Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 16, No.5, pp. 53~60 September 2002 논문 16-5-8

STATCOM을 이용한 교류 전기철도 급전시스템의 전압강하 보상

(Compensate Voltage Drop for Autotransformer-Fed AC Electric Railroad System with Single-Phase STATCOM)

정현수* · 이승혁 · 김진오

(Hyun-Soo Jung · Seung-Hyuk Lee · Jin-O Kim)

요 약

본 논문에서는 정전류 부하모델 교류 전기철도 AT 급전시스템을 회로망 해석법(Loop Equation Method)을 이용하여 실제 급전시스템과 유사하게 제약조건을 두고 여러 경우를 가정하여 모델링 하였다. 이 방법을 통해 앞으로 건설될 고속 전기철도 급전시스템의 전력품질에 영향을 줄 수 있는 전압강하에 주안점을 두고 정상급전의 경우 뿐만 아니라 연장급전의 경우를 새롭게 확대 해석하였으며 이 결과를 동적 시뮬레이션 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 그 정확성과 실용성을 검증하였다. 또한 사례연구를 통해 전압 보상기를 설치하지 않는 경우와 STATCOM을 설치한 경우의 전압강하 보상효과를 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션 하여 검증하였다.

Abstract

This paper presents exact autotransformer-fed AC electric railroad system modeling using constant current mode, and single-phase STATCOM(Static Synchronous Compensator) which has an effect on electric railroad system. An AC electric railroad is rapidly changing single-phase feeding electric power. To avoid voltage fluctuation under single phase loads, electric power should be received from a large source. The system modeling theory is based on the solution of algebraic. The AC electric railroad load model is nonlinear. Therefore this paper is considered nonlinear load using PSCAD/EMTDC. And the proposed modeling method is considered the line self-impedances and mutual-impedances that techniques for the AC electric railroad system modeling analysis, and that single-phase STATCOM can reliably compensate the voltage drop. In the case study, the allowance range of feeding voltage is 22.5~27.5 kV, AT-fed AC electric railroad system circuit is analyzed by loop equation both normal and extension modes. The simulation objectives are to calculate the catenary and rail voltages with respect to ground, as the train moves along a section of line between two adjacent ATs. The results show that single-phase STATCOM can reduce the voltage drop in the feeding circuit and improve the power quality at AC electric railroad system by compensating the reactive power.

Key Words : STATCOM, PSCAD/EMTDC, FACTS, Voltage Drop, Autotransformer, Railroad

* 주저자 : 한양대학교 전기공학과 박사과정
Tel : 2290-0347, Fax : 2281-9912
E-mail : hsjung50@hanmail.net
접수일자 : 2002년 6월 26일
1차심사 : 2002년 7월 2일
심사완료 : 2002년 8월 6일

1. 서 론

일반적으로 송·배전 시스템은 3상 평형부하인 반면에 전기철도 부하는 단상 대용량 집중 부하로 이동

과 정지가 빈번하고, 부하변동이 극심한 전기적 특성을 갖고 있기 때문에 급전시스템에 필연적으로 전압강하 및 전압변동과 불평형 등 급전품질 저하 문제가 발생되고 있다. 급전시스템에서 전압강하는 전압변동과 불평형에 영향을 미치고 기기 성능 및 제어와 신호계통에 나쁜 영향을 줄 수 있어 이 들 문제 해결에 있어서 가장 중요한 요소라고 말할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 이 전압강하에 주안점을 두고 교류 전기철도 표준 급전방식인 단권변압기(AT) 급전시스템을 모델링 하였다. 그리고 전기철도 차량의 부하 모델은 일정한 전류를 소비하는 정전류 부하 모델로 모델링하여 정상 급전의 경우와 전철 변전소에 사고로 인한 연장 급전의 경우에 대한 급전시스템의 전압강하를 해석하였다. 교류 전기철도는 부하변동이 극심한 대용량의 이동부하라는 특수성 때문에 계통해석이 어렵고 복잡하여, 기존의 연구논문은 주로 전차선로에 1대의 전기차가 존재하는 경우를 가정하여 단순한 해석법에 의존해 온 관계로 급전시스템의 전기적 특성이 충분히 표출되었다고 볼 수 없다 [1, 2].

왜냐하면 전기차는 계획된 열차운행 스케줄과 신호체계에 의해서 전차선로에 운행되는 열차 대수가 제한되기 때문에 이러한 제약조건을 고려하지 않으면 안 된다.

