

# 제주-해남 HVDC 시스템의 주파수 검출방식 변경에 관한 연구

박종광, 김찬기, 양병모  
한전전력연구원

## A Study on the Modification of Frequency Detection Methode for Cheju-Heanam HVDC System

Jong-Kwang Park, Chan-Ki Kim, Byoung-Mo Yang  
KEPRI

### ABSTRACT

In this paper deals with the frequency control of the HVDC scheme linking Haenam to Cheju Island. The primary aim of the study is to develop and evaluate a new frequency control that can be employed without having to utilize the existing Synchronous Compensators(Gas Turbines). Study cases are completed involving synchronous compensators trip and load tripping events and study plots presented. It is demonstrated that the existing frequency measurement can be replaced by one derived from the AC network alone, incorporated into a new frequency control algorithm and gives good frequency control and dynamic performance.

### 1. 서론

제주-해남간 HVDC 시스템은 전류형 HVDC 시스템으로 사이리스터를 이용하여 전력변환에 사용하고 있으므로 변환 시 요구되는 무효전력공급을 위해 동기조상기와 필터를 적절히 조합하여 사용하고 있다. 하지만 HVDC 시스템의 제주 인버터에 설치되어 운전되고 있는 동기조상기는 무효전력 공급과 주파수 운전신호를 담당하고 있기 때문에 동기조상기 유지보수 시 주파수 제어가 불가능하며, 사용기한 경과에 따른 설비노후화로 인한 고장에 노출되어 있어 대체 검토가 요구되고 있다. 또한 제주계통 부하의 급격한 증가로 동기조상기의 발전기운전이 검토하고 있으므로 보다 안정적인 주파수원을 위하여 주파수 검출을 동기조상기에서 154kV 모선으로 변경할 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 HVDC 시스템의 안정적 주파수제어를 위해 사용되고 있는 동기조상기의 기계적

신호를 제주화력 154kV 모선으로부터 전압을 입력받아 PLL( Phase Loop Locked)변환을 통해 주파수원을 취득하고, 제주도 전체의 계통주파수를 제주-해남 HVDC 시스템의 주파수 신호원으로 대체 공급하여 제주도 전력계통을 안정적으로 유지하는데 있다.

### 2. 현재의 제주-해남 HVDC 시스템의 주파수 제어 시스템

HVDC 변환설비는 주파수운전을 위한 주파수신호를 동기조상기의 PMG (Permanent Magnet Generator) 에서 받고 있어 과도상황 발생시 필요 전력에 대해 즉각적인 응답을 할 수 없기 때문에 운영에 있어 제한이 되고 있다. 동기조상기 주파수 신호는 유동의 파형이 8배인 AC 시스템 주파수를 생산하는 트랜스듀서를 장착한 축으로부터 공칭으로 480Hz가 검출되며, 480Hz ±10%의 범위 안에서의 주파수 60Hz에서 동기 조상기 주파수를 결정한다.

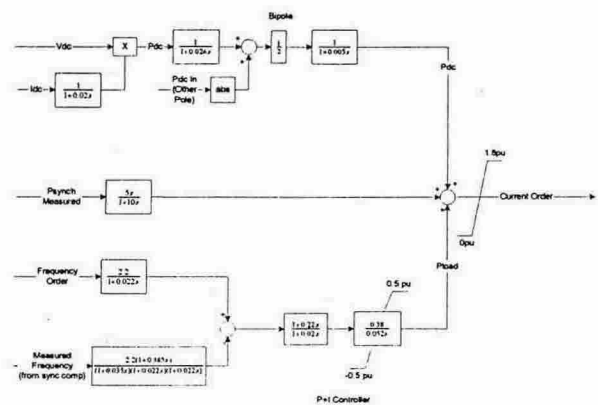


그림 1 현재의 HVDC 시스템 주파수 제어 블록도  
Fig. 1 Existing HVDC System Frequency Control Block Diagram

그림 1은 간략화 시킨 HVDC 주파수 제어의 전달 함수 블록도이다. 그림에서 주파수 제어에 의한 전류 지령치는 동기 조상기(제주 화력 발전소의 Gas-Turbine Generator #1,2)에서 검출된 speed(pu) 신호와 주파수 지령치의 합을 PID제어된 값과 HVDC 시스템의 전력(Pdc), 동기조상기의 전력(Psync)의 합을 사용하여 HVDC 주파수 제어가 수행된다.

