

제주-해남 HVDC 시스템의 Hybrid 시뮬레이터 개발과 동특성 연구

양병모*, 김찬기*, 정길조*, 김준모**, 서인영**
 한전 전력연구원*, 효성(주)**

Hybrid HVDC Simulator in Cheju-Haenam HVDC System and Its Dynamic Performance Study

Byeong-mo Yang*, Chan-ki Kim*, Gil-jo Jung*, Jun-mo Kim**, In-young Sea**
 KEPRI*, HOYSUNG**

ABSTRACT

이 논문은 제주 해남 HVDC 시스템 Hybrid 시뮬레이터 개발과 그 동특성 및 제어 특성을 실제 시스템과 비교 분석하였으며 HVDC 시뮬레이터 개발을 위한 구현 및 검증을 제시하였다. 향후 HVDC와 제주 AC 계통에 대한 계통연계 해석 및 HVDC 설비 문제점 해결을 위한 국내기술 확보와 운전자 교육 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다..

식이다. 부하추종특성이 신속하여 제주 전력계통 안정에 크게 기여하고 있다. 제주-해남 HVDC 시스템 구성은 그림 1과 같이 구성되어 있다.

제주-해남 HVDC 시스템의 기본 특성은 정상상태에서 제주측에서 인버터 동작을 하며 주 제어기로서 전류 제어기를 사용하고 보조 제어기로서 평균 V 제어기를 사용한다. 반면에 해남 측은 정상상태에서 렉티파이어 동작을 하고 주 제어기로서 전압 제어기를 사용하고 보조 제어기로서 전류제어기를 가진다.

1. 서 론^[1]

HVDC를 이용한 대용량 전력수송은 급속도로 발전하는 전력용 반도체소자 기술, 전력전자 기술 및 고속정밀 제어기술등을 전력계통에 접목함으로써 기존의 기계식 제어설비의 한계를 극복하고 능동적인 전력제어와 고품질의 전력공급을 가능하게 하는 첨단 전력제어기술이다. 특히 기존 송변전 설비의 이용률 향상을 통한 송전용량 증대와 고속의 연속적인 전력제어를 통한 계통 안정화를 위한 기술적 대안으로 인식되고 있으며 해저 케이블 송전, 대용량 장거리 송전, 주파수가 상이한 교류 계통간 연계, 대용량 신재생 에너지 계통 연계, 도시 밀집지역의 단락용량 경감을 위한 연계등 활용 분야가 넓은 차세대 전력전송기술로 향후 여러 분야에 확대 적용될 수 있는 복합기술이다.

제주-해남 HVDC 시스템은 육지의 값 싼 전력을 제주에 공급하기 위해서 GEC-Alstom사에 의해서 1997년 완공되었으며 1998년부터 상업운전을 시작하였다. 최대용량 300MW 그리고 정격 운전 용량 150MW의 전력전송 능력을 가진 시스템으로 케이블에 의해 연결되어 Pole당 DC 180kV의 운전 전압을 갖고 있으며 수전된 직류 전류를 교류로 변환하여 제주 계통에 공급('04년 제주 전체발전량의 41.4%)하는 직류송전(HVDC)방

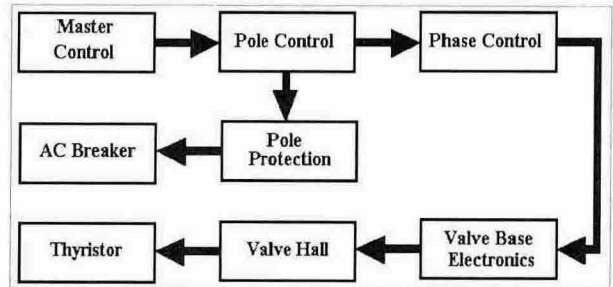


그림 1 제주 해남 HVDC 시스템 제어 구조
 Fig. 1 Cheju-Haenam HVDC system control diagram

제주-해남 HVDC 시스템의 사고는 제주 AC 계통에서 발생할 수 있는 사고로 인해 일어나기도 하고 DC 시스템 설비의 노후화 및 부식에 따른 자체 결함으로 인해 또는 운전자의 조작 실수로 언제든지 발생할 수 있다. 이러한 DC의 사고는 제주 계통의 전력수급에 막대한 차질을 초래하게 되므로 사고를 미연에 방지하는 노력이 절실하며 그렇지 못했을 경우에는 사고를 조기에 종결시켜서 시스템을 원상태로 빠르게 복구할 수 있는 방안을 수립해 놓아야 할 것이다. 시스템 자체의 부식 및 결함은 주기적인 유지보수를 통해 예방진단이 가능할 것으로 사료되나 AC 계통의 영향 및 운전자의 조작은 실제로 해보지 않고서는 그 파급효과를 짐작하기가 매

우 어렵다. 따라서 이러한 것들을 해보기 위해서는 실제의 시스템과 유사하게 꾸며진 시뮬레이터가 필수적으로 요구된다.