따라서 본 논문에서는 이들 제약조건을 고려하여 실 계통에 가깝게 모델링하여, 지금까지 전형적으로 연구해 온 정상상태 급전 뿐 만 아니라 연구가 안된 사고시의 연장급전의 경우를 확장하여 해석하였다.

전철 급전시스템 해석에 있어서 회로망 해석법(Mesh 해석법)과 절점법(마디 해석법)을 이용하여 해석하고 있다[1, 2]. 주로 절점법은 정임피던스 부하를 이용하여 해석할 때 사용한다. 전기차 부하는 정임피던스 부하가 아닌 일정한 전류의 유입으로 인한 전력을 소비하는 부하이기 때문에 정전류 부하모델로 하는 회로망 해석법을 이용하였다.

최근 들어 AT 급전시스템의 전압강하 보상을 위하여 케패시터 대신에 SVC(Static Var Compensator)가 부분적으로 채용되고 있으나 SVC는 구조가 간단한 반면에 설치면적이 크고 응답특성이 느리며 계통전압이 저하하면 무효전력 공급 능력이 급격히 떨어지는 단점이 있어, STATCOM 등 자여식 SVC에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 일본 등에서는 일부 실용화 단계에 있다고 생각된다 [3~5].

그러나 국내는 아직까지 전기철도에 FACTS 설비(Flexible AC Transmission System)를 적용하기 위한 연구가 거의 이루어지지 않고 있는데, 경부선 고속전철 건설을 계기로 전철화 사업이 활발히 진행되고 있어 급전품질 보상 대책이 현실적인 문제로 대두되고 있으므로 본 논문에서는 SVC에 비해 많은 장점을 갖고 있는 STATCOM을 통한 급전시스템의 전압강하 보상 방안을 제시하였다.

이를 검증하기 위하여 PSCAD/EMTDC를 사용하여 AT 급전시스템과 비 선형 특성을 갖는 전기철도 부하를 모델링하여 동적 시뮬레이션을 실시하였다.

2. 단권변압기(AT) 교류 전기철도 급전시스템 모델링과 전압강하 계산

AT 급전방식은 급전선과 전차선 사이에 약 10 km 간격으로 단권변압기를 병렬로 설치하여 변압기 권선의 중성점을 레일에 접속하는 방식이다. 이 방식은 전압 강하, 전압변동 및 불평형이 작고 안정된 전력공급이 가능하여 교류 전기철도에 있어서 표준 급전방식으로 채택하고 있다.

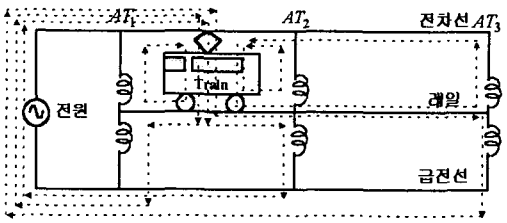

그림 1. AT 급전선로의 전류분배
Fig. 1. Current distribution in ATs-fed electric railroad supply network

그림 1에서와 같이 AT 급전시스템에서 전류는 양편 AT 권선에 교차하여 나타나는 전차선과 레일전압의 양방향으로 공급되며, 순환전류는 AT의 권선 ampere-turn의 균형을 유지하기 위하여 흐르게 되고 레일에 흐르는 전류는 차량을 중심으로 각각 반대방

향의 AT쪽으로 흐르기 때문에 통신선에 대한 유도장해가 경감된다.

그리고 전기철도 부하모델은 특성상 정적인 부하가 아니라 시간에 따라 변하는 동적인 부하이지만 열차운행스케줄에 따라 전구간에서 운전속도가 규정되어 있으므로 일정 위치에서는 항상 동일한 전력을 소비하는 역률 1에 가까운 정전력 부하라고 말할 수 있다.

다시 말해서 전기차 부하의 전동기는 전기적 출력을 일정하게 유지하려는 특성이 있기 때문에 전기차의 소비전력을 일정한 값으로 하는 정 전력 모델이나 정 전류 모델로 전기철도 차량부하를 해석해야 한다.

따라서 본 논문에서는 정 전류를 유입하여 정 전력을 소비하는 정전류 모델로 모델링 하였다.

