

STATCOM을 이용한 고속전철 부하가 연계된 계통의 안정도 향상에 관한 연구

論 文

52A-11-1

A Study on System Stability Improvement of Power System with High Speed Electric Railway Using STATCOM

李 竣 敬* · 吳 栽 炅** · 金 鎮 吾***
(Jun-Kyong Lee · Jae-Kyoung Oh · Jin-O Kim)

Abstract -The purpose of this paper is to assess experimentally system stability of the 154 kV transmission system due to the current of the forthcoming AC High-Speed Railway (HSR) era. It introduces a simple method to evaluate the system stability. The proposed method also shows the relationship between stability and power losses, and the stability indices made by the numerical process proposed in this paper will be used to assess whether a system can be stabilized or not. This paper also presents the improvement of the stability via loss reduction using STATCOM. Reactive power compensation is often the most effective way to improve both power transfer capability and system stability. The suitable modeling of the electric railway system should be applicable to the PSS/E. In the case study the proposed method is tested on a practical system of the Korea Electric Power Corporation (KEPCO) which will be expected to accommodate the heavy HSR load. Furthermore, it prove that the compensation of voltage drop and its by-product, loss reduction is closely related to improvement of system stability.

Key Words : System Stability, AC High-Speed Railway

1. 서 론

오늘날 전기수요의 증가와 산업의 발달에 따른 전력계통의 안정도에 대한 많은 우려의 관심이 높아지고 있다. 이론적으로 발전소의 건설은 부하 밀집지역에 근접한 곳이 바람직하지만 현실적인 어려움으로 부하 밀집지역과 거리가 멀리 떨어져있다. 이러한 전원의 편재는 계통의 무효전력의 불균형 수급과 부하단의 전압 강하의 문제를 야기하며, 지속적인 부하의 증가가 시스템 전체에 이상현상으로 파급될 수 있는 위험을 내포하고 있다. 전기철도는 주행과 정지가 빈번한 대용량의 부하이며, 시·공간적으로 크기가 급변하기 때문에 전기철도 부하를 담당하게 될 154 kV 계통의 안정적인 계통운용을 위해서는 수시로 변화하는 계통조건 하에서 다양한 상정사고를 모의하여 실시간 시스템 모니터링이 필요하다 하겠다. 본 논문에서는 발전량과 부하량, 그리고 계통의 전력 손실과의 관계를 이용한 시스템 안정도 지수 [2]를 이용하여 전기철도 부하를 포함한 전력계통의 안정도를 평가하였다. 또한 전철변전소 사고로 인한 인근 전철변전소의 연장급전시의 급전거리의 증가에 따른 전압강하, 그리고 부하전류의 증가로 인한 전력손실의 증가, 특히 무효전력 손

실과 계통안정도의 영향을 분석하였다. 우선 안정도 평가에 앞서 전기철도 시스템의 모델링이 우선시 된다.

154 kV 이하의 배전계통 부하를 합하여 하나의 거대한 부하로 본다면 정교한 안정도 평가는 불가능하다. 따라서 전기철도 부하의 구성과 특성을 파악하여 154 kV 이하 배전시스템에 적용하여야 한다. 또한 상정사고시 송전거리의 증대로 인한 전압강하, 부하전류의 증가와 계통의 손실, 그리고 선로용량의 부족에 계통설비의 증설보다 효과적이고, 경제적인 해결책으로서 FACTS (Flexible AC Transmission System)가 각광을 받고 있는데 기존의 수동형 전력용 콘덴서(SC)와 SVC 보다 응답특성이 좋고 보상범위가 넓은 STATCOM을 전기철도 부하를 담당하는 154 kV 모선에 설치하여 상정사고를 모의하여 계통의 강인성 향상을 입증하였다.

2. 시스템 안정도

2.1 시스템 안정도 분석

그림 1은 일반적인 송전선로의 등가회로를 나타내며 송전단측 유효전력 P_S 와 무효전력 Q_S 는 수전단측 유효전력 P_r , 무효전력 Q_r 과 다음과 같은 관계를 가진다 [1].

$$P_S = \frac{r(P_S^2 + Q_S^2)}{V^2} + P_r \quad (1)$$

$$Q_S = \frac{x(P_S^2 + Q_S^2)}{V^2} + Q_r \quad (2)$$

* 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 博士課程

** 準 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 碩士課程

*** 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2002年 11月 27日

最終完了 : 2003年 8月 10日

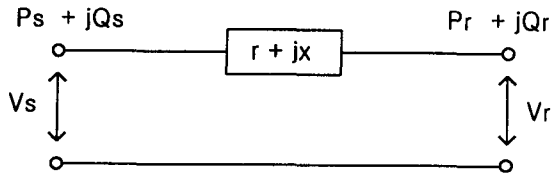


그림 1 송전선로 단선도
Fig. 1 One-line diagram of transmission line

식 (1), (2)의 $\frac{r(P_S^2 + Q_S^2)}{V_r^2}$ 부분을 소거하여 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$x(P_S - P_r) = r(Q_S - Q_r) \quad (3)$$

