

EMTDC로 구현한 제주-해남 HVDC 시스템의 사고모의 및 AC Protection

박상호, 진영수, 김수열, 임성주, 추진부
한국전력공사 전력연구원

Fault Simulation and AC side Protection of Cheju-Haenam HVDC using EMTDC

Sang-Ho Park, Young-Su Jun, Su-Yul Kim, Seong-Joo Lim, Jin-Boo Choo
KEPRI(Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - 제주-해남 HVDC 시스템의 #1, #2 Pole 이 동시 운전 중에 동기조상기가 탈락할 경우, HVDC 시스템의 운전모드 절제와 제우기력 #2, #3호기의 출력 변화 등을 EMTDC 프로그램으로 시뮬레이션 하였다. 또한 HVDC 시스템의 AC측 보호계전기를 계전 알고리즘을 이용하여 EMTDC 모델로 구현하고 제주 교류계통에서 사고 발생시 HVDC 시스템의 보호를 검토하였다.

1. 서 론

초고압 직류송전(HVDC)은 AC 전력을 AC/DC 변환기를 이용하여 DC 전력으로 변환하여 전송하고 다시 DC/AC 변환기를 이용하여 AC 전력으로 변환하여 AC 계통에 전력을 공급하는 방식이다. 이러한 HVDC 송전 방식은 모든 면에서 AC 전송방식 보다 우수하다고 할 수는 없지만 AC 전송이 갖는 단점을 해결하고 DC 전송만이 갖는 특이한 장점이 있기 때문에 미국, 일본, 그리고 유럽에서는 오래 전부터 연구하여 실용화된 기술이다. 우리 나라에서도 1998년 제주-해남 사이에 HVDC 시스템이 도입되었으며 높은 경제성을 보이고 있다.

본 논문에서는 현재 도입된 제주-해남 HVDC 시스템과 PSS/E 데이터를 근거로 제주계통을 EMTDC로 모의하였으며, 제작된 모델은 실제 제주계통에서 발생한 사고와 비교하여 검증하였다.

제주-해남 HVDC 시스템의 AC측 Protection은 계통에서 과급된 고장이 HVDC 시스템에 미치는 영향을 제거하고 HVDC 시스템의 AC측에 설치되어 있는 C-TR 이나 Filter와 같은 중요설비를 보호하기 위하여 존재하는 것으로 154kV Busbar Overvoltage Protection, C-TR Protection, High Pass & Double Tuned Filter Protection 등이 있다.

본 논문에서는 AC-Protection에서 사용되는 계전기인 MVTD12, MVTU12, MCGG82, MFVU21, MCGG62 등 계통에서 실제로 쓰이고 있는 계전기들을 EMTDC로 구현하고 모의하였으며, HVDC-제주계통 모델과 연계하여 발생한 사고에 대해서 동작을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 HVDC 시스템 사고모의

2.1.1 HVDC 시스템의 기본동작

제주-해남 HVDC 시스템은 전극소를 이용한 해수극로 송전방식으로 $\pm DC180kV$ 인 2개의 극(Pole:회선) 대칭구조로 구성되어 한회선당 15만 kw 출력으로 최대 30만 kw를 공급할 수 있도록 설계되었다.

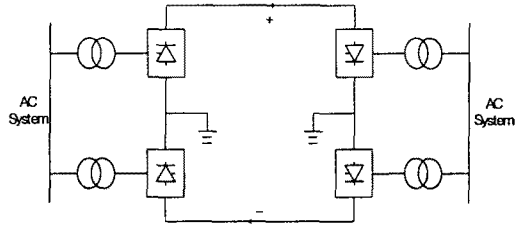


그림 1 HVDC 시스템 단선도

그림 1은 HVDC 시스템의 단선도를 나타내고 있다. 그림1과 같이 HVDC 시스템은 서로 다른 AC 계통을 연결하고 있으며, AC/DC 컨버터에서 AC를 DC로 변환하고 다시 DC/AC 컨버터에서 DC를 AC로 변환하여 AC 전력을 공급하게 된다. 이러한 DC 송전은 송전손실이 도체의 저항에만 영향을 받기 때문에 저손실의 장거리송전이 가능하고, 변환기의 제어에 따라 서로 다른 주파수의 계통을 연계할 수 있으며 같은 주파수의 계통을 연계 하더라도 주파수를 동기시킬 필요가 없는 장점이 있다.

