

# PSCAD/EMTDC를 이용한 DVR의 전압보상 효과분석

(Analysis on Voltage Compensating Effect of DVR using PSCAD/EMTDC)

박상호\* · 최영도 · 박영신\*\*

(Sang-Ho Park · Young-Do Choy · Young-Shin Park)

## Abstract

There are many researches on Power Quality Device to protect the critical load and power system as the nonlinear load and precision load are adopted into the power system recently. To analyze the voltage compensation of voltage sag and voltage swell by DVR, which is connected to the important load in series, this paper shows PSCAD/EMTDC simulation and its verification by comparing with the actual DVR output of 2MVA. DVR control scheme in this paper is applicable to compensate single-phase, 2-phases or 3-phases voltage sag as well as DVR for distribution system.

Key Words : DVR(Dynamic Voltage Restorer), Voltage Sag/Swell, SSFG(Sag Swell Flicker Generator)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

현대의 전력공급은 정보·통신·제어기기의 급격한 보급으로 고품질의 전력공급이 요구되고 있다. 특히 낙뢰, 대규모 분산전원 계통 연계등으로 발생하는 순간전압강하는 인버터, 마이크로 프로세서와 같은 정밀 기기에 민감하게 작용하기 때문에 중요부하 및 계통을 보호하기 위한 전력전자 기술을 바탕으로한 전력품질 보상기기 개발에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다[1-2].

대표적인 기기는 병렬형 전력품질 보상기기인 STATCOM(Static Compensator)과 직렬형 전력품질 보상기기인 DVR(Dynamic Voltage Restorer)이 있다. 이러한 전력품질 보상기기의 계통적용을 위해서는 보상기기가 계통에 미치는 영향, 계통 부하특성에 따른 보상기의 영향 분석등을 고려할 필요성이 있으며, 한전 전력연구원은 고장 전력시험센터내에 전력품질 실증시험장을 구축하여 이를 시험중에 있다[3].

본 논문에서는 전력품질 보상기기 중 DVR의 계통적용 및 전압보상 효과분석을 위해 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 수행하고 이를 실측정 데이터와 비교하였다.

### 1.2 전력품질 실증시험장

전력품질 실증시험장은 여러 종류의 전력품질 향상 기기가 동일 계통에 운영될 경우에 상호영향 분석 및

\* 주저자 : 한전 전력연구원 선임연구원  
\*\* 교신저자 : 한전 전력연구원 책임연구원  
Tel : 042-865-5813, Fax : 042-865-5814  
E-mail : alegole@kepeco.co.kr  
접수일자 : 2010년 8월 10일  
1차심사 : 2010년 8월 11일  
심사완료 : 2010년 8월 30일

이의 통합관리방안 구축을 목표로 고장 전력품질 시험센터에 구축되었으며, 크기는 45 × 57[m]로 고압측과 저압측으로 구분되어 전력품질 향상기기가 설치되어 있다. 전력품질 향상기기 실증시험장 단선도는 그림 1과 같으며, 각 구성요소의 주요기능은 아래와 같다[4].

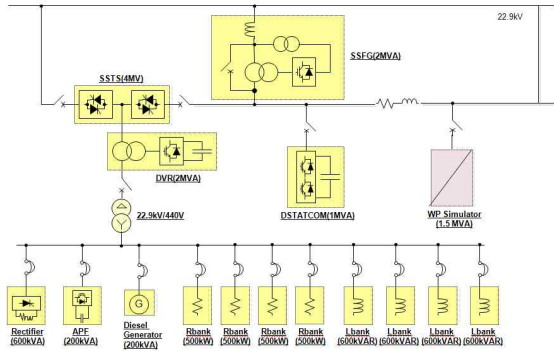


그림 1. 전력품질 실증시험장 단선도  
Fig. 1. Single Line Diagram of Power Quality Test Center

○ **DSTATCOM(Distribution Static Compensator)**

계통에 병렬로 설치되어 진상과 지상의 무효전력을 연속적으로 보상하여 전압강하 보상과 계통의 비선형 부하에 의한 플리커 저감을 목적으로 하는 전력품질 기기

