

전기철도 차량기지 변전소의 실시간 무효전력/역률 보상설비 적용에 따른 전력품질 개선에 관한 연구

(A Study on Improving Power Quality by Real-time Reactive Power/Power Factor Compensating Equipment at Substation in Marshalling Yard)

박수철 · 송중호

(Soo-Cheol Park · Joong-Ho Song)

요 약

본 논문에서는 전기철도 차량기지 변전소의 전력품질을 개선하기 위한 실시간 무효전력/역률 보상설비를 제안하였으며 실제 차량기지에 적용하기 위한 최적의 용량을 제시하였다. 이를 위하여 현재 상용화된 여러 종류의 실시간 무효전력/역률 보상설비를 소개하였고 이 중에 전기철도 차량기지 변전소의 부하 특성에 가장 적합한 보상설비인 SVG (Static Var Generator)를 제시하였다. 제시된 SVG는 PSIM을 사용하여 간이 모의 시스템으로 구현되었으며 이를 통한 기본적인 보상원리와 모의 결과를 기술하였다. 실제 차량기지에 적용하기 위한 최적의 용량 설계는 실제 측정된 차량기지 변전소의 전력품질 데이터를 기초로 설계되어 졌으며 보상효과 및 경제적인 측면이 고려된 용량으로 제시되었다. 최종적으로 전압형 인버터와 직류 커패시터로 구성된 실시간 무효전력/역률 보상설비를 통한 실제 전기철도 차량기지 변전소의 전력품질 개선에 대하여도 기술되었다.

Abstract

In this paper, real-time reactive power/power factor compensating equipment is suggested for improving power quality at electrical railway's substation in marshalling yard and designing optimal capacity of compensating equipment for actual apply at current marshalling yard. For this purpose, several kind of real-time reactive power/power factor compensating equipments are introduced and SVG(Static Var Generator) as optimal compensating equipment that is suitable for load characteristics of substation in marshalling yard is suggested. This paper shows proper simulations by suggested equipment using PSIM software and describe basic compensating principle and simulation results. Optimal capacity design for applying current marshalling yard is based on real measured power quality data. Power quality improvement that is performed by SVG as real-time reactive power/power factor compensating equipment is estimated at electrical railway's substation in marshalling yard. As reference, real-time reactive power/power factor compensating equipment is composed by voltage source inverter and DC capacitors.

Key Words : Real-Time Reactive Power Compensating Equipment, Svg(Static Var Generator), Power Quality, Substation, Marshalling Yard, Electrical Railway

* 주저자 : 한국철도시설공단 전기기술단장

Tel : 042-607-4019, Fax : 042-607-4289, E-mail : parksscc@naver.com

접수일자 : 2006년 5월 16일, 1차심사 : 2006년 5월 22일, 2차심사 : 2006년 8월 16일, 심사완료 : 2006년 8월 25일

1. 서 론

일반적으로 전기철도 차량기지 변전소는 차량기지 내의 대기열차와 주박열차 및 검수열차에 전력공급과 인근 주행 선로에 전력을 공급하는 역할을 한다. 이러한 열차의 특성은 1량 당 최대부하 13,200[kW]의 큰 용량으로서 차량기지 내/외에는 평상시 10여 편성, 많을 때는 30여 편성이 머물러 있으며 검수 및 운전조건에 따라 부하 특성이 각각 다르며 특히 전기철도차량의 이동 등으로 차량기지 변전소에서의 부하변동은 크게 변화하며 나타나고 있다. 이에 따라 전력품질 또한 일반 산업설비와는 달리 크게 변동되어 나타난다. 이러한 급변하는 부하의 특성에 대한 결과로 인하여 무효전력의 발생 또한 급격하며 다량으로 발생하며 특히 일반 산업 부하와는 달리 부하 변동이 진/지상 무효전력이 불규칙하게 크게 나타나고 있다. 이러한 급격하고 큰 진/지상 무효전력의 발생은 계통 용량 증대 및 부하 손실을 가져오고 있으며 저 역률로 인한 계통 효율성이 나빠지게 되어 전반적인 전력품질의 저하에 따른 여러 가지 문제를 일으키는 원인이 되고 있는 현실이다. 본 논문에서는 이러한 전기철도 차량기지 변전소의 전력품질을 저하시키는 급격한 무효전력을 보상하기 위하여 처음으로 실시간 무효전력/역률 보상설비중 하나인 SVG형 보상 설비의 개념을 제시하고 PSIM software를 이용한 회로 및 시스템 모의를 제시하였다. 이를 통하여 SVG형 보상설비의 기본적인 보상 원리를 기술하였으며 전기철도 차량기지 변전소에서 나타나는 부하 특성의 만족 정도를 기술하였다. 또한 실제 운영 중인 차량기지 변전소에 대한 전력품질의 실 측정을 통하여 최적의 보상설비 용량 선정 및 설치에 따른 전력품질 개선에 대한 예측 결과를 기술하였다.

2. 본 론

2.1 차량기지 변전소 전력품질 현황

아래의 그림 1은 실제 전기철도 차량기지 변전소에서 열차의 운행 및 대기상태에 따라 발생하는 무효전력의 변동을 나타낸 그림이다.