2. Hybrid HVDC 시뮬레이터 개발^[2]

Hybrid HVDC 시뮬레이터는 운전자 훈련용 및 연구용으로 활용 가능하도록 구성하였다. 제주-해남 AC, DC 전력계통 및 보조기기의 현장 계측장비를 포함한 각종 설비에 대한 감시, 제어 그리고 합리적인 운영관리에 적합함으로써 설계의 개념 및 시방의 내용을 만족하는 가장 최신의 시스템으로 구성하였다. 제어기와 운전반(Control Desk), 지능형 정보처리 시스템 그리고 고속의 데이터 처리로 구성되어 제주-해남 HVDC 시스템의 모의 운영을 총체적으로 담당하게 되는 하나의 시스템으로 구성하였다.

본 시스템에서 필요에 따라 시스템 개조 및 증설이 가능하도록 충분한 용량의 여유를 확보하였으며 확장성이 용이하도록 구성하였다.

제어기와 운전반은 감시 및 제어에 필요한 기능을 고속으로 제공하며 키보드 및 마우스에 의한 신속한 화면 전개와 원격 조작을 함으로서 복잡한 작업에 대하여서도 알기 쉬운 정보의 제공 및 확실한 조작을 가질 수 있도록 하였다.

본 시뮬레이터의 오퍼레이팅 시스템(O/S)은 표준 플랫폼을 사용하고 있으며, 하드웨어의 구조, 시스템 버스 및 통신 네트워크에 대하여 국제 표준 규격을 적용하여 개방화를 실현한 시스템으로 효율적인 운영이 가능하도록 하였다.

제주와 해남의 계통을 모델링한 RTDS와 실제 HVDC 제어 및 보호기의 연결은 아래 그림 2와 같이 구현하였다.

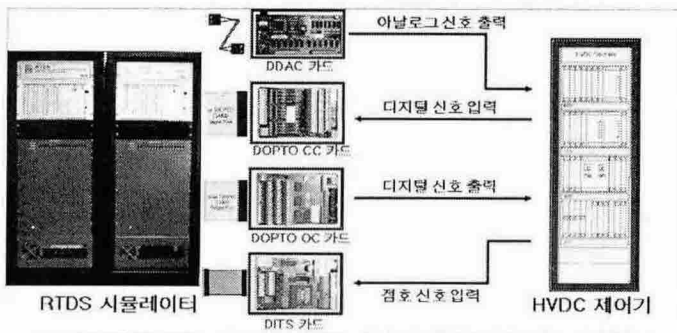


그림 2 Hybrid 시뮬레이터 제어기의 연계 장치 조감도
Fig. 2 Control Connection devices in Hybrid Simulator

그림 3은 Hybrid HVDC 시뮬레이터의 전체 구성도와 각 Subsystem간의 신호 흐름도를 보여주고 있으며 표 2는 그 신호에 대한 정의를 하고 있다.

표 2 Hybrid HVDC 시뮬레이터 Signal Flow 정의

	From	To	Signals
1	PCCS(H)	Analog(H)	Iorder, Vorder, Gamma disable
2	Analog(H)	RTDS(H)	Firing Pulses
3	Analog(J)	RTDS(J)	Firing Pulses
4	PCCS(J)	Analog(J)	Iorder, Vorder, Gamma disable
5	Master(J)	Master(H)	Remote Start/Shutdown (통신사용)
6	Analog(H)	PCCS(H)	계통 data
7	RTDS(H)	Analog(H)	계통 data
8	RTDS(J)	Analog(J)	계통 data
9	Analog(J)	PCCS(J)	계통 data
10	Master(H)	PCCS(H)	Block/Delock command
11	Master(J)	PCCS(J)	Block/Delock command, I/P/F 지령
12	PCCS(J)	Control Desk	계측값 표시
13	Control Desk	Master(J)	Start/Shutdown, Mode선택, 지령조정
14	Master(J)	Control Desk	Lamp 표시
15	Analog(J)	Monitoring	SER, DTR data (사고 data)
16	PCCS(J)	Monitoring	SER data(Alarm), MPM(통신)
17	Master(J)	Monitoring	SER data (Service State, Filter)
18	Master(H)	RTDS(H)	Filter control
19	PCCS(H)	RTDS(H)	Tapup/Tapdown
20	PCCS(J)	RTDS(J)	Tapup/Tapdown
21	Master(J)	RTDS(J)	Filter control

