

서대구S/S SVC의 양주S/S 이설관련 고조파 및 제어특성 검토

장석한 신순영 최만식 윤중수
 한국전력공사 한국전력공사 한국전력공사 한국전력공사

Transport of SVS from Sudagu to Yangju and Study about harmonic wave, feature of control

Sukhan-Jang, Soonyoung-Shin, Mansik-Choi, Jongsu-Youn
 KEPCO, KEPCO, KEPCO, KEPCO

Abstract

To cope with increasing power demand in metropolitan area, the power system in Korea has equipped with unit generator of large capacity, high density and uneven distribution, and transmission line of long distance, large capacity and high voltage.

As the power system growing up enormous, it has become difficult to maintain the standard voltage in case of radical fluctuation of load or severe change of voltage by power system fault for its weakness of responsive characteristics although the power condenser has been installed to solve the unstability by lack of reactive power.

Consequently, we review harmonic wave production and control characteristics to solve unstability problem of voltage in northern metropolitan, to reduce transmission restriction cost and to minimize load shedding by relocation of SVC (Static Var Compensator), which is highly effective for improvement of responsive characteristics for radical voltage fluctuation.

1. 서 론

전력계통의 안정도와 관련해서 전압의 안정성 문제에 많은 관심이 모아지고 있는데 근래 전력수요의 증대, 전력의 원격화, 편재화, 대용량화에 따라 송전선로는 장거리화, 고전압화, 대용량화의 양상을 띠고 있다.

이과같이 계통이 거대해지면서 장거리 송전선의 수전단 전압의 이상 저하라든지 무효전력 부족에 의한 전압 저하라는 전압안정성에 관한 문제가 대두되어 가격이 저렴하고 설치가 간편한 전력용콘덴서를 집중적으로 투입하여 대처해 왔으나 S.C 특성상 정상상태에서의 전압보상효과는 있으나 급속한 부하증가나 345kV 송전선고장 등에 의한 과도한 전압변동에는 응동특성이 취약하여 최악의 경우 전압붕괴 위험 가능성까지 우려되고 있다. 이에 대한 대책으로 전압급변에 응동 특성이 탁월하고 무효전력을 연속적으로 제어할 수 있는 정지형 무효 전력 보상장치(SVC)의 도입 등과 같은 대책이 활발히 추진되고 있다.

따라서 345kV 서대구 변전소에 설치 운전중인 345kV ±100MVA SVC(Static Var Compensator) 설비를 순동무효전력 부족으로 345kV 송전선로 2회선 고장시 전압불안정 현상이 예상되는 수도권 북부지역인 345kV 양주변전소에 이설함에 따라 이설의 타당성 검토와 효과를 살펴보고 양주변전소에 설치시의 고조파 발생내역과 제어특성을 검토하여 문제점 및 대책을 수립코자한다.

2. 본 론

2.1. 서대구변전소의 SVC 양주변전소 이설

2.1.1. 이설배경

서울북부지역 응동선로(서인천-신덕은T/L, 신인천-양주T/L, 양주#1,2T/L)중 345서인천-신덕은간, 345kV신인천-양주간 2회선 선로 동시 정지시 수도권 북부지역 순동무효전력 부족으로 전압불안정이 발생한다. 여기에 대한 문제점으로는

- 수도권 북부계통 전압불안정대비 수도권 송전제약량 지속 증가
 - 345kV 2회선 고장시 부하차단 불가피로 광역정전 발생우려
 - 응동선로 조류제약 운전에 따른 휴전작업 어려움 발생 등
- 이에 대한 대책으로 수도권 북부지역 고단가 발전기 운전으로 제약비용이 년간 약 110억원 발생하고 최대부하시에는 수도권 북부지역의 전발전기를 운전하여도 부하차단이 불가피하다.