2.1 교류 전기철도 급전시스템 모델의 전압강하

그림 2에서 레일과 대지 사이의 어드미턴스 Gr을 무시할 만큼 작다고 하면 전압강하는 전차선, 레일, 그리고 급전선에 이르는 선전류, 자기임피던스와 상호임피던스에 따라 다음 식 (1), (2), (3)과 같이 표현된다.

$$V_c(x) - V_c(0) = -(Z_{cc}I_c + Z_{cr}I_r + Z_{cf}I_f)x \quad (1)$$

$$V_r(x) - V_r(0) = -(Z_{cr}I_c + Z_{rr}I_r + Z_{rf}I_f)x \quad (2)$$

$$V_f(x) - V_f(0) = -(Z_{cf}I_c + Z_{rf}I_r + Z_{ff}I_f)x \quad (3)$$

여기서 V_c, V_r, V_f는 전차선, 레일, 급전선의 상전압이고 x는 열차까지의 거리이다. 따라서 $V_r(0)$, $V_c(0)$, $V_f(0)$는 거리가 0 인 지점, 즉 전철변전소의 전차선, 레일, 급전선 전압이 된다. I_c, I_r, I_f는 각각 상전류, 그리고 Z_{cc}, Z_{rr}, Z_{ff}는 각 선의 자기임피던스이고 Z_{cf}, Z_{cr}, Z_{rf}는 각 선간의 상호임피던스이다. 전차 선로의 자기임피던스와 상호임피던스 값은 레일과 케이블 재료의 특성과 크기, 시스템의 기하학적 구조 그리고 대지 전도율에 의해 구할 수 있으며 이 수식에 의하여 전차선과 레일의 전압을 각 case 별로 구할 수 있다.

본 논문에서는 실제계통에 가까운 모델링을 위해 단권변압기와 운행되는 열차 대수에 따라 Case 1에서 Case 5까지 가정하였으며 표 1에 나타내었다. AT 사이의 구간은 10[km], 전철변전소부터 급전구분소(SP)까지의 거리는 25[km]이므로 연장급전 시에는 하나의 전철변전소에서 급전하는 거리는 50[km]가 되며, 차량부하는 600[A]의 정전류 모델로 모델링 하였다.

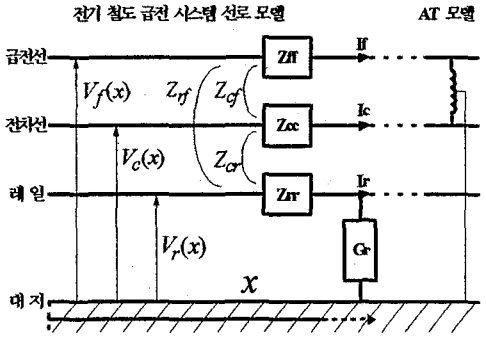

그림 2. 한 Section에 대한 AT 급전시스템의 등가 모델
Fig. 2. Equivalent model of AT feeding system

표 1. AT 각 구간별 열차 댓수와 위치
Table 1. Train number and position to each AT section

열차수 (case) / 위치	정 상 급 전	
	Case 1	Case 2
AT_1~ AT_2	1 (9 km)	0
AT_2~ AT_3	0	1 (18 km)
AT_3~ SP	0	1 (22 km)

열차수 (case) / 위치	연 장 급 전		
	Case 3	Case 4	Case 5
AT_1~ AT_2	1 (9 km)	1 (9 km)	1 (9 km)
AT_2~ AT_3	0	1 (18 km)	1 (18 km)
AT_3~ SP	0	1 (22 km)	1 (22 km)
SP~ AT_5	0	0	1 (33 km)
AT_5~ AT_6	0	0	0
AT_6~ AT_7	0	0	0

일반적인 AT 급전시스템의 모델링 입력자료는 다음과 같다. 각 Case 별 AT 급전시스템의 전압강하를 계산하면 다음과 같다.

- 전철변전소 전원(V_S) : 55[kV]
- 전철변전소 전원 임피던스(Z_S) : 2.36+j19.5 [Ω]
- 전차선 자기임피던스(Z_{cc}) : 0.1192+j0.7522 [Ω/km]
- 레일 자기임피던스(Z_{rr}) : 0.1618+j0.6709 [Ω/km]
- 급전선 자기임피던스(Z_{ff}) : 0.2036+j0.8847 [Ω/km]
- 전차선-레일 상호임피던스(Z_{cr}) : 0.058+j0.369[Ω/km]
- 전차선-급전선 상호임피던스(Z_{cf}) : 0.051+j0.361
- 레일-급전선 상호임피던스(Z_{rf}) : 0.053+j0.373
- 전철변전소로부터의 거리