○ **DVR(Dynamic Voltage Restorer)**

계통에 직렬로 설치하여 낙뢰, 대형 부하 기동 등에 의한 순간전압강하, 순간전압상승 발생시 적절한 위상의 전압을 계통에 주입하여 민감부하에 일정한 전압을 공급하는 보상기기

○ **SSTS(Solid State Transfer Switch)**

2회선 배전계통이나 비상용 전원을 보유하고 있는 중요 부하에서 계통사고로 인한 순간정전이 발생하거나 전원 품질 문제가 발생하면 초고속으로 정전없이 건전한 계통으로 자동절체할 수 있는 반도체 스위칭 소자를 이용한 기기

○ **PCR(Phase Control Rectifier)**

위상제어 정류기로 계통의 고조파 발생 부하를 모의하기 위한 기기

○ **APF(Active Power Filter)**

회로에 병렬로 접속되어 부하에서 발생하는 고조파를 제거하는 기기

○ **디젤 발전기**

배전계통에 연결된 분산 전원의 영향분석을 위한 기기

○ **SSFG(Sag, Swell & Flicker Generator)**

계통에서 발생하는 Sag, Swell, Flicker 등의 전력품질 외란을 대용량 인버터를 이용하여 전력품질 실증 시험장에 발생시키는 장치

○ **풍력발전 시뮬레이터**

실계통에 연계되는 대용량 유도형과 이중여자유도형 풍력발전기가 계통에 미치는 영향 및 고장특성 분석을 목적으로 하며, VVVF 인버터, MG-Set으로 구성

**2. DVR 개요**

DVR(Dynamic Voltage Restorer)은 민감한 부하를 사용하는 수용가로 연결된 전력공급선에 출력전압의 제어가 가능한 전압원을 직렬로 삽입하여 수용가가 외란에 관계없이 고품질 전력을 공급받도록 하는 장비이다. 즉 DVR은 배전선로의 고장에 의해 발생하는 모선의 전압강하를 민감한 부하에 연결된 선로와 직렬로 삽입하여 가변전압을 공급하여 부하측에서는 항상 고품질의 전압을 유지하는 장치이다[5].

DVR의 출력전압은 민감한 부하가 정격전압을 유지하는데 요구되는 전압, 즉 부하의 정격전압과 고장시 강하된 모선 전압의 차로 결정되며, 또한 부하전류의 크기와 위상에 의해 결정된다. DVR에 흐르는 전류는 이상적으로는 부하전류와 동일하며, 이 전류와 동적전압보상기가 공급하는 전압의 위상관계에 의해 배전계

통과의 유효전력 출입 관계가 형성되며 특수한 경우 무효전력만 공급하여도 전압유지가 가능하다. 그러나 단위 역률 근처에서 발생하는 순간전압강하의 경우 보상기는 유효전력을 공급하여 강하된 전압을 복원해야 한다.

무효전력의 보상은 DC 링크단의 에너지 출입이 없 이 DVR 내에서 생성이 가능하나 유효전력은 DC 링크단에 에너지 저장요소인 고에너지밀도 캐패시터, 초전도자기에너지저장코일, 배터리, 그리고 태양전지 등을 요한다. 이들 에너지저장요소는 DVR과 결합되는 부분 요소로 볼 수 있다. 전압강하 시 선로에 방출된 에너지는 DVR이 정상동작을 수행 할 시 배전계통으로부터 에너지를 흡수하여 다시 원상복구를 한다.