2.1.2. SVC이설 타당성 검토

- 양주S/S SVC 설치시 계통특성
 - 상정고장 : 345kV서인천-신덕은, 신인천-양주간 2회선 동시고장
 - 최대수요 및 운전조건 : 62,000MW, 일산복합, 서울 화력 진출력
 - 대책 : 부하차단 또는 SVC설치
 - ※ 루트고장대비 부하차단을 하지 않기 위해 양주SVC 230Mvar 설치필요
- 검토결과
 - 서대구변전소의 SVC를 철거하여 양주에 이설하여도 서대구변전소 인근 계통전압은 저하되나 전압불안정은 발생하지 않음
 - 양주변전소에 SVC 100Mvar 설치 및 기존 154kV S.C 50Mvar 2대 활용시 부하차단량은 당초 190MW에서 20MW로 감소됨
 - 수도권 북부지역 송전제약 및 부하차단 최소화를 위해 345kV양주변전소에 SVC를 이설하고 154kV S.C과의 협조제어를 추진함

2.1.3. 이설효과

345kV양주변전소에 SVC 100Mvar를 설치하고 양주변전소 154kV S.C 50Mvar 2대를 활용할 경우 4년간 약 200억원 정도 비용절감 및 최대수요시 부하차단 최소화(2007년 최대 수요기준 : 190MW → 20MW)

2.2 서대구용 SVC를 양주변전소에 이전시 고조파 및 제어특성 검토

2.2.1 검토개요

345kV 서대구 S/S에 설치 운전중인 345kV ±100MVA SVC(Static Var Compensator) 설비를 2007년 하계부하를 대비하여 서울전력관리처 345kV 양주 S/S로 이설하기 위하여 서대구 SVC 설비의 양주 S/S 설치시의 고조파 발생내역과 제어특성을 검토함.

2.2.2 검토 내역

- 서대구 SVC의 양주 S/S 이설시의 고조파 발생 및 제어특성 검토
- SVC 운전으로 인한 345kV 양주 S/S 모선의 고조파 발생량의 검토 (IEEE 519 고조파 관리 기준 적용)

<표 1> IEEE 519 전압 고조파 관리 기준

Bus Voltage at PCC (Vn)	Individual Harmonic Voltage Distortion(%)	Total Harmonic Distortion - THD (%)
$V_n \leq 69kV$	3.0	5.0
$69kV < V_n \leq 161kV$	1.5	2.5
$161kV < V_n$	1.0	1.5

<표 2>. IEEE 519 전류 고조파 관리 기준 (161kV < Vn)

Short Circuit Ratio(SCR)	Individual Harmonic Current Order Ih / IL(%)					Total Demand Distortion
	ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD (%)
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

※ IL : 년평균 최대 (유효)부하전류, ISC : 단락전류, TDD

$$= \sqrt{(I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2)} / I_{L, Peak} \quad (\%)$$

- IEEE 519는 고조파 측정 기준점인 PCC(Point of Common Coupling)의 선정과 고조파 발생에 따른 전력 회사 및 수용가의 고조파 발생 기준을 제시함.
- 전력회사의 경우 표 1의 전압 고조파 기준 적용(수용가가 발생하는 전류 고조파에도 건전한 계통 조건임을 정하는 기준), 수용가의 경우 표 2의 전류 고조파 기준을 적용(비선형 부하의 고조파 발생 기준).

