

최적조류계산을 이용한 SVC 위치 선정에 관한 연구

정성원, 김재현, 김양일
 순천대학교 정보통신공학부

A Study on Optimal location of SVC using Optimal Power Flow

Sungwon Jeung, Jaehyeon Gim, Yang-il Kim

School of Information & Communication Engineering, Suncheon National Univ.

Abstract - This paper describes optimal location of SVC using Optimal Power Flow. The optimal location for SVC decide on the Size of SVC obtained from Optimal Power Flow. The location is selected according to the amounts of SVC. This study is applied to WSCC 9 bus test system.

1. 서 론

최적조류계산(OPF : Optimal Power Flow)은 전력방정식을 포함하는 등식제약조건과 발전용량 및 송전선 용량을 포함하는 부등식제약조건을 만족하는 발전비용을 최소화하기 위한 최적화 문제로 정의된다. 최적조류계산을 통하여 전력계통의 경제운영에 관한 여러 가지 문제를 해결할 수 있고, 시간과 효율성을 증대시킬 수 있다.

한편 전력수요의 지속적인 성장에 따른 안정도여유의 감소로 인한 사고 발생시 계통전체의 안정성 측면에서 효과적인 제어가 절실히 요구된다. 따라서 송전계통을 보완하기 위한 효율적인 방법으로 유·무효전력을 제어하는 FACTS(Flexible AC Transmission System) 장비를 설치한다. 이러한 FACTS의 다양한 모델 중 모선에 병렬로 연결되어 빠른 응답속도를 가지고 연속적으로 무효전력을 보상하여 일정 전압을 유지하는 SVC(Static Var Compensator)가 있다.[1-4]

SVC의 위치선택 방법으로는 LIED(Location Index for Effective Damping)[2]과 발전량의 변화에 따른 지전압 여유도[3]를 이용한 방법이 있고, 계통의 Loadability와 상정사고 해석[4]으로 전압의 변화에 따라 SVC 위치를 선정하는 방법 등이 있다.

본 논문에서는 전력계통을 가혹한 조건으로 만들어 이를 보호하기 위하여 SVC를 각 모선에 설치하고 최적조류계산의 결과에 따라 위치를 선정하는 방법을 제시하고 WSCC 9모선 계통[5]에 적용하였다.

2. 최적조류계산

최적조류계산은 전력계통의 여러 가지 제약조건을 만족시키며 특정 목적함수를 최적화시키는 기법이다. 여기서 목적함수로는 일반적으로 발전비용, 계통의 손실 등이 있다.

발전비용이 목적함수인 경우는 아래와 같이 정식화 할 수 있다.

$$\text{목적함수 } \text{Min} \sum_{i=1}^{N_g} (F_{Gi}) \quad (2.1)$$

$$\text{제약조건 } g(x) = 0 \quad (2.2)$$

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \quad (2.3)$$

2.1 목적함수

목적함수는 총 발전비용의 최소화하는 함수이고 식 (2.4)와 같이된다.

$$F_{Gi} = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 \quad (2.4)$$

여기서

F_{Gi} : 총발전비용

a_i : 상수 비용 계수

b_i : 1차 비용 계수

c_i : 2차 비용 계수

P_{Gi} : 모선 i 에서의 유효전력 발전량

2.2 등식 제약조건

등식 제약조건은 유·무효 전력방정식이고 식 (2.5) (2.6)과 같다.

$$P_{Gi} - P_{Li} - P(V, \theta) = 0 \quad (2.5)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Li} - Q(V, \theta) = 0 \quad (2.6)$$

여기서

Q_{Gi} : 모선 i 에서의 무효전력 발전량

P_{Li} : 모선 i 에서의 유효전력 부하

Q_{Li} : 모선 i 에서의 무효전력 부하

2.3 부등식 제약조건

부등식 제약조건은 모선전압, 발전기의 유효·무효전력 출력 등으로 하고 식 (2.7)(2.8)(2.9)와 같다.