DVR은 외란 시 순간전압강하를 보상하는 기능 외에 부하전류의 변화에 따라 선로임피던스에서 발생하는 전압강하의 변동에 의한 공급전압의 강하를 보상하는 기능을 갖는다. 이 경우 DVR은 부하전류와 90도 위상차를 이루는 전압을 공급하며 그 크기에 따라 선로임피던스의 보상비가 결정된다. 또한 DVR의 전류가 공급전압에 대해 지상이나 진상이나에 따라 용량성 또는 유도성이 되며 통상 가공선로의 경우 선로의 리액턴스가 관여되므로 이를 보상하기 위한 용량성 보상이 추가되나, 고장 시 고장전류를 제한하기 위해서는 유도성 보상도 필요로 한다.

### 3. DVR의 제어

DVR의 제어는 정상성분 전압검출부와 인버터 제어부로 이루어져 있다. 정상성분 전압검출기는 전원측 3상전압( $V_s$ ) 기본파와 정상성분의 순시치전압( $v'_{sa}, v'_{sb}$ )을 계산한다. PLL(phase-locked-loop)회로는 교류전압의 기본주파수( $\omega_1$ )를 결정하며, 외란과 불평형 전압하에서도 동작하도록 설계된다. 주파수  $\omega_1$ 은  $\alpha-\beta$ 변환기로 전달되는 보조 기본파와 정상성분 전류( $i'_a = \sin(\omega_1 t)$ 와  $i'_b = \cos(\omega_1 t)$ )를 발생하기 위한 사인파 발진기에서 사용된다. 연산 된 유효전력( $\overline{p_s}$ )과 무효전력( $\overline{q_s}$ )은 전압  $V_s$ 의 기본파와 정상성분을 포함 한다. 정상성분 전압의 순시치는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{bmatrix} v'_{sa} \\ v'_{sb} \end{bmatrix} = \frac{1}{i_a'^2 + i_b'^2} \begin{bmatrix} i'_a & i'_b \\ i'_b & -i'_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{p_s} \\ \overline{q_s} \end{bmatrix} \quad (1)$$

정상성분 전압검출기로부터 연산된 정상성분전압은 이상적인 선로의 기준전압을 의미하며, 전원전압 이상 현상 발견 시 정상성분전압과의 차에 의해 발생하는 전압성분이 결국 직렬 인버터를 통해 선로에 주입되어진다. 전압주입 시 원활한 전압주입을 수행하기 위해 feed-forward제어와 P제어기를 사용하였다.

$$v_{ca}^* = [(v'_{sa} - v_{sa}) - v_{ia}] * K + v_{ca} \quad (2)$$

여기서 ( $v'_{sa} - v_{sa}$ )는 기본파와 정상성분 전압보상과의 차이가 있으며, 전압  $V_s$ 의 모든 부분을 포함하는 보상성분을 나타낸다.

그림 2는 정상성분검출부와 전압제어부로 구성된 DVR의 전체 제어블럭도를 나타낸다.

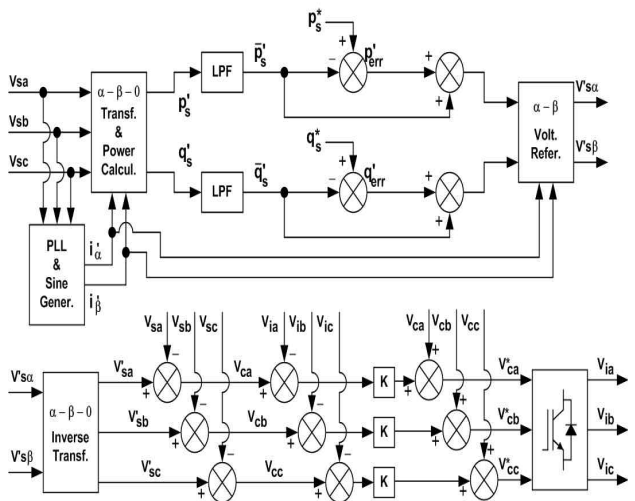


그림 2. DVR의 제어블럭도  
Fig. 2. DVR control block diagram

### 4. 시뮬레이션

DVR의 동작특성 및 제어기의 성능 해석을 위하여 EMTDC/PSCAD를 이용한 모델링과 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 모형에 사용된 회로정수는 표 1에 제시한다.