2.1.2 HVDC 시스템 EMTDC 모델링

HVDC 시스템의 동특성을 분석하기 위해서 EMTDC 모델을 모의하였다. 모의된 모델은 AC/DC 렉티파이어, DC/AC 인버터 및 DC Cable, Converter Transformer, 동기조상기, Shunt Capacitor, High Pass & Double Tuned Filter 등이 실규모 HVDC 시스템과 동일한 용량 및 구조로 제작되었으며 HVDC 데이터는 표 1과 같다.

표 1 제주-해남 HVDC 데이터

정격 DC 전압	$\pm 180kV(1p.u)$
정격 DC 전류	$\pm 833A(1p.u)$
정격 DC 전송능력	300MW(2pole)
C-Transformer	3상 188MVA(Y-Y- Δ)
Filter	각 터미널당 4개의 Filter
동기 조상기	제주 변환소에 70MVA 2대
Sea electrodes 정격	834A 연속, 1530A 10초
최소 ESCR(제주)	1.45 (1.10 monopolar)
사이리스터	밸브당 46개(해남) 밸브당 48개(제주)

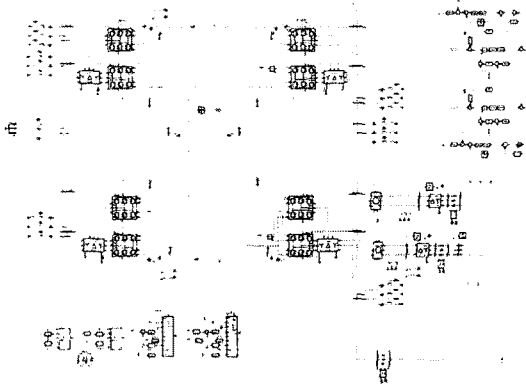


그림 2 HVDC시스템 EMTDC모델

그림 2는 모의된 HVDC시스템의 EMTDC모델이다. 모의된 모델은 AC/DC 레กติ파이어부와 DC/AC 인버터부로 구성되어 있으며, 해남 154kV 모선에 Shunt Capacitor와 고조파 제거와 무효전력을 보상해주는 기능을 가지고 있는 필터부가 연결되어 있고 제주 154kV 모선에는 70MVAR 동기조상기 2기와 해남과 마찬가지로 Filter부가 연결되어 있는 형태를 가지고 있다.

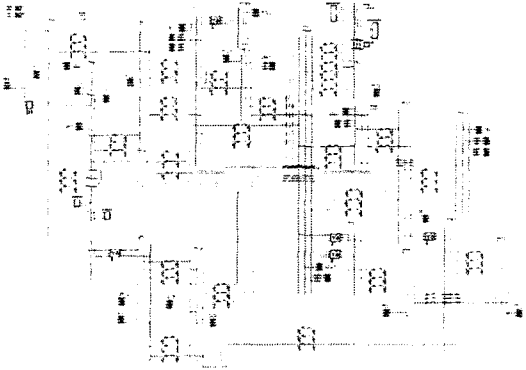


그림 3 HVDC-제주 계통 모델

그림 3은 모의된 EMTDC 제주 계통 모델이다. 제주 계통모델은 PSS/E 데이터를 기반으로 하여 PI 등가화하였으며, 모의할 사고당시 가동 중이었던 북제주 TP2,3호기와 남제주 DP1,2,3,4호기는 제작사에서 제공한 발전기 데이터와 제어기를 근거로 모델링하여 계통과 연결하였다.

2.1.3 사고모의 시뮬레이션

사고당시 제주계통의 정상상태 운전 상황은 표2와 같다.

표 2 제주계통 운전상황

계통부하(MW)	275MW
동기조상기 운전상황	제주기력 #1 16.3MVAR 제주기력 #2 13.2MVAR
북제주 TP#2,3	149.9MW
남제주 DP#1,2,3,4	37.7MW
HVDC 수전량	87.4MW
필터투입	13.75MVAR×1, 27.5MVAR×1

표 2와 같은 정상상태 운전 중에 동기조상기 탈락에 의한 북제주 TP#2,3호기 출력의 급격한 변동이 발생하였으며 주파수 모드로 운전 중이던 HVDC 시스템은 내부 제어동작에 의해서 조류제어 모드로 자동 절체되어 87.4MW이던 수전 전력이 121MW로 약 33.6MW 상승되었다.