식 (3)을 식 (1)에 대입하여 P_S 에 대한 이차식을 구하면

$$(r^2 + x^2)P_S^2 - (2x^2P_r - 2rxQ_r + r)P_S + (x^2P_r^2 + r^2Q_r^2 - 2rxP_rQ_r + rP_r) = 0 \quad (4)$$

식 (4)를 풀어 P_S 의 해를 구하면

$$P_S = \frac{(2x^2P_r - 2rxQ_r + r) \pm \sqrt{D_P}}{2(r^2 + x^2)} \quad (5)$$

여기서

$$D_P = (2x^2P_r - 2rxQ_r + r)^2 - 4(r^2 + x^2) \times (x^2P_r^2 + r^2Q_r^2 - 2rxP_rQ_r + rP_r) > 0 \quad (6)$$

식 (5)에서 P_S 가 실근을 갖기 위한 조건은 D_P 가 0보다 큰 값을 가져야 한다. Q_S 에 대해서도 동일한 과정을 통해 식 (7)을 유도할 수 있다.

$$D_Q = (2r^2Q_r - 2rxP_r + x)^2 - 4(r^2 + x^2) \times (r^2Q_r^2 + x^2P_r^2 - 2rxP_rQ_r + xQ_r) > 0 \quad (7)$$

부등식 식 (6)과 (7)를 통해 식 (8)을 구할 수 있다.

$$4[(xP_r - rQ_r)^2 + xQ_r + rP_r] < 1.0 \quad (8)$$

식 (8)은 시스템이 안정하기 위한 필요 충분 조건이라 할 수 있다. 만약 식 (6)과 (7)이 0보다 작다면 P_S 와 Q_S 는 허수값을 가지는데, 이것은 물리적으로 불가능하며, 시스템이 비정상 상태로 운영됨을 의미한다. 전기철도는 한 변전소에서 담당하는 급전거리가 50 km로 매우 긴 구간이며, 선

로임피던스에 의한 전압강하와 이에 따른 무효전력의 손실이 발생한다. 선로의 손실을 이용하여 시스템 등가저항 r_{eq} , 등가리액턴스 x_{eq} 를 식 (9), (10)으로 구하고, 전기철도 부하 용량과 각 모선의 부하를 합한 총부하용량을 P_{teq}, Q_{teq} 로 나타내면, 식 (11)과 같이 전기철도를 포함한 154 kV 송전계통에 대한 시스템 안정도를 판별하는 지수 L 로 사용할 수 있다.

$$r_{eq} = \frac{P_{loss}}{(P_{inject} + Q_{inject})} \quad (9)$$

$$x_{eq} = \frac{Q_{loss}}{(P_{inject} + Q_{inject})} \quad (10)$$

$$L = 4[(x_{eq}P_{teq} - r_{eq}Q_{teq})^2 + x_{eq}Q_{teq} + r_{eq}P_{teq}] < 1.0 \quad (11)$$

여기서, P_{loss}, Q_{loss} 는 계통의 총전력 손실, 그리고 P_{inject}, Q_{inject} 는 모선을 통해 총 주입되는 유효전력과 무효전력을 나타내며 P_{teq} 와 Q_{teq} 는 각각 총 유효전력부하[MW]와 총 무효전력부하[MVAR]를 나타낸다.

시스템 안정도 지수는 시스템이 임계점에서 운영시 최대 값 1.0을 가지게 되며, 1.0에 근접할수록 시스템은 불안정하다는 것을 나타낸다. 그러므로 안정도 지수 L 은 부하 증가시의 시스템 안정성 평가 예측으로 적용 가능하다.

2.2 시스템 안정도와 전력손실과의 관계

앞에서 논한 바로, 시스템 안정도는 전력손실과 밀접한 관계를 가진다[4]. 시스템 안정도 지수 L 의 r_{eq}, x_{eq} 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$r_{eq} = \frac{\sum P_{loss}}{(P_{teq} + \sum P_{loss})^2 + (Q_{teq} + \sum Q_{loss})^2} \quad (12)$$

$$x_{eq} = \frac{\sum Q_{loss}}{(P_{teq} + \sum P_{loss})^2 + (Q_{teq} + \sum Q_{loss})^2} \quad (13)$$

식 (12)과 (13)에서 분모 부분은 총 발전량이며, 분자부분은 총 전력손실로서 전력조류계산으로서 구할 수 있는데 시스템 안정도는 전력손실과 밀접한 관계를 가지는 것을 보이며, 손실의 증가는 시스템 안정도 지수 L 의 증가를 가져온다.

