

전기철도 AT 급전시스템에서의 TSC-SVC를 이용한 전압강하 보상

(Compensation of Voltage Drop Using the TSC-SVC
in Electric Railway Power Supply System)

정현수* · 방성원 · 김진오

(Hyun-Soo Jung · Seong-Won Bang · Jin-O Kim)

요 약

최근 들어 국내 전기철도가 고속 대용량화되고 새로운 전력반도체 기술이 전력변환장치에 채용되면서 이로 인해 AT급전계통에 전압강하 등 전력품질 문제가 대두되고 있다.

지금까지 급전계통의 전압강하 대책으로는 직렬콘덴서(SC)를 주로 설치/운용하였으나 기술적인 한계로 인해 충분한 효과를 달성하지 못하고 있으며 고조파 공진현상도 새롭게 문제시 되고 있다. 또한 신규 전기철도 건설에 따른 전철변전소 위치확보 문제와 운행선로에서의 수송량 증가에 따른 열차 증량편성 및 시격(열차운행시간 간격)단축으로 인한 부하 증대가 예상되고 있으며, 급전사고로 인한 인근 전철변전소로부터의 연장급전 운용 등도 고려해야 하므로 이에 따른 급전시스템의 전압강하 및 전력품질 보상 대책이 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 효과적인 보상대책 설비의 하나로 TSC방식 SVC를 전기철도의 AT 급전시스템에 적용하는 방안을 검토하고 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

Abstract

Recently, power quality problems in A.C High-Speed Railway system have been raised, because heavy train and its higher speed are required in addition to new control system by using the Electronic devices. The installation/operation of the Series Capacitor(SC) has been only a device for voltage drop in power system up to now. However, the sufficient effectiveness of compensating on voltage drop has not been proved yet because of technical limitation of SC, and harmonic resonance is attracting a attention as one of new issues. Several problems are expected such as locational problems of a traction substation, and overloading caused by a new construction of electric railway and the increment in transport. Therefore, extension of power feeding during the fault in the traction substation should be also considered. So this paper represents the application of TSC-SVC on the electric railway power feeding system as a device of voltage compensation, and the simulations are executed through PSCAD/EMTDC.

Key Words : (SC, voltage drop, TSC-SVC, feeding system, voltage compensation)

* 주저자 : 한양대학교 전기공학과 박사과정
Tel : 02-2290-0347, Fax : 02-2297-1569
E-mail : hsjung50@hanmail.net
접수일자 : 2002년 2월 19일
1차심사 : 2002년 2월 26일
심사완료 : 2002년 5월 4일

1. 서 론

전기철도는 수송성이 월등히 높고 안전성과 신속

성 및 친 환경적인 요소로 인해 최근 들어 새롭게 부각되는 분야로 미래 교통문제 해결의 최선의 대안으로 제시되고 있다. 우리나라도 경부선 고속전철 건설을 계기로 환경문제가 없는 도심지역 인구분산 및 대량운송 수단으로서 활성화가 예상되고 있다. 이러한 전기철도는 급전계통에서 보면 1상 급전선로와 시/공간적으로 변하는 대용량 부하(고속전철 1편성 부하 14MVA) 및 인버터(또는 콘버터-인버터) 전력 변환장치로 구성되어 있기 때문에, 전원 측 및 급전계통에 전압변동, 전압불평형 및 고조파 유출 등 전력품질 저하문제를 초래하고 있다[1].

국내 전철시스템을 살펴보면 기존 산업업에는 BT (Booster Transformer) 급전방식의 위상제어 인버터 구동 직류전동기 방식이 채용되었고 최근에 건설되고 있는 경부 고속전철이나 기존선 전철화 사업에는 AT(Auto Transformer) 급전방식의 PWM(Pulse Width Modulation) 제어, 콘버터-인버터 구동 교류 3상 견인전동기 방식이 적용되고 있다. 이것은 전력전자기술과 Microprocessor 기술의 비약적인 발전에 의한 새로운 기술이지만 반면에 급전계통의 전력품질에 나쁜 영향을 끼치고 있다. 특히, 전압강하 및 역률보상 대책설비인 직,병렬 전력용 콘덴서는 전기열차의 전력변환장치에서 발생한 고조파와 공진하여 소손이 우려되고 있으며 기계적인 스위칭으로 인해 응답속도가 느리고 파도현상이 발생하는 기술적인 한계를 갖고 있다.

