

STATCOM을 이용한 전압안정성 향상방안

서은성, 이병준, 권세혁
고려대학교 전기공학과

윤종수, 장병훈, 김홍균
한전전력연구원

The study on Improvement of Voltage Stability Using STATCOM

Eunsung Seo byungjun Lee sehyuk kwon
Dept. of Electrical Engineering, Korea University

jongsoo yoon byunghoon jang hongkyun kim
KEPRI

Abstract - The purpose of this paper is to explain improvement of voltage stability using STATCOM by active power margin and reactive power margin. STATCOM, the representative shunt compensator of the FACTS devices, is faster than machinery compensator in response speed and has the advantage of the small scale because it doesn't use reactor or large capacitor. In this paper, we investigated the compensatory effect of the STATCOM that applied to KEPCO system

1. 서 론

현재 우리나라는 지속적인 전력수요의 증가와 이에 따른 발전설비의 확충으로 계통은 복잡해지고 고도화된 대규모 전력망으로 발전하고 있다. 전력수요는 수도권지역과 영남지역으로 편중되어 있으며, 발전설비는 입지개발 및 확보의 어려움으로 기존 지역에 추가 건설하여 대단위 발전단지로 성장하고 있다. 전력계통 측면에서 이러한 부하중심지와 발전단지를 효과적으로 연계하기 위한 계통 구성과 안정적이고 경제적인 계통운영이 주요문제가 되고 있다. 수도권 지역의 전력수요 집중과 전력수송밀도의 증대는 과도안정도 및 전압불안정 문제가 증대될 것이며 이로 인한 전력수송제약에 따른 계통 혼잡비용의 증가가 우려되고 있다. 부하 밀집지역인 수도권 지역계통의 구조적 특성에 따른 전압 불안정 문제에 대한 대책으로 증부하지 적정전압의 유지뿐 아니라 경부하지 전압 상승 및 계통 고장시 전압 안정성 유지에 대한 효과적인 대비로 FACTS기기가 논의되고 있다.

FACTS 기술은 최근 급속히 발전하고 있는 전력전자 기술을 이용하여 기존의 기계식 교류제어장치의 한계를 극복하여 제어가 곤란하였던 교류송전선로의 임피던스 및 전력조류의 흐름을 제어하여 계통안정도의 향상과 송전선로의 송전용량을 증대시키는 것을 목적으로 하고 있다.

본 논문에서는 대규모 계통에서의 상정사고시 FACTS 기기의 투입위치와 투입용량을 전압안정도 측면에서 선정하는 절차를 제시하고 FACTS기기 중 대표적인 병렬 보상기인 STATCOM을 적용해서 나타나는 전압안정도 향상측면을 한계계통을 통해서 SVC와 비교한다.

STATCOM의 향상효과는 정적인 해석을 통해 전압안정도 지수 중 유효전력여유(P-V margin)와 무효전력여유(Q-V margin)를 검토하며 각 위치와 용량에 따른 여유의 향상측면을 살펴보게 된다.

2. 본 론

2.1 취약지역의 선정

상정사고에 대한 취약지역의 선정은 전압안정도 해석 과정으로 그림1과 같은 나타난다. 전압안정도기준은 우리나라에서는 채택하고 있지 않기 때문에 미국 WECC의 기준을 채택하였다. 우리나라 계통의 경우 2ckt 선로가 대부분을 차지하고 있기 때문에 2ckt 사고를 단일사

고사고에 포함하여 전압안정성을 평가하게 된다.

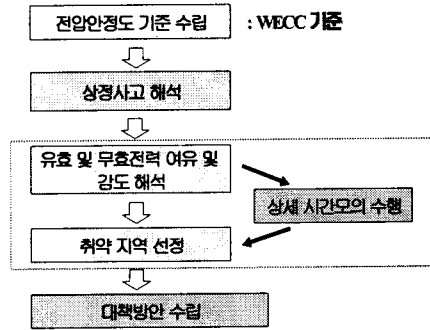


그림1. 전압안정도해석 순서

표1. WECC 전압안정도 기준

성능수준	계통의란	유효전력여유	무효전력여유
A	단일상정사고	> 5%	주1
B	모선	> 2.5%	A수준의50%확보
C	이중상정사고	> 2.5%	A수준의50%확보
D	병행3회선이상선로, 전 변전소, 전 발전소	> 0	> 0

주1: 무효전력이 가장 부족한 모선이라도 최악의 단일 상정사고에 대하여 예상 최대부하를 5% 초과하는 부하증가를 충족시킬 만큼 충분한 무효전력 확보