3. 전기철도 급전시스템 모델링

전기 철도 급전시스템은 스코트 변압기 통해 154 kV를 55 kV로 변압하는 변전설비와 55 kV-27.5 kV용 단권변압

기와 급전선과 전차선, 레일을 포함한 급전설비, 그리고 열차, 3개의 부분으로 볼 수 있으며 전철 변전소는 50 km 구간마다 설치되며, 매 구간마다 단권변압기는 10 km 간격으로 설치된다. 우리나라에 도입되는 한국형 고속전기철도는 300 km/h로 운행될 예정이며, 많은 전력소모가 예상되므로 15+j3 MVA의 정전력부하로 모델링하였다[6].

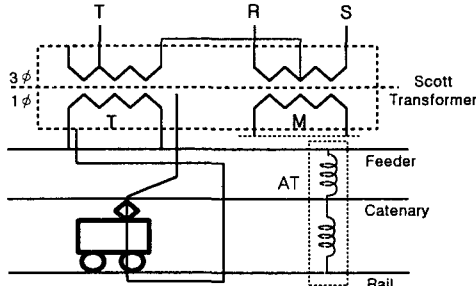


그림 2 고속철도 시스템의 구성
Fig. 2 The traction power system

그림 2는 고속철도 시스템 단선도이며 각각의 선로정수는 상수 변환을 통해 식 (14)와 같이 재구성되었다. 또한, 단권변압기의 누설 리액턴스를 무시하고 식 (15)으로 상수 변환하였다. 그림 3은 다음과 같은 과정을 통한 간략화된 고속철도 시스템을 나타낸다[5].

(1) 원래의 선로정수

- Z_{aa}, Z_{bb}, Z_{cc} : T(전차선), R(레일), F(급전선)의 자기 임피던스(Ω/km)
- Z_{ab}, Z_{bc}, Z_{ca} : T-R, R-F, F-T간의 상호 임피던스 (Ω/km)
- Z_g : A.T의 누설 임피던스(Ω/km)

(2) 등가회로의 선로정수

$$\begin{aligned}
 Z_A &= Z_{aa} \\
 Z_B &= Z_{bb} \\
 Z_C &= \frac{Z_{cc} + Z_{ca} + Z_{aa}}{4} \\
 Z_{AB} &= Z_{ab} \\
 Z_{CA} &= \frac{(Z_{bc} + Z_{ab})}{2} \\
 Z_{BC} &= \frac{(Z_{ca} + Z_{aa})}{2} \\
 Z_1 &= Z_A + Z_{BC} - Z_{AB} - Z_{CA} \\
 Z_2 &= Z_B + Z_{CA} - Z_{BC} - Z_{AB} \\
 Z_3 &= Z_C + Z_{AB} - Z_{CA} - Z_{BC}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= Z_A + Z_{BC} - Z_{AB} - Z_{CA} \\
 Z_2 &= Z_B + Z_{CA} - Z_{BC} - Z_{AB} \\
 Z_3 &= Z_C + Z_{AB} - Z_{CA} - Z_{BC}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

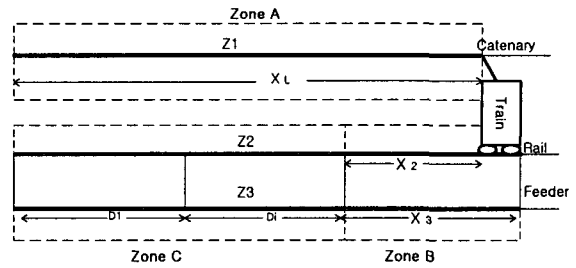


그림 3 간략화된 고속철도 시스템
Fig. 3 Simplified traction power system

그림 3으로부터 열차위치까지의 총 선로임피던스 Z_L 을 구하면 식 (16)과 같다.

$$Z_L = (Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}) X_L + \frac{Z_2^2}{Z_2 + Z_3} (1 - \frac{X_2}{X_3}) X_2 \tag{16}$$

4. STATCOM의 구조와 동작 특성

오늘날 전력용 스위칭 소자 제어를 응용한 인버터장치의 개발로 보다 효율적으로 선로정수와 계통의 전압, 위상각을 고속 스위칭을 통해 제어함으로써 교류 계통의 특성을 개선하기 위한 방안으로서 유연 송전 시스템 (FACTS: Flexible AC Transmission System)이 제안되었다.

