

## 실시간 디지털 시뮬레이터(Hypersim)을 이용한 이차적 전압제어 제어기 구현

김봉식\*, 서상수\*, 이병준\*, 송인준\*\*, 신정훈\*\*, 김태균\*\*  
고려대학교\*, 한전 전력연구원\*\*

### The realization of secondary voltage controller using real-time digital simulator(Hypersim)

\*Bong-sik Kim, \*Sangsoo Seo, \*Byongjun Lee, \*\*Injun Song, \*\*Jeonghoon Shin, \*\*Tae-Kyun Kim  
\*Korea University, \*\*KEPRI

**Abstract** - In power system, the reactive power is closely associated with voltage. In addition Reactive power has localized characteristic. Recently wide area blackout caused by reactive power imbalance. Therefore it is important to control reactive power considering its characteristic. Until now maintenance of system voltage has been controlled by shunt compensation rather than generators. However because of a large time-constant, shunt compensators are difficult to manage disturbances immediately. In addition shunt compensation has discrete characteristic, which make disturbances in system. In this paper we studied the voltage maintenance method of local buses by controlling the reactive power output of a generator which is closely related a load bus in addition the proposed method was verified by test system.

## 1. 서 론

우리나라에서는 경제발전과 더불어 산업시설의 증가, 각종 설비의 자동화, 전자제품의 보급 증가 그리고 24시간 지속적으로 전력을 소모하는 시설의 증가로 인해 전력의 수요가 급격하게 증가하였다. 그러나 각종 규제와 시민들의 반발로 인해 송전망과 발전단지의 확충은 갈수록 어려워지고 있는 실정이다. 이러한 이유로 기존의 발전단지는 대규모화되고 대용량의 전력을 장거리 송전망을 이용해 전달하고 있다. 이런 상황 속에서 우리나라 계통은 지속적인 부하 증가로 인해 계통이 안정도 한계 근처에서 운용되고 있다. 그리고 부하의 증가와 송전선의 장거리화 등으로 인해 무효전력 손실이 증가하여 전압안정도의 측면에서 대형 정전사고의 위험이 점점 증가하고 있어 이에 대한 대비가 필요하다. 유럽의 선진국들은 우리보다 앞서 이런 문제를 겪었고 그에 대처하기 위해 2차적 전압제어라는 개념을 도입해 자국의 계통에 활용하고 있다. 2차적 전압 제어물[1] 사용하는 나라로는 프랑스, 이탈리아, 벨기에의 예를 들 수가 있다. 이들 모두 2차적 전압 제어를 통해 전력품질의 개선, 무효 예비력 확보, 전력계통 안정성 향상, 계통의 유효전력 수송 능력을 증대 시키려고 하고 있다. 이런 2차적 전압 제어 방법중 프랑스의 EdF의 시스템과 이탈리아 CESI의 SVR (Secondary Voltage Regulation)이[2] 대표적인데 우리는 이탈리아 CESI의 SVR을 실시간 시뮬레이터인 Hypersim을[3] 이용하여 구현하고 시험계통에 적용, 그 효과를 알아보고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 계층적 전압제어

계층적 전압제어는[4] 계통의 무효전력 특성을 고려하

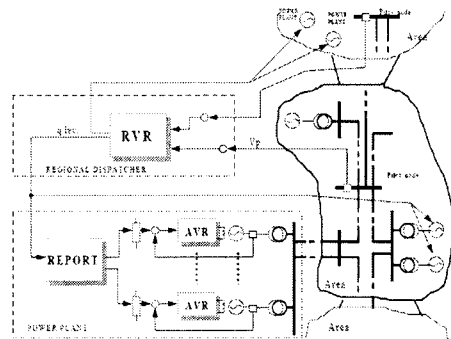
여 지역별로 구분을 하고 이를 기반으로 전압제어를 수행하는 것이다. 계층적 전압제어는 다음과 같이 3가지로 분류가 된다.