2.2.3 검토 방법

- 고조파 발생과 제어특성 분석을 위하여 PSS/E 계통데이터(2007년 계통계획 Peak 데이터 기준)를 RTDS 해석을 위한 대규모 축약계통으로 구성하고 이를 기반으로 SVC 적용 검토를 수행함.
- 서대구 SVC의 변전 회로 및 제어 알고리즘 일체를 RTDS 해석 모델로 구축하여 시뮬레이션에 반영(서대구 S/S 적용시와 동일한 제어기 파라미터 적용)
- SVC 고조파는 TCR(Thyristor Controlled Reactor) 점호각(α 각 : 90°~180°) 변화로 인하여 발생하며, SVC의 제어시의 점호각 변화에 따른 PCC(양주 모선)에서의 고조파 발생량을 검토함.
- SVC 제어특성 검토는 무효전력 출력(±100MVar) 제어인 서셉턴스 제어모드 및 모선 전압제어인 자동전압제어 모드에 대하여 수행함.
- 적용 계통 내역
 - 적용 계통 : '07년 계통계획 데이터('04년 계통계획실)
 - RTDS 대규모 축약계통 내역
 - RTDS 계통 축약 프로그램으로 축약(수도권 지역은 원상태)
 - 축약 내역(RTDS 26Rack 활용) : 최대수요 53,906MW

구 분	축 약 전	축 약 후	비 고
발전기 수	262	240	○ 검증 내역 - 정상상태 - 과도상태 발전기 동특성
모선 수	1476	986	
선로수	2295	2049	
변압기수	440	412	
부하수	984	784	

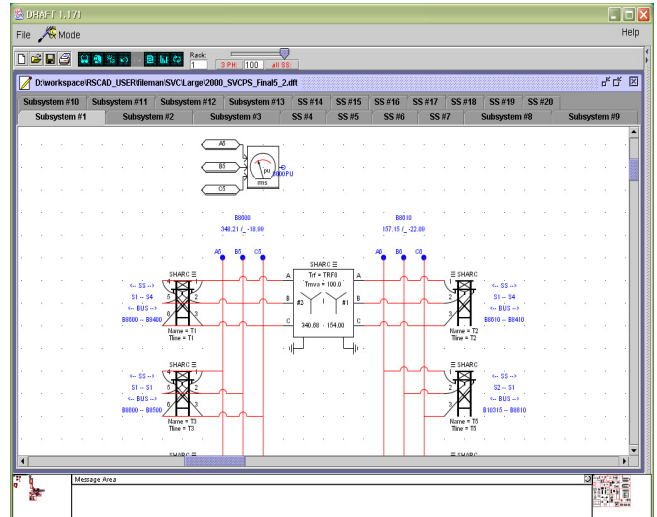


그림 1. 대규모 계통 모델(일부분)

○ RTDS 해석 모델

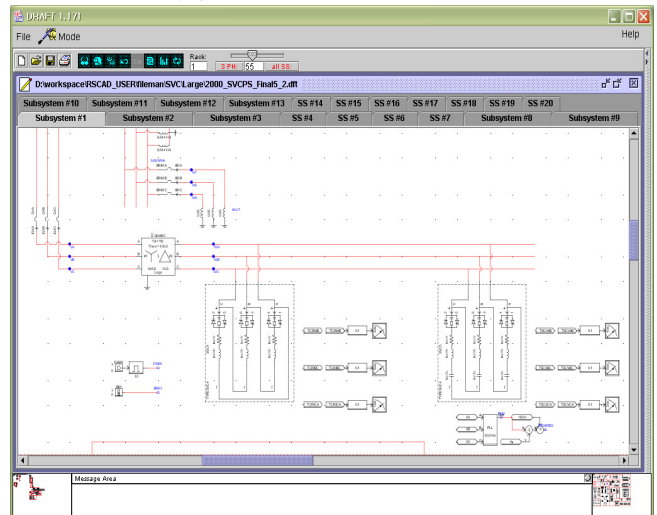


그림 2. 양주 S/S 모선연계 SVC 전력회로 모델(일부분)

2.2.4 검토 결과

□ 고조파 분석

- 표 3은 '07년 하계부하 계통에서의 양주 S/S 345kV 모선(PCC)에서의 SVC 전압 고조파 발생 예상임.

전압 고조파 발생량은 IEEE 519 기준에 부합함. (THD 1.5%이내)

- 표 4는 PCC에서의 전류 고조파 크기(A)임. 전류 고조파 관리기준은 개별 고조파 전류를 IL(년평균 최대 유효부하 전류)로 나눈값과 TDD(Total Demand Distortion)를 적용하나 SVC의 경우 IL의 적용 대상이 아니므로 전류 고조파 관리기준의 적용 불가.