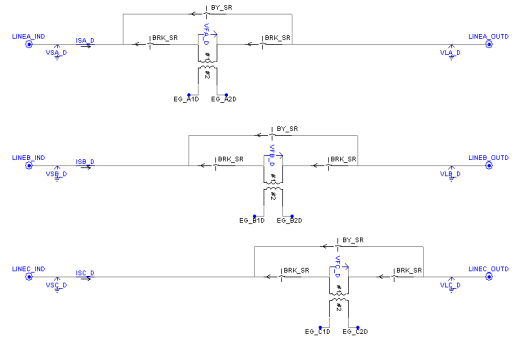
표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

전원 전압	22.9[kV]
전원 주파수	60[Hz]
스위칭 주파수	2000[Hz]
주입 변압기	6.6[kV]/728[V], 2[MVA]
스위칭 필터	L : 360[uH], C : 1175[uF], R : 0.05[Ω]
DC Capacitor	528,000[uF]

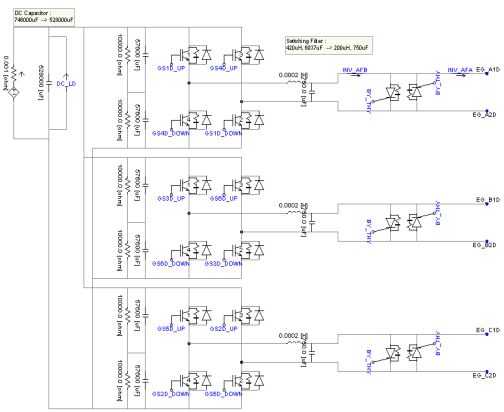
그림 3은 PSCAD/EMTDC를 이용한 DVR의 모델링을 나타낸 것이다. 전체적인 모델구성은 크게 에너지 저장용 캐패시터 Bank와 IGBT스위칭 소자로 구성된 단상 풀브리지 인버터, 주입용 변압기, 바이패스 스위치로 구성된 전력변환부와 정상성분 전압검출부, 제어블럭부 PWM 신호 발생부, 보호회로부로 구성되어 있다.

그림 4는 전원의 순간전압강하에 따른 전원전압과 부하전압, PWM 신호를 보여준다. 전원전압에서 0.2초부터 0.3초 사이에 순간전압강하 사고가 발생하였으며 부하전압에서는 DVR이 순간전압강하를 정상적으로 보상하는 것을 볼 수 있다. DVR에서 0.1초 시점에서 그림 3의 “주입변압기” 부근의 투입스위치가 “ON”되고 바이패스 스위치가 “OFF”되어 DVR이 선로에 투입되게 된다. 이때 선로로부터 유입된 전원이 DVR Filter 커패시터에 충전되어 이 충전전압이 선로에 미치기 때문에 0.1초 부근에서 선로전압의 변화가 발생하게 된다.