이에 비해 TSC-SVC(Thyristor Switched Capacitor-Static Var Compensator)는 무효전력을 공급하여 전압강하 및 역률을 보상하고, 실시간 제어가 가능하여 응답 특성이 좋기 때문에 선진국에서는 이미 전기철도에 적용하거나 실용화 연구가 진행되고 있다[2].

따라서 본 논문에서는 이 SVC를 국내 전기철도 전압강하 보상대책 설비로 검토하고자 한다.

이를 위해 급전회로망 해석기법을 이용하여 SVC에 의한 전압강하 보상원리를 해석하고 그 보상구조를 고찰하였으며 경부고속전철을 모델링하여 시뮬레이션을 통해 이를 입증하였다.

2. 전압강하 보상원리 및 효과

2.1 SVC의 전압강하 보상원리

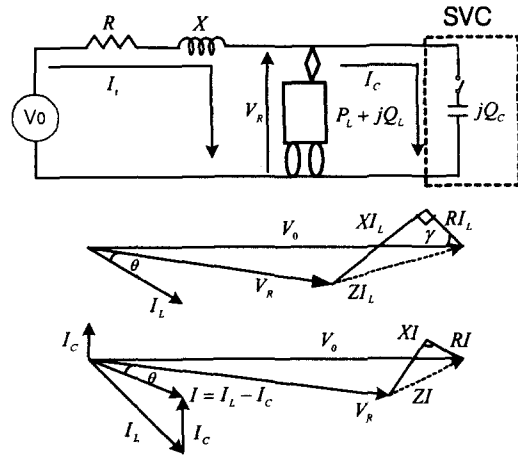


그림 1. SVC가 설치된 전차선로 등가회로 및 전압보상 벡터도

Fig. 1. Equivalent circuit of catenary & vector diagram of voltage compensation using SVC

그림 1은 AT 급전계통의 전차선로에 SVC를 설치한 등가회로와 SVC에 의한 전압강하 보상원리를 보여 주고 있으며 전원을 포함한 전차선로의 임피던스를 $Z = R + jX$ 라 하면 전압 강하율은 식 (1)과 같다.

$$\epsilon(\%) = \frac{V_0 - V_R}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서 V_0 : 부하 전류가 없을 때 부하점의 전압
 V_R : 부하 전류가 있을 때 부하점의 전압

따라서 전압 강하율을 다시 쓰면

$$\begin{aligned} \epsilon(\%) &= \frac{I_L \times Z}{V_0} \times \cos(\theta - \gamma) \times 100 \\ &= \frac{1}{V_0^2} \times (P_L R + Q_L X) \times 100 \quad (2) \end{aligned}$$

여기서 $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ $\gamma = \tan^{-1} \frac{X}{R}$

$$P_L = V_0 I_L \cos \theta \quad Q_L = V_0 I_L \sin \theta$$

위 수식에서 무효전력 Q_L 을 제어함으로써 전압 강하를 억제할 수 있게 된다. 따라서 급전선로 말단에 SVC를 설치하여 무효전력 Q_C 를 발생시키면 식 (2)는 식 (3)이 되고

$$\epsilon = \frac{1}{V_0^2} \times \{ P_L R + (Q_L - Q_C) X \} \times 100 \quad (3)$$

SVC에 의해 식 (4)의 무효전력을 출력하면 부하점의 전압강하는 이론상 0이 되어 전압강하가 보상된다.

$$Q_C = Q_L + (R/X) \times P_L \quad (4)$$

2.2 SVC 설치 위치 및 효과 비교

SVC 설치위치는 AT 급전선로의 전압강하 계산 및 보상용량 결정에 매우 중요하다.

기존 직렬콘덴서 방식에서는 전철변전소에 주로 설치하고 있는데 반해 SVC방식은 변전소에서 가장 멀리 떨어진 전차선로 말단의 급전구분소(SP : Sectioning Post)에 설치하는 것이 변전소에 설치하는 것보다 효과적이라는 것이 확인되었다[2].

