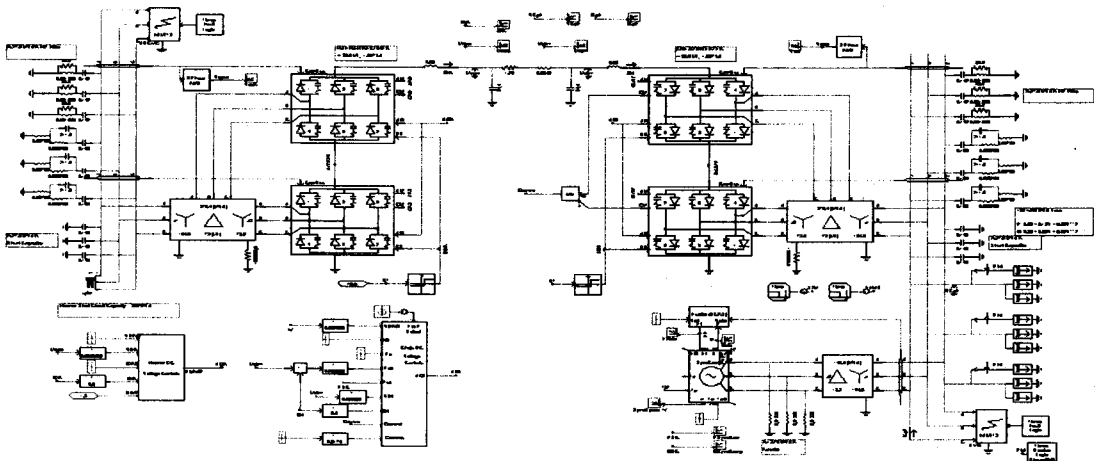


그림 1 제주-해남 HVDC EMTDC 모델

## 2. 본 론

### 2.1 AC-DC 연계계통의 EMTDC 모델 개발

제주-해남 HVDC의 안전운용방안은 HVDC시스템 제어와 제주교류계통의 보호계전기의 정정이 서로 유기적인 협조제어가 이루어질 때 가능하다. 이를 위해서는 다양한 상황에서의 AC-DC 연계계통의 운용결과를 분석해야 한다. 본 논문에서 개발한 AC-DC 연계계통 모델은 제주-해남 HVDC 모델과 제주교류계통의 등가모델을 결합한 형태이며, 제주교류계통의 등가모델은 1기 무한모선에 전력부하 형태로 현재 개발되어 있으며, 항후 발전기, 동기조상기와 제주 154kV 선로가 포함된 형태로 개발하여 제주교류계통에서의 사고시 HVDC시스템 영향과 HVDC의 고장시 제주교류계통의 사고 파급효과 등을 분석할 예정이다. 본 절에서는 제주-해남 HVDC시스템 모델과 1기 무한모선으로 등가화된 제주교류계통모델을 먼저 설명한 후 개발중인 상세 제주교류계통모델에 대한 간략한 설명을 하였다.

#### 2.1.1 제주-해남 HVDC EMTDC 모델 개발

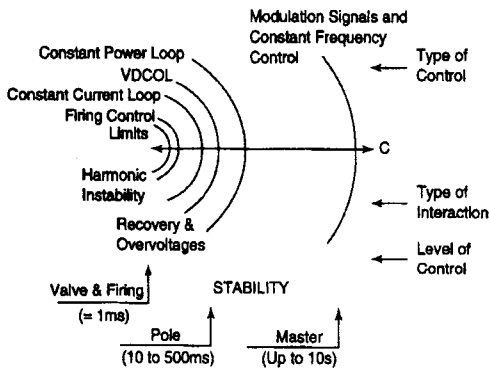


그림 2. 일반적인 HVDC 다층 제어 구조

그림 1은 제주-해남 HVDC EMTDC모델로 실제 HVDC는 bipole로 구성되어 각각 150MW의 용량으로 구성되어 있지만 AC-DC연계계통의 운용특성과 보호협조 제어특성을 해석하는데는 큰 지장이 없기 때문에 시뮬레이션에 사용한 모델은 현장에 설치된 HVDC와 달리 monopole로 구성하였다. DC케이블의 임피던스와 제주·해남모선에 각각 설치된 filter의 크기를 등가화 처리하였다. 그리고, 해남교류계통은 1기 무한모선으로 등가화했으며, 제주교류계통은 제주변환소 모선 2차측에 전력부하모델로 등가화하여 모델을 구성하였다. AC-DC 연계계통 자체가 시정수에 따라 일반적으로 다중구조로 분류될 수 있으며, AC-DC 연계계통의 안정도를 유지하기 위해서는 각각 해당되는 제어 계층에 의하여 적절히 협조 제어되어야 한다. 제어 계층에 따라 시정수의 크기는 다르며, Thyristor의 점호와 관련된 Valve Electronics 부분이 가장 짧고(수 msec이하), AC계통 쪽으로 근접해갈수록 시정수는 길어진다.(수~수십sec) 그림 2는 일반적인 HVDC의 다층 제어구조를 보이고 있으며, 본 제주-해남 HVDC EMTDC모델에서는 그림 2의 pole에 해당하는 제어구조까지만 포함하였다.

