

한전 계통에서의 순동 무효전력원 필요성 검토

김재철*, 차승태*, 윤용범*, 박철우**, 김건중**
 * 전력연구원 전력계통해석그룹, **충남대학교 전기공학과

Investigation on the necessity and economic of
 Dynamic reserve reactive power at the KEPCO system

Jae-Chul Kim, Seung-Tae Cha, Yong-Beum Yoon, Kun-Jung Kim, Chul-Woo Park
 * Koreak Electric Power Research Institute, ** Chung-Nam Univ.

Abstract - 본 논문에서는 2004, 2007년 한전 계통에 대해 상정사고 시 수도권 지역에서 순동 무효전력원 필요성, 확보 방안을 제시하였다. 수도권 지역에서 순동 무효전력원의 필요성을 제시하였고, 수도권 지역의 모든 354KV 이상 송전선로 1루트 상정사고 리스트를 작성하여 전압 안정도 측면에서 문제가 발생하는 상정사고를 선정하였다. 선정된 상정사고에 PSS/E를 사용한 QV곡선을 이용하여 순동 무효전력 확보방안을 제시하였다.

한다. 병렬 콘덴서의 선택 요소는 많은 인자들 중에서 부하가 흡수하는 지상 무효전력의 크기이다. 그런데 부하의 크기가 크게 변동하는 경우, 그 부하의 무효전력도 넓은 범위에 걸쳐 변하게 되므로 고정 콘덴서뱅크는 종종 과보상 또는 부족보상을 초래한다. 개폐되는 콘덴서를 개폐시킴으로써 가변 무효전력보상을 할 수 있다. 이 기계식 개폐 콘덴서뱅크는 전체 무효전력 필요량에 맞춰서, 콘덴서 일부가 시스템과 접속 또는 분리된다. 그러므로 무효전력의 보상은 단지 콘덴서 스위치의 개수에 의존하게 되고 콘덴서 스위치는 전자 릴레이와 차단기로 구성된다. 그러나 기계적인 스위치와 릴레이의 사용은 응답이 매우 느리고 신뢰성이 떨어지며 큰 돌입(突入)전류를 발생하고 빈번한 보수유지를 필요로 한다. 최근에는 대전력 반도체 소자 및 전력전자 기술의 비약적인 발달에 힘입어, 고속 정밀한 전압 및 무효전력 제어가 가능하고 보수가 용이한 정지형 무효전력보상장치(Static Var Compensator)가 사용되고 있다. SVC는 사이리스터를 이용하여 병렬 콘덴서와 리액터를 신속하게 접속 제어(0.04초)하여 무효전력 및 전압을 제어하는 장치이다. SVC는 처음에는 아크로나 제철소의 압연설비로 인한 전압변동(Flicker)을 보상하기 위해 개발되었으나, 대응능화가 추진됨에 따라 계통의 안정화를 위해 송전선로에도 적용되게 되었다. SVC의 특징은 응답특성이 빠르며 조작에 제한이 거의 없고, 신뢰성이 높으며 유지보수가 간단하고 조작성이 뛰어나다는 점에 있다. [2]

1. 서 론

우리나라 전력계통은 원거리의 발전군에서 대규모의 부하밀집지역인 수도권 지역으로 조류가 유입되는 특성을 지니고 있다. 이로 인해 송전선로가 과부하되고 있으며, 일정한 크기 이상의 복상조류를 공급할 경우 계통의 안정운전에 지장을 주고 있다. 즉, 원거리 발전군으로부터 수도권 지역으로 복상조류를 공급함으로써 인해 중부하시에는 송전선로에서의 전압강하가 크고, 많은 전력손실을 수반한다. 또한, 근거리 무효전력 공급원의 부족으로 인하여 전압안정도면에서도 취약한 상태이고, 경부하시에는 초고압 및 지중 송전선로에서 발생하는 과도한 진상 무효전력으로 인하여 전압이 상승하는 결과를 초래하고 있다. 특히, 한전의 구조개편으로 인한 발전군의 분리 독립으로 인하여 발전단가가 비싼 수도권 지역의 고비용 발전기보다는 발전단가가싼 원거리 발전군에서 보다 많은 전력을 발전하여 수도권지역으로 송전하고자 할 것이다. 그래서 원거리 송전을 함으로써 인해 발생하는 문제들은 더욱 심각해 질 것이며, 수도권 유통전력이 증가되면서 계통의 안정운전이 위협받게 될 것이다. 따라서 전체 계통의 무효전력을 최적으로 제어하는 전력계통 구성 및 운용 방안의 수립이 요구되고 있다. 즉, 지속적으로 증가되고 있는 전력수요에 대비하여 주어진 전력계통 운전 조건에서 공급 신뢰성과 안정성 및 경제성 등이 고려되는 최적의 무효전력 공급방안의 수립이 필요하다. 이에 본 연구에서는 먼저 순동 무효전력원의 필요성을 언급한 후, 주어진 계통에서 수도권 및 인근지역의 모든 354KV 이상 송전선로 1 루트 상정사고에 대하여 전압 안정도를 평가하였다. 평가된 상정사고 중 전압 안정도 측면에서 문제가 발생하는 상정사고에 대하여 정상상태 무효전력 여유도와 상정사고 시 순동 무효전력의 소요량을 QV 곡선[1]으로 검토하였다. 검토된 QV 곡선으로부터 상정사고 시 필요한 순동 무효전력원의 소요량을 산정하였다.