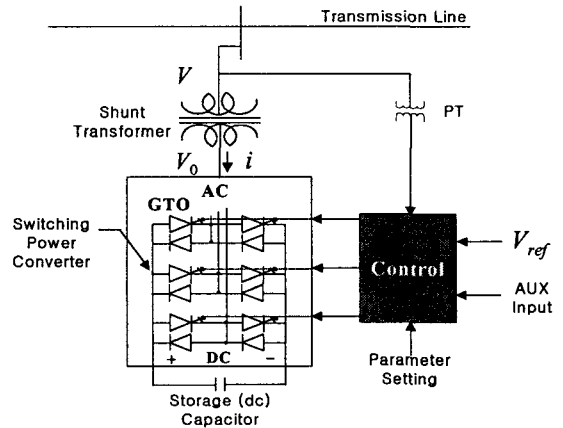


그림 4 STATCOM의 구조
Fig. 4 Structure of STATCOM

송전시스템에서 FACTS 기기를 설치하는 궁극적인 목적은 송전선로의 전기적 특성을 바꿈으로서 리액터로 경부하시 과전압을 최소화하여 선로를 보호하고, 커패시터로서 과부하시 전압레벨을 유지시켜 부하수요를 만족시키며 전송전력을 증가시키기 위함이다. 또한 정상상태 송전특성 뿐만 아니라 부하의 증가에 따른 시스템 안정도를 개선시키며, 전압 조정기로도 사용되어 송전 선로 중간과 말단에 설치되어 전압 불안정을 막을 뿐만 아니라 과도 안정도를 증가시키고

전력 동요를 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 FACTS 기기 중 제어 응답속도가 동기조상기, SVC 보다 빨라 과도안정도 향상에 기여할 수 있으며, 진상 무효전력에서 지상무효전력까지 무효전력을 연속적으로 세밀하게 제어할 수 있고, 전압원 인버터 방식으로 기계적 스위칭 시에 발생하는 과도 현상이 거의 없는 STATCOM을 경부고속전철 급전시스템에 병렬로 연계하여, 계통의 안정도 개선과 상정사고시의 연장급전에 따른 인근 변전소의 부하 편재로 인한 전압강하의 보상에 대해 분석하였다.

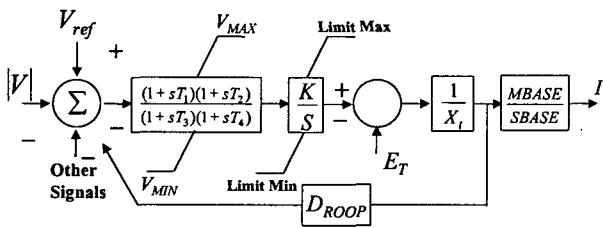


그림 5 PSS/E Program의 STATCOM 모형
Fig. 5 PSS/E model of STATCOM

STATCOM은 일종의 교류전압원으로서 그림 4와 같이 전압원 인버터(VSI)와 직류 커패시터로 구성되어 있으며, 교류 출력 전압은 직류 커패시터에 의해 동작하는 GTO 인버터에 의해 구현된다.

본 논문에서는 정적 시스템 안정도 해석에 있어서는 STATCOM을 Switched shunt로 모의하고 동적 시뮬레이션을 위해 그림 5의 PSS/E 모형을 적용하였다 [8].

4.1 STATCOM 설치에 따른 기대효과

그림 6은 모선전압을 일정하게 조정할 수 있도록 부하와 병렬로 선로에 STATCOM을 설치한 단선도를 나타낸다.

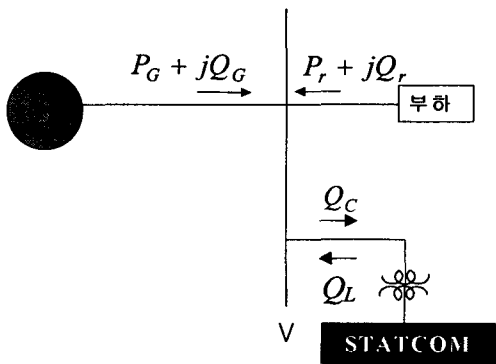


그림 6 STATCOM 연계시 무효전력 입·출력
Fig. 6 Input/output of Var through STATCOM

STATCOM을 통해 공급하는 무효전력과 부하의 무효전력의 합은 공급단의 무효전력과 동일하다. 모선에서 부하단까지 흐르는 전류를 I라 하면, 송전선로에서의 손실은

$I^2 r, I^2 x$ 라 할 수 있다. 이때의 I^2 은 식 (17)과 같다.

$$I^2 = I \cdot \bar{I} = \frac{P_r^2 + Q_r^2}{V_r^2} \tag{17}$$

앞에서 언급한 바와 같이 손실감소는 시스템 안정도 유지의 핵심적인 요소이며 STATCOM을 이용하여 아래와 같은 효과를 얻을 수 있다. 첫째로 무효성분에 의한 손실감소이다 [3]. STATCOM의 설치로 인해 선로의 전류 I를 감소시킬 수 있으며 기대되는 손실 감소량 $\Delta P, \Delta Q$ 는 다음과 같으며, 여기서 Q_C 는 STATCOM의 용량을 나타낸다.