표1. WECC 전압안정도 기준

2.1.1 유효전력여유 해석

유효전력 여유 해석(P-V analysis)은 계통의 부하 또는 용통조류(Interface flow)와 모선 전압과의 관계를 나타낸 곡선을 작성하여 전압 안정도여유를 산정하는 정상상태 해석기법이다. 유효전력여유 해석시 계통의 부하가 증가함에 따라 계통내의 전압은 모선별로 다양하게 나타날 수 있게되며, 특정 모선의 전압은 운용 기준치를 만족할 수도 있게 된다. 그러나 계통내의 모든 모선에서의 전압 붕괴점은 특정 모선전압에 관계없이 동일한 부하수준에서 발생하게 된다. 성능수준A에 의해 전지역 부하증가 전지역 발전증가시 계통의 전체 부하량에 대해 5%의 여유를 확보하지 못하는 사고를 심각한 상정사고로 선정하게 된다. (그림2)

2.1.2 용통전력여유 해석

용통전력여유는 유효전력여유와 비슷한 개념으로서 유효전력여유가 전지역 부하증가 전지역 발전증가의 시나리오로 해석을 수행하지만 용통전력여유는 부하지역과 발전지역이 원거리로 구분되는 지역에서 부하단과 발전산 사이의 선로를 통해 증가시킬 수 있는 유효전력여유 해석을 수행하게 된다. 용통전력여유 해석 또한 성능수준A에 의해 5%의 여유를 만족시키지 못하는 상정사고에

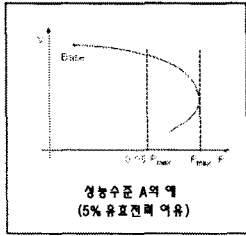


그림2. 성능수준A에서의 유효전력의 예

대해 심각한 상정사고로 선정하게 된다.

2.1.3 무효전력여유 해석

무효전력여유는 전압 불안정 현상이 부하단의 무효전력 수급 악화로 기인한다는 점에 초점을 두고 모션별로 추가 소모할 수 있는 무효전력의 최대량을 나타낸다. 또한 상정사고에 대해 기준에 해당하는 기본 상태에서 모션 무효전력 여유가 충분하도록 유지되어야 한다. 여기에서 충분한 무효전력 여유는 계통운영자가 결정하게 되며, 5% 부하증가 또는 조류증가 상태(0.05Pbase)에서는 양(+)의 무효전력 여유가 존재하여야 한다. (그림3)

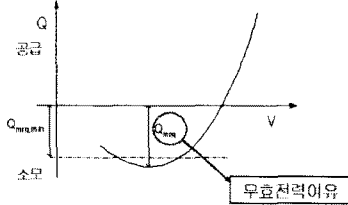


그림3. 성능수준A에서의 무효전력의 예

무효전력여유의 해석을 통해 심각한 상정사고에 대해 무효전력여유 기준을 미치지 못하거나 충분한 여유를 갖지 못하는 모션을 취약지역으로 선정하게 된다.

2.2 병렬보상기기의 투입

병렬보상기중 대표적인 STATCOM과 SVC를 비교한다.

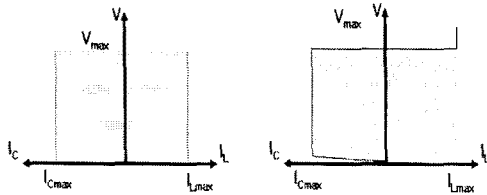


그림4. SVC와 STATCOM의 V-I 특성곡선

두 기기의 가장 큰 차이점은 그림4와 같이 V-I특성에 기인한다. STATCOM은 SVC에 비해 제어능력이 뛰어나며, 계통전압이 기준이하로 떨어져 무효전력보상이 가장 필요한 시점에서 SVC의 무효전력공급능력은 전압의 제곱에 비례해서 급격히 떨어진다 단점이 있는데 반해, STATCOM은 전압 강하에도 불구하고 무효전력 공급량을 일정하게 유지할 수 있다는 장점이 있다

2.2.1 STATCOM의 투입

취약지역으로 선정된 지역에 대해 STATCOM을 투입하여 유효전력여유, 율통전력여유, 무효전력여유의 향상을 보게 된다. STATCOM을 포함하는 계통에 대해 정상상태해석을 위해서는 정적인 모델이 필요하다. 문헌상으로 정적인 모델로는 노드 어드미턴스(node admittance)모델, 주입(injection)모델, 분리(decoupled)모델 등이 있으며 본 논문에서는 주입모델을 통해서 STATCOM을 계통에 적용시킨다. 그림4는 STATCOM의 주입모델은 나타낸 것이다.