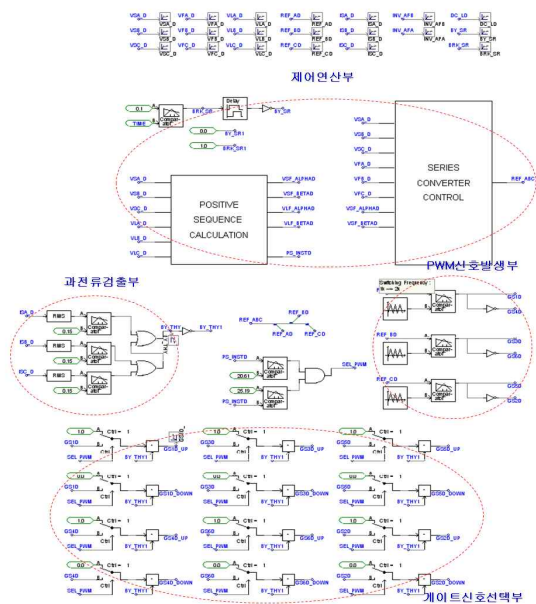
본 시뮬레이션에 적용한 DVR의 동작은 선로가 정상적으로 동작하고 있을 경우, 각 상에 연결된 단상 풀브리지 인버터의 상단 스위치를 투입상태, 하단 스위치를 차단상태로 유지하여 선로 전류의 통로를 형성시켜준다. 그렇지만 선로에 순간전압강하 혹은 순간전압상승이 발생하였을 경우 보상전압을 주입하기 위해 PWM 신호로의 변화를 가져오게 된다. 그림 4(c)는 이러한 신호의 상태변화를 잘 보여준다.



(a) Injection Transformer

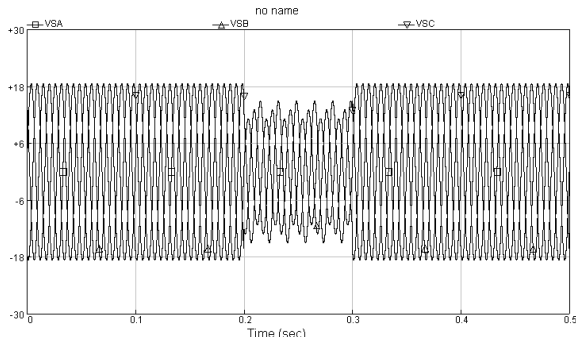


(b) Series Inverter

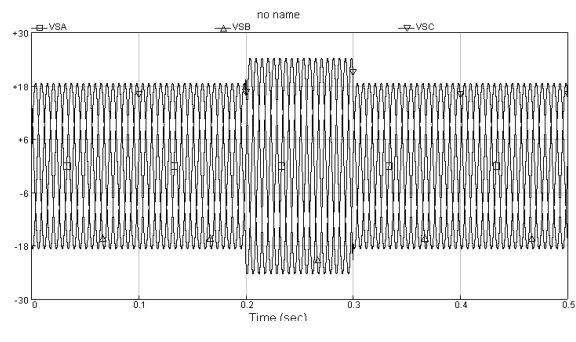


(c) Controller

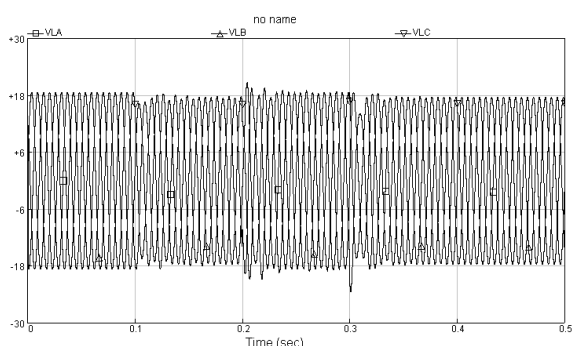
그림 3. DVR 시뮬레이션 모델  
Fig. 3. DVR Simulation model