※ H : 해남, J : 제주

3. Hybrid HVDC 시뮬레이터 제어기 특성^[1]

3.1 디지털 제어기

디지털 제어기 부분으로 마스터 제어기와 PCCS(Pole Control Command System)를 디지털 소프트웨어(C language)로 구현하였다.

3.1.1 마스터 제어기(Master Control)

마스터 제어기는 컨버터 스테이션의 자동운전을 제공하는 최상위 레벨의 제어기으로써 운전명령은 운전반(Control Desk)에서 링크단 전압 및 전류를 제어하는 운전명령을 Pole 제어기 제공한다.

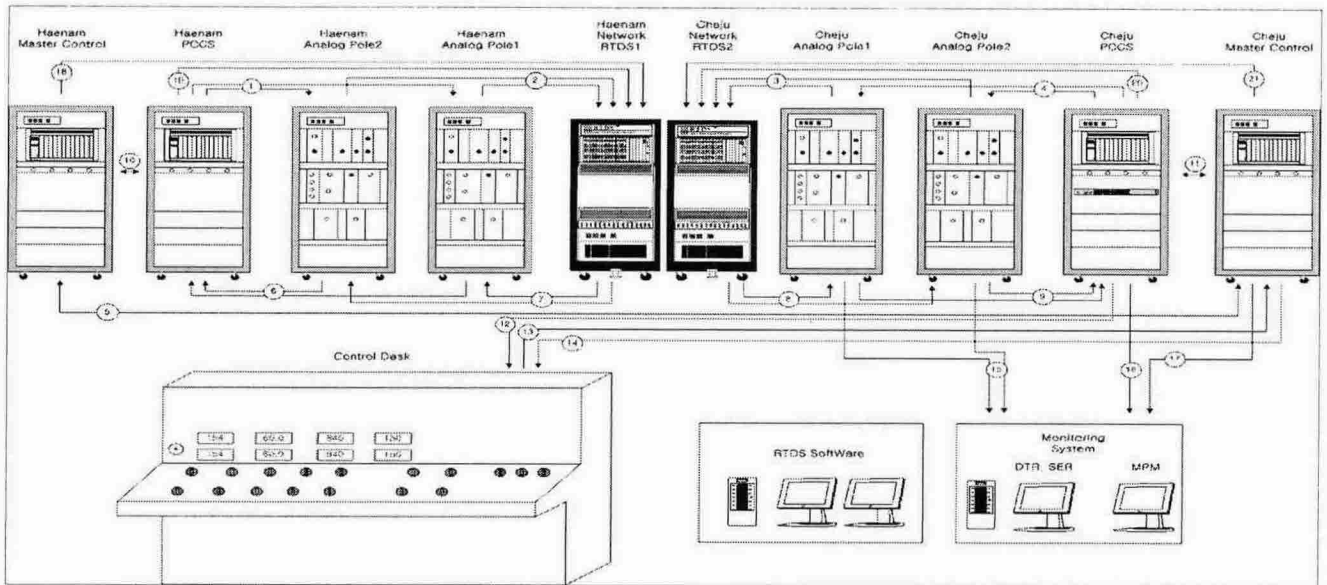


그림 3 Hybrid HVDC 시뮬레이터 신호 흐름도
Fig. 3 Signal Flow in Hybrid HVDC Simulator

제어모드로는 기본적인 제어기능인 전류제어, 주파수제어와 이러한 기본적인 제어모드의 자동 startup/shutdown 운전 및 전력 제어 운전이 가능한 자동모드로 되어있다.

3.1.2 폴 제어기(Pole Control)

PCCS(Pole Control Command System), Phase Control, Fire Control의 3개의 기본적인 제어기능을 수행하는 Pole Control 블록과 컨버터의 Protection 블록으로 그림 4와 같이 구성되어 있다.