- Primary Voltage Control(PVR) - AVR(Automatic Voltage Regulator) 기반의 발전기 단자 전압 제어로서 수초의 동작 시간을 가진다.
- Secondary Voltage Control(SVR) - 지역의 대표 모선의 전압을 지역의 허용 가능한 무효전력을 이용하여 유지하도록 제어하는 것으로써 수십 ~ 수백초의 동작 시간을 가진다.
- Tertiary Voltage Control(TVR) - 계통 전압 특성과 SVR에서의 전압 설정 값이 최적의 운전조건을 가질 수 있도록 제어하는 것으로 수십 분의 동작 시간을 가진다.

### 2.1.1 2차적 전압 제어

2차적 전압 제어를 위해서는 각 지역을 대표하는 대표 모선(Pilot bus)을 정해야 한다. 이 대표 모선을 선정하기 위해서는 전기적 거리를 이용하거나 VSSA (Voltage Stability Security Assessment)를[5] 이용하는 방법이 사용된다. 이런 방법으로 대표 모선이 정해지면 대표 모선의 전압제어를 위해 제어기가 사용되게 되는데 이러한 역할을 하는 것이 이탈리아 SVR의 REPORT(REactive POwer RegulaTor)와 RVR(Regional Voltage Regulator)이다.

### 2.1.2 이탈리아의 SVR



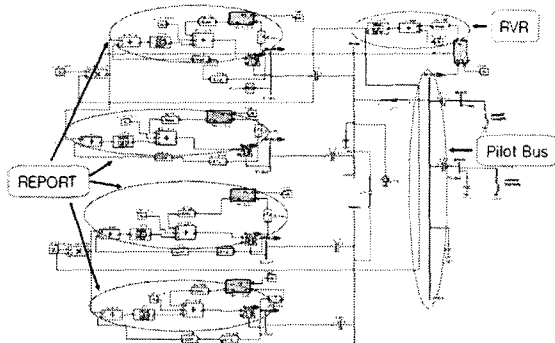
<그림 1> 이탈리아 SVR의 구조

이탈리아의 SVR은 그림 1과 같은 구조로 되어 있다. 여기서 REPORT는 무효전력 제어 모드와 EHV(Extra High Voltage) 발전단 버스의 전압을 제어하는 모드 두 가지로 사용된다. 무효전력 제어 모드에서 REPORT는 RVR의 제어 신호에 따라 발전기의 무효전력 출력을 조절한다. 그리고 EHV 발전단 버스의 전압을 제어하는 모

드에서는 발전기는 RVR에 의해 제어되지 않고 REPORT가 EHV 발전단 버스 전압 조절한다. 이 두 가지 모드에서 발전기로부터 생산되는 무효전력은 RVR을 포함하는 페루프를 통해 REPORT에 의해 제어된다. 각 발전기의 무효전력 제어 루프의 설정값은 발전기의 무효전력 한계치를 곱한 무효전력 레벨 신호에 의해 주어진다. 발전과 소비의 무효전력 한계 값은 운영되는 유효전력과 전압의 실제 값으로 이뤄진 함수를 통해 실시간으로 계산된다. RVR은 지역 부하 급전 제어실에 설치되고 LAN(Local Area Network)을 통해 지역의 EMS(Energy Management System)와 연결된 워크스테이션으로 구성된다. RVR의 모든 제어함수는 워크스테이션 안에 설치되어있고 Local EMS를 통해 펄드와 데이터를 교환한다. 그리고 RVR은 PNVR(Pilot Node Voltage Regulator)을 제어하려는 지역의 각 대표 노드에 설치하고 PNVR은 실시간으로 대표 노드의 전압 설정 값을 기준으로 지역의 무효전력 레벨 값을 정의하고 업데이트한다. 여기서 얻은 값을 가지고 RVR은 대표 모선의 전압을 유지하기 위하여 설정된 값과 측정된 값의 차이를 REPORT에 보내 발전기의 출력을 조정하도록 한다. RVR에서 신호를 받은 REPORT는 발전 모선의 고압 측 전압 제어를 통하여 발전기 출력을 조정하는 것이다. 그림에서처럼 REPORT는 RVR의 신호를 받아 발전기의 AVR을 컨트롤 하여 무효전력의 출력을 조절하게 한다.