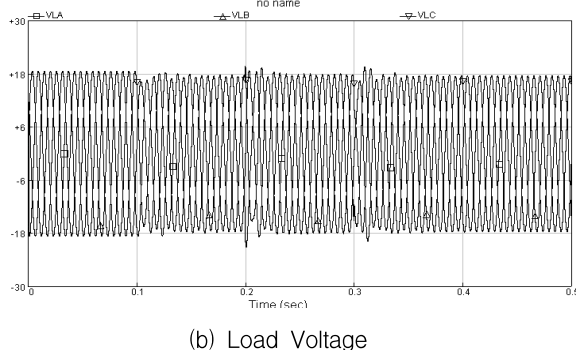
(a) Source Voltage



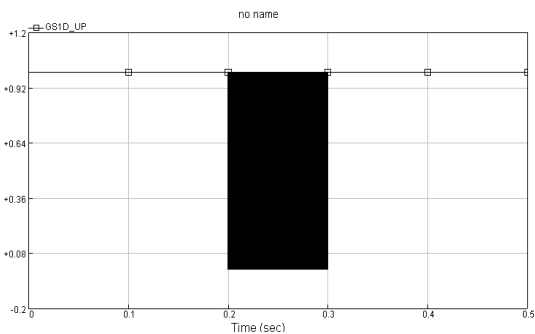
(a) Source Voltage



(b) Load Voltage



(b) Load Voltage



(c) PWM Signal

그림 4. DVR 보상 시뮬레이션 결과(순간전압강하)  
Fig. 4. Simulation results for DVR operation(Sag)

그림 5는 순간전압상승의 경우에 있어서의 전원전압과 부하전압을 보여준다. 순간전압강하의 경우와 마찬가지로 부하는 일정한 전압을 유지함을 볼 수 있다.

DVR은 등가적으로 선로에 직렬로 연결되기 때문에, 승압형태의 주입을 위해 1:n의 주입변압기를 사용하였을 경우 인버터 측으로 선로의 n배에 해당하는 전류가 흘러가게 된다. 이를 참고로 하여 DVR의 실제

그림 5. DVR 보상 시뮬레이션 결과(순간전압상승)  
Fig. 5. Simulation results for DVR operation(Swell)

용량설계가 이루어지지만 지락사고 등으로 인해 선로에 과전류가 흐르게 되면 DVR은 정격을 크게 상회하게 되어 소손의 우려가 발생 할 수 있다. 이를 방지하기 위해 DVR 출력 측에 바이패스 스위치를 두어 선로의 정상운전구간에서는 차단상태를 유지하지만, 과전류 발생시에는 투입상태로 되어 과전류의 흐름을 인버터로부터 차단하게 된다. 그림 6은 임의의 지락사고 발생에 따른 보호회로의 동작을 보여주고 있다. 0.25초 지점에서 임의의 지락사고를 발생시켰을 경우 선로에는 상당한 지락전류가 흐르게 되고, 이때 IGBT 스위치는 차단하고, 바이패스 스위치는 투입하여 지락전류가 바이패스 스위치를 통해 흘러 나가게 되고, DVR에는 전류의 유입이 없게 된다.

그림 7은 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션으로 구현한 DVR의 제어기 모델이다. 전압검출기를 통해 검출된 전압변동은 DVR이 보상해야하는 전압의 크기를 계산하여 전압변동을 보상하게 된다.