$$V_i \min \leq V_i \leq V_i \max \quad (2.7)$$

$$P_{Gi} \min \leq P_{Gi} \leq P_{Gi} \max \quad (2.8)$$

$$Q_{Gi} \min \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi} \max \quad (2.9)$$

여기서

$V_i \min, V_i \max$

: 모선 i 에서의 전압의 상, 하한값

$P_{Gi} \min, P_{Gi} \max$

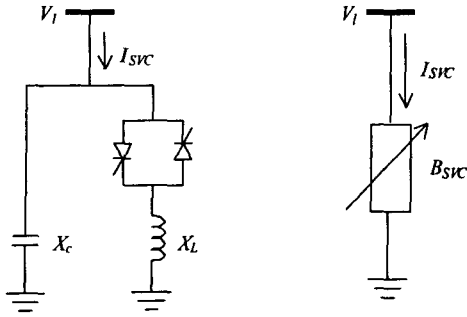
: 모선 i 에서의 유효전력 발전량의 상, 하한값

$Q_{Gi} \min, Q_{Gi} \max$

: 모선 i 에서의 무효전력 발전량의 상, 하한값

3. SVC(Static Var Compensator) 모델

SVC는 그림 1과 같이 고정된 용량의 커패시터(FC : Fixed Capacitor)와 사이리스터 제어에 의해 용량이 가변되는 인덕터(TCR : Thyristor Controlled Reactor)가 병렬로 연결된 구조로 되어 있으며 전체적으로 사이리스터에 의하여 제어되는 가변 서셉턴스(B)로 구성된다.



a) SVC의 기본적 구조 b) SVC의 모델
 그림 1 SVC(Static Var Compensator)

그림 1 b)의 SVC의 등가회로는 식(2.4)와 (2.5)로 나타낼 수 있다.

$$I_{SVC} = j B_{SVC} V_l \quad (2.4)$$

$$Q_l = -(V_l^2) B_{SVC} \quad (2.5)$$

4. 모의실험

4.1 9모선 계통

모의 실험 계통은 그림 2의 WSCC 9모선을 사용하였다. 표 1은 모의 실험을 위한 발전기 데이터와 최적조류계산의 목적함수의 연료비 계수이다.

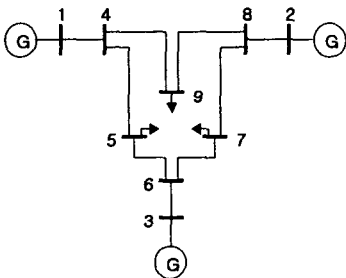


그림 2 Wsc 9 Bus Test System

표 1. 발전기 데이터

모선 No	Pg		Qg		연료비 계수		
	max	min	max	min	ai	bi	ci
1	250	10	300	-300	150	5.0	0.1100
2	300	10	300	-300	600	1.2	0.0850
3	270	10	300	-300	335	1.0	0.1225

4.2 SVC 위치선정

SVC 위치선정의 한 방법으로 저전압 모선에 SVC를 설치[3]하고 있다. 그러나 본 논문에서는 부하를 일정비율로 증가할 때 모선의 전압에 따라 SVC를 설치 가능한 모선으로 선정하여 각 모선에 SVC를 설치하고 최적조류계산을 실행한다.

최적조류계산에서는 SVC의 용량이 발전비용을 목적함수로 하는 독립변수로 지정되어 계산되고 그 결과에서 SVC의 용량이 가장 큰 모선을 최적의 위치로 선정한다.

4.3 모의실험 결과

본 논문에서 모의실험은 부하를 10%, 20% 증가할 때 SVC의 설치 위치에 대하여 분석하였다. 표 2는 증가 부하량이고, 표 3은 부하증가에 따른 저전압모선을 선정한 결과이다.