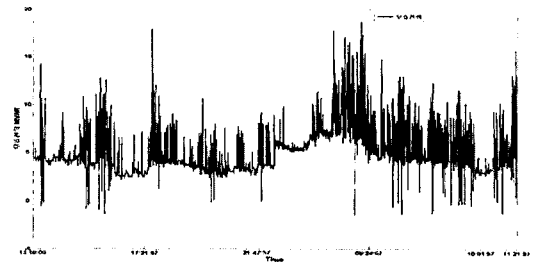


그림 1. 차량기지 변전소 154(kV) 무효전력 변동
X축 : 측정시간, Y축 : 무효전력(MVAR)

Fig. 1. 154(kV) reactive power at substation of marshalling yard

이러한 급격한 무효전력의 변동은 아래의 그림과 같이 차량기지 변전소의 154[kV] 수전단의 역률을 한전 규제치 이하로 저하시키는 가장 큰 원인으로 작용하게 된다.

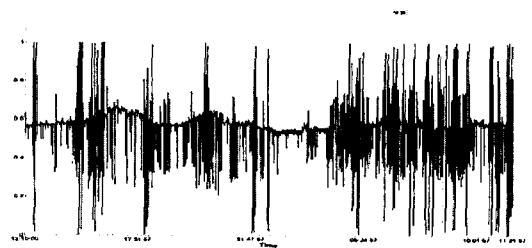


그림 2. 차량기지 변전소 154(kV) 역률 변동
X축 : 측정시간, Y축 : 역률

Fig. 2. 154(kV) power factor at substation of marshalling yard

X axis: time, Y axis: power factor

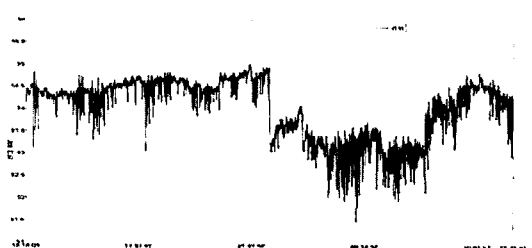


그림 3. 차량기지 변전소 55(kV) 전압 변동
X축 : 측정시간, Y축 : 전압(kV)

Fig. 3. 154(kV) voltage at substation of marshalling yard

X axis: time, Y axis: voltage (kV)

또한 이러한 급격한 진/지상 무효전력은 전압의 변동을 가져오게 되어 부하 측에 공급되는 전압 변동률을 저하시키게 된다. 아래의 측정 결과는 열차 급전 측(55[kV])의 전압 변동을 나타낸 그래프이다.

이러한 문제들을 발생시키는 주요원인인 급변하는 진/지상 무효전력을 보상하기 위하여 전기철도시스템에 처음으로 실시간 무효전력/역률 보상설비를 적용 하고자 한다. 본 논문에서는 현재 상용화되어 전력계통에 적용되고 있는 실시간 무효전력/역률 보상설비들을 비교하고 일반 부하와 달리 급격한 부하 변동으로 야기되는 무효전력 보상에 가장 적합한 실시간 보상설비의 검토와 보상 설비 중 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비의 선정하고 적용되는 설비의 적용 효과를 검증하기 위하여 회로 모의 프로그램인 PSIM을 사용하여 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비의 적용에 따른 적용 효과를 나타내었다.

2.2 실시간 무효전력/역률 보상설비의 비교

열차 운행 및 유지/보수에 따른 부하 변동이 심한 차량기지 변전소의 경우에는 기존의 Capacitor Bank 방식의 무효전력/역률 보상 방식으로는 정확한 무효전력 및 역률의 제어가 어려우며 설치용량의 대형화, 계통 공진 문제 등 여러 가지 계통상의 문제점들로 인하여 사실상 차량기지 변전소에 적용은 어려운 점이 있다. 이에 부하변동에 따라 실시간으로 보상하는 실시간 무효전력/역률 보상설비를 전기철도시스템에 적용하고자 한다. 본 논문에서는 크게 사이리스터를 사용하여 콘덴서 또는 리액터의 용량을 제어하는 SVC형 실시간 무효전력/역률 보상설비와 IGBT 소자를 이용한 전압형 인버터를 사용하여 무효전력/역률을 제어하는 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비로 나누어 비교하였다.

2.2.1 SVC형 실시간 무효전력/역률 보상설비

(1) 정 의

SVC형 실시간 무효전력/역률 보상설비는 일반적

인 커패시터와 리액터를 고속스위칭 전력전자 소자인 사이리스터와 결합한 형태로 SCR의 위상각 제어 또는 스위칭을 통하여 무효전력을 보상하는 설비이다.

(2) SVC형 실시간 무효전력/역률 보상설비의 종류

SVC형 실시간 무효전력/역률 보상설비는 크게 아래와 같이 리액터를 제어하는 TCR과 커패시터 뱅크들을 제어하는 TSC로 구분되며 각 설비의 개략적인 구성은 아래와 같다.