2. 본 론

2.1 순동 무효전력원

2.1.1 순동 무효전력원의 정의 및 특성

병렬 콘덴서를 흐르는 전류는 부하의 지상전류를 보상

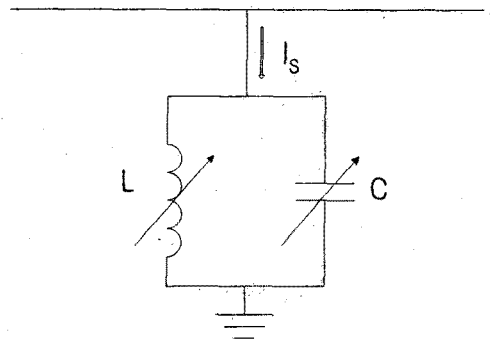


그림 1. 이상적인 순동 무효전력원

그림 1과 같은 이상적인 SVC는 병렬 가변 콘덴서와 병렬 가변 인덕터의 합성으로써 그것이 연결된 모선에 무효전력을 공급하여 전압을 일정하게 유지하는 장치이다. 이때 가변 인덕터와 가변 콘덴서가 무제한의 용량을 가지며, 손실이 없고 즉각적인 응답을 한다면 그림 2와 같이 어떠한 크기의 전류가 흘러도 전압을 일정하게 유지한다.

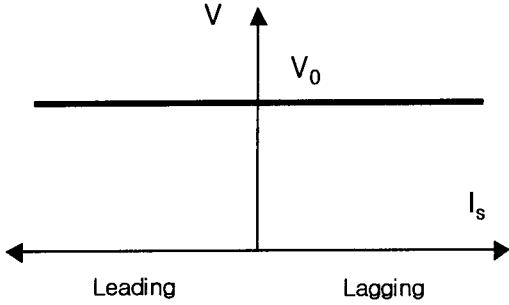


그림 2. 이상적 순동 무효전력원의 V-I 특성

하지만 실제에 있어서 가변 인덕터는 그 가변 영역에 제한이 있고 콘덴서는 연속적인 가변이 불가능하다. 따라서 실제의 SVC는 가변 인덕터와 고정 콘덴서의 결합으로 이루어졌으며 실제 V-I 특성은 그림 3과 같다. (3,4)