기존 직렬콘덴서 방식과 SVC방식에 의한 보상원리 및 효과를 비교해 보면 표 1과 같다.

표 1. 전압강하 보상원리 및 효과 비교
Table 1. Comparison for compensation theorem & effect of voltage drop between SC and SVC

구분	직렬콘덴서방식(SC)	SVC방식
설치장소	변전소(SS)	급전구분소(SP)
원리	직렬보상 $\Delta V = XQ$	병렬보상 $\Delta V = X(Q - Q_C)$
역할	<ul style="list-style-type: none"> 부하전류변동에 따라 출력단자전압변동 선로전압강하율은 SC에 관계없이 일정 ($\Delta V_1 = \Delta V_2$) 	<ul style="list-style-type: none"> 변압기 출력단자 전압 거의 일정
효과	<ul style="list-style-type: none"> 계통 역률개선 효과 없음 부하역률 변동 응답 안됨 전압강하 보상 	<ul style="list-style-type: none"> 계통의 역률 개선 부하역률 변동응답 주로 전압강하보상

3. 급전시스템의 등가 모델

3.1 일반 급전시스템의 등가모델

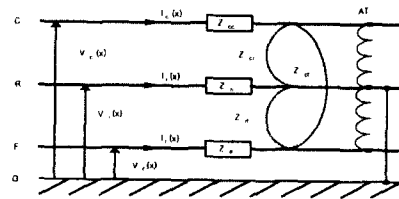


그림 2. AT 급전시스템의 등가모델
Fig. 2. Equivalent Model of AT feeding system

그림 2는 AT 급전시스템의 회로망 해석에 주로 사용되는 일반적인 등가모델로 레일과 대지사이의 어드미턴스를 무시한다면 전압강하는 전차선로의 전차선, 레일 그리고 급전선에 이르는 선전류와 자기 및 상호 임피던스에 의해 발생하게 되며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_c(x) - V_c(0) = -(Z_{cc}I_c + Z_{cr}I_r + Z_{cf}I_f)x \quad (5)$$

$$V_r(x) - V_r(0) = -(Z_{cr}I_c + Z_{rr}I_r + Z_{rf}I_f)x \quad (6)$$

$$V_f(x) - V_f(0) = -(Z_{cf}I_c + Z_{rf}I_r + Z_{ff}I_f)x \quad (7)$$

여기서 V_c, V_r, V_f : 전차선, 레일, 급전선 전압

I_c, I_r, I_f : 전차선, 레일, 급전선 전류

Z_{cc}, Z_{rr}, Z_{ff} : 자기 임피던스

Z_{cf}, Z_{cr}, Z_{rf} : 상호 임피던스

x : 전철변전소부터 측정 위치

이 전차선과 레일의 전압은 차량이 움직일 때마다 변하게 되고 선로정수(자기 및 상호 임피던스)값은 재료의 특성과 크기, 기하학적 배치 및 대지 전도율에 의해 결정된다.

3.2 SVC가 설치된 급전시스템 등가모델

3.2.1 SVC의 구조

앞의 AT급전 회로망에 SVC를 적용하기 위해서는 그 구조를 살펴볼 필요가 있다. SVC는 그림 3과 같이 콘덴서, 싸이리스터, 서지보호용 리액터로 구성되며, 싸이리스터를 보호하기 위한 리액터는 서지 전류를 제한시킨다. 정상상태에서 SVC는 정현파 교류 전압 ($V = V_m \sin \omega t$)이 인가되며, SVC에 흐르는 전류는 식 (8)과 같다[3].

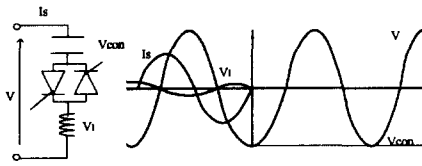


그림 3. SVC 구조와 전압·전류 파형
Fig. 3. Configuration of SVC and its voltage and current waveforms

$$I_s(\omega t) = V \frac{n^2}{n^2 - 1} \omega C \cos \omega t \quad (8)$$

$$\text{여기서, } n = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 LC}} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

콘덴서에 충전되는 SVC 전압의 크기 V_{con} 는 식 (9)와 같다.

$$V_{con} = \frac{n^2}{n^2 - 1} V \quad (9)$$

3.2.2 회로모델링

그림 4는 그림 2의 AT 급전계통에 SVC를 설치하여 등가회로를 구성한 것으로 단권변압기 간격은 10 km, 각 AT 구간에 차량이 1대씩 있는 경우를 가정하여 AT 변압기, 차량, SVC 설치위치를 각각 x,y,b로 나타냈다[4][5].