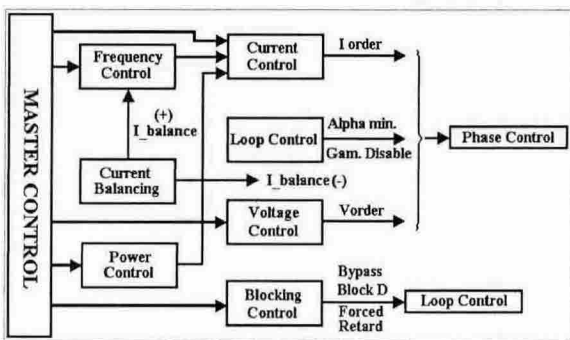


그림 4 HVDC 시스템의 Pole 제어
Fig. 4 HVDC Pole Control

PCCS는 마스터 제어기와 Phase 제어기간의 인터페이스와 주파수 제어를 비롯한 기타 보조기능을 수행하고 있다.

3.1.3 삼 제어기(Phase Control)

주 기능은 마스터 제어기와 PCCS를 통하여 생성되는 전압/전류지령에 따라 변환기 밸브의 점호

각을 생성한다. 이것은 삼 제어기의 핵심인 Phase Locked Oscillator를 이용하여 이루어지며 블록도는 그림 5와 같다.

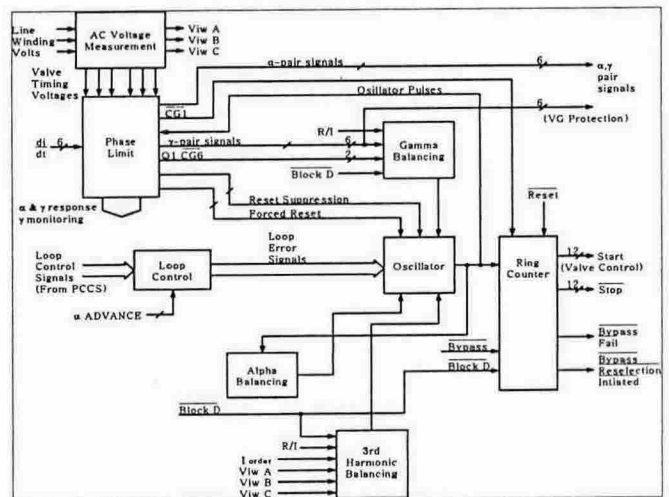


그림 5 HVDC 시스템의 Phase 제어
Fig. 5 Block Diagram of Phase Control in HVDC System

4. Hybrid HVDC 시뮬레이터 분석^[3,4]

4.1 Hybrid HVDC 시뮬레이션 조건

해남 AC 계통은 강한 계통이기 때문에 그림 6에서와 같이 데브난 등가회로로 표현하였다. 그리고 정확한 실시간 전력계통 구현을 위하여 제주 AC 계통은 2003년 실제 침두부하 데이터를 근거로 PSS/E 프로그램과 RTDS를 비교 검증한 구현하였다.

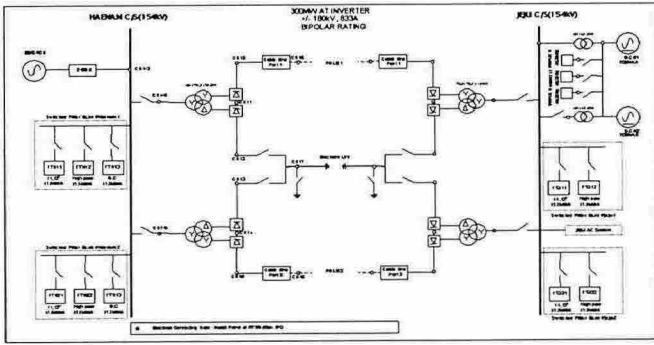


그림 6 Hybrid HVDC 시뮬레이터 계통 단선도
Fig. 6 One-Line Diagram of Hybrid HVDC Simulator

Hybrid HVDC 시뮬레이터의 V-I 특성곡선은 그림 8과 같이 제주-해남 HVDC 시스템과 똑 같이 구현하였다.