제주-해남 HVDC 시스템의 주파수 운전을 위해 동기조상기의 운전을 필수적으로 동반하고 있기 때문에 동기조상기의 운전을 위해 전력소비를 하고 있으며 설비의 노후화로 인한 동기조상기는 부품이나 절연문제 등 많은 면에서 주기적이고 철저한 점검을 필요로 한다. 따라서 점검시마다 HVDC 운전이 제한되어 추가경비를 지출하고 있다. 또한 HVDC 시스템의 운전모드 절체(Frequency Mode에서 Power Mode)에 따른 다른 발전기와 상호연결에 따른 문제를 유발하고 있다.

### 3. PLL을 적용한 새로운 HVDC 주파수 제어기 모델링

초기 HVDC 시스템이 설치될 당시의 제주계통은 부하대비 발전력의 부족으로 약한계통으로 작은 외란에 의한 계통변화에도 154kV 모선전압변동의 외란이 문제시 되었다. 하지만 현재의 제주계통은 부하대비발전량이 증가하여 강인한 계통이 되었다.

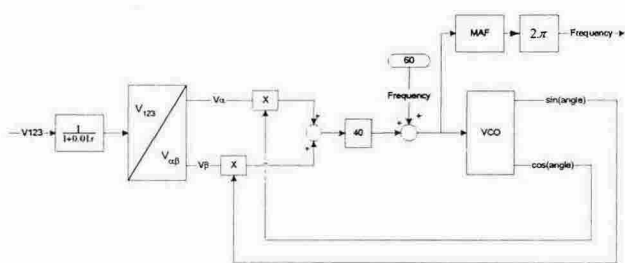


그림 2 PLL을 이용한 주파수 검출 방법  
Fig. 2 Frequency Detection Method in use PLL

그림 2는 154kV 모선으로부터 주파수 신호를 검출하는 제어도 흐름을 나타내고 있다. 여기서 사용된 PLL (phase locked loop) 제어기는 계통과 동기화된 위상을 만들어내는 역할을 담당하고 있다. 154kV 모선으로부터 검출된 계통의 3상 정보를 모두 이용하여 위상차를 검출하는 방식을 사용한다.

그림 3은 새로운 HVDC 주파수 제어의 전달함수 블록도를 나타내고 있다. 그림에서 측정주파수(Measured Frequency from PLL) 신호는 그림 2로부터 검출되는 주파수로 154kV 모선으로부터 입력된 PLL신호를 MAF

(Moving Average Filter)를 이용하여 평활시키고 이것을 PU로 변환되어 입력되는 신호이다.(제주 화력 발전소의 154kV 모선) 이렇게 입력된 신호는 PID 제어를 통해 HVDC 전류지령치를 생성시키게 된다.

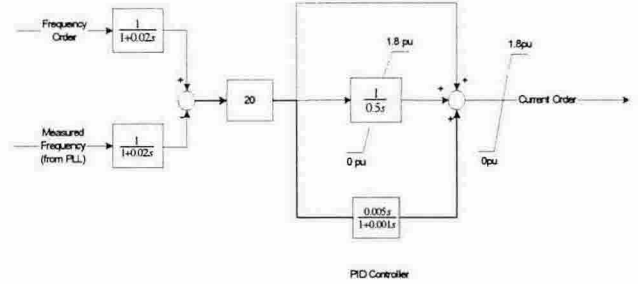


그림 3 새로운 주파수 제어기  
Fig. 3 New Frequency Controller

그림 4는 HVDC 연계 시스템으로서 조류흐름은 육지 정류단(해남C/S)에서 인버터단(제주C/S)으로 최대정격 300MW 전력을 공급하고 있다. 여기서 육지계통은 등가 전원으로 구현하였으며 제주전원은 운전중인 발전기와 부하를 실제와 동일하게 구성하였다.