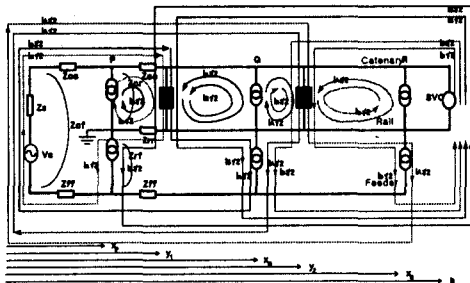


그림 4. SVC가 설치된 AT 급전회로의 등가회로
Fig. 4. Equivalent circuit of AT feeding system with SVC

여기서 $I_{a1}, I_{a2}, I_{A1}, I_{A2}$: 차량 전류(I_T)
 $I_{b1}, I_{b2}, I_{B1}, I_{B2}$: 보상 전류(I_S)
 Z_S : 전철 변전소의 내부 임피던스
 V_S : 전철 변전소의 정격 전압

AT 급전계통에서 전차선, 레일 전압은 위의 식 (5), (6)과 같고 차량전압 V_T 는 전차선과 레일간의 전압차로 식 (10)과 같다.

$$V_T(y) = V_c(y) - V_r(y) \quad (10)$$

차량과 SVC를 각각 정전류원과 전압원으로 가정하면 차량 전류와 보상 전류는 각각 식 (11), (12)와 같이 선로의 거리에 반비례하여 분배가 된다.

$$I_{a1} = \frac{x_Q - y_1}{x_Q - x_P} I_{T1} \quad I_{a2} = \frac{y_1 - x_P}{x_Q - x_P} I_{T1} \quad (11)$$

$$I_{A1} = \frac{x_R - y_2}{x_R - x_Q} I_{T2} \quad I_{A2} = \frac{y_2 - x_Q}{x_R - x_Q} I_{T2}$$

$$I_{b1} = \frac{y_2 - x_Q}{x_R - x_Q} I_S \quad I_{b2} = \frac{x_R - y_2}{x_R - x_Q} I_S \quad (12)$$

$$I_{B1} = \frac{y_1 - x_P}{x_Q - x_P} I_S \quad I_{B2} = \frac{x_Q - y_1}{x_Q - x_P} I_S$$

4. 시뮬레이션

4.1 개요

경부선 고속전철을 비롯하여 현재시공중인 전기철도는 AT 급전방식을 채용하고 있다. AT 급전방식은 전차선과 급전선 사이에 단권변압기를 설치하여 권선과 레일을 접속시킨 급전방식으로, 전압강하가 작고 급전전압은 2배가 되어 변전소 간격을 길게 할 수 있으며 레일전류는 AT를 통해 흡수되므로 통신 유도장해가 경감되고 대용량 전기차 부하에도 전압 변동이나 전압불평형이 작아 교류전기철도 표준 급전방식으로 적용되고 있다.

따라서 AT 급전시스템인 경부고속전철 시험선 구간을 모델링하였으며 차량부하는 정전류 모델(Constant Current Model)로 가정하였다.

그리고 SVC는 변전소에서 가장 먼 급전구분소(SP)에 설치하고 차량 운행조건에 따라 다음의 4가지 경우를 고려하였다.

- (1) 정상상태 운전의 정상급전인 경우
- (2) 변전소 사고로 인한 연장급전인 경우
- (3) 향후 차량부하 증가를 고려한 증대부하시 정상급전인 경우
- (4) 증대부하시 변전소 사고로 인한 연장급전인 경우

경우

위의 각각의 경우에 대하여 SVC를 투입하여 투입 전후의 전압강하와 보상결과를 PSCAD/EMTDC를 이용하여 확인하였다.