$$I_{sh} = \frac{V_1 - V_m}{jX_d}$$

$$P_{sh} = \frac{-V_1 V_m \sin(\theta_1 - \alpha_1)}{X_d}$$

$$Q_{sh} = \frac{V_1(V_m \cos(\theta_1 - \alpha_1) - V_1)}{X_d}$$

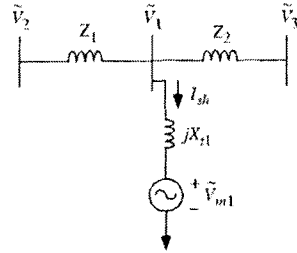


그림4. STATCOM의 주입모델

전압제어를 하기 위해서 $V_1 = V_{ld}$ 로 설정하게 되며, 계통 손실을 무시한다고 가정하면 $\theta_1 - \alpha_1 = 0$ 으로 나타난다. 위 모델을 계통에 적용하여 각각 취약지역으로 선별된 지역에 각각 100, 200, 400, 800MVAR의 용량을 투입하게 된다. 투입 후 유효전력여유가 성능수준A이상으로 확보가 되는 최소량의 용량을 산정한 후, 무효전력여유 200MVAR 이상의 여유를 확보하도록 투입하게 된다.

3. 사례 연구

사례연구로는 2007년도 한전 하계 Peak계통으로 평가하였다. 2007년도 한전하계 Peak 계통은 274기 1732모선과 2972개의 송전선으로 이루어져 있으며, 초기부하량은 54826.4MW이고, 초기 총손실량은 871.8MW이다.

취약지역을 평가하기 위한 상정사고는 수도권지역 345KV 선로의 2회선 Route사고, 765KV선로의 1회선 CKT 사고를 고려하였으며, 발전기 인출선로나 지중선로의 사고는 고려하지 않았다.

설정된 각 상정사고에 대해 유효전력여유 해석후 WECC 기준에 의해 5%의 유효전력여유를 만족시키지 못한 심각한 상정사고는 아래와 같다.

표3. 한전 2007년 하계 Peak 계통의 심각한 상정사고의 유효전력 여유

CASE	유효전력 여유 [MW]	% 여유
Base Case	3447	6.21
양주3-신인천CC	1131	2.04
화성3-아산3	1487	2.68
광주3-신재천3	1918	3.46
신양제3-신성남3	2176	3.92
영서3-서서울3	2197	3.96
동서울3-광주3	2261	4.08
신안정7-신서산7	2332	4.20

율통전력여유해석에서는 각 상정사고에서 5%의 여유를 모두 만족하였다. 표3에 나타난 7가지의 경우를 심각한 상정사고라고 판단하고 이에 대해 무효전력 여유 계산을 수행하였다. 사고에 대한 감시모션으로서는 11개소 20개 모션에 대해서 진행하였다. 이러한 감시모션은 부하밀집 지역인 수도권 환상망을 구성하는 모선과 북상선로중 345KV 선로에 대하여 지정하였다. 무효전력 여유 해석 수행 후 취약지역의 선정에서 사고모션은 제외하였고 그 결과는 아래와 같다. (표4) 무효전력여유 검토 결과 심각한 상정사고에 대한 취약지역은 미급, 동서울 지역으로 나타나고 있다. 위의 6경우의 심각한 상정사고 중 순위가 가장 높은 양주3-신인천CC 사고에 대해 동서울,

표4. 심각한 상정사고에 대한 무효전력여유

가혹상정사고	순위	절대량 기준		VQVI 기준	
		모선이름	무효전력여유	모선이름	VQVI
양주3-신인천CC	1	미금1	409	미금3	24.09
	2	미금3	453	신가평7	25.26
	3	동서울1	460	동서울3	26.52
화성3-아산3	1	미금1	782	신시흥3	43.83
	2	동서울1	782	신용인3	47.4
	3	신성남1	794	동서울3	47.64
광주3-신계천3	1	미금1	875	동서울3	54.45
	2	동서울1	876	미금3	55.03
	3	신성남1	944	신가평7	55.35
신양재3-신성남3	1	동서울1	1017	동서울3	64.34
	2	미금1	1030	신용인3	65.06
	3	신용인1	1095	미금3	65.48
영서3-서서울3	1	미금1	1028	신시흥3	57.65
	2	동서울1	1031	신시흥1	63.52
	3	신성남1	1046	동서울3	64.83
동서울3-광주3	1	미금1	931	미금3	58.78
	2	신성남1	1018	신가평7	61.55
	3	신용인1	1052	신용인3	62.33
신안성7-신서산7	1	미금1	1074	신가평7	67.02
	2	동서울1	1075	신용인3	67.78
	3	신성남1	1115	동서울3	68.56