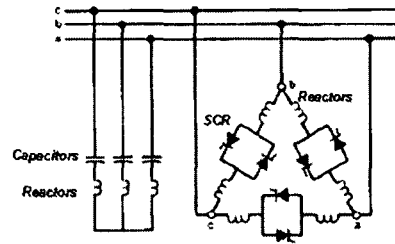


그림 4. TCR의 간략 구성도

Fig. 4. Single line drawing for TCR

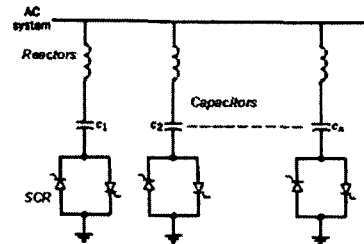


그림 5. TSC의 간략 구성도

Fig. 5. Single line drawing for TSC

일반적으로 TCR(Thyristor Controlled Reactor) 이라고 하면 계통에 필요 보상 용량의 capacitor를 고정 용량으로 투입하고 리액터의 용량을 Thyristor의 위상각으로 조정하여 계통에 투입하는 방식이며 TSC(Thyristor Switched Capacitor)는 TCR처럼 역병렬로 결합된 사이리스터 스위치가 전력용 커패시터 뱅크와 직렬로 연결된 구조를 가지고 있어 Thyristor의 ON/OFF로 커패시터 뱅크의 ON/OFF를 제어하는 방식이다.

2.2.2 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비

일반적으로 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비는 전압원의 성질을 가지고 IGBT와 같은 전력전자 소자를 사용한 인버터의 제어를 통해 출력 전압/전류를 제어하여 진상 및 지상 무효전력을 보상하는 방식이며 개략적인 구성은 다음과 같다.

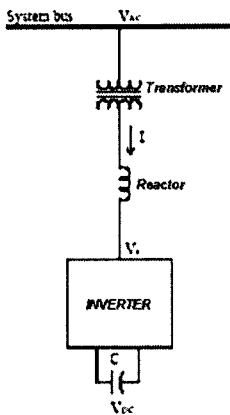


그림 6. SVG의 간략 구성도
Fig. 6. Single line drawing for SVG

2.2.3 차량기지 변전소용 실시간 무효전력/역률 보상설비의 검토

차량기지의 경우, 측정된 무효전력 및 역률을 분석하여 보면 급전 측으로 유입되는 무효전력의 진상 및 지상 변화의 폭이 크며 매우 빠르게 급변하고 있음을 알 수 있다. 이에 설치되는 보상설비는 아래와 같은 조건을 만족하는 설비여야 하며 이러한 조건과 상용화된 무효전력/역률 보상설비들에 적용시키면 아래와 같이 결과가 나타난다.

- (1) 실시간 진상/지상 무효전력 보상 가능
- (2) 보상 설비 설치 공간의 최소화
- (3) 부하 증가에 따른 향후 용량 증설이 용이성
- (4) 고조파 발생원 증가에 따른 고조파 저감 기능
- (5) 설비 설치에 따른 전압 변동 최소화
- (6) 계통 공진 위험성 배제
- (7) 단시간 무효전력 peak치 보상 능력

검토 결과, 차량기지 변전소에는 SVG형 실시간

무효전력/역률 보상설비가 가장 적합한 것으로 나타났다.

표 1. 필요조건에 대한 보상설비 비교
Table 1. Comparison among compensators by required conditions

조건	SVC형		SVG형
	TCR	TSC	
(1)	가능	불가능	가능
(2)	매우 큼	작음	작음
(3)	어려움	용이함	용이함
(4)	불가능	일부 가능	가능
(5)	가능	가능	가능
(6)	가능	가능	가능
(7)	불가능	불가능	가능

2.3 PSIM을 이용한 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비 모의

2.3.1 SVG 모의 회로 구성 및 동작 원리

(1) PSIM을 이용한 SVG 모의 회로 구성

아래의 그림은 차량기지 변전소에 적용될 실시간 무효전력/역률 보상설비인 SVG의 모의를 위하여 PSIM 프로그램을 이용해 만든 단상의 회로도이다. 참고로 PSIM은 전력전자 및 모터제어 회로를 해석하는데 연구소 등에서 많이 사용되고 있는 시뮬레이션 패키지다.

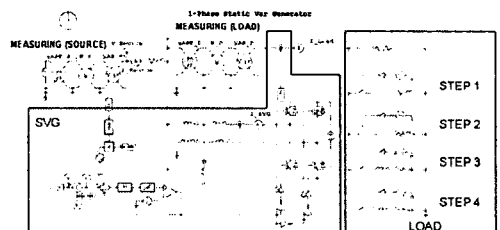


그림 7. SVG PSIM 모의 회로
Fig. 7. SVG simulation circuit using PSIM

위의 SVG 모의 회로는 크게 3개의 부분으로 구성되어진다. 첫 번째는 부하 측에서 측정된 전압/전류로 계산된 보상 무효전력을 발생시켜 계통에 유

입시키는 SVG 부분과 지상 및 진상 무효전력을 발생시키기 위하여 지상 무효전력을 발생하는 리액터 부하 2개와 진상 무효전력을 발생하는 커패시터 부하 2개로 구성된 LOAD 부분, 그리고 SVG의 운전 에 따른 모의 결과를 측정/분석하기 위한 전원 측 (SOURCE)과 부하 측(LOAD)의 측정부분으로 나누 어진다. 상기 회로에서 SVG는 능동형 고조파 필터 의 고조파 보상원리와 유사한 보상 원리를 이용하여 구성되었으며 LOAD는 시간차를 두고 부하를 변동 시키기 위하여 각각의 부하에 TIMER를 부착하여 순차 투입을 통한 진/지상 무효전력의 변화를 가져 오게 구성하였다.