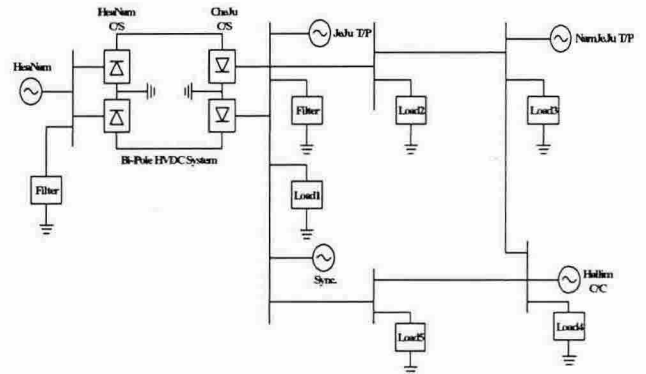


그림 4 제주-해남 HVDC 연계 시스템  
Fig. 4 Cheju-Haenam HVDC linked system

### 4. 모의실험결과

그림 4의 제주-해남 HVDC 시스템 모델링을 이용하여 주파수 검출위치 변경에 대한 검토를 시행하였다. 먼저 HVDC 시스템의 주파수 제어기 효과를 파악하기 위하여, 제주화력 발전소 154kV 모선에 외란(3상 단락)이 발생했을 때의 HVDC 시스템의 과도 안정도를 분석하였다. 그림 5는 현재 운전중인 제주-해남 HVDC 시스템에서의 주파수 제어기의 과도상태시 응답을 구현한 결과 파형이다. (a)제주-해남 HVDC 시스템 주파수, (b) 제주화력의 모선전압 변동, (c) HVDC 시스템의 유효전력 수전량, (d) HVDC 시스템의 무효전력 수전량을 나타내고 있다. 현재의 동기조상기의 기계적 신호 검출에

의한 주파수 제어시 154kV 순간전압 최대 1.2pu로, 전압 변동이 지속됨을 알 수 있었다. 또한 HVDC 시스템의 유효/무효전력 수전량의 변화가 불안정하게 나타남을 알 수 있었다.

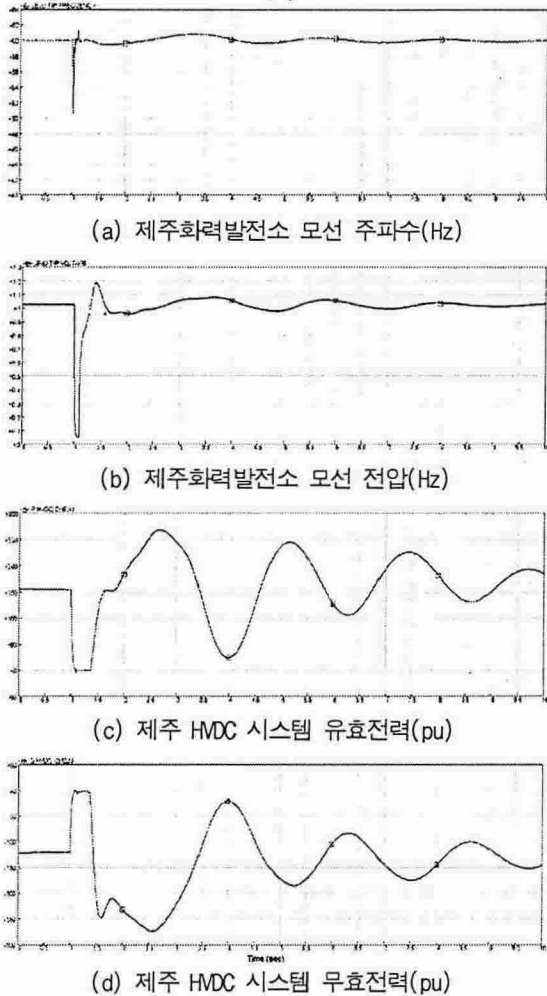


그림 5 현재 HVDC 주파수 제어기 과도 응답  
Fig. 5 Transient responses with HVDC frequency control