#### 2.1.2 제주 교류계통 EMTDC 모델 개발

제주교류계통의 등가모델은 그림 3에 나타난 것과 같이 컨버터 변압기 2차측 모선에 전력부하 모델로 구성하였다. 그림 하단에 있는 동기조상기로부터 제주계통의 주파수 신호를 입력받아 HVDC의 주파수 제어모드에 이용하며, 제주교류계통에서 부하탈락시와 계통사고시의

영향을 보기 위하여 그림 하단 오른쪽에 사고발생기를 구성하였다. 부하탈락은 부하모델에서 일부분을 스위치로 연결하여 일정시간이 지난후 스위치를 개방하여 제주교류계통의 부하가 순간적으로 줄어들 때의 현상을 확인하였다.

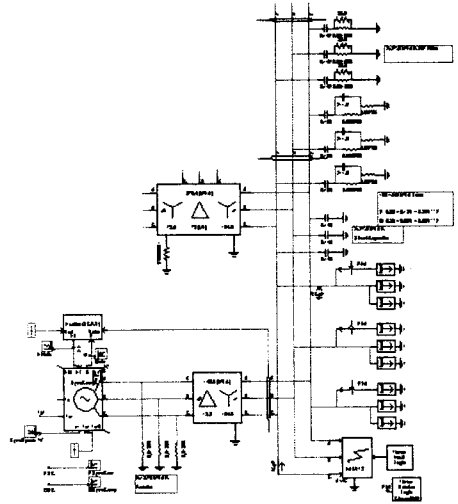


그림 3 제주교류계통 등가모델(전력부하모델)

### 2.2 AC-DC 연계계통 시뮬레이션 결과

제주-해남 HVDC 시스템과 교류계통을 포함한 시뮬레이션은 표 1과 같이 4가지 경우에 대하여 수행하였으며, 그림 4에서 그림 7까지 보이고 있다.

구분	제어 모드	사고 유형
Case 1	주파수 제어	삼상 지락
Case 2	주파수 제어	부하 탈락
Case 3	전송파워 제어	삼상 지락
Case 4	전송파워 제어	부하 탈락

#### 2.2.1 주파수 제어모드에서의 시뮬레이션 결과

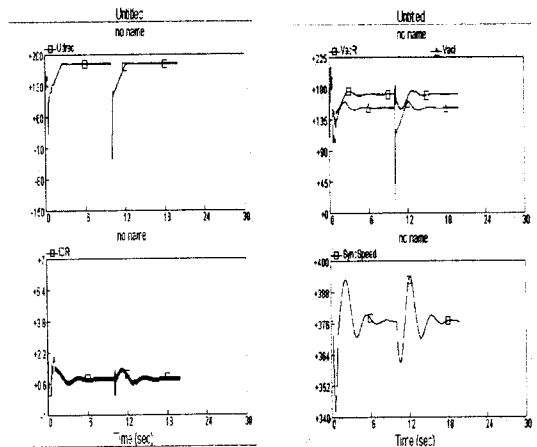


그림 4 제주모선측 삼상지락 사고시 AC/DC 계통특성(주파수 제어)

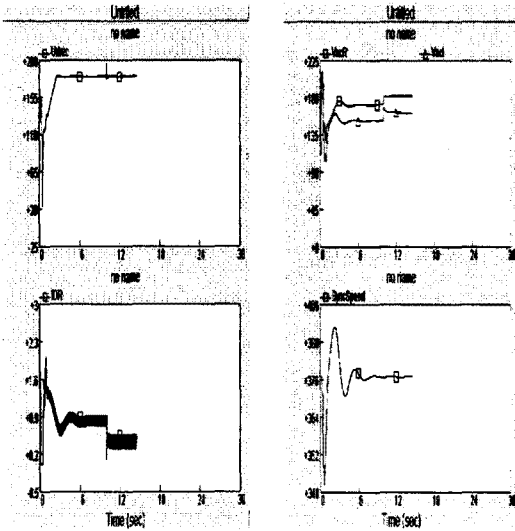


그림 5 제주모선측 부하탈락 사고시 AC/DC 계통특성(주파수 제어)

