

SVC 적용에 의한 전압 안정도 측면에서의 용통전력 향상 방안에 대한 연구

이병하*, 이세정*^o 김정훈** 장경철***, 김용학***, kwak노홍***, 추진부*** 이조련****
 *인천대학교 전기공학과 **홍익대학교 전자전기공학부 ***한전전력연구원 ****한국전력거래소

A Study on Enhancing the Total Transfer Capability from a Voltage Stability Point of View Using SVC

B.H. Lee*, S.J. Lee*^o J.H. Kim** K.H. Jang***, Y.H. Kim***, N.H. Kwak***, J.H. Ju*** J.L. Lee****
 *University of Incheon **Hongic University ***KEPRI ****KPE

Abstract - The SVC(Static Var Compensator) resulted from the FACTS technology can generate or absorb reactive power rapidly so as to increase the transient and voltage stability. In this paper, the SVC is applied to the power system in order to improve the total transfer capability from a viewpoint of static voltage stability and the effects of application of the SVC to the power system are analyzed. The IPLAN, which is a high level language used with PSS/E program, is employed for determining the total transfer capability.

1. 서 론

한전의 독점운영 체제로부터 경쟁체제로 전환된 우리나라의 전력계통은 지역적 특성으로 서해안 지역, 호남 지역, 영남지역 등의 원거리 발전군과 대규모 부하밀집 지역인 경인지역으로 나눌 수 있고, 이들간의 원활한 전력수급을 위하여 용통전력인 복상조류가 이루어진다. 상당한 규모의 복상조류가 흐르는 345kV 이상 송전선로는 이미 중부하되고 있는 실정이고, 경쟁이 도입되어 전력시장에서 발전비용이 낮은 원거리 발전군의 발전량이 커지게 될 것이고, 수도권 개발사업 등으로 수도권 부하성장은 더욱 커질 것으로 예상되나 발전설비를 수도권에 건설하기가 어려운 점등으로 전력용통에 대한 대책이 마련되어야 하며 용통전력을 향상시키는 방안에 대한 연구가 필수적으로 요구되고 있다. 이 용통전력의 평가는 열 안정도, 과도안정도, 전압안정도, 미소신호 안정도 평가를 함으로써 결정되며[1-2], 최대 용통전력은 고려하는 가장 심각한 상정사고에 대하여 안정도 조건들을 만족하면서 공급할 수 있는 최대 송전 전력을 말한다.

본 논문에서는 한전 시스템의 용통전력 증대 문제가 되고 있는 전압안정도를 SVC 적용을 통하여 향상시킴으로써 복상조류의 용통전력을 증대시키는 연구를 수행하고 그 결과를 제시한다. 무효전력의 효과적인 제어를 위한 FACTS 장치들 중에서 실제계통에서 가장 널리 활용되고 있는 설비가 SVC이므로 이를 적용하고[3], 전력시스템의 어느 위치에 대책을 적용할 것인지가 아주 중요한 과제로 대두되게 되는데, 효과적인 SVC 설치지점의 선정을 위하여 감도지수와 저전압순위를 도입하여 활용하고 이의 효율성을 비교 검토한다. 이 과정들을 한전의 실제계통에 적용하여 연구를 수행한다.

2. SVC 동작 특성 및 모델링

SVC는 다이리스터 스위치를 이용하여 병렬콘덴서나 리액터를 신속하게 접속제어하여 무효전력 및 전압을 제어하는 장치이고, 병렬보상설비로서 가장 널리 활용되고 있는 FACTS 설비중의 하나이다[3-4]. SVC의 특징은 응답특성이 빠르며 조작에 제한이 거의 없고, 신뢰성이 높으며 유지보수가 간단하고 조작성이 뛰어나다는 점에 있다. SVC는 재래의 병렬 커패시터와 리액터와 같지 않게 SVC는 더 일정한 전압조정 능력을 가지고 있다. 또, SVC는 많은 경우 안정도 목적으로도 적용되고 있고, 일부는 전력용요의 제동을 강화시키는 PSS와 유사한 보조 안정화 제어를 위해 적용되고 있다. 여기서는 정적 전압 안정도 향상을 위해 SVC를 적용하며, SVC의 V-I 특성이 그림 1에 보여져 있다.