$x_P(AT_1)$: 1[km]	$x_Q(AT_2)$: 10[km]
$x_R(AT_3)$: 20[km]	$x_S(SP)$: 25[km]
$x_T(AT_5)$: 30[km]	$x_U(AT_6)$: 40[km]
$x_V(AT_7)$: 50[km]	

2.1.1 Case 1의 전압강하

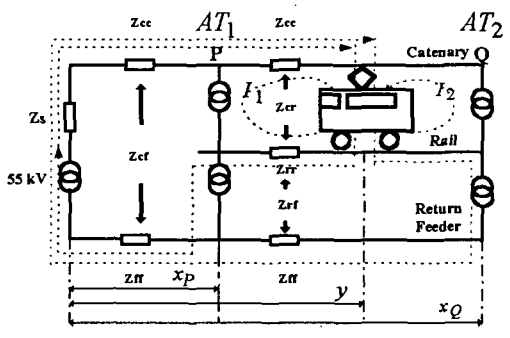

그림 3. Case 1의 교류 전기철도 급전시스템
Fig. 3. The AC electric railroad system of case 1

그림 3은 표 1과 같이 전철 변전소로부터 AT_1과 그 다음 AT_2 사이에 열차가 한 대 운행되고 있는 경우로서 임의로 열차의 위치 (y_1)는 12[km] 지점으로 가정하고 흐르는 전류는 식 (4), (5)와 같이 표현된다. 여기서 I_t는 정전류로서 부하 모델링 된 열차에 흐르는 전류이다. 결국 전차선에 걸리는 전압은 식 (6), (7), (8)과 같다.

$$I_1 = \frac{x_Q - y_1}{x_Q - x_P} I_t \tag{4}$$

$$I_2 = \frac{y - x_P}{x_Q - x_P} I_t \tag{5}$$

전철변전소에서 AT_1 구간에서 전차선에 걸리는 전압을 V_{c1}이라 하면 식 (6)처럼 된다. ($0 < x < x_p$)

$$V_{c1}(x) = V_S - Z_S\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) - (Z_{cc} - Z_{cf})\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)x \tag{6}$$

AT_1에서 열차 사이의 구간에서 전차선에 걸리는 전압을 V_{c2}라 하면 식 (7)처럼 된다. ($x_p < x_1 < y_1$)

$$V_{c2}(x_1) = V_{c1}(x_p) - (Z_{cc} - Z_{cf})\frac{I_2}{2}(x_1 - x_p) - (Z_{cc} - Z_{cr})I_1(x_1 - x_p) \tag{7}$$

열차에서 AT_2사이의 구간에서 전차선에 걸리는 전압을 V_{c3}라 하면 식 (8)처럼 된다. ($y_1 < x_2 < x_Q$)

$$V_{c3}(x_2) = V_{c2}(y_1) + (Z_{cc} - 2Z_{cr} + Z_{cf})\frac{I_2}{2}(x_2 - y_1) \tag{8}$$

그림 4는 Case 1의 전압강하 계산결과이다.

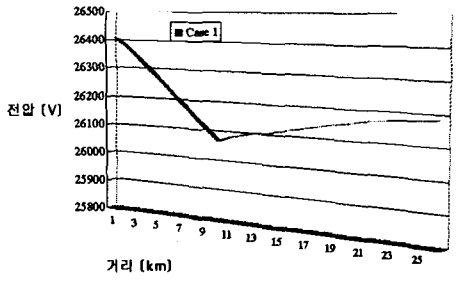

그림 4. Case 1의 전압강하
Fig. 4. Voltage drop in case 1

2.1.2 Case 2~Case 6의 전압강하

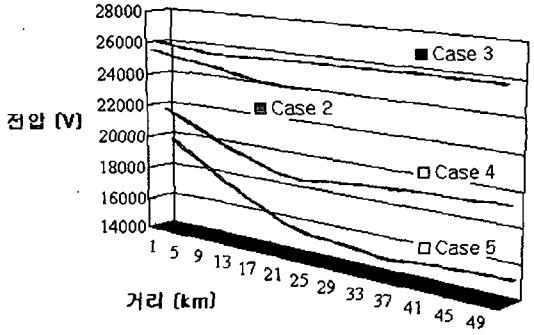

그림 5. Case 2~Case 5의 전압강하
Fig. 5. Voltage drop in case 2~5

위와 같이 회로망(Loop Equation) 해석법을 이용하여 표 1의 각 경우 별로 전압강하를 구할 수 있으며 그림 5는 Case 2부터 Case 5까지의 계산결과이다.