$$\Delta P = r \cdot \frac{P_r^2 + (Q_r^2 - Q_C^2)^2}{V_r^2} \tag{18}$$

$$\Delta Q = x \cdot \frac{P_r^2 + (Q_r^2 - Q_C^2)^2}{V_r^2} \tag{19}$$

두 번째로 STATCOM의 설치를 통해 다음 식 (20)과 같이 전압강하의 저감 V_d 를 기대할 수 있다 [7].

$$V_d = \frac{1}{V_r^2} \cdot [rP_r + x(Q_r - Q_C)] \tag{20}$$

5. 사례 연구

그림 7은 현재 국내 건설중인 경부 고속전철 급전 대락도의 일부로서 사례연구에서는 우리나라에 건설중인 용정(SP)-신동(SP) 구간 (156.85 km)을 모델계통으로 선정하였으며, 한국전력 154 kV 청원과 옥천, 그리고 김천 변전소에서 이 구간을 담당할 예정이다. 급전구간은 각각 47.811, 56.384, 52.656 km 이다.

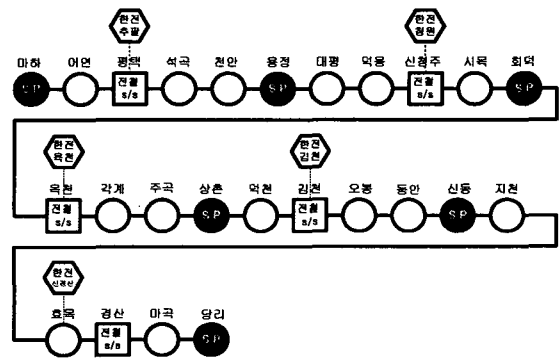


그림 7 경부고속전철 급전 계획
Fig. 7 The feeding scheme of the Kyung-bu high speed railway

신뢰도 측면에서 전기철도 급전원은 서로 다른 2개의 154 kV 변전소에서 상시·비상시로 연계되어 운행되는 것이 최선이다. 그러나 각각의 154 kV 변전소는 서로 멀리 떨어져 있기 때문에 송전선의 신설 보다 경제적인 차선책으로서 1

전원 2회선 방식을 선택하였으며, 이에 따른 Case 별 상정 사고시의 연장급전 운행 계획은 그림 8, 9, 10과 같다. Case 1은 그림 8과 같이 신청주 전철변전소 고장시 신청주-회덕 구간은 옥천 전철변전소에서 그리고, 용정-신청주 구간은 평택 전철변전소에서 연장급전하는 경우를 모의하였다. Case 2에서는 그림 9와 같이 옥천 전철변전소 고장시 신청주 전철변전소와 김천 전철변전소에서 연장급전되며, Case 3에서는 김천 전철변전소 고장시 옥천 전철변전소의 연장급전과 경산 전철변전소가 김천-신동 구간을 담당하는 것을 모의하였다.

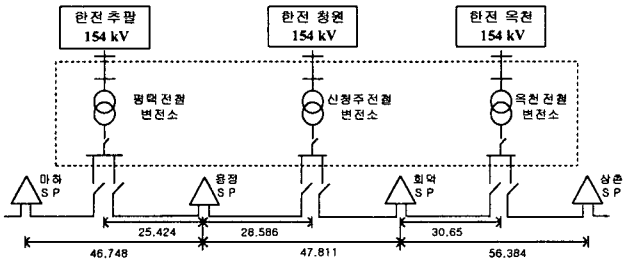


그림 8 신청주 전철변전소 고장시 급전계획
Fig. 8 Traction power supply scheme when fault in Shin-chong-ju

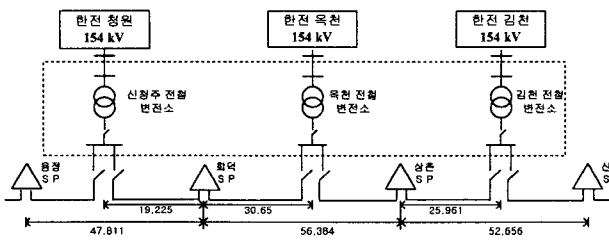


그림 9 옥천 전철변전소 고장시 급전계획
Fig. 9 Traction power supply scheme when fault in Ok-cheon

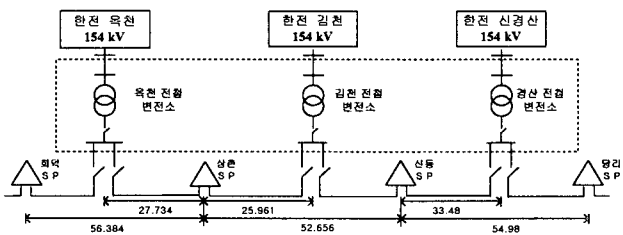


그림 10 김천 전철변전소 고장시 급전계획
Fig. 10 Traction power supply scheme when fault in kim-cheon

PSS/E는 송전계통 조류계산용으로 많이 사용되고 있는데, 본 논문의 사례연구에서는 전기철도 급전시스템의 선로 임피던스와 변압기를 등가화하여 정적인 상태에서 다음과 같은 과정을 통해 시스템안정도 평가를 실시하였다.