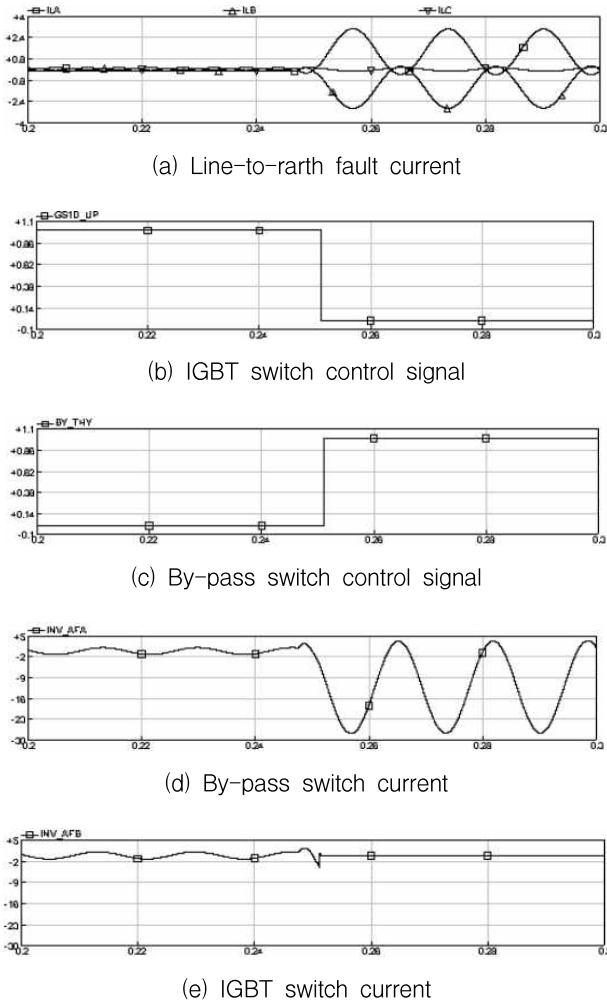


그림 6. 지락사고 발생에 따른 보호동작  
Fig. 6. Protection operation for line-to-earth fault

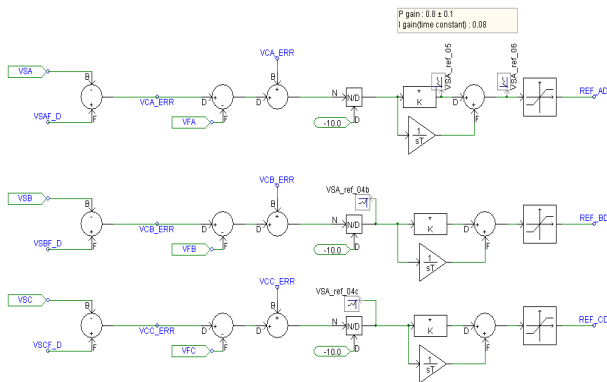


그림 7. DVR 시뮬레이션 모델 제어 블록도  
Fig. 7. DVR simulation model control block diagram

## 5. 실험결과

그림 8과 그림 9는 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 결과를 반영하여 제작한 2MVA DVR의 현장 실험파형을 나타내고 있다. 2MVA DVR은 전력품질 실증시험장에 설치하여 SSFG(Sag Swell Flicker Generator)와 연동하여 실험을 수행하였다. 시험내용은 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 수행 내용과 같이 SSFG에서 임의적으로 3상 Sag와 3상 Swell을 발생시키고, 부하에 직렬로 연결된 DVR이 SSFG에서 발생시킨 3상 Sag와 3상 Swell을 정상적으로 보상하는지 시험하였다.

그림 8 (a)는 SSFG에서 정상상태 전압을 기준으로 약 70[%] 정도의 Sag 전압을 발생시킨 파형이다.

그림 8 (b)에서와 같이 DVR은 30[%] Sag 전압을 정상적으로 보상하고 있다.

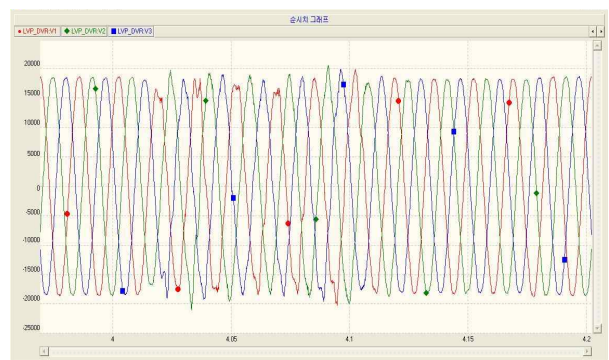
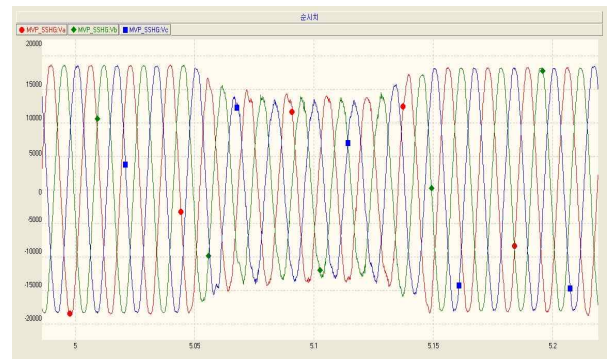
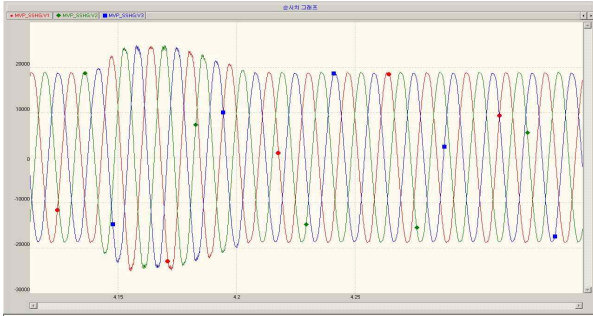