3. 사례연구 (PSCAD/EMTDC Simulation)

회로망 해석법에 의한 교류 전기철도 AT 급전시스템에 대한 전압강하 해석의 정확성을 검증하기 위해 동적 시뮬레이션 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 보상기(STATCOM)가 설치된 경우와 보상기가 없는 경우로 나누어 그 결과를 확인하고, 각 경우별로 정상급전 및 연장급전에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 전압보상이 효과적인 급전구분소의 단상 STATCOM의 구성도는 그림 6과 같다.

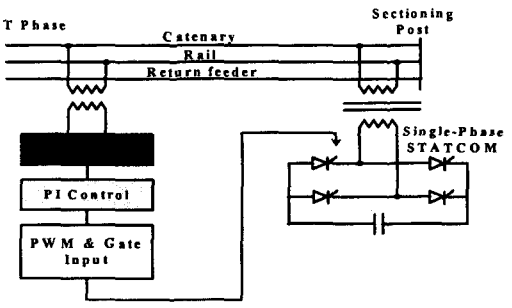

그림 6. 단상 STATCOM을 급전구분소에 설치한 AT 교류 전기철도 급전시스템
Fig. 6. ATs-fed electric railroad using single-phase STATCOM at sectioning post

단상 보상기(STATCOM)의 보상원리는 단상전원의 전차선을 통해 급전되는 경우 전차선의 임피던스를 $Z=R+jX$ 라 하면 전차선에 운행되는 열차 부하전류에 의해 전압강하가 발생되고 그림 7과 같이 무부하시의 전압을 V_0, 부하전류(I_L)가 흐르고 있을 때의 전압을 V_L이라 하면 전압강하는 식 (9)와 같이 된다.

$$\begin{aligned}\triangle V_{drop} &= \frac{I_L \times Z}{V_0} \times \cos(\theta-\gamma) \\ &= \frac{I_L \times Z}{V_0} \times (\cos\gamma\cos\theta + \sin\gamma\sin\theta) \\ &= \frac{1}{V_0^2} \times (P_L R + Q_L X)\end{aligned} \quad (9)$$

전압강하를 보상하기 위해서는 부하의 무효전력 Q_L을 제어해야만 한다. 그러기 위해서는 식 (11)에서처럼 단상 보상기(STATCOM)에 의한 무효분 $Q_{STATCOM}$을 제어함으로서 보상이 가능하다.

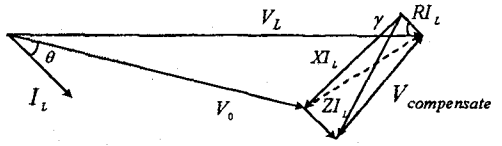

그림 7. 보상원리 전압 백터도
Fig. 7. Voltage vector diagram

$$\triangle V_{drop} = \frac{1}{V_0^2} \times [P_L R + (Q_L - Q_{STATCOM})X] \quad (10)$$

$$Q_{STATCOM} = Q_L + (\frac{R}{X}) \times P_L \quad (11)$$

본 논문에서 제안한 단상 STATCOM은 20 MVA 2-레벨 4-펄스 VSC(Voltage Source Converter)로 구성하였다. 이 모델은 교류 전기철도 급전시스템의 전압강하는 열차에 의해 급전하는 전차선에 영향을 받으므로 단상으로 전차선 전압강하에 대한 보상을 해야 하기 때문이다.

3.1 정상급전에서 보상기(STATCOM)가 없는 경우

154[kV]의 모선으로부터 전압을 수전 받아 전철변전소에서 55[kV]로 변압하는 스콧 결선 변압기는 레

일과 전차선 사이에 27.5[kV]를 급전한다. 정상급전시에 EMTDC에서 제공하는 그림 8과 같은 Tline 라이브러리를 이용하여 각 단권변압기마다 거리(10[km])를 주고 회로망 해석법과 동일한 선로 입력 데이터로 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같다.