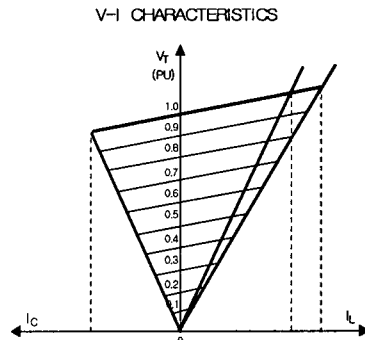


그림 1. SVC의 V-I 특성

3. 용통전력 한계치 결정

본 논문에서 용통전력한계치는 반복조류계산기법을 적용하여 구한다. 반복 조류 계산 기법은 통상적인 조류 계산 프로그램을 사용하여 발전력이나 부하를 변화시키면서 조류계산이 발산되어 더 이상 해를 구할 수 없을 때까지 반복하여 조류계산을 수행함으로써 P-V 나 f-V 곡선을 구하는 방법이다. 이 방법으로는 정확한 전압 붕괴점인 노우즈 점을 계산할 수는 없으나, 실용적인 관점에서 충분한 정도의 근사적인 전압 붕괴점을 구할 수 있다. 널리 공인된 조류계산 프로그램을 사용함으로써 프

로그랩 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성이 보장된다는 장점이 있다. 반복조류계산 기법을 효율적으로 구현하기 위하여 PTI 사의 IPLAN 프로그램을 이용하여 소프트웨어 등을 개발하고 이를 활용한다.

반복 조류계산 기법으로 정적인 전압 안정도를 고려한 연계선로의 용통전력 한계를 구하기 위해 연계선로를 기준으로 전력을 유출하는 지역과 전력을 유입하는 지역으로 분할하고, 가장 심각한 상정사고에 대해 계통의 부하수준은 일정하게 두고 전력을 유출하는 지역의 발전력은 증가시키고 전력을 유입하는 지역의 발전량은 감소시키면서 두 지역간의 용통전력을 증가시켜 나간다. 조류계산이 발산되어 더 이상 해를 구할 수 없을 때까지 반복하여 조류계산을 수행함으로써 f-V곡선을 구하여 최대 용통전력을 구하게 된다. 가장 심각한 상정사고에서의 용통전력한계인 최대용통전력의 결정과정을 단계별로 정리하여 보면 아래와 같다.

단계 1. 상정사고 지수를 사용하여 심각한 상정사고들을 선정하고 각각에 대하여 f-V 곡선을 그린다.

단계 2. 선정된 각각의 상정사고 중에서 최소의 λ 변화를 갖는 사고를 가장 심각한 상정사고로 결정한다.

단계 3. 가장 심각한 상정사고 발생 시의 계통의 f-V 곡선에서 근사 임계점에서의 λ 값을 구해 각 발전기들의 유효전력 발전량을 구한다.

단계 4. 정상계통에서의 f-V곡선에서 단계 3에서 구한 λ 값에 일치하는 각 발전기들의 유효전력 발전량을 발전시의 연계 선로 조류의 값(정상상태로 변환한 최대용통전력)을 구한다.

IPLAN 프로그램을 이용하여 반복조류계산 기법에 의하여 최대용통전력을 계산하는 개발된 프로그램의 개략적인 플로우차트는 그림2와 같다.

각한 모선은 전압불안정 감도지수의 값도 크게 나타나게 된다. 전압이 가장 낮은 모선에 용통전력 향상대책을 우선적으로 적용할 수 있다. 위와 마찬가지로 저전압이 심각한 모선에 SVC를 적용하여 용통전력이 향상되는 효과를 시뮬레이션 한다.