4.2 입력자료 및 시뮬레이션

4.2.1 입력자료

현재 건설중인 경부고속철도 시험선 구간에 대한 입력자료와 SVC 제원은 표 2와 같다[6].

표 2. 시뮬레이션 입력자료
Table 2. Reference data of simulation

구분	기호	값
3상 전력계통(변전소)		
전압	E	154[kV]
단락임피던스	Z_S	$0.3846+j1.7278[\Omega]$
스카트 변압기		
정격용량		90[MVA]
정격전압		154/55[kV]
임피던스	Z_{st}	12.5[%]
철도급전계통		
전차선	Z_c	$0.1940+j0.7310[\Omega/km]$
급전선	Z_t	$0.1220+j0.5870[\Omega/km]$
레일	Z_r	$0.0990+j0.4670[\Omega/km]$
전차선-급전선	Z_{ct}	$0.0580+j0.3690[\Omega/km]$
전차선-레일	Z_{cr}	$0.0580+j0.53730[\Omega/km]$
레일-급전선	Z_{rt}	$0.0510+j0.3600[\Omega/km]$
단권변압기(AT)		
정격용량		10[MVA]
정격전압		55/27.5[kV]
임피던스		8[%]
AT 배치간격	Z_{AT}	10[km]
차량		
정격소비전력	P_t	14[MW]
정격전압		27.5[kV]
정격역률		1.00
임피던스(정격)	Z_T	$50.42[\Omega]$
SVC	C_{SVC}	1 ϕ 10MVA
급전거리	L	25km

4.2.2 시뮬레이션 실시

그림 5는 급전거리 및 운전시격에 따른 경부고속 전철 변전소의 부하를 1시간 실효치로 운전시격에 따라 예측한 것으로 이들을 급전경우별로 정리하면 표 3과 같다.

표 3에서 정상급전은 현재 계획된 정상상태의 운전시격을 5분/4분으로 예측한 경우이고, 연장급전은 정상급전중 변전소 사고로 인한 인근 변전소로부터 전원을 공급받는 경우이다.

그리고, 증대부하 정상급전의 경우는 향후 수송량 증가에 따른 시격단축 만을 고려하였으며 증대부하 급전시 변전소 사고로 인한 연장급전 경우에 대해서도 고찰하였다.

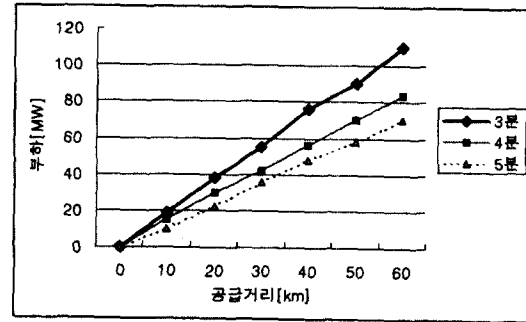


그림 5. 급전거리 및 운전시격과 변전소 부하와의 관계 [7]

Fig. 5. Effect of headway and feeding distance in substation loading

표 3. Case별 급전거리 및 부하용량

Table 3. Feeding distance and train load each cases

Case	급전거리 (km)	부하용량(MW)			
		5분시격	4분시격	3분시격	
1	정상급전	25	20	30	-
2	연장급전	50	40	60	-
3	증대부하 정상급전	25	-	-	40
4	증대부하 연장급전	50	-	-	80

그림 6은 그림4의 AT 급선회로를 모델링하여 표 2의 급전선로 및 표 3의 차량 데이터를 입력하고 전차선-레일간의 전압변동을 검출하여 SVC를 투입하여 보상효과를 확인하기 위한 장치회로, 검출회로, 제어 및 보상회로로 구성된 PSCAD/ EMTDC 시뮬레이션 계통도이다. SVC설정전압은 26[kV]에서 투입하고 29[kV]에서 개방되도록 구성하였다[8].