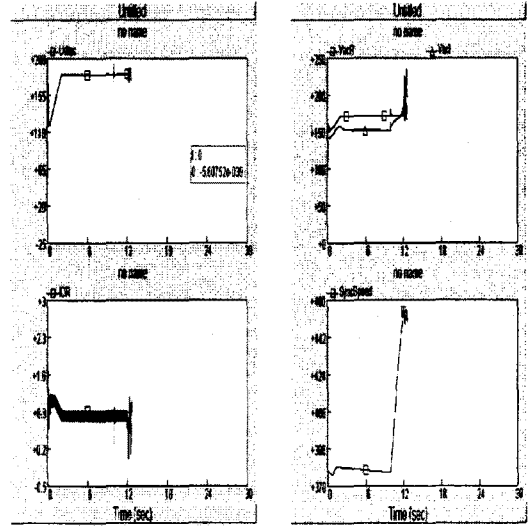


그림 7 제주모선측 부하탈락 사고시 AC/DC 계통특성(전송파워 제어)

그림 4와 그림 5은 제주 인버터제어기를 주파수 제어 모드로 동작시 제주 모선 2차측에 삼상지락 사고 발생시와 부하탈락시의 시뮬레이션 결과로 사고 제거후 곧바로 정상동작함을 알 수 있으며, 부하탈락시 주파수 제어에 의해 직류 전송파워량을 조정하여 정상적인 동작을 보임을 알 수 있다.

### 2.2.2 전송파워 제어모드에서의 시뮬레이션 결과

그림 6과 그림 7은 제주 인버터제어기를 전송파워 제어 모드로 동작시 제주 모선 2차측에 삼상지락 사고 발생시와 부하탈락시의 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 삼상 지락사고시의 시뮬레이션 결과는 사고가 제거된 후 주파수 제어모드와 마찬가지로 정상운전영역으로 돌아오지만 제주 교류측의 주파수가 심한 동요를 보인다. 그리고, 부하탈락시의 시뮬레이션 결과는 제주 교류계통의 주파수와 전압이 계속 증가하여 안정운전 영역을 벗어남을 확인 할 수 있었다.

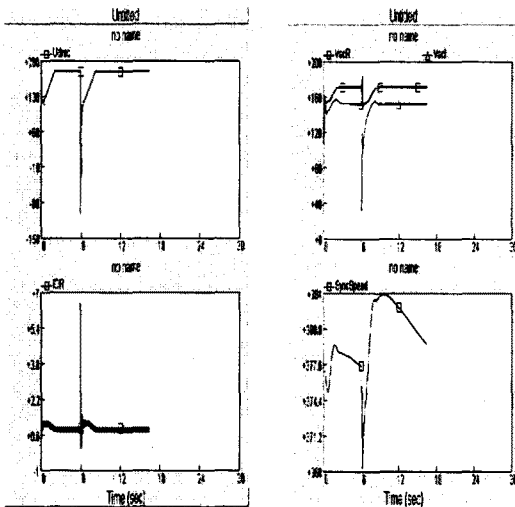


그림 6 제주모선측 삼상지락 사고시 AC/DC 계통특성(전송파워 제어)

### 3. 결 론

본 논문에서는 제주-해남 HVDC EMTDC 모델과 제주 교류계통의 EMTDC 등가모델을 이용한 AC-DC연계 계통의 운전특성을 PSCAD/EMTDC 프로그램을 사용하여 시뮬레이션한 결과를 보였다. 시뮬레이션 결과 제주 모선 2차측에 삼상 지락사고와 부하탈락시 HVDC 모델이 정상적인 동작을 보임을 확인할 수 있었다. 향후 제주 교류계통의 상세 등가모델을 추가하여 제주 154kV 모선의 1선 지락사고시의 HVDC에 미치는 영향과 발전기와의 협조제어 등도 해석할 계획이며, 이를 통해 제주-해남 HVDC의 안정적인 운용방안을 제시할 예정이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] Roy Billinton, Saleh Aboreshaid, Mahmud Fortuhi-Firuzabad, "Well-Being Analysis for HVDC Transmission Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May, pp913 - pp918, 1997
- [2] R. Billinton, S. Aboreshaid, M. Fortuhi-Firuzabad, "Diagnosing the Health of Bulk Generation and HVDC Transmission Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 12, No. 4, November, pp1740 - pp1745, 1997