표 2. 증가 부하량

모선 No	PL	QL	PL	QL	PL	QL
	기준값		10%		20%	
5	90.0	30.0	99.0	33.0	108.0	36.0
7	100.0	35.0	110.0	38.5	120.0	42.0
9	125.0	50.0	137.5	55.0	150.0	60.0
Tot	315.0	115.0	346.5	126.5	378.0	138.0

표 3. 조류계산 후 저전압모선

모선 No	전압[PU]		
	기준값	10% 증가시	20% 증가시
9	0.9576	0.9502	0.9417
5	0.9755	0.9692	0.9621
7	0.9856	0.9801	0.9742

SVC의 위치를 선정하기 위하여 모선에 SVC를 모두 설치하고 최적조류계산에서 용량을 결정한다. 표 4는 최적조류계산에서 부하에 따라 각 모선에 추가된 SVC 설치 용량이다.

표 4에 의해 9번 모선이 가장 최적의 모선으로 선정되었다. 전압 특성은 5번 모선이 7번 모선보다 우선 순위가 높지만 최적조류계산을 이용한 방법에서는 7번 모선이 5번 모선보다 높았다. 이는 최적조류계산에서 발전력이 배분되어 계통의 운전점이 이동되었고 발전비용을 최소화하기 위하여 전압을 증가했기 때문이다.

표 4. SVC 용량 결과

모선#	SVC 용량		
	기준값	10% 증가시	20% 증가시
9	33.4	40.2	47.3
5	8.0	12.2	16.4
7	19.3	23.6	28.0

표 5는 모선에 SVC를 설치하지 않은 경우와 모두 설치한 경우의 발전비용 절감을 나타낸 것으로 SVC 설치 후의 발전비용이 절감되었다.

표 5. SVC 보상 전·후의 발전비용

SVC	발전비용		
	기준값	10% 증가시	20% 증가시
설치전	5305.56	6126.56	7022.40
설치후	5302.60	6121.01	7012.90

SVC 최적의 위치를 9번 모선으로 선정하고 각 모선 별로 SVC를 설치한 후의 최적조류계산 결과는 표 6과 같다. 9번 모선에 SVC를 설치하는 것이 발전비용 절감에 효과적이다. 그리고 발전비용은 부하가 증가함에 따라 비용 절감이 현저하게 크게 나타났다.

표 6. 모선별로 SVC 보상 후 발전비용

모선 No	발전비용		
	기준값	10% 증가시	20% 증가시
9	5303.21	6122.18	7014.92
7	5305.06	6125.42	7020.28
5	5305.27	6125.73	7020.64

5. 결 론

최적조류계산을 이용하여 SVC 위치 선정 방법을 제시하였다. 이 방법은 SVC 위치 선정을 위해 저전압 모션을 선택하고 최적조류계산에 따른 SVC의 용량이 가장 큰 모션에 SVC 위치를 선정하였다. 그 결과에 의해 9번 모션의 전압이 가장 낮고, SVC의 용량이 가장 큰 곳으로 가장 최적인 위치지만 설치 우선 순위는 저전압 모션으로 선정된 결과와 다르게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 산업자원부 전력산업연구개발사업 전력기술기초연구에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Ambriz-Perez, H., Acha, E., Fuerte-Esquivel, C.R., "Advanced SVC models for Newton-Raphson load flow and Newton optimal power flow studies", IEEE Trans, Vol 15, pp129-136, 2000
- [2] Okamoto, H., Kurita, A., Sekine, Y., "A method for identification of effective locations of variable impedance apparatus on enhancement of steady-state stability in large scale power systems", IEEE Trans, Vol 10, pp1404-1407, 1995
- [3] Lasseter, R.H., Wang, R., "The impact of generation mix on placement of static VAR compensators", IEEE Trans, Vol 14, pp1018-1023, 1999
- [4] Jurado, F., Rodriguez, J.A., "Optimal location of SVC based on system loadability and contingency analysis", IEEE International Conference on Power System, Vol 2, pp1018-1023, 1999
- [5] Huang, G.M., Nair, N.-K.C., "Incorporating TCSC into the voltage stability constrained OPF formulation", Power Engineering Society Summer Meeting, Vol 3, pp1547-1552, 2002