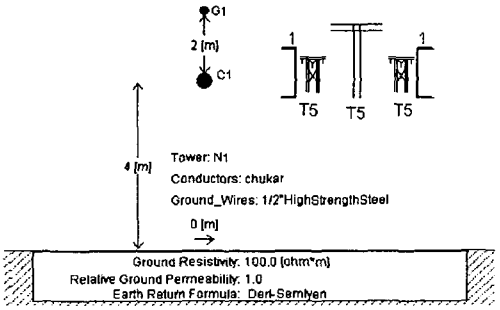

그림 8. PSCAD/EMTDC Tline 라이브러리 요소
Fig. 8. Tline component of PSCAD/EMTDC

그림 9의 결과는 회로망 해석의 Case 3과 동일한 경우이며 첫 번째 그래프는 스콧 결선 변압기 M좌, T좌의 순시전압 (V_m, V_t)과 전압강하를 보여준다.

여기서 T좌에만 전기차를 운행시키고 M좌에는 전기차가 없는 경우로 T좌 순시전압 (V_t)이 M좌 순시전압 (V_m)보다 크기가 작다. 그림 9의 두 번째 그래프는 각 좌의 실효전압을 나타내며 T좌 실효 전차선 전압 (V_{cc})이 25.575[kV]이고 M좌 실효 전차선 전압 (V_{ccM})은 27.280[kV]로 전차선 전압강하가 1.925[kV] 로 나타났으며, 회로망 해석에 의해 계산된 Case 3의 전차선 전압 25.599[kV]와 거의 같았다.

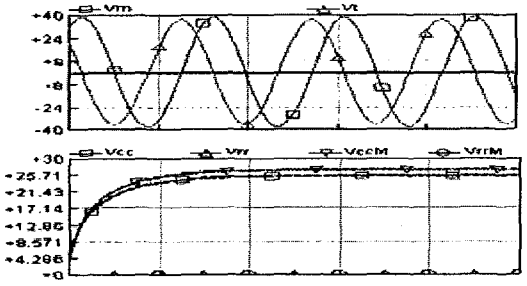

그림 9. STATCOM이 없는 경우 Scott결선 변압기의 M좌 T좌의 전차선 전압
Fig. 9. M phase & T phase catenary voltage profile of AC ATs-fed electric railroad system without STATCOM

이 결과에 약간의 오차는 PSCAD/EMTDC의 단권변압기는 내부 임피던스가 존재하여 수식에 의해 계산한 경우보다 전압강하가 약간 더 발생했기 때문이다.

3.2 정상급전에서 보상기(STATCOM)가 설치되어 있는 경우

앞 절 AT 급전시스템의 정상급전시에서 전기차가 T좌에만 운행되고 있는 경우, T좌의 급전구분소에 그림 10과 같이 단상 STATCOM을 설치하여 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션을 한 보상결과는 그림 11과 같다. 그림 11의 두 번째 그래프에서 T좌 실효 전차선 전압 (V_{cc})이 27.180[kV]이고 M좌 실효 전차선 전압 (V_{ccM})은 27.280 [kV]로 나타났다.

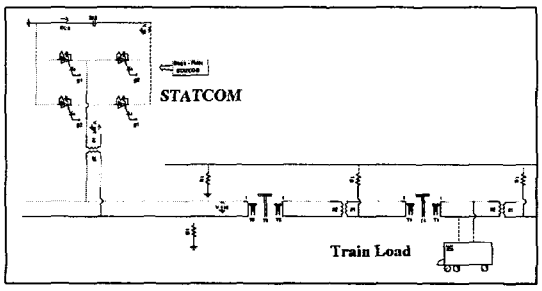

그림 10. 교류 전기철도 급전 시스템의 PSCAD/EMTDC 모델
Fig. 10. PSCAD/EMTDC model of AC electric railroad with a single-phase STATCOM at sectioning post

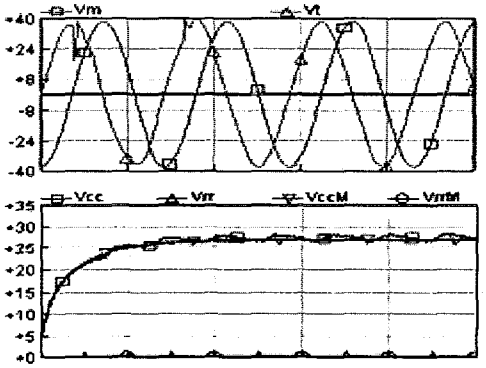

그림 11. STATCOM이 있는 경우 Scott결선 변압기의 M좌 T좌의 전차선 전압
Fig. 11. M phase & T phase catenary voltage profile of AC ATs-fed electric railroad system with STATCOM