표 3. SVC 운전시의 전압고조파 왜형률(%)

전압고조파 Bref		점호각 (°)	Individual Harmonic Voltage Distortion(%)				THD
			1차	3차	5차	7차	
0	인덕터 모드	96	100	0.0102	0.1192	0.0377	0.1254
10		100	100	0.0093	0.1483	0.0406	0.1541
20		104	100	0.0297	0.1595	0.0294	0.1649
30		108	100	0.0171	0.1464	0.0168	0.1484
40		112	100	0.0161	0.1189	0.0050	0.1201
50	커패시터 모드	117	100	0.0101	0.0781	0.0166	0.0805
60		122	100	0.0128	0.0231	0.0276	0.0382
70		128	100	0.0101	0.0369	0.0283	0.0476
80		136	100	0.0190	0.0986	0.0192	0.1024
90		145	100	0.0311	0.0758	0.0090	0.0825
100		180	100	0.0165	0.0083	0.0056	0.0193

도의 제시된 고조파 기준은 없음. 전압고조파 관리기준이 특성 비선형 부하측의 전류고조파에 따른 계통의 상태와 타 부하의 영향 가능성에 대한 관리기준이므로 전압 고조파 관리기준의 충족으로 SVC이설에 따른 고조파 영향은 없는 것으로 분석되었고

SVC의 모션 전압제어인 자동 전압제어모드 운전시 기존의 서대구 SVC에 적용된 제어 파라미터로는 일부 불안정한 모습을 나타내었으며 SVC의 이설 설치시 제작사에 의한 제어기 파라미터 재튜닝이 필요할 것으로 분석 되었다.

표 4. SVC 운전시의 전류고조파 크기(A)

전류고조파 Bref		점호각 (°)	전류고조파 크기(A)				TDD
			1차	3차	5차	7차	
0	인덕터 모드	96	0.202154	0.000456	0.008708	0.009244	해당 없음
10		100	0.152633	0.000335	0.011141	0.010186	
20		104	0.109034	0.000037	0.012015	0.008599	
30		108	0.072056	0.000036	0.011601	0.005638	
40		112	0.022643	0.000003	0.009322	0.000166	
50	커패시터 모드	117	0.021256	0.000025	0.005825	0.004777	
60		122	0.064460	0.000061	0.001349	0.007975	
70		128	0.103691	0.000108	0.002936	0.007813	
80		136	0.148097	0.000155	0.006848	0.00327	
90		145	0.188747	0.000339	0.007055	0.003378	
100		180	0.225245	0.000059	0.000033	0.000023	

3. 결 론

위에서 간략하게 345kV 서대구변전소의 SVC를 345kV양주 변전소에 이설하게 된 배경, 타당성 검토 및 이설시 고조파 발생 내역과 제어특성을 살펴보았다.

SVC를 이설함으로써 수도권 북부계통의 전압불안정 과 345kV 2회선 고장시 부하차단의 불가피로 광역정전 발생우려를 해소할 수 있으며 4년간 약 200억원 비용절감 및 최대수요시 부하차단 최소화가 가능할 것으로 검토되었다.

SVC이설시 고조파 발생내역과 제어특성의 검토 결과의 분석은 PSS/E 계통데이터('07 하계부하)를 기반으로 제작한 대규모 축약계통에 서대구 S/S의 SVC 설비에 대한 전력회로 및 제어 알고리즘(동일한 제어파라미터)을 반영한 RTDS 모델을 적용하여 SVC 운전시의 전압 및 전류 고조파 발생량과 제어 특성을 분석하였다.

분석결과 SVC의 운전에 따른 양주 S/S 모선의 전압 고조파 발생량이 IEEE 519 기준을 충족하였음. 전류 고조파의 경우 별