1. Distribution line : 전철변전소의 스코트 변압기와 구내의 단권변압기(AT)를 선로임피던스에 포함한다.

2. Branches : 전차사이의 간격은 4분 시격으로 12km로 가정하였으며, 식 (16)을 이용하여 각각의 등가 선로 임피던스를 구한다.
3. Buses : 열차의 위치를 모선으로 가정하였으며, 각각의 부하 모선은 15+j3 MVA의 정전력부하로 가정한다.

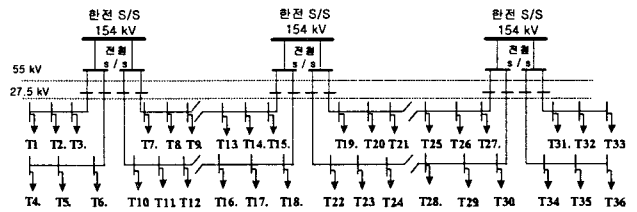


그림 11 전기철도 시스템의 등가화
Fig. 11 The equivalent diagram of the electric railway system

그림 11은 전력조류계산을 위해 위의 과정을 통해 등가화한 전기철도 시스템을 나타내며, 아래와 같은 과정을 통하여 안정도 평가를 실시하였다.

1. 2002년도 최대부하 데이터(한국전력제공)를 통해 초기치 산정
2. 전기철도 부하를 연계하지 않은 상태에서 초기 시스템 안정도 평가
3. 각각의 154 kV 모선에 전기철도 부하를 연계시 시스템 안정도 평가
4. Case 별 연장급전시의 시스템 안정도 계수 비교
5. STATCOM 설치시의 전압과 시스템 안정도 향상 분석

전기철도부하를 담당할 예정인 청원, 옥천, 그리고 김천 변전소의 전기철도 부하 이외의 부하에 대해서는 정확한 부하 모델링을 위해 표 1의 ZIP 모델 구성비를 적용하였다[9].

표 1 154 kV의 ZIP 모델 구성비
Table 1 Component ratio of 154 kV bus ZIP model

변전소명	정전력	정전류	정임피던스	주파수	
청원	P	51.9	15.1	33.0	0.21
	Q	6.9	39.8	53.3	5.37
옥천	P	53.7	8.1	38.2	1.06
	Q	29.6	33.4	36.9	0.34
김천	P	53.5	14.1	32.4	1.36
	Q	34.0	32.4	33.6	0.36

표 3은 각각의 경우 PSS/E 시뮬레이션 결과로서 김천 전철변전소 고장시 옥천 전철변전소의 연장급전의 경우, 회덕-김천 전철급전거리가 상대적으로 길기 때문에 전압레벨 27.5 kV 시스템에서 전력손실이 크게 나타났으며, 그에 따른 시스템 안정도 지수 역시 표 2와 같이 Case 3인 경우가 가장 높게 나타났다.

따라서 무효전력 보상기기의 최적위치로 옥천 154 kV 변전소에 STATCOM 연계시키고 보상후의 손실감소와 그에 따른 시스템 안정도 지수가 낮아지는 것을 확인하였다.

표 2 Case 별 안정도 지수

Table 2 System stability indices in each case

	보상전	보상후
Case 1	0.580	0.512
Case 2	0.594	0.563
Case 3	0.637	0.574

그림 12는 정적인 상태의 시스템 안정도 분석을 위해 전력조류계산 수행시의 옥천 154 kV 변전소와 연계된 전력계통도를 나타내며, 82.6 MVAR의 STATCOM 용량이 투입되었다.