2.1.4 시뮬레이션 결과 파형

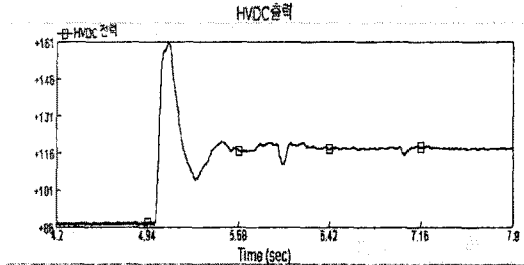


그림 4 HVDC 수전 전력

그림 4는 사고발생 시 HVDC 수전 전력 파형이다. 5초에서 사고가 발생하여 순간적으로 수전 량이 160MW 까지 상승하였다. HVDC의 제어동작에 따라 수전 량이 0.5[pu](150MW)이상 0.1초이상 지속됐기 때문에 자동적으로 주파수 모드에서 조류제어 모드로 변경되어 120MW 정도의 수전 량을 보이는 것을 볼 수 있다.

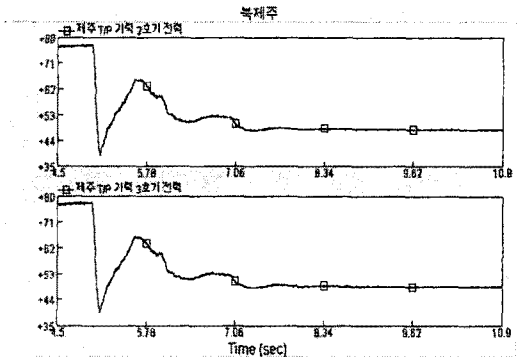


그림 5 제주 TP #2,3호기 출력

그림5는 사고발생 시 제주 TP#2,3호기 출력 파형이다. 5초에서 사고가 발생하여서 제주 TP#2,3호기의 출력 파형이 급격한 변동을 보이고 있으며, HVDC 시스템이 주파수 제어모드에서 조류제어 모드로 자동 절체되어 안정화된 것을 볼 수 있다.

2.2 HVDC 시스템의 AC Protection

2.2.1 AC Protection Relay EMTDC 모델링

계통에서 파급된 고장이 HVDC 시스템에 미치는 영향을 제거하고 HVDC 시스템의 AC측에 설치되어 있는 중요설비를 보호하기 위하여 존재하는 AC Protection은 다음과 같이 보호목적에 따라 분류된다.

- 154kV Busbar Protection
- Converter Transformer Protection
- High Pass & Double Tuned Filter Protection
- Shunt Capacitor Protection
- Shunt Reactor Protection

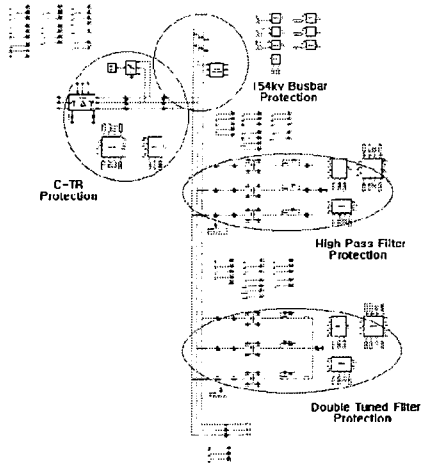


그림 6 제주계통 AC Protection 구성도

그림 6은 EMTDC로 구현된 제주 AC Protection의 구성을 나타내고 있다. 모델에서는 실 계통에서와 같이 154kV Busbar Protection, Converter Transformer Protection, High Pass & Double Tuned Filter Protection으로 나뉘어져 있으며, 보호 목적에 따라 필요한 계전 모델이 적용되었다.

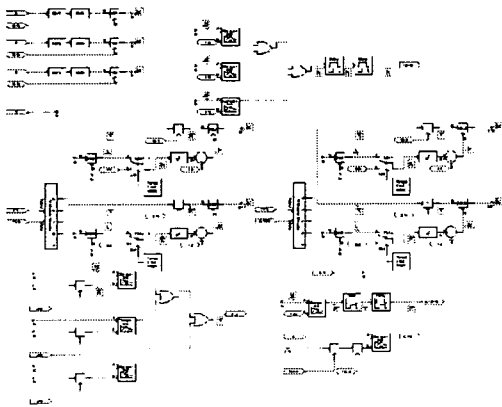


그림 7 MCGG82 제어모델

Converter Transformer Protection에 사용되고 있는 MCGG82 계전기는 GEC/ALSTHOM사의 제품으로 한시 및 순시요소와 지락 과전류 검출기능을 가지고 있다.