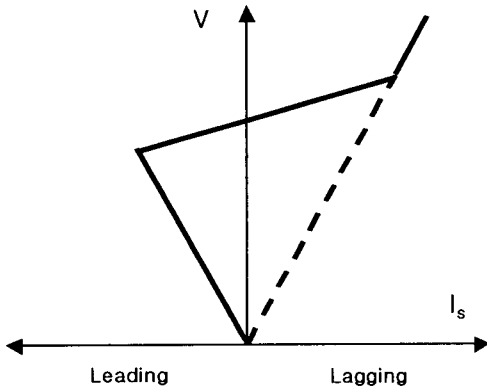


그림 3. SVC의 동작 특성

2.1.2 순동 무효전력원 필요성

2004년 이후의 계통을 운용하면서 문제가 되는 상정사고의 경우는 765KV 루트사고이다. 765KV 선로의 용량이 여타의 선로용량에 비하여 대단히 크기 때문에 765KV 루트사고는 계통에 심각한 문제를 야기한다. 특히나 수도권지역은 전체부하에서 차지하는 비중이 대단히 높기 때문에 무효전력의 수급을 적절히 조정하지 않으면 전체계통의 운용이 불가능하여 진다. 대용량 765KV 선로사고가 발생하면 계통운용을 유지하기 위하여 수도권지역으로 공급하는 선로들의 조류가 심하게 변화할 수밖에 없으며, 이로 인한 무효전력손실은 계통운용을 불가능하게 만들 수 있을 정도로 심각하게 된다. 이러한 무효전력을 보상하기 위하여 순동 무효전력원을 투입하지 않으면 안된다. 사고시 일반적인 무효전력 보상장치의 투입은 계통의 붕괴를 막는 데 기여할 수 없다. 사고가 발생하면 전기적인 속도로 계통은 동요하며 즉시 붕괴에 이른다. 일반적인 무효전력 보상장치는 이러한 전기적인 속도로 변화하는 현상을 제어하기에는 투입시간이 분단위로 길기 때문에 효과를 보기가 어렵다. 또한 일반적인 보상장치는 단위용량으로 투입되기 때문에 취약한 계통의 동요시 이를 더욱 악화시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 순시적으로 작동되는 보상장치의 도입이 필수적이고 동적인 상황 하에서 보상용량은 연속적으로 제어되어야 하므로 이러한 조건을 만족하는 보상장치로 순동 무효전력 보상장치를

들 수 있다. 순동무효전력 보상장치의 종류는 현재 동기조상기, SVC, FACTS 등이 있다. 동기조상기는 발전기와 동일하므로 가격이 비싼 것이 결점이고, FACTS 설비 또한 고가이다. 이러한 점을 고려할 때 경제적인 관점에서 현실적으로 운용가능한 설비는 SVC설비이다. 본 연구에서는 SVC를 사용하는 것을 전제로 실제 미래계통의 상정사고를 대비할 수 있는 적절한 순동무효전력원의 설치 위치와 용량을 결정하고자 한다.

2.2 순동 무효전력 확보

2.2.1 상정사고 선정

04/07년 계통 중 345kV 선로 1회선 이상 1루트 송전선 상정사고에 대하여 PSS/E를 이용하여 조류계산 수렴 판정을 실시하여 그 결과를 표 1에 표현하였다.

표 1. 상정사고 리스트

검토선로			2004년	207년
From Bus	To Bus	KV		
신가평	신태백	765	×	×
신안성	신서산	765	×	×
서서울	청양	345	○	○
신용인	신진천	345	○	○
화성	아산	345	○	○
⋮	⋮	"	○	○

기타 수도권 345kV 송전선 1회선 이상 1 루트 송전선 상정사고에 대하여 조류계산 수렴판정을 실시한 결과 전압안정도에 문제가 발생하는 선로는 없었다. 04/07년도 최대 부하계통에서 조류계산이 발산되는 신가평-신태백, 신안성-신서산 765kV 송전선로에 대하여 각각의 검토계통에서 필요한 순동 무효전력의 소요량을 검토하였다.

2.2.2 순동 무효전력원 적정 위치 및 소요량

표 2에 2004년 계통의 신가평-신태백 상정사고 시 PSS/E를 사용한 QV 곡선을 이용하여 수도권 주요 모선의 무효전력 소요량을 표현하였다. 발전단 인근임에도 불구하고 동해 모선의 정상상태 무효전력 예비량이 가장 적게 나타나고, 부하량이 적은 신영주 지역의 무효전력 예비량이 크게 나타난다. 신가평-신태백 상정사고가 발생됨에 따라서 신제천-동서울-미금에 발생하는 무효전력 손실을 순서적으로 감당할 수 있는 경우가 무효전력의 용량면에서 가장 최적의 방안이라고 할 수 있다. 그림 4에 신제천 지역에서 필요한 무효전력 소요량을 PSS/E를 사용한 QV 곡선으로 표현하였다.

표 2. 무효전력 소요량 최소순위(울정 T/L 상정사고)

신가평-신태백 상정사고			
순위	모선	전압[PU]	소요량[Mvar]
1	신제천	0.930	563
2	동서울	0.965	701
3	미금	0.985	756
4	동해	0.990	815
5	신가평	1.015	836
6	신영주	0.990	838
7	의정부	1.005	915
8	⋮	⋮	⋮

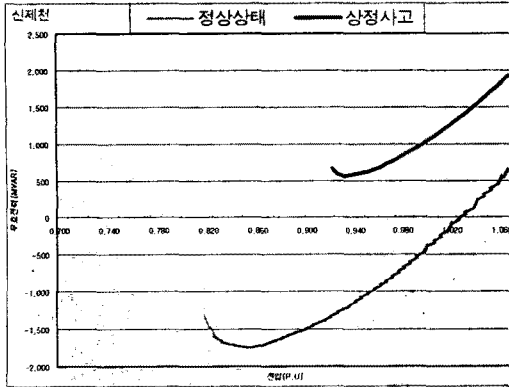


그림 4. QV 곡선(신제천)