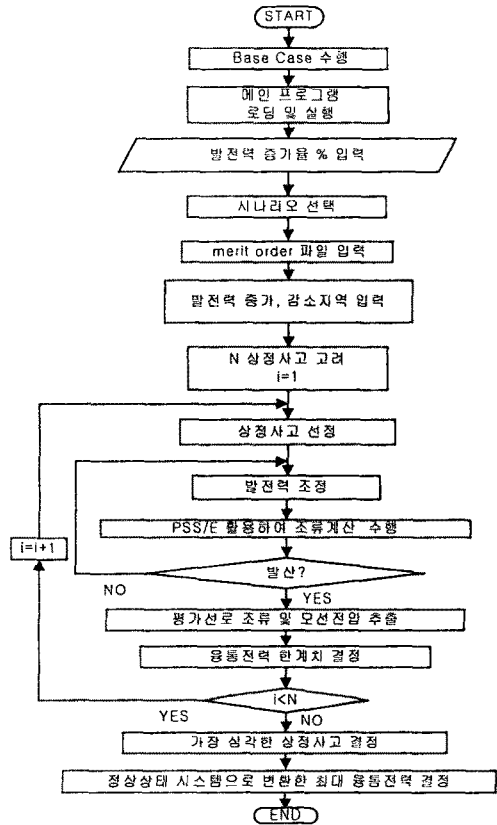


그림 2 용통전력 한계 결정 프로그램 플로우차트

4. 용통전력 향상 대책 적용 위치 결정

4.1 전압 불안정 감도지수의 활용

전압안정도 측면에서 가장 약한 모선이라는 것은 전압분포에 가장 근접해 있는 모선을 말한다. 약한 모선은 부하의 미분변화에 대한 모선전압의 미분변화의 절대치의 비($-dV/d\lambda$)가 큰 모선이며, 여기서는 이 $-dV/d\lambda$ 를 전압 불안정 감도 지수라고 정의한다. 이 $-dV/d\lambda$ 의 비가 큰 순서로 모선들을 나열하고 이 모선들에 전압안정도 향상 대책을 우선적으로 적용할 수 있고, 이 모선에 SVC를 적용하여 용통전력이 향상되는 효과를 시뮬레이션 한다.

4.2 모선 전압의 활용

무효전력공급이 부족한 모선에서 저전압 현상이 발생하게 되는데, 저전압의 정도도 정적전압안정도의 단순하면서도 효과적인 지표가 될 수 있다. 저전압 현상이 심

5. 시뮬레이션 결과 및 검토

2001년 Peak시에 대하여 감도 지수가 제일 큰 모선인 신제천3에 SVC를 설치하여 시뮬레이션을 수행한 결과가 표2에 보여져 있다. SVC의 미설치시와 용량이 100 MVar, 500 MVar, 900MVar인 SVC를 각기 설치하였을 때의 용통전력이 표시되어 있는데 SVC가 투입됨에 따라 상당히 용통전력이 향상되는 것을 볼 수 있다.

이에 반해 감도지수 순위가 30번째 되는 모선(신인천34)에 똑같은 SVC를 설치하는 경우의 시뮬레이션 결과가 표3에 비교되어 있다. 이 결과를 보면 감도 지수가 제일 큰 모선에 SVC를 설치한 것이 감도 지수가 낮은 신인천34 모선에 SVC를 설치한 것보다 100 MVar 용량의 SVC 설치시 16.2 MW, 500 MVar 용량일 때 94.9 MW, 900MVar 용량일 때 140.1 MW의 용통전력이 향상

된 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다. 이에 대하여 그림으로 비교한 것이 그림 3에 보여져 있는데, 그 효과를 쉽게 확인할 수 있다.

2001년 Peak시에 대하여 최저전압의 모선인 청원345에 SVC를 설치하여 시뮬레이션 결과가 표4에 보여져 있다. 위와 마찬가지로 SVC의 미설치시와 용량이 100 MVar, 500 MVar, 900MVar인 SVC를 각기 설치하였을 때의 유통전력이 표시되어 있는데 이 경우에도 유통전력이 향상되는 것을 볼 수 있다.

이 결과에서는 감도 지수가 제일 큰 모선에 SVC를 설치한 것이 최저전압의 모선에 SVC를 설치한 것보다 좀 더 유통전력 향상 효과를 볼 수 있는 것으로 나타났다.