(2) PSIM 모의 회로에 적용된 SVG의 무효전력 보상 원리

IGBT를 사용하여 만들어진 PWM 파형을 통한 진/ 지상 무효전력의 제어에 있어서 가장 핵심적인 기술 은 다수의 커패시터 성분에 의한 진상 무효전력을 발생시키는 전압 보다 위상이 앞서는 진상 전류와 다수의 리액터 성분에 의한 지상 무효전력을 발생시 키는 전압 보다 위상이 뒤진 지상 전류에서 보상에 필요한 무효전류를 검출해 내는 것이다. 본 논문에서 는 이러한 진/지상 무효전력에 대한 보상 원리를 일반적으로 널리 알려져 있는 능동형 고조파 필터의 보상원리와 동일한 방식을 적용하였다. 즉 고조파 전류에서 고조파 전류 부분만 검출하여 위상을 180[°]바꾸어 IGBT를 사용하여 PWM 방식으로 만 든 보상 고조파 파형을 계통에 유입시켜 보상하는 방식과 유사한 방식을 사용하여 무효전류를 보상하 도록 하였다. 아래의 그림 8, 9, 10은 일반적으로 알 려진 능동형 고조파 필터의 고조파 전류 보상 원리 를 간략하게 나타낸 그림이다.

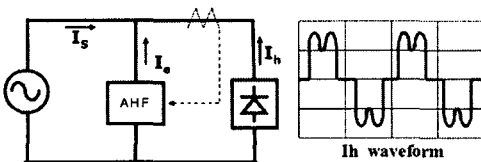


그림 8. 고조파 전류의 검출
Fig. 8. Detection of harmonic current

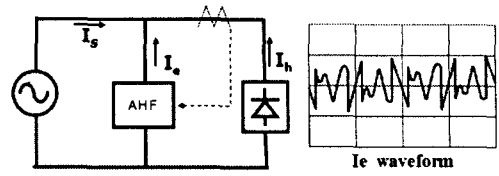


그림 9. 보상 고조파 전류의 발생
Fig. 9. Generation of compensating harmonic current

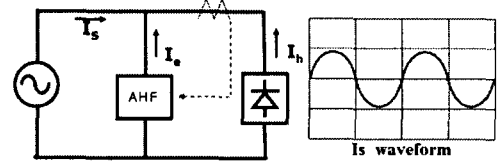


그림 10. 고조파 전류 제거
Fig. 10. Removal of harmonic current

능동형 고조파 필터의 고조파 전류 보상 원리와 유사하게 SVG에서는 부하에서 발생하는 진상 또는 지상 전류 중에 역률 1.0을 나타내는 저항 성분에 의 한 유효 전류와 진/지상을 나타내는 무효전류를 분 리시키고 검출된 무효 전류부분에 대하여 위상을 180[°] 바꾸어 IGBT를 이용한 PWM 방식으로 만들 어진 보상 무효전류를 계통으로 유입시켜 보상하는 원리를 사용하였다. 아래의 그림은 진상 무효전력을 나타내는 전류 파형을 보상을 위하여 유효 전류와 무효 전류로 분리한 그림이다.

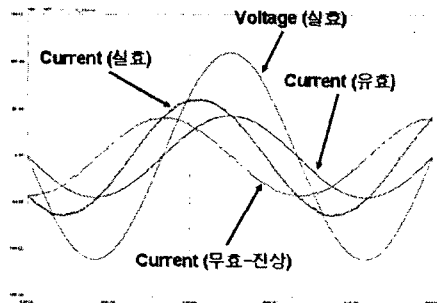


그림 11. 유/무효 전류의 분리 검출
Fig. 11. Detection of active/reactive current

이러한 보상 방식은 CT 및 VT에서 검출되어 계 산된 필요 무효전력에 대하여 Thyristor의 ON/OFF

를 통한 콘덴서 투입이나 Thyristor의 위상각을 제어하여 리액터의 값을 제어하여 보상하는 SVC형 보상설비에 비하여 진/지상 모두에 대하여 모두 적용이 가능하고 보상속도가 월등히 빠른 장점을 가지게 된다. 또한 커패시터 뱅크의 투입으로 인한 계단식 보상방식으로 보상 범위가 정밀하지 못한 TSC에 비해 SVG는 선형으로 무효전력을 보상함으로써 보상의 정밀도 또한 높게 된다.

(3) PSIM을 이용한 진/지상 무효전력에 대한 SVG 모의 결과

그림 7에서 LOAD 부분과 같이 진/지상 무효전력에 대한 SVG 모의를 위하여 부하단에 시간별로 투입되는 2개의 Reactor(STEP 1, 2)와 2개의 Capacitor(STEP 3, 4)로 구성 하였다. 부하의 투입 순서는 지상 부하인 두 개의 리액터가 먼저 투입되어 최대 지상 역률을 나타내게 하고, 그 후 두 개의 커패시터가 투입되어 최종적으로는 진상 역률로 부하가 운전되도록 투입 순서를 정하였다. 아래의 그림 12는 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비 적용 전의 부하 측(Load Side) 무효전력의 변동 및 전원 측(Source Side) 무효전력의 변동을 나타낸 그림이다.