## 2.2 Hypersim에서의 구현

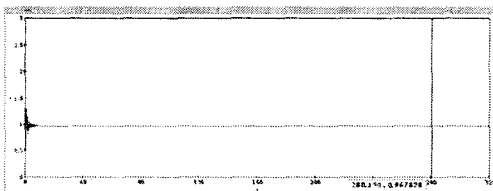
이탈리아의 SVR을 Hypersim에서 구현하기 위해 4기 11모선을 구성하고 그림 2와 같이 각 발전단과 대표 모선에 REPORT와 RVR을 적용하였다. REPORT와 RVR의 내부 제어신호 처리는 주어진 수식물[6] Hypersim내의 컨트롤 블록을 이용하여 구성하였다.



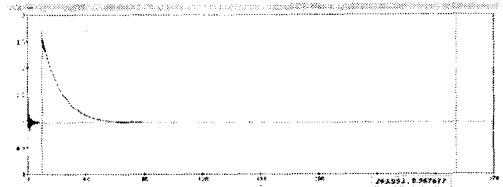
<그림 2> 4기 11모선 모의 계통도

그림 2와 같은 4기 11모선 계통을 이용하여 아래와 같이 다른 경우에 대해 시뮬레이션을 해보았다.

### 1) SVR을 적용하지 않은 경우



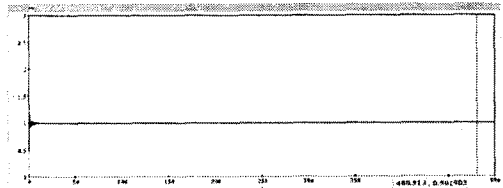
<그림 3> SVR 미적용(정상상태, 0.96pu)



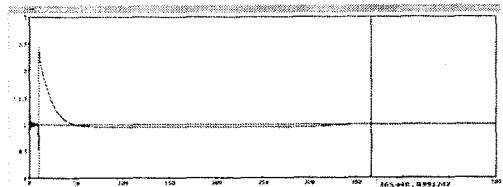
<그림 4> SVR 미적용(사고 시, 0.96pu)

시뮬레이션에서 사고는 2, 3, 4 번 발전기와 대표 모선과의 연결을 0.3초 동안 탈락시킨 후 다시 연결하도록 하였다. 사고 전 및 사고 후의 대표모선(BUS07)의 전압은 0.96pu로 기준 전압 1pu보다 낮게 나타남을 알 수 있다.

### 2) SVR을 발전기 1기에만 적용한 경우



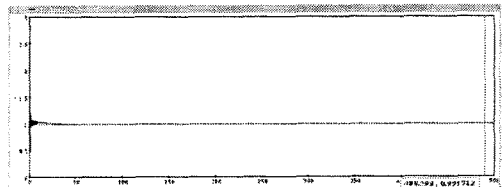
<그림 5> 정상상태, 대표모선 전압 0.99pu



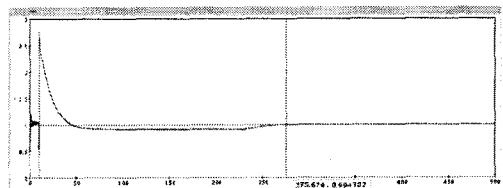
<그림 6> 사고 시, 전압 0.99pu로 회복(약 365초)

그림 5, 6은 발전기 1기에만 SVR을 적용하고 정상 상태와 사고 시의 경우를 나타낸 것이다. 사고는 그림 2, 3에서와 같다. 1기 발전기에 SVR을 설치한 경우 SVR이 없던 때 대표모선 전압이 0.96pu인데 비해 0.99pu로 상승한 것을 볼 수 있다. 그리고 사고가 난 경우 SVR에 의해 약 365초 정도에서 대표 모선의 전압 회복되는 것을 알 수 있다.