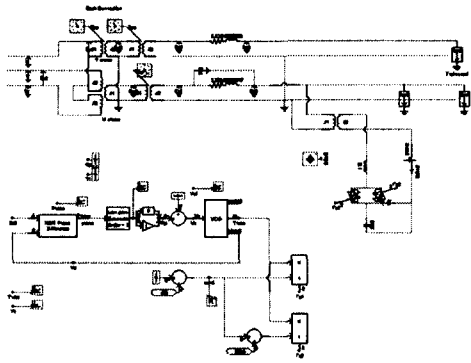


그림 6. 시뮬레이션 계통도
Fig. 6. Simulation diagram using PSCAD / EMTDC

4.2.3. 시뮬레이션 결과

표 3의 4가지 경우의 각각에 대하여 SVC를 투입하거나 제거하는 방법으로 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음과 같다.

(1) Case 1 : 정상급전의 경우(선로길이L=25km, 차량부하Pt=20/30MW)

그림 7은 변전소 전압 V_s 와 SVC의 설치점에서의 차량전압 V_L 의 순시치를 나타내었다. 이 경우는 선로 길이가 짧고, 차량부하 용량이 작아서 전압강하가 거의 발생하지 않았다.

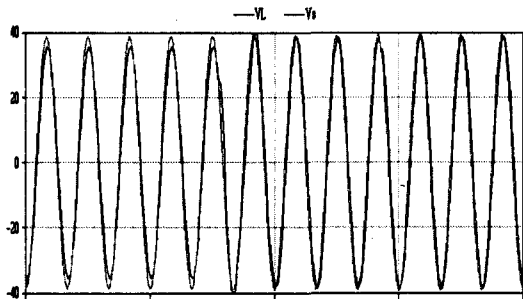


그림 7. Case 1에 대한 SVC설치 전/후의 전압강하 및 보상전압 순시치
Fig. 7. Voltage drop and its compensation voltage (instantaneous value) without & with SVC in case 1

즉, 정상급전 경우의 4분 시격에서 차량 최저 공 급전압이 24.5kV로, 국내 고속철도 전압변동 허용기준치 (+20%~-10%) 이내가 되기 때문에 보상할 필요가 없어 SVC는 불필요하다.

(2)Case 2 : 연장급전의 경우(L=50,Pt=40/60)

Case 2는 변전소 고장을 가정한 인근 변전소부터 연장급전인 경우로 정상급전의 경우보다 선로의 길이와 차량부하가 모두 두 배가 된다.

그림 8(순시치)과 그림 9에서와 같이 4분 시격인 60[MW] 부하(5분 시격 40[MW]에서는 전압변동 허용 기준치 이상)에서는 차량 전압이 전압변동 허용기준 하한값 22.5[kV]이하인 22.0[kV]로 나타났다.

따라서 전압보상이 필요하고 SVC를 통해 2[kV]가 보상된 24[kV]를 나타내고 있다.

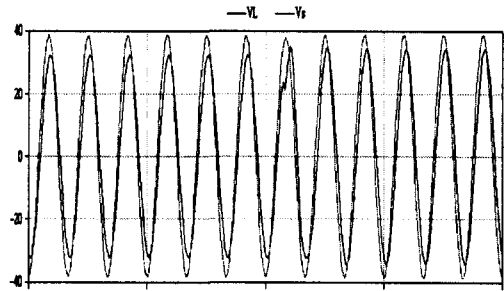


그림 8. Case 2에 대한 SVC설치 전/후의 전압강하 및 보상전압 순시치
Fig. 8. Voltage drop and its compensation voltage (instantaneous value) without & with SVC in case 2

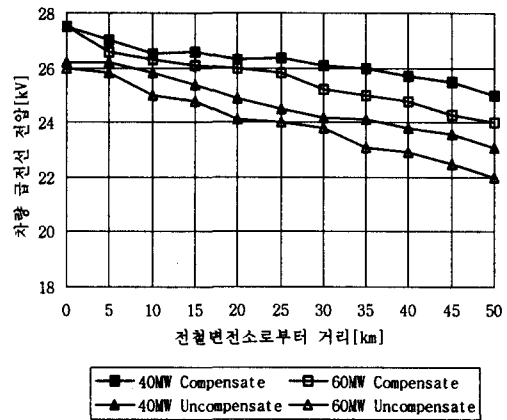


그림 9. Case 2에 대한 SVC설치 전/후의 전압강하 및 보상전압 실효치
Fig. 9. Voltage drop and its compensation voltage (RMS) without & with SVC in case 2