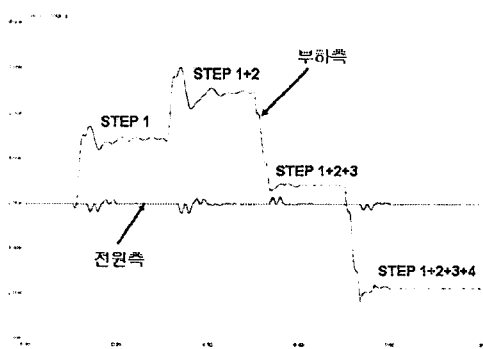


그림 12. 시간대별 무효전력 변동
X축 : 모의시간, Y축 : 무효전력(VAR)
Fig. 12. change of reactive power
X axis: time(msec),
Y axis: reactive power(VAR)

위의 그림 12에서와 같이 부하 측에서는 2개의 리액터와 2개의 커패시터가 순차적으로 투입됨에 따라

진상 또는 지상으로 변화하는 부하 측의 무효전력은 실시간으로 보상하는 SVG로 인하여 전원 측에서는 이러한 무효전력의 변동이 거의 없이 양호한 전력품질로 나타났다. 이 결과를 통하여 SVG형 보상설비 적용에 따른 실시간 보상 효과를 알 수 있으며 이러한 실시간 보상 효과는 급변하는 전철부하에 효과적으로 적용될 수 있다.

아래의 그림 13은 부하의 리액턴스 성분이 많은 경우, 즉 전류가 전압에 대하여 뒤지는 지상 무효전력 발생 시에 SVG에 의해 보상되어 지상 무효전력이 저감된 모의 결과를 전압, 전류 파형으로 나타냈다.

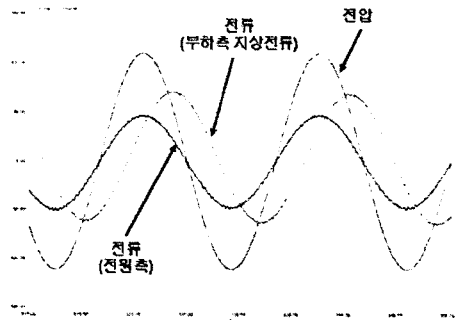


그림 13. 지상 무효전력 보상
X축 : 모의시간, Y축 : 전압(V), 전류(A)
Fig. 13. Compensating lag reactive power
X axis: time,
Y axis: voltage(V), ampere(A)

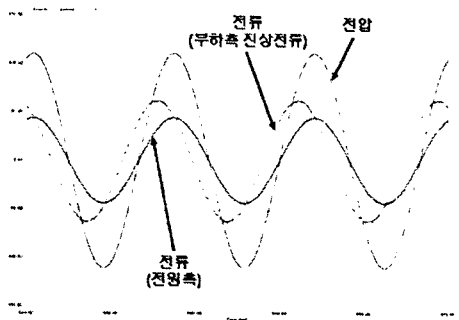


그림 14. 진상 무효전력 보상 원리
X축 : 모의시간, Y축 : 전압(V), 전류(A)
Fig. 14. Principle of lead reactive power compensating
X axis: time,
Y axis: voltage(V), ampere(A)

모의결과, 과도한 리액터 성분에 의해 크게 나타나는 전류 또한 작아져 이로 인한 케이블 밀 변압기 손실 감소, 변압기 사용 용량 증대 등 부가적인 효과도 나타난다. 그림 13과의 반대의 경우, 즉 진상 무효 전력 보상에 따른 전류 파형의 변화는 아래의 그림과 같이 나타난다.

그림 12, 13, 14의 결과를 분석하면 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비는 진/지상 무효전력 모두에 대하여 실시간으로 보상이 가능한 것으로 나타났다.

(4) PSIM을 이용한 SVG의 역률 보상 모의 결과 위의 그림 15 및 16은 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비 적용 시, 부하 측 무효전력의 변동에 따른 부하 측 및 전원 측 무효전력의 변동 및 역률 변화를 나타낸 그림이다. 참고로 아래 그림에서 역률은 진/지상 구분 없이 절대값으로 나타내었다.

위의 그림 15 및 16에서 나타난 것과 같이 부하 측에서 변동하는 진/지상 무효전력으로 인해 역률 또한 크게 저하되어 나타났다. 특히 2번째 리액터가 투입되면 최대 0.4의 지상의 낮은 역률이 발생하였으며 2번째 커패시터가 투입 때에는 진상 0.7까지 나타났다. 그리하여 부하 측에서 역률의 전체 평균은 0.75로 나타나 한전 규제치인 0.9에 크게 못 미치는 것으로 나타났으나 SVG가 적용된 전원 측에서의 역

률은 평균 0.97정도로 나타나 한전 규제치 0.9를 크게 상회하는 것으로 나타나 양호한 전력품질을 보여 주었다.

2.4 차량기지 변전소에 대한 SVG 적용

2.4.1 적용 개요

전기철도차량의 주박 및 검수가 이루어지며 인근 주행 선로에 전력을 공급하는 차량기지변전소의 전력품질에 대한 문제점 해결을 위해 변전소에 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비를 설치하고 있다.

2.4.2 SVG적용 전 변전소 전력품질 분석

현재 SVG를 설치하고 있는 차량기지 변전소의 전력품질은 아래의 그림들과 같이 나타나고 있으며 이를 개선하기 위한 최적 용량의 SVG가 현재 설치되고 있다. 최적 SVG 용량 선정의 기준자료로 사용된 아래의 DATA들은 2004년 5월 31일에서 6월 1일 사이에 고양철도차량기지 변전소에서 측정된 DATA들이다.