### 3) SVR을 발전기 2기에만 적용한 경우



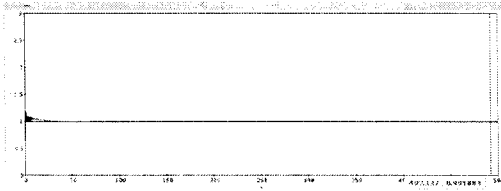
<그림 7> 정상상태, 대표모선 전압 0.99pu



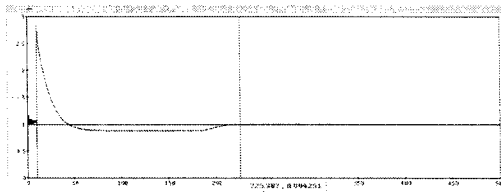
<그림 8> 사고 시, 전압 0.99pu로 회복(약 275초)

그림 7, 8은 발전기 2기에 SVR을 적용한 경우로써 이 경우 역시 정상상태의 대표 모선의 전압이 0.99pu로 상승했음을 알 수 있고 사고 시 SVR이 발전기 1기에만 적용된 것에 비해 2기에 적용하게 되면 대표 모선의 전압 회복되는 시간이 약 365초에서 약 275초로 더 좋아지는 모습을 보여주고 있다.

#### 4) SVR을 발전기 4기에 모두 적용한 경우



<그림 9> 정상상태, 대표모선 전압 0.99pu



<그림 10> 사고 시, 전압 0.99pu로 회복(약 225초)

그림 9, 10은 발전기 4기에 SVR이 적용된 경우로 정상상태에서 대표 모선의 전압은 0.99pu이고 사고 시 대표 모선의 전압이 회복되는 시간이 225초로 발전기 1, 2기에만 SVR을 적용한 경우 보다 전압의 회복속도가 더 빨라지는 모습을 보이고 있다.

#### 2.2.1 Hypersim 시뮬레이션 결과 분석

4기 11모선 계통의 시뮬레이션 결과를 보면 SVR이 적용되지 않은 경우 대표 모선의 전압이 0.96pu로 기준 전압인 1pu에 비해 많이 낮은 수준임을 알 수 있다. 이는 발전기 단자전압 제어만으로는 부하모선 전압을 효과적으로 제어하기가 어렵다는 것을 의미한다. 그리고 각 발전기에 대해 각각 SVR을 1기, 2기, 4기에 적용한 경우를 보면 사고 전이나 사고 후나 대표모선의 전압이 0.99pu로 SVR 적용 전과는 달리 대표 부하모선의 전압을 기준 전압인 1pu로 효과적인 제어가 가능함을 알 수 있다. 또한 SVR의 적용을 받은 발전기 참여 개수가 증가함에 따라 사고 후 전압의 회복 속도가 빨라지는 것을 확인할 수가 있다. 즉, SVR을 발전기 1기에 적용한 경우 대표 부하모선의 전압이 회복되는 시간은 약 365초, 발전기 2기에 적용한 경우 약 275초, 발전기 4기에 적용한 경우 225초로 단축되어 가고 있다. 이는 SVR을 적용하여 부하모선의 전압을 제어하는 경우 부하모선에 관련된 발전기의 참여 수가 증가함에 따라 제어 효과도 좋아짐을 의미한다. 그러므로 실제 계통에 적용시 대표 모선 제어를 위한 참여 발전기 선정시 더 작은 발전기의 참여로 제어 효과를 극대화 할 수 있는 방안을 모색하는 것이 중요하다고 볼 수 있다. 즉, 발전기 참여가 많아질수록 그 효과가 좋아지는 것은 자명하나 현실적으로 보았을 때, 경제적 부담이 증가하는 것이 사실이며 따라서 경제성을 고려한 발전기의 참여가 필요함을 알 수 있다.