(3) Case 3 : 중대부하 급전시 정상급전의 경우 (L=25, Pt=40)

Case 3은 향후 시격단축에 따른 중대부하인 경우로 운전 시격을 5분/4분에서 3분으로 단축시켰을 경우, 급전거리는 일정하고 부하용량이 Case 1의 5분 시격일 때의 2배로 늘어난 경우로 그림 10 에서와 같이 최저전압이 23.0[kV]로 전압변동 허용 하한 기준치에 미달되지는 않지만 급전선로에 연결된 타 설비(제어 및 신호설비 등)의 동작에 영향을 미칠 수 있다.

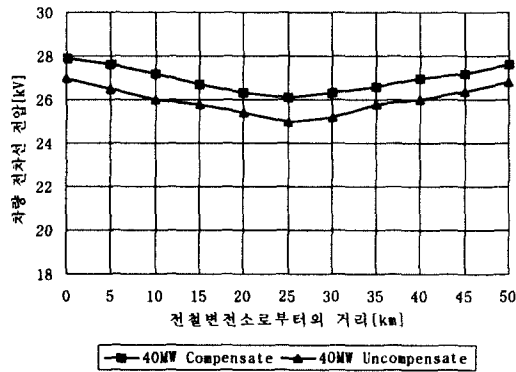


그림 10. Case 3 에 대한 SVC 설치 전/후의 전압강하 및 보상전압 실효치
 Fig. 10. Voltage drop and its compensation voltage (RMS) without & with SVC in case 3

(4) Case 4 ; 중대부하 급전시 연장급전인 경우 (L=50, Pt=80)

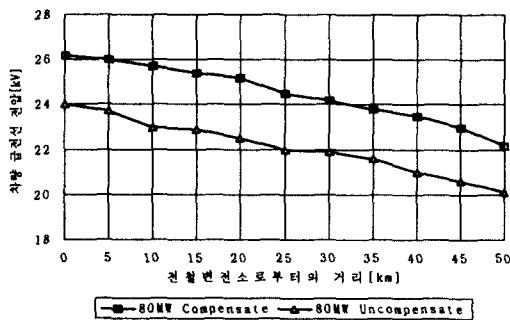


그림 11. Case 4에 대한 SVC설치 전/후의 전압강하 및 보상전압 실효치
 Fig. 11. Voltage drop and its compensation voltage (RMS) without & with SVC in case 4

그림 11은 향후 부하증대가 예상되는 중대부하 급

전 중 변전소 사고로 인한 연장급전의 경우로 가장 최악의 조건을 가정한 것으로 변전소 말단의 전압은 20.5[kV]로 더 낮아졌다.

이때 SVC에 의하여 2[kV] 전압이 보상된 전차선 전압 22.5[kV]로 나타나 고속철도 전압허용기준치를 유지할 수 있게되어 SVC 효과가 가장 크게 나타났다.

그림 12는 Case 3과 Case 4의 중대부하 급전의 경우를 종합한 것으로서 급전 거리와 차량부하의 증가에 따른 전압강하 보상관계를 상호 비교하여 나타내 주고있다. 중대부하 급전에서 연장급전일 때는 정상급전의 경우에 비해 선로길이가 차량이 2배가 되어서 상대적으로 가장 큰 전압강하가 발생하였다.

최대 전압강하는 변전소로부터 가장 먼 연장 급전 선로 말단에서 발생되었으며, 이때 최저 전압이 20.5[kV]로 나타났고, SVC에 의해서 약 2[kV]가 보상되어 22.5kV로 승압된 결과를 보여주고 있다.