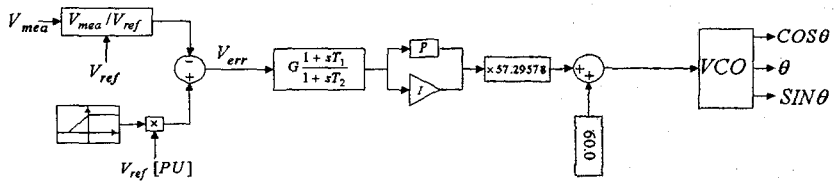

그림 12. 1상 STATCOM의 제어회로도
Fig. 12. Single-phase STATCOM Controller

앞에서 보상기가 설치되지 않은 경우의 T좌 전차선 전압 25.575[kV]가 STATCOM에 의해서 1.605 [kV]의 전압이 보상되었음을 알 수 있다. 이는 국내 고속전철 전압변동 허용 기준치(+20 %~-10 %) 이내가 되기 때문에 보상기를 꼭 설치할 필요는 없으나 STATCOM에 의해서 M좌와 동일한 전차선 전압으로 보상되어 전압변동과 전압불평형이 해소되었음을 볼 수 있다. 또한 T좌의 실효 레일전압 (V_{rr}) 과 M좌 실효 레일전압 (V_{rrM})은 순환하는 전류를 단권변압기가 흡상하므로 누설전류에 의해서 각 좌의 전차선 전압에 비해 아주 작게 나타났다. M좌와 T좌의 전차선 전압 파형에서 STATCOM이 있는 T좌의 전압 파형에 고조파는 단상 STATCOM의 GTO Thyristor(Gate Turn Off Thyristor) 스위칭 소자가 PWM(Pulse Width Modulation)에 따라 스위칭을 하기 때문이다.

그림 12의 단상 STATCOM의 제어기는 GTO Thyristor 스위칭 동작을 위해 송전선로의 전압값을 V_{mea}에서 측정한 후 일정한 경사함수의 기준전압의 P.U. 값과의 차이인 V_{err}를 구한다. 그 값을 $G\frac{1+sT_1}{1+sT_2}$을 통하여 일차시간 지연을 행한 후 P-I Controller를 통해 제어하게 된다. 이 제어된 신호를 각으로 환산한 후 VCO라는 PSCAD/EMTDC 라이브러리에서 지원되는 블록을 통해 전압 조정된 Oscillator로 변화비가 순간적으로 입력크기에 비례하게 출력신호를 낸다. 결국 이러한 VCO 블록을 통하여 GTO Thyristor가 스위칭을 할 수 있도록 게이트에 펄스를 주기 위한 신호를 생성하게 된다.

3.3 연장급전에서 보상기(STATCOM)가 없는 경우 및 설치되어 있는 경우

한 전철변전소가 급전하는 거리는 양쪽 약 50 [km](M/T좌 분담 25[km]/단선 철도)인데 만일 인근 전철변전소가 고장이 났을 경우에는 한 전철변전소가 급전하는 거리는 약 75[km](고장 측 분담 M, T좌 50 [km])가 된다. 이와 같은 경우에 늘어난 급전구간 때문에 전차선의 전압강하가 더욱 현저히 나타나게 된다. 그림 13은 연장급전 시에 보상기가 없는 경우의 M좌, T좌 실효 전차선 전압 파형을 보여준다. 이 때 전차선 전압은 20.052[kV]로 유지전압 하한치인 22.5 [kV]이하가 됨을 알 수 있다. 따라서 연장급전 시에는 STATCOM 등 보상기 설치가 절대적으로 필요하다.

총 시뮬레이션 시간 1.0[sec] 중 0.5[sec]에 전철변전소 고장으로 50[km]로 급전구분소 차단기의 동작으로 연장급전 되도록 급전시스템을 설계하고 양 전철변전소 사이에 부하는 동일하게 걸려있다는 가정하에 시뮬레이션 하였고 그 결과는 그림 14에 나타내었다.