그림 7은 EMTDC로 제작된 MCGG82 제어모델이다. MCGG82의 한시 제어모델은 사고 검출부와 지연시간 계산부로 구성되어 있다. 사고 검출부에서는 C-TR 1차 측에서 전류를 받아서 이를 주어진 레퍼런스와 비교하여 사고를 판단하게 되고 판단되어진 사고는 지연시간 계산부에서 식(1)이 적용되어 한시 트립신호를 발생하게 된다.

$$t = 0.25 \times \frac{80}{\left(\frac{I}{900}\right)^2 - 1} \quad (1)$$

MCGG82의 순시 제어모델은 앞에서 설명한 한시 제어 모델과는 달리 검출된 전류가 주어진 레퍼런스와 비교되

어 사고로 판단되어 지면 일정한 시간내에 지연요소 없이 순시 트립신호를 발생하는 구조로 되어 있다.

2.2.2 시뮬레이션 결과파형

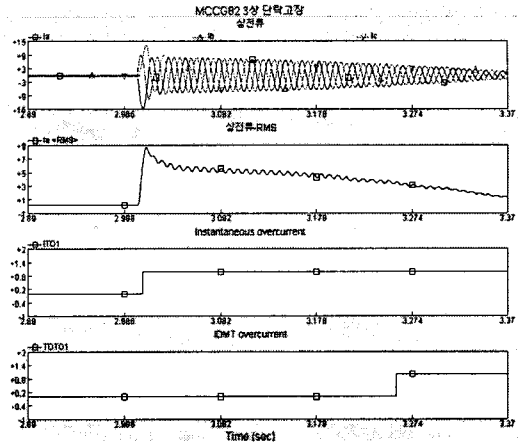


그림 8 제주 C/S 154kV C.TR 1차 3상 고장시

그림8은 제주 C/S 154kV C.TR 1차 측에서 3상 단락 고장시 전류파형과 MCGG82 계전모델의 동작파형이다. 3초에 3상 단락사고가 발생하여 순간적으로 8.6kA의 고장전류가 발생한 것을 볼 수 있다. 발생된 고장요소는 순시와 한시 제어 알고리즘에 의하여 순시 제어 모델은 사고 발생 후 0.01초후에 바로 트립 신호를 발생하였고 한시 제어모델은 고장전류가 식(1)에 적용되어서 t = 0.22초의 지연시간을 가진 트립 신호를 발생시킨 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 제주-해남 HVDC 시스템 및 제주계통을 EMTDC로 모의하여 이를 실제계통에서 발생한 사고와 비교 검증하여 정확성을 입증하였고 HVDC 시스템의 AC Protection 동작원리를 적용하여 AC Protection에 쓰이는 계전모델을 EMTDC로 모의하여 계통에서 사고가 발생하였을 경우 고장요소에 의해서 계전모델이 정확히 동작하는지 비교, 분석하였다.

본 논문에서는 AC Protection의 계전모델 중에 Converter Transformer Protection에 사용되는 MCGG82만을 기술하였지만 기술하지 못한 다른 계전 모델들도 발생한 사고에 대해서 정확하게 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- (1) D. Wilhelm, "High-Voltage Direct Current Handbook", Electric Power Research Institute, pp. 27~39.
- (2) GEC/ALSTHOM, "HAENAM AND CHEJU HVDC Operation Maintenance & Instruction Manual", Vol 1, pp. 5.6, Vol 8 pp. 99
- (3) Dennis Woodford, "HVDC Modeling, Control and Interactions with the AC System" Electronix Corporation, pp. 4.9
- (4) GEC ALSTHOM, "300MW High Voltage Direct Current Link Between HAENAM AND CHEJU" September, 1994, pp. 235
- (5) T.Adilson, "Modelling of an HVDC System for Digital Simulation of AC/DC Transmission Interaction" Paper 100-02, CIGE Symposium on AC/DC Interaction and Comparisons, Boston, September 28-30, 1987