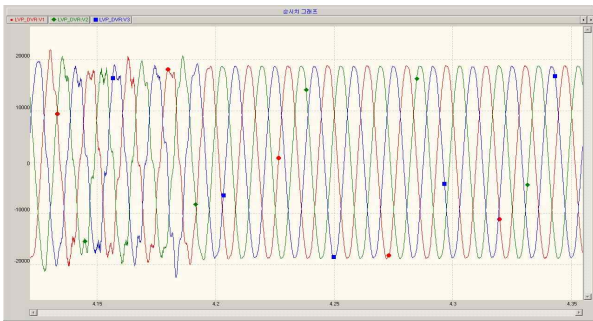
그림 8. DVR 보상 실험결과(순간전압강하)  
Fig. 8. Experimental results for DVR operation (Sag)



그림 9 (a)는 SSFG에서 정상상태 전압을 기준으로 약 130[%] 정도의 Swell 전압을 발생시킨 파형이다. 그림 9 (b)에서와 같이 DVR은 30[%] Swll 전압을 정상적으로 보상하고 있는 것을 볼 수 있다.



(a) Source Voltage



(b) Load Voltage

그림 9. DVR 보상 실험결과(순간전압상승)  
Fig. 9. Experimental results for DVR operation (Swell)

## 6. 결 론

본 논문에서는 전력품질 실증시험장에 설치된 2MVA DVR의 성능평가 및 동작성능 검증을 위해 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 수행하고 이를 설치된 2MVA DVR에서 실험하였다. 시뮬레이션에서 설계된 제어기는 SSFG에서 발생된 사고를 정상적으로 보상하였으며 동일한 제어기를 사용한 2MVA DVR도 SSFG에서 발생된 사고에서 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다. 개발된 시스템은 향후 계통에서 발생하는 외란에 효과적일 것으로 기대된다.

## References

- [1] Math H.J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems - Voltage Sags and Interruptions", IEEE Press, 2000, pp2-5.
- [2] M. McGranaghan, D.R. Mueller and M. J. Samotyj, "Voltage sags in industrial systems", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol 29, No.2, March/April 1993.
- [3] N.G. Hingorani and L.Gyugyi, "Understanding FACTS", IEEE Press, 2000, pp 19.
- [4] 국내 전력계통특성을 고려한 전력품질향상기기 실증시험 기술개발 연구, 최종보고서, 2005.
- [5] B.Han "Dynamic Voltage Compensator for Sudden Voltage Drop", KIEE Trans. on Electrical Engineering, Vol. 47, No. 8, August, 1988.

## ◇ 저자소개 ◇



### 박상호 (朴祥濤)

1973년 8월 27일생. 2000년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.



### 최영도 (崔泳道)

1973년 11월 2일생. 2000년 명지대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임보연구원.



### 박영신 (朴英信)

1964년 8월 1일생. 1988년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1988년 한국전력공사 입사. 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 책임연구원.