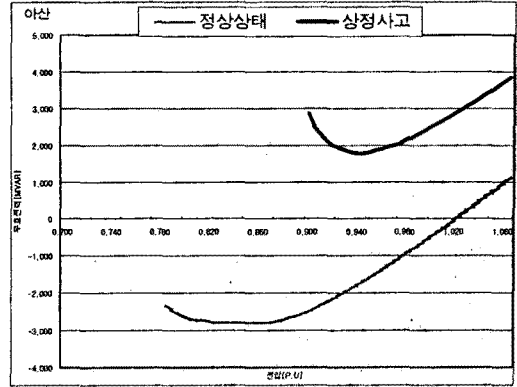


그림 5. QV 곡선(아산)

2004년도 부하계통에서 신가평-신태백 765KV 2회선 상정사고를 대비하여 신제천 모선에 최소 563 MVAR 이상의 충분한 순동 무효전력원이 필요하다. 계산상의 오차와 무효전력 투입에 따른 극점의 변화를 감안하여 필요한 용량을 100 MVAR 단위로 계산할 경우 700 MVAR 이상이 필요하다. 또한, 2004년도 부하계통에서 신안성-신서산 765KV 2회선 상정사고에서 산정된 순동 무효전력원의 용량은 오차를 포함하여 무시 가능하지만, 계통에 보다 큰 무효전력 예비력을 유지하여야 한다.

표 3은 2007년 계통에서 신안성-신서산 상정사고 시 수도권권 주요 모선의 무효전력 소요량을 표현하였다. 신안성-신서산 상정사고 후 조류우회 선로인 아산-화성-서서울에 순동 무효전력원이 순서대로 투입되는 것이 가장 최적의 방안이다. 기타 다른 지역은 상정사고가 발생됨에 따라서 생기는 전압안정도를 해결할 방안을 가지고 있지 않다. 그림 5에 화성 지역에서 필요한 무효전력 소요량을 PSS/E를 사용한 QV 곡선으로 표현하였다.

표 3. 무효전력 소요량 최소순위(신서산 T/L 상정사고)

신안성-신서산 상정사고			
순위	모선	전압(PU)	소요량(Mvar)
1	아산	0.940	1,770
2	화성	1.005	2,488
3	서서울	1.055	2,960
4	신서산	1.015	3,015
5	동서울	투입불가	
6	신안성	"	
7	∴	∴	

2007년 최대 부하계통 신안성-신서산 765kv 2회선 상정사고에서는 아산 지역에 최소 1,770 MVAR의 순동 무효전력원이 요구된다. 하지만 오차를 포함하게 된다면 필요한 용량은 2,000 MVAR 인근의 용량이 요구된다. 2007년 부하계통 신가평-신태백 765kv 2회선 상정사고에서는 시뮬레이션 수행 결과 전압안정도를 만족한다.

3. 결 론

본 논문에서는 2004/2007년도 부하계통의 상정사고에 대하여 전압안정도가 취약한 상정사고를 검토하였다. 검토된 상정사고인 신가평-신태백, 신안성-신서산 765KV 송전선로에 대하여 정상상태의 무효전력 예비력을 Q-V 곡선을 통하여 검토하였다. 검토된 부하계통의 상정사고에서 상정사고 인근의 무효전력 부족으로 인하여 전압안정도를 만족하고 있지 않음을 확인하였다. 이에 대하여 무효전력 발생원의 특성을 비교, 정적 무효전력원과 동적 무효전력원의 동특성을 파악하여 동적 무효전력원의 일부 특성을 상정사고를 해결할 수 있는 순동 무효전력원의 특성으로 사용하고 필요성을 제시하였다. 검토된 예비력을 바탕으로 각각의 상정사고에서 순동 무효전력원의 필요량을 계산하였다.

(참 고 문 헌)

- (1) 북미 서부지역 전력계통 지역 신뢰도 위원회, "전압 안정도 기준, 저전압 부하차단 전력 및 무효전력 예비력 감시법", 최종보고서, 1998, 05
- (2) 손 광명 외 4인, "서대구 SVC(Static Var Compensator)", 대한전기학회지, 제 50권, 2001, 07
- (3) Edward Wilson Kimbark, "Power System Stability", Volume I, IEEE PRESS
- (4) Carson W. Taylor, "Power System Voltage Stability", McGRAW-HILL Inc.