미금지역에 각각 100, 200, 400, 800MVAR의 STATCOM을 투입하여 각 여유의 향상정도를 살펴보았다. 투입하는 SVC와 STATCOM은 전압조정모드로 1.03PU의 전압을 설정하였다. (표5, 6)

표5. 동서울 투입시 유효전력여유

동서울 투입		
투입용량	STATCOM	SVC
투입전	1131	
100MVAR	1344	1333
200MVAR	1541	1519
400MVAR	1958	1941
800MVAR	2751	2734

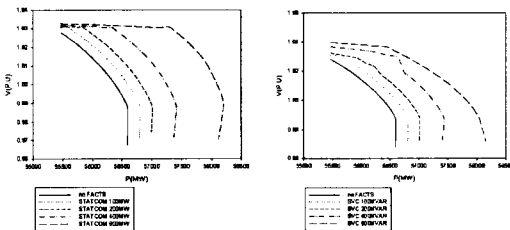


그림5. 동서울 투입시 P-V 곡선

표6. 미금 투입시 유효전력여유

미금 투입		
투입용량	STATCOM	SVC
투입전	1131	
100MVAR	1359	1345
200MVAR	1591	1587
400MVAR	2052	2025
800MVAR	2896	2873

상정사고시 무효전력여유의 경우 WECC 전압안정도 기준으로 설정한 충분한 무효전력여유(본 논문에서는 200MVAR)를 모두 만족시키고 있다.(표4) 그렇지만 사고전 무효전력여유에 대해 큰 변화를 나타내고 있다. 이에 각각 동서울, 미금지역의 STATCOM 투입 시 무효전력여유의 변화를 살펴본다. (표7, 표8)

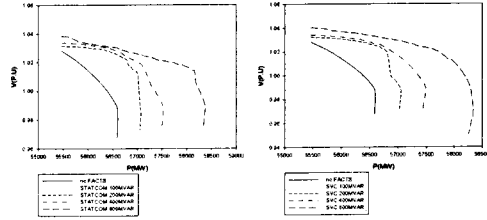


그림6. 미금투입시 P-V곡선

표7. 동서울 STATCOM 투입시 미금의 무효전력여유

동서울 STATCOM 투입시 미금의 무효전력여유	
투입용량	무효전력여유 (MVAR)
투입전	409
100MVAR	484
200MVAR	552
400MVAR	701
800MVAR	979

표8. 미금 STATCOM 투입시 동서울의 무효전력여유

미금 STATCOM 투입시 동서울의 무효전력여유	
투입용량	무효전력여유 (MVAR)
투입전	511
100MVAR	623
200MVAR	734
400MVAR	943
800MVAR	1376

4. 결 론

STATCOM은 계통의 무효전력을 보상을 통한 국지적인 전압불안정 현상을 해소시켜주는데 많은 장점을 갖고 있는 기기이다. 또한 SVC에 비해 응답특성이 빠르고 설치 면적이 작다는 장점이 있다. 사례에서도 살펴보면 사례에서는 STATCOM과 SVC와의 차이점이 눈에 띄게 나타나는 점이 있지만, STATCOM의 특성이 SVC보다 양호하게 나오는 것을 확인할 수 있다. 이것은 계통전압이 기준이하로 떨어져 무효전력보상이 필요한 시점에서 SVC의 무효전력공급능력은 전압의 계급에 비례해서 급격히 떨어진다 단점이 있는데 반해, STATCOM은 전압 강하에도 불구하고 무효전력 공급량을 일정하게 유지할 수 있다는 장점에 그 원인을 갖고 있는 것 같다. 하지만, 정상상태에서의 해석법은 FACTS기기의 또다른 장점인 빠른 응답성을 간과하는 해석방법이다. STATCOM의 빠른 응답성이 계통에 어떠한 영향을 끼치는지에 대한 연구가 필요하리라 본다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Vaahedi, C. Fuchs, "Voltage Stability Contingency Screening and Ranking", IEEE Trans. on power system, Vol.14, No.1 Feb 1999
- [2] 한전전력연구원, "대용량 전력수송기술개발_FACTS운용 및 기기 국산화 기술개발", 2차분기보고서, 2004. 7
- [3] 조운현, 서상수, 이병준, 김태균, 추진부, "무효전력 여유변화를" 이용한 전압안정성 취약지역 선정, 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집, p251-254, 2003
- [4] N.G Hingoran, L.Gyugyi, "Understanding FACTS-concept and Technology of Flexibe AC transmission system", IEEE press, 1999