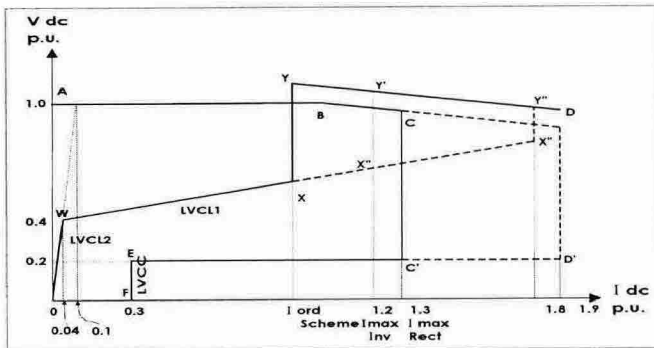


그림 7 Hybrid HVDC 시뮬레이터 V-I 특성 곡선
Fig. 7 Hybrid HVDC Simulator Characteristic Curve

3.2 Hybrid HVDC 시뮬레이터 시뮬레이션 결과

2003년 제주 부하의 실제 데이터(총 부하 414.7 MW, HVDC 149.3MW 전력공급)를 근거로 작성된 시뮬레이터의 동적 특성을 확인하고자 제주 부하 탈락과 3상 단락사고를 모의하였다.

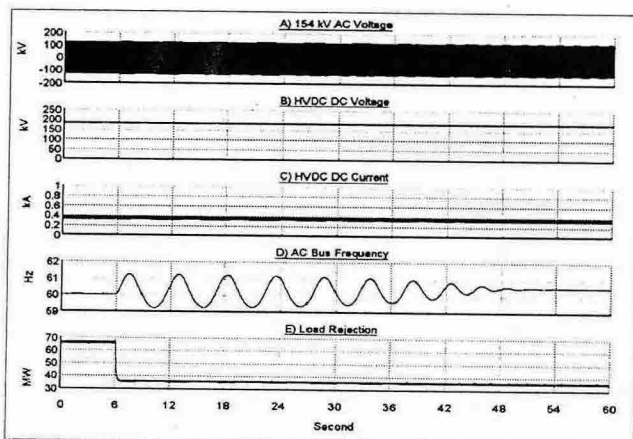


그림 8 제주 부하 (45 MW) 탈락 시험
Fig. 8 Load Rejection in Jeju AC system

그림 8과 같이 부하 탈락시 실제 계통과 유사하게 제주 계통의 주파수 제어를 담당하고 있는 HVDC 시스템이 신속하게 부하를 추종하여 제주 주파수를 안정화시키는 사실을 확인할 수 있었다.

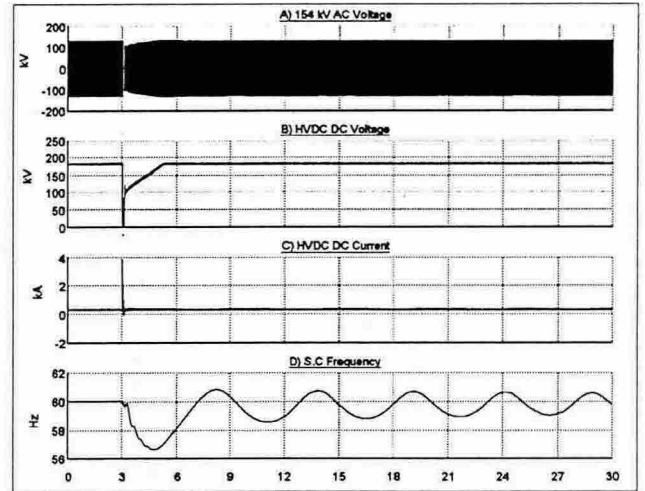


그림 9 제주 AC 계통 근거리 3상 단락 사고
Fig. 9 Three Phase Fault in Jeju AC system

Hybrid HVDC 시뮬레이터의 제어기 동적 특성을 확인하고자 제주(인버터단) 근단에 100ms 동안 3상 단락사고시 HVDC 제어기 동특성을 모의하였다. 그림 9에서 보듯이 실제 시스템의 특성과 똑같이 시스템이 회복되는 현상을 볼 수 있었다.

5. 결론

본 Hybrid HVDC 시뮬레이터 개발을 통하여 제주-해남 HVDC 시스템 운전자의 교육 및 고장 분석을 할 수 있을 것으로 생각되며, 이를 통한 제주-해남 HVDC 시스템의 안정화와 제주 전력계통의 사고예방에 크게 기여할 것으로 여겨진다. 그리고 국내 HVDC 기술과 현재 운영되고 있는 제주-해남 HVDC 시스템의 성능개선과 유지보수 기술을 한 층 더 향상시키는 역할을 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] Cheju-Haenam HVDC Manual, GEC Alstom, 1993
- [2] RTDS Manual, RTI, 2003
- [3] P. Kundur, Power system stability and control, Mcgraw-Hill, 1996
- [4] High-Voltage Direct Current Handbook, EPRI TR-104166S, 1994