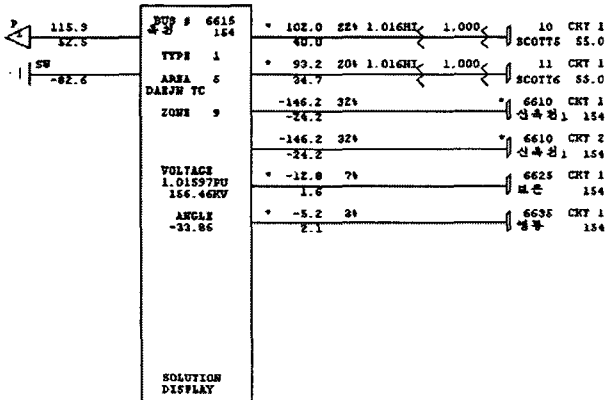


그림 12 옥천 변전소와 연계된 전력 계통도
Fig. 12 power system diagram of Ok-cheon S/S

전철 변전소의 고장으로 인한 연장급전시 부하의 증가는 더 많은 무효전력을 요구하게 되며, 급전거리에 비례하여 무효전력 손실도 증가함을 보였다. 그러므로 급전거리가 긴 옥천 변전소의 연장급전시 총 손실이 상대적으로 큰 값을 나타내며 전압레벨 27.5 kV의 전기철도 부하에서 무효전력 손실이 증가하는데 열차의 수전 전압은 전철의 급전거리의 증가로 인하여 선로 전류의 증가를 가져왔으며, 이로 인한 손실의 증가와 전압강하가 발생하였다.

일반적으로 병렬 무효전력 보상기는 전류의 무효성분에 의해 보상되므로 유효전력의 보상은 극히 적게 나타났다.

우리나라의 송전계통은 단락용량이 크기 때문에 연계 전철급전시스템으로 인한 송전계통의 전압강하는 크지 않다. 그러나 전철급전계통이 일반 배전계통에 비해 급전거리가 길고 전철 부하용량이 크므로, 이로 인한 무효전력 손실이 증가하여 연계 송전계통의 안정도와 전철급전계통의 전압강하가 문제시된다.

그림 13은 2초간 정상 운전 후 김천 전철변전소의 상정사고를 2~10 초간 모의하였을 경우 연장급전에 따른 부하의 편재로 인한 154 kV 옥천 변전소의 전압 강하 파형과 STATCOM에 의해 전압 0.006 [PU] 보상 효과를 보여주며, 그때의 STATCOM의 무효전력 출력 그래프는 그림 14와 같다.

표 2 각각의 경우 시뮬레이션 결과

Table 2 The summary of the simulation result

Case 1 신청주 전철변전소 사고시 연장 급전						
Without compensator				With compensator		
Voltage		Losses		Voltage		Losses
Level	Branche s	MW	MVAR	Level	MW	MVAR
154.0	5	1.04	45.44	154.0	0.98	32.96
55.0	6	0.78	46.54	55.0	0.52	45.83
27.5	48	12.42	24.25	27.5	10.31	21.84
Total	59	14.24	116.23		11.81	100.63
Case 2 옥천 전철변전소 사고시 연장 급전						
Without compensator				With compensator		
Voltage		Losses		Voltage		Losses
Level	Branche s	MW	MVAR	Level	MW	MVAR
154.0	9	1.38	39.71	154.0	1.23	28.16
55.0	6	2.03	52.19	55.0	1.34	48.51
27.5	48	22.65	26.40	27.5	19.01	23.64
Total	63	26.06	118.30		21.50	100.31
Case 3 김천 전철변전소 사고시 연장 급전						
Without compensator				With compensator		
Voltage		Losses		Voltage		Losses
Level	Branche s	MW	MVAR	Level	MW	MVAR
154.0	9	1.32	53.50	154.0	1.09	34.03
55.0	6	1.38	59.16	55.0	1.02	53.17
27.5	48	26.45	49.22	27.5	23.89	38.16
Total	63	29.15	161.88		26.01	125.36

6. 결 론

신뢰성 있는 안전한 시스템을 운용하기 위해서는 시간에 따라 변화하는 부하에 시스템이 대응 가능한가를 다양한 상정사고를 가정하여 평가해 보아야 한다. 오늘날 전력계통은 포화상태에 있다고 해도 과언이 아니며, 작은 부하라도 지속적인 증가는 시스템을 불안정한 상태로 이끌 수 있다. 따라서 전기철도 부하와 같은 대용량의 이동부하를 담당하는 계통은 선로용량 포화와 지역적으로 무효전력의 부족현상을 발생시킬 가능성이 크다고 하겠다. 그러므로, 체계적이며 빠른 시스템 안정도 평가 방법과 적절한 보상대책은 필수 불가결한 요소라 할 수 있다. 본 논문에서는 전기철도부하를 전력조류계산에 적용 가능하도록 모델링하였고, 뉴턴-랩슨법을 적용한 전력조류계산 결과의 출력 데이터를 이용한 시스템 안정도 해석과 불안정 예측방법을 제시하였다. 또한 수치적으로 전력손실과 시스템 안정도의 관계를 입증하였으며, FACTS 기기 중 하나로 응용특성이 동기조상기나 SVC 보다 월등한 인버터 방식의 STATCOM을 실계통에 연계하여 전력손실의 감소와 이에 기인한 정적 시스템 안정도의 향상을 사례연구를 통해 확인하였으며, 전기철도 급전계통에 상정사고를 모의하여 연장급전과 같은 부하의 편재에 따른 전압불안정 해소와 시스템 안정도 향상에 실시간 적절하게 대처 가능함을 입증하였다.