아래의 그림 17은 차량기지 변전소에서 측정된 시간대별 무효전력의 변화로서 그림과 같이 무효전력의 변동이 아주 심하게 나타나고 있으며 진/지상 무효전력이 복합적으로 나타내고 있는 상황이다.

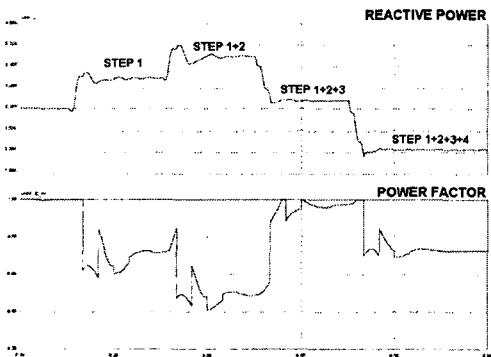


그림 15. 시간대별 부하 측 무효전력 및 역률 변동
X축 : 모의시간, Y축 : 무효전력(VAR), 역률
Fig. 15. Change of reactive power and power factor at load side
X axis: time, Y axis: reactive power(VAR), power factor

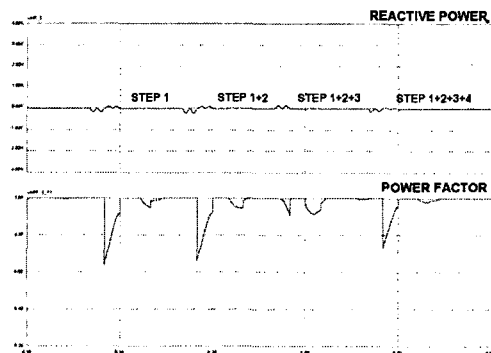


그림 16. 시간대별 전원 측 무효전력 및 역률 변동
X축 : 모의시간, Y축 : 무효전력(VAR), 역률
Fig. 16. Change of reactive power and power factor at source side
X axis: time, Y axis: reactive power(VAR), power factor

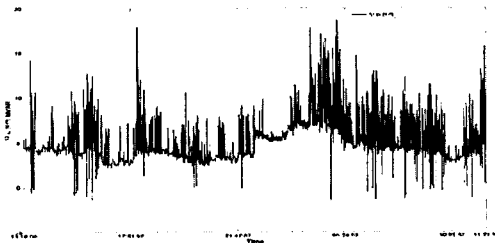


그림 17. 차량기지변전소 시간대별 무효전력 변화
X축: 측정시간, Y축: 무효전력(MVAR)
Fig. 17. Reactive power at substation of marshalling yard
X axis: time, Y axis: reactive power(MVAR)

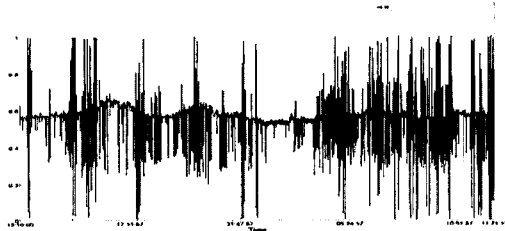


그림 18. 차량기지변전소 시간대별 역률 변화
X축: 측정시간, Y축: 역률
Fig. 18. Power factor at substation of marshalling yard
X axis: time, Y axis: power factor

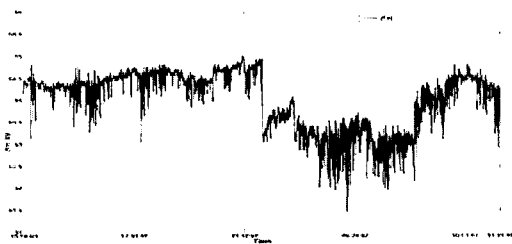


그림 19. 전철급전계통(55kV) 전압 변동
X축: 측정시간, Y축: 역률
Fig. 19. 55[kV] voltage at substation of marshalling yard
X axis: time, Y axis: voltage(kV)

또한 그림 18은 차량기지변전소에서 측정된 시간대별 역률의 변화로서 그림 17의 급격한 무효전력의 변화의 영향으로 역률 또한 변동이 아주 심하게 나타나고 있으며 평균 역률도 한전 규제치 0.9에 크게

못 미치고 있는 상황이다.

이러한 무효전력의 급격한 변동은 전철급전계통에서 전압도 변동시키게 되는데 그림 19는 전철급전 전압인 55[kV]에서의 전압 변동을 나타낸 그림이다.

2.4.3 SVG 현장 적용 검토

아래의 그림 20은 현재 차량기지에 설치 중인 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비의 설치 계통도이다.