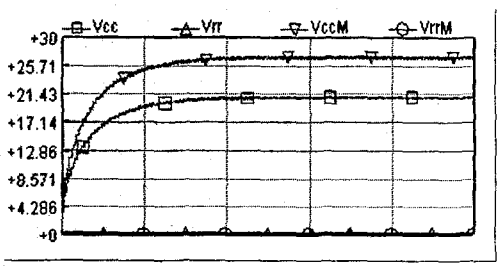

그림 13. STATCOM이 없는 경우 Scott 변압기의 M좌 T좌 전차선전압 (연장급전시)
Fig. 13. M phase & T phase voltage without STATCOM (Extension mode)

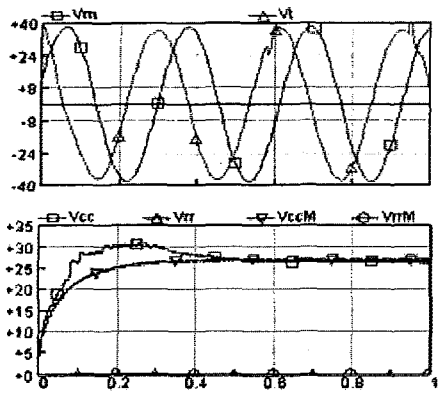

그림 14. STATCOM이 있는 경우 Scott 변압기의 M좌 T좌 전차선전압 (연장급전시)
Fig. 14. M pahase & T phase voltage with STATCOM (Extension mode)

그림 14의 첫 번째 그래프는 T좌와 M좌의 보상된 순시전압 (V_m, V_t)이다. 두 번째 그래프는 T좌의 보상된 실효 전차선 전압 (V_{cc})과 M좌의 실효 전차선 전압 (V_{ccM})을 나타낸다. 정상급전에서 연장급전으로 넘어가는 시뮬레이션 시간인 0.5[sec] 이후에서도 STATCOM의 보상으로 인해 전압강하가 그림 14에서 보는 바와 같이 보상되었다. 결과는 보이지 않았지만 본 논문에서 제안 된 각 Case의 경우에도 잘 보상됨을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 정전류 부하모델 교류 전기철도 AT 급전시스템을 회로망 해석법(Loop Equation Method)을 이용하여 실제 급전시스템과 유사하게 제약조건을 두고 여러 경우를 가정하여 모델링 하였다. 이 방법을 통해 앞으로 건설될 고속 전기철도 급전시스템의 전력품질에 영향을 줄 수 있는 전압강하에 주안점을 두고 정상급전의 경우 뿐 만 아니라 연장급전의 경우를 새롭게 확대 해석하였으며 이 결과를 동적 시뮬레이션 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 그 정확성과 실용성을 검증하였다. 또한 사례연구를 통해 전압 보상기를 설치하지 않는 경우와 STATCOM을 설치한 경우의 전압강하 보상효과를 PSCAD/EMTDC로 시뮬레이션 하여 검증하였다.

또한 본 논문에서는 SVC에 비해 설치 면적이 작고 (70 [%]), 연속적인 제어와 응답속도가 빠르며, 낮은 계통전압에서도 무효전력 공급량을 일정하게 유지할 수 있는 자여식 SVC인 STATCOM 보상기를 제안하여 사례연구를 통해 전압강하 보상효과를 확인하였다.

References

[1] Roland John Hill, Ibrahim H. Cevik, "On-Line Simulation of Voltage Regulation in Autotransformer-Fed AC Electric Railroad Traction Networks", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 42, No. 3, pp. 365-372, 1993.
[2] Chih-Ju Chou, Ying-Tung Hsiao, Jhane-Li Wang, Yaw-Tzong Hwang, "Distribution of Earth Leakage Currents in Railway System with Drain Auto-Transformers", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol 16, No. 2, pp. 271-275, 2001.
[3] Tetsuo Uzuka, Masatoshi Takeda "Static Voltage Fluctuation Compensator for Electric Railway using Self-commutated Converters" T.IEE Japan, vol.115-D NO12, pp1521-1528, 1995.
[4] Masazumi Hirakawa, Naoya Eguchi, etc."Self-Commutated SVC for Electric Railway',IEEE Catalogue No.95TH8025,95.
[5] G,Narain, "Understanding FACTS', IEEE Press, pp144-206.

◇저자소개◇

정 현 수 (鄭鉉洙)
1950년 8월 13일생. 1974년 전남대 전기공학과 졸업. 1988년 한양대 대학원 전기공학과 석사. 1998년~현재 동 대학원 박사과정.

이 승 혁 (李丞爀)
1974년 8월 3일생. 2001년 세명대 전기공학과 졸업. 2001년~현재 한양대 대학원 전기공학과 석사과정.

김 진 오 (金眞吾)
1956년 1월 17일생. 1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 석사. 1990년 Texas A&M University 전기공학과 박사. 1987년~현재 한양대 전기공학과 부교수.