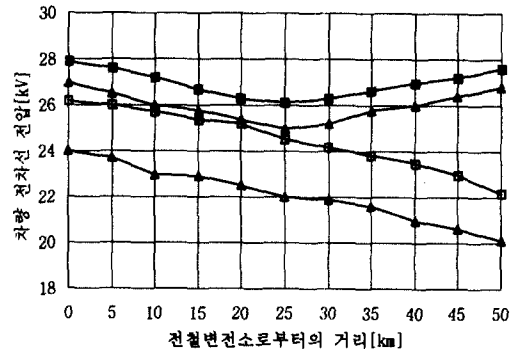


그림 12. Case 3과 Case 4의 혼합 전압강하 및 전압보상 실효치
 Fig. 12. Composite voltage drop and its Compensation voltage (RMS) in Cases 3 and 4

5. 결 론

본 논문에서는 전기철도 AT 급전시스템의 전압강하 보상대책 설비로 SVC 적용을 검토하였다. 기존의 직렬콘덴서(SC)가 기계적인 스위칭으로 인해 응답속도가 느린 수동 보상기인 반면에 SVC는 빠른 응답속도와 연속적인 제어로 전압을 효과적으로 보상할

전기철도 AT 급전시스템에서의 TSC-SVC를 이용한 전압강하 보상

뿐만 아니라 과도안정도 향상, 전력동요 억제 및 상 간불균형 제어도 가능하게 된다.

전철 AT 급전계통의 전압강하는 급전거리와 차량 부하에 의하여 결정되는데 급전회로와 차량부하를 회로망 해석기법과 정전류 부하모델로 해석하고 시뮬레이션을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 정상급전의 경우는 전압허용기준치(+20%~-10%) 이내로 문제가 없었으나 연장급전의 4분시격 60[MW] 경우는 전압허용 기준치 하한값 22.5[kV]이하인 22[kV]로 나타났고 SVC에 의해 2[kV]가 보상된 24[kV]로 상승하였다.

(2) 중대부하 급전(40MW)의 경우는 23[kV]로 규정치에는 문제가 없으나 신호설비 등 타설비에 영향을 미칠 수 있다.

(3) 중대부하 연장급전의 경우는 20.5[kV]로 전압강하가 가장 크게 발생했으나 SVC에 의해서 22.5[kV]로 보상되었다.

본 논문에서는 전압강하 보상에 주안점을 두고 TSC-SVC를 이용한 AT 급전계통의 전압 보상효과를 확인하였지만, 전기철도는 그 부하 특성상 전압 불평형과 고조파 발생 등 복잡한 전력품질 문제가 내재되어 있으므로 앞으로도 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

(8) Manitoba HVDC Research Centre, PSCAD/EMTDC V3 User's Manual, Copyright Manitoba HVDC Research Centre, 1988.

◇ 저자소개 ◇

정 현 수 (鄭鉉洙)

1974년 전남대학교 전기공학과 졸업. 1988년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한양대학교 전기공학과 박사과정.

방 성 원 (房聖源)

1999년 전남대학교 전기공학과 졸업. 현재 한양대학교 전기공학과 석사과정.

김 진 오 (金鎭吾)

1980년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 Texas A&M Univ. 전기공학과 졸업(박사). 현재 한양대학교 공과대학 전기공학과 부교수.

References

- [1] 한국철도기술연구원 "고속전철 서울-대전구간 고조파 전압불평형, 역률 예측계산 및 대책설계" 한국고속철도 건설공단. pp. 29-49, 101-123. 1999.
- [2] Keiji KAWAHARA "Compensation of Voltage Drop using static Var Compensator at Sectioning post for singansen power Feeding system", RTRI REPORT, Vol.13, NO7. 99. 7.
- [3] G. Narain, Understanding FACTS, IEEE Press, pp. 151-156, 2000.
- [4] R. J. Hill, D. C. Carpenter and T. Tasar, "Railway track admittance, earth-leakage effects and track circuit operation", Proceedings of Join ASME/IEEE railroad Conf., pp. 55-62, April 26-28, 1989.
- [5] Pao-Hsiang "Simulation on-line Dynamic voltages of Multiple Trans under Real operating Conditions for AC Railways." IEEE Transactions on Power systems Vol14, NO2, pp. 452-459.
- [6] 한국전기연구소 "급전시스템 해석기술 개발". 건교부, 산자부, 과기부. pp. 166, 1998.
- [7] 신형섭, "다중열차 운영을 고려한 전기철도 급전계통 시뮬레이션", 한국고속철도 건설공단, pp. 20-35, 1996.