그림 6은 HVDC 주파수 제어 신호원을 모선을 통해 운전 했을 때의 제주 지역의 과도현상을 나타내는 파형이다. 현재의 동기조상기로부터 입력되는 HVDC 주파수 제어기에 비교하여 보면 사고 시 순간 과전압이 감소되는 것과 HVDC 유효, 무효전력의 수전 파형에 동요 현상이 많이 감소되었음을 알 수 있다.

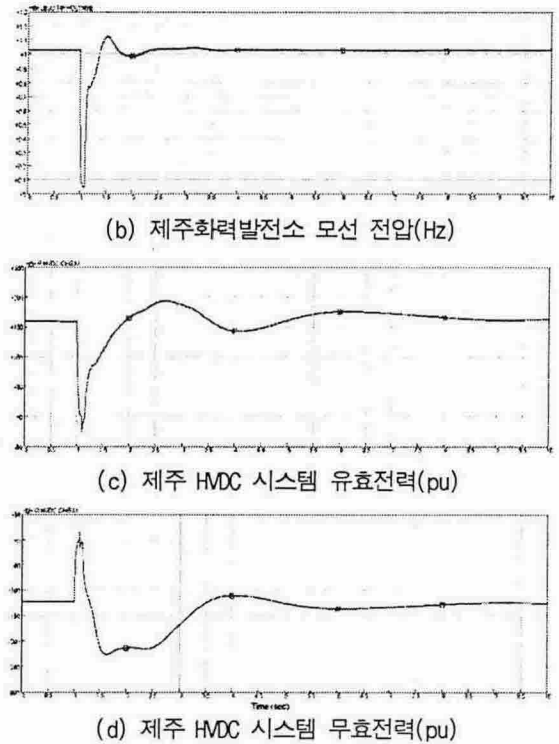
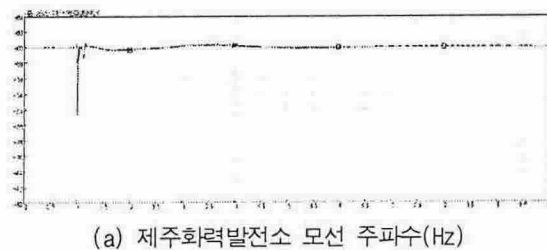


그림 6 새로운 HVDC 주파수 제어기 과도 응답  
Fig. 6 Transient responses with HVDC frequency control

## 5. 결 론

본 논문에서는 제주-해남 HVDC 시스템의 주파수 제어 신호원을 동기조상기의 기계적 신호에서 PLL을 이용한 154kV 모선으로 변경하여 3상 단락사고 시 제주-해남 HVDC 시스템의 주파수 제어성능이 향상됨을 검토하였다. 따라서 PLL을 이용한 154kV 모선전압으로부터 수신되는 주파수 제어방법이 HVDC 시스템의 동요현상을 개선 할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] Wood, A.R.; Arrillaga, J.; , The frequency dependent impedance of an HVDC converter , Power Delivery, IEEE Transactions on , Volume 10, Issue 3, July 1995 Page(s):1635 - 1641.
- [2] Taylor, C.W.; Lefebvre, S.; , HVDC controls for system dynamic performance , Power Systems, IEEE Transactions on , Volume 6, Issue 2, May 1991 Page(s):743 - 752.
- [3] Caldecott, R.; Liu, Y.; Sebo, S.A.; Kasten, D.G.; Wright, S.E.; , Measurement of the frequency dependent impedance of major station equipment , Power Delivery, IEEE Transactions on , Volume 5, Issue 1, Jan. 1990 Page(s):474 - 480.