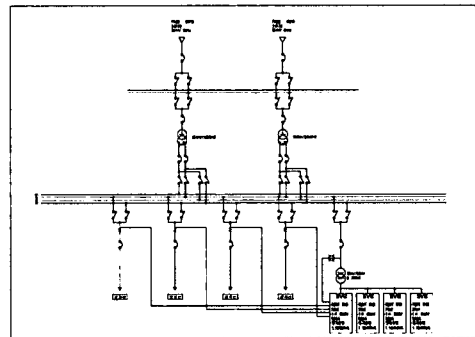


그림 20. SVG 설치 계통도
Fig. 20. Single line diagram for SVG

그림 20에서 나타난 것과 같이 고양철도차량기지 변전소에는 1.1[MVA]용량의 SVG가 총 4대가 설치되고 있으며 보조설비로 15[MVA]용량의 콘덴서뱅크가 설치 중에 있다. 이러한 설치 용량은 설치중인 차량기지변전소에서의 무효전력 발생 패턴에 대한 분석 통하여 결정되었다.

현재 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비가 설치되고 있는 차량기지 변전소의 무효전력 발생 패턴(그림 17 참조)을 분석한 결과, 총 21,600회(1일 기준) 측정결과 중 90%(19,940회)가 지상 6[MVA]에서 진상 3[MVA]정도의 무효전력으로 측정되었다. 이에 설치 비용 대비 최대 효과를 얻기 위하여 용량 검토 결과, 100% 전체를 보상은 설치용량의 과다 증대 및 경제적인 비용이 크게 발생하게 되어 최종적으로 90%의 무효전력을 보상하기로 검토되었다. 또한 발생 무효전력 중에 일부는 고정적으로 발생하는 무효전력이므로 이는 고가의 SVG형 보상설비를 적용하기보다는 고정형 커패시터 뱅크를 적용하는

전기철도 차량기지 변전소의 실시간 무효전력/역률 보상설비 적용에 따른 전력품질 개선에 관한 연구

것이 동일 효과 대비 경제적인 비용이 절감되는 것으로 검토되어 이를 적용하게 되었다. 결과적으로 고정형 커패시터 뱅크를 포함한 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비의 보상 범위는 지상 5.9[MVA]에서 진상 2.9[MVA]로 결정되었다.

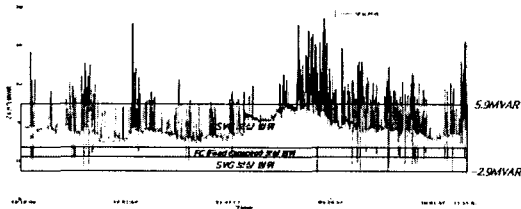


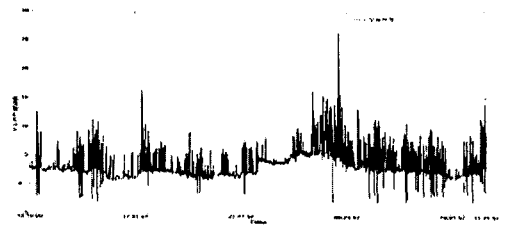
그림 21. SVG의 무효전력 보상범위
Fig. 21. Compensating range of reactive power by SVG

그림 21은 검토된 SVG형 보상설비의 무효전력 보상범위를 부하에서 발생하는 무효전력의 변동 그래프에 적용한 그림이다.

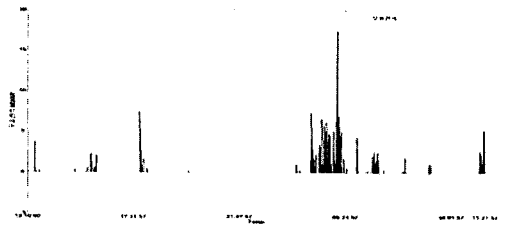
이렇게 차량기지 변전소에 설치되는 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비는 4개의 단상 FEEER에 설치된 CT의 SUM 값을 이용하여 현재 발생 무효전력을 측정하여 이 값을 근거로 목표 역률을 보상할 수 있는 보상 무효전력을 발생시키게 된다. 이렇게 발생된 보상 무효전력은 TR을 통하여 계통으로 유입되어 전체적인 역률이 개선되게 된다.

2.4.4 SVG 예상 설치 효과

차량기지 변전소에 5.9~-2.9[MVA]용량의 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비가 설치되면 아래의 그림 22, 23 및 24와 같이 설치 전후의 무효전력, 역률 및 전압이 개선될 것으로 예상되어진다. SVG 적용 시, 함께 비교되었던 SVC의 경우에는 진상 무효전력을 보상할 수 없으며 보상속도의 제한으로 인하여 급변하는 전철 부하에는 적용하기 어려운 것으로 판단된다. 아래의 그림들은 SVG형 보상설비의 설치 전/후의 무효전력, 역률 및 전압의 개선 정도를 예측한 그림들로 20,000회가 넘는 다수의 부하 측정치를 이용하여 PSIM을 사용한 모의가 현실적으로 어려워 개별 측정값에 대한 보상값 적용 후의 값을 수치적으로 계산한 결과로 설치 후의 결과를 나타내었다.