표2. 2001년 Peak시 유통전력 향상 효과
(최대감도 지수의 모선에 대책 적용)

SVC 용량 [MVar]	SVC 실제 투입량 [MVar]	신제천3 모선에 SVC 설치시 정상상태로 변환한 최대 유통 전력 [MW]
미설치	0	9263.5
100	82.3	9361.8
500	415.6	9571.8
900	810.2	9746.2

표3. 2001년 Peak시 유통전력 향상 효과 비교

SVC 용량 [MVar]	신제천3 모선에 SVC 설치시		신인천34 모선에 SVC 설치시	
	SVC 실제 투입량 [MVar]	정상상태로 변환한 최대 유통 전력	SVC 실제 투입량 [MVar]	정상상태로 변환한 최대 유통 전력
미설치	0	9263.5	0	9263.5
100	82.3	9361.8	90.5	9345.6
500	415.6	9571.8	467.8	9476.9
900	810.2	9746.2	873.8	9606.1

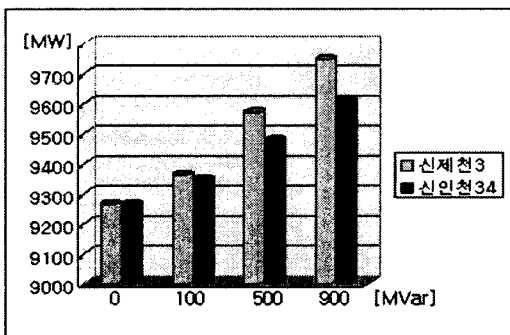


그림 3 2001년 Peak시 유통전력 향상 효과 비교

표4. 2001년 Peak시 유통전력 향상 효과
(저전압의 모선에 대책 적용)

SVC 용량 [MVar]	SVC 실제 투입량 [MVar]	청원345 모선에 SVC 설치시 정상상태로 변환한 최대 유통 전력 [MW]
미설치	0	9263.5
100	87.2	9338.0
500	462.1	9442.6
900	880.2	9511.6

6. 결 론

본 논문에서는 한전시스템의 부상조류 유통전력에 가장 큰 제약으로 작용하고 있는 것이 전압안정도이므로, SVC를 적용하여 전압안정도를 개선시킴으로써 최대 유통전력을 향상시키는 연구를 수행하였다. PTI사의 IPLAN 프로그램을 이용하여 반복조류계산 기법을 구현하는 툴을 개발하고, 이를 사용하여 최대 유통전력을 계산하는 과정을 자동적으로 수행한다. 한전의 실제통에 적용하여 SVC가 설치된 경우의 최대 유통전력 향상 효과를 분석하였으며, SVC를 적용하여 최대 유통전력을 증대시킬 수 있음을 보여준다. 그리고, 전력시스템의 어느 위치에 대책을 적용할 것인지를 결정하는데 감도지수와 저전압순위를 도입하여 활용하는 것이 효과적임을 보여준다.

(참 고 문 헌)

- [1] P.W. Sauer, K.D. Demaree and M.A. Pai, "Stability limited load supply and interchange capability", IEEE Transactions on PAS, Vol. PAS-102, No. 11, pp. 3637-3643, Nov., 1983.
- [2] James D. McCally, John F. Dorsey, Zhihua Qu, "A new methodology for determining transmission capacity margin in electric power systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 3, pp. 944-951, Aug., 1991.
- [3] R.W.Menzies and Y.Zhuang, "Advanced static compensation using a multilevel GTO thyristor inverter", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 10, No.2, pp.732-738, 1995.
- [4] Einar V.Larsen, Daniel J.Leonard, Nicholas W.Miller, Hisham Othman, John J.Paserba, Steven T.Naumann, "Application studies for a distribution STATCON on Commonwealth Edison's Power System", FACTS Conference 2, EPRI TR-101784, Dec., 1992.
- [5] H.D. Chiang, K.S. Shah and N. Balu, "CPFLOW: A practical tool for tracing power system steady-state stationary behavior 열 새 load and generation variations", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 10, No.2, pp.623-634, 1995.