### 3. 결 론

우리나라 계통은 발전단과 부하 중심지가 떨어져 있어서 장거리 송전망을 이용해 부하 중심지에 전력을 공급해야 한다. 이는 수도권 지역의 무효전력 수급 불균형

을 야기 하고 있으며, 이런 상황에서 무효전력의 수급 불균형으로 인한 전압의 불안정을 막기 위해서는 2차적 전압 제어가 필요하다. 이런 2차적 전압 제어를 위해서는 우선 우리나라 계통을 각 전압제어지역으로 나누고 각 제어 지역별 대표모선의 선정 작업이 이루어져야 한다.

이는 선행 연구를 통해 일정 부분 수행되고 있다. 그리고 각 지역의 대표 모선이 정해지면 그 대표 모선과 관련된 발전기에 대해 무효 전력을 제어하는 시스템이 구성되어야 한다. 이러한 구성의 대표적 예로 본 논문에서는 이탈리아의 SVR을 선택하여 시험 계통에 적용하여 보았다. 시험 계통은 실시간 시뮬레이터인 Hypersim을 기반으로 하는 것으로 시뮬레이터에서 제공하는 제어 모델들을 이용하여 모의하였다. 그 결과 대표 모선의 전압이 SVR을 적용하지 않았을 때 0.96pu에서 적용 후 0.99pu로 상당히 좋아지는 것을 볼 수가 있다. 그리고 사고 시 대표 모선의 전압의 회복 속도가 SVR이 적용된 발전기 많을수록 더 빨라지는 사실을 발견 할 수 있었다. 이는 SVR이 설치되면 대표모선과 발전기 사이의 효과적인 신호전달로 인해 무효전력의 출력을 매우 빠른 시간에 조절하게 되어 전압의 안정도 측면에서 큰 효과가 있는 것을 의미한다. 그리고 항상 실시간으로 대표모선과 발전단이 감시되고 있으므로 갑작스런 사고나 전압의 변동이 발생하더라도 전압의 유지가 용이하여 계통 안정도 향상에 큰 역할을 할 수 있다고 볼 수 있다. 또한 SVR이 적용된 발전기의 수가 증가할수록 사고 후 대표모선의 전압 회복 시간이 짧아지는 것으로 보아 SVR을 큰 계통에 많이 적용하면 이웃한 모선들의 영향으로 인한 전압 강하나 사고의 전파에 효과적으로 대처할 수 있을 것으로 생각된다.

그러나 앞에서 언급하였듯이 설치 개소의 증가는 경제적 비용의 증가를 의미하므로 이를 적절히 조절하여 제어 효과를 극대화 할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다. 비록 본 논문에서는 시험 계통에 적용하여 얻은 결과로서 실제 계통의 상황과 많은 차이를 보일 수 있으나 모의 결과를 토대로 본다면 실제 계통에 적용하여도 전압 안정도 측면에서 상당한 효과를 나타낼 수 있을 것으로 생각된다. 이에 향후 연구에서는 본 제어 모델을 수정 발전시켜 제주 실제 계통에 적용하여 볼 것이다.

감사의 글 : 본 연구는 전력기술개발 기반기금의 연구 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Lagonotte, Patrick, "Structural analysis of the electrical system: application to secondary voltage control in France", IEEE Transactions on Power Systems, v 4, n 2, p 479-486, May, 1989
- [2] Corsi, S., "The secondary voltage regulation in Italy", Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, Page(s):296 - 304, 16-20 July 2000
- [3] Larose, C., "A fully digital real-time power system simulator based on PC-cluster" Mathematics and Computers in Simulation, p 151-159, Nov 17, 2003
- [4] Corsi, S., "Coordination between the reactive power scheduling function and the hierarchical voltage control of the EHV ENEL system", IEEE Transactions on Power Systems, v 10, n 2, p 686-694, May, 1995
- [5] Schlueter, R.A. "Voltage stability security assessment method" Source: IEEE, p 1423-1438, Nov, 1998,
- [6] Canizares, Claudio A, "Comparing secondary voltage regulation and shunt compensation for improving voltage stability and transfer capability in the Italian power system", Electric Power Systems Research, v 73, n 1, p 67-76, January, 2005