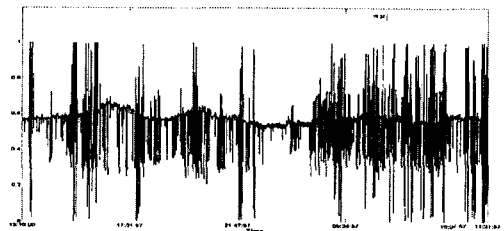


- SVG 적용 전 154(kV) 계통 무효전력 변화-

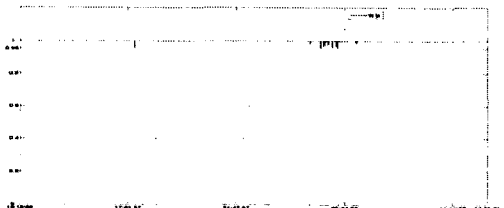


- SVG 적용 후 154(kV) 계통 무효전력 변화-

그림 22. SVG 적용 전/후 예상 무효전력 변화
X축 : 측정시간, Y축 : 무효전력(MVAR)
Fig. 22. Change of reactive power by SVG ON/OFF
X axis: time, Y axis: reactive power(MVAR)



- SVG 적용 전 154(kV) 계통 역률 변화-



- SVG 적용 후 154(kV) 계통 역률 변화-

그림 23. SVG 적용 전/후 예상 역률 변화
X축 : 측정시간, Y축 : 역률
Fig. 23. Change of power factor by SVG ON/OFF
X axis: time, Y axis: power factor

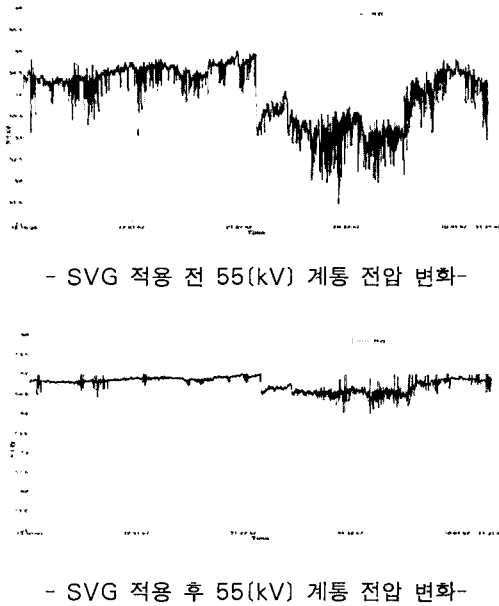


그림 24. SVG 적용 전/후 예상 전압 변화
 X축 : 측정시간, Y축 : 전압(kV)
 Fig. 24. Change of voltage by SVG ON/OFF
 X axis: time, Y axis: voltage(kV)

3. 결 론

본 논문에서 검토되고 모의되어 현재 차량기지 변전소에 설치되고 있는 SVG형 실시간 무효전력/역률 보상설비는 전기철도부하에서 급변하게 발생하는 지상 및 진상 무효전력을 보상하기 위하여 기존의 커패시터 뱅크의 투/개방이나 Thyristor를 기반으로 한 SVC형 무효전력 보상 방식이 아닌 IGBT 전력소자를 사용한 PWM 보상 파형으로 진/지상 무효전력 모두에 대한 보상 무효전력의 계통 투입을 통한 보상 방식이다. PSIM을 사용한 모의 결과, 부하에서 발생하는 진/지상 무효전력에 대하여 실시간으로 보상이 가능함을 알 수 있었고 역률 또한 크게 개선되어 전력품질을 크게 향상시킴을 알 수 있었다. 현재 전기철도 차량기지내 주박 및 검수, 대기 차량과 차량기지 인근 열차운행 하는 차량에 전력을 공급하는 역할을 하는 차량기지 변전소에는 부하 변동에 따라 급변하는 진/지상 무효전력에 대한 가장 효과적인 보상설비로 판단되며 보상설비범위는 5.9

~2.9[MVA]용량으로 설치하고 설치 후 SVG에 대한 정밀 평가를 통하여 신뢰성 검증이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Gerado Escobar Valderrama, Paolo Mattavelli, and Aleksander M. Stankovic, "Reactive Power and Unbalance Compensation Using STATCOM with Dissipativity Based Control", IEEE Trans. Control System, Vol 9, No 5, Seterrber 2001.
- [2] Claudio A. Canizares, Massimo Pozzi, Sandro Corsi, and Edvina Uzunovic, "STATCOM Modeling for Voltage and Angle Stability Studies", Article, Electrical Power & Energy System 25, 2003.
- [3] IEEE Std 141-1993, "IEEE Recommended Practice for Electrical Power Distribution for Industrial Plants".
- [4] G J Evans, N A Haines, R Morrison, J Richardson, "Active Filtering of Multiple Non-integer Harmonic Currents" Conference Publication No.399, IEE, 1994.

◇ 저자소개 ◇

박수철 (朴壽喆)

1951년 2월 10일생. 1980년 2월 명지대학교 전기공학과 졸업. 2002년 2월 서울산업대학교 철도전문대학원 졸업(석사). 2006년 서울산업대학교 철도전문대학원(박사과정). 1994년 철도청 전기국 공업서기관. 2003년 철도청 전기본부 고속철도 전기과장 공업부이사관. 2004년 한국철도시설공단 호남지역본부장. 2005년 한국철도시설공단 시스템사업본부장. 2006년 한국철도시설공단 전기기술단장(현재).

송중호 (宋重鎬)

1957년 1월 30일생. 1980년 2월 서울공대 전기공학과 졸업. 1982년 2월 서울공대 전기공학과 졸업(석사). 1993년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(박사). 1995~1996년 미국 위스콘신대 초빙연구원. 1982~1985년 이화전기 기술개발부. 1985~2002년 한국과학기술연구원 지능제어연구센터 책임연구원. 2002년~현재 서울산업대학교 공과대학 전기공학과 부교수.