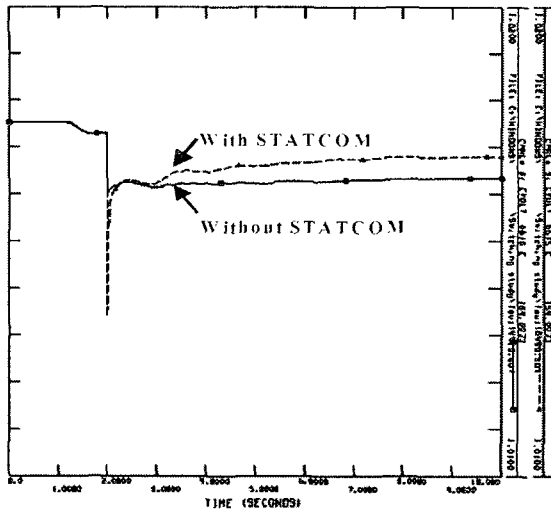


그림 13 연장급전시 STATCOM에 전압보상
Fig. 13 Voltage compensation using STATCOM during extension operating condition with Ok-cheon

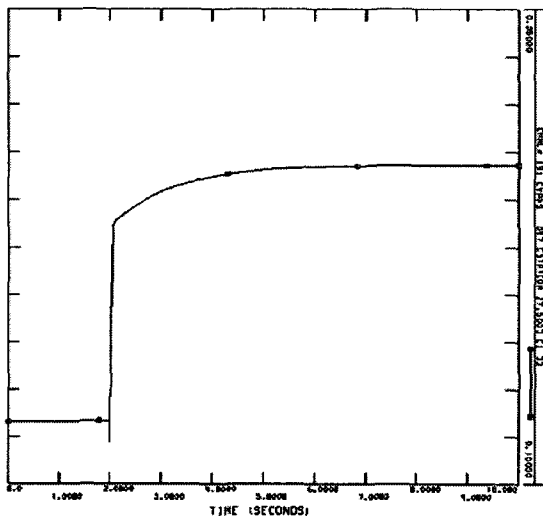


그림 14 STATCOM의 무효전력 출력 곡선
Fig. 14 Var output of STATCOM during extension operating condition with Ok-cheon

참 고 문 헌

[1] Carson W. Taylor, "Power System Voltage Stability", 1994 by McGraw Hill Inc.
[2] M. Moghavvemi, F.M. Omar, "Technique for contingency monitoring and voltage collapse prediction", *IEE Proc-Gener, Transm, Distrib*, Vol 145.No. 6, November 1998.
[3] M.A. Kashem, Mahmoud Moghavvemi, "Maximizing Radial Voltage Stability and Load Balancing Via Loss minimization in Distribution Network", *Energy Management and Power Delivery*, 1998. Proceedings

of EMPD '98. 1999. International Conference on, Volume 1, 1998.

[4] Abdel-Salam, T.S. Chikhani, A.Y. Hackam, R. "A new technique for loss reduction using compensating capacitors applied to distribution systems with varying load condition", *Power Delivery, IEEE Transactions on*, Volume 9 Issue 2, April 1994.
[5] 한국고속철도 건설공단, "고속철도 연구보고서(전기분야)", 1996. 2.
[6] 한국전기연구소, "급전시스템 해석기술 개발", pp 26-50, 1999. 10.
[7] 통상산업부, "무효전력제어에 의한 에너지 절감방안 연구(최종보고서)", 1998. 2.
[8] 과학기술부, "FACTS 엔지니어링 기술분석", pp 81-91, 1998. 8.
[9] 전력연구원, "전력계통 안정도 정밀해석을 위한 적정 부하모델에 대한 연구", 2001. 3.

저 자 소 개

이 준 경(李 竣 敬)



1962년 1월 29일생. 1993년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 공학석사. 2001년~현재 동 대학원 박사과정.

E-mail : leejunk1@chollian.net

오 재 경(吳 載 炅)



1973년 10월 28일생. 2000년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 2001년~현재 한양대 대학원 전기공학과 석사과정.

E-mail : ojk9265@ihanyang.ac.kr

김 진 오(金 眞 吾)



1956년 1월 17일생. 1980년 서울대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 공학석사. 1990년 Texas A&M University 전기공학과 공학박사. 1987년~현재 한양대 전기공학과 부교수

E-mail : jokim@hanyang.ac.kr