

계통전압 및 보상용 조상설비 적용 검토시 S.C 모델링 최적화 방안 연구

윤기섭*, 백승도, 김주성
한국전력공사

A Study of Modeling Optimization Scheme for application of Power System Voltage & Compensating Phase Modifying Equipment

Ki-Seob Yun , Seung-Do Baik , Ju-Seong Kim

Abstract At present, application of PSS/E input data for power flow , stability and fault analysis consist of only 154kV and over data(except 22.9kV data). 22.9kV(S.C) Static Condenser is in operation and installation at 22.9kV Bus of 154kV Substation. however, we assume that 22.9KV S.C install at 154kV Bus. so, we need to study and search about critical limit for 154kV Bus standard operating Voltage according to 22.9kV S.C Modeling Site by PSS/E Ver28

배전선의 선로전압강하를 고려하여 중부하시와 경부하시의 부하비율에 따라 결정한다. 다만, 전압조정장치의 수동 운전시는 아래의 부하대별 전압조정목표에 따른다.

23kV	계통 경부하시	22.0kV
	계통 중부하시	22.9kV
154kV	계통 침두부하시	23.9kV
	계통 중부하시	160±4kV
	계통 부하변동시	157±4kV
	계통 경부하시	156±4kV

1. 서 론

전력계통이 소규모이고 발·변전소 상호간의 임피던스가 클 경우에는 이와 같은 전압조정 문제는 국지적인 대책으로도 어느 정도 해결될 수 있겠지만, 계통이 대규모로 되고 발·변전소 용량의 증대, 병렬 송전선의 회선수 증가 및 계통구성의 루프화 등에 의하여 발·변전소사이의 임피던스가 작아지면 자연히 전압제어 범위가 확대되어 간다. 그 결과 전압·무효전력제어는 계통 각 지점의 전압·무효전력 조류 상황, 각 조정 설비의 동작상황 등까지 함께 고려한 일관성 있는 제어를 실시하지 않으면 그 목적을 달성할 수가 없게 된다. 특히 오늘날의 전압·무효전력제어는 단순히 전압 조정에 대해서만 생각하는 것이 아니고, 계통 내 무효전력원의 효율적인 협조운용으로 계통운용 비용의 최소화까지 포함한 이른바 종합적인 계통운용의 실현을 목표로 추진되고 있다는 데 그 특징이 있다. 전력을 공급하고 있는 전력회사 측에서 보면 전력계통의 각 지점에서 적절한 전압을 유지하지 못하면 전력계통 전반에 걸쳐 나쁜 영향을 끼치게 되고 공급신뢰도와 경제성이 저하한다. 본 논문은 전압유지 범위를 정확히 검토하기 위하여, 실제로는 22.9kV 모선에 설치되어있는 S.C를 154kV모선에 설치되어 있는 것처럼 모델링을 하고 있어 이로 인하여 발생할 수 있는 검토시 전압오차가 실제계의 기준 전압유지범위에 어떤 영향을 끼치는 가를 연구하는데 목적이 있다

2. 본 론

2.1 전력계통 신뢰도 및 전기품질유지기준

가. 전압조정목표

전압조정목표는 정상 운전시 전기사업자 및 전력거래소가 전력계통에서 유지하여야 할 전압 목표치를 말한다.

- ① 345kV 계통 : 전압조정목표는 353kV(336~360kV) 산업자원부장관과의 전력계통 안정성검토 결과에 따라 전압조정목표는 변경 될 수 있다.
- ② 154kV 계통 : 부하수준 및 계통구성 상황에 따라 중부하시와 경부하시에 차를 두는 것을 원칙으로 하고 부하대별 전압조정 목표는 아래와 같다.
- ③ 배전용 변전소는 배전선 인출측의 전압을 기준으로 중부하시는 최대계통운전 전압으로 하고 경부하시에는

나. 전압유지범위

전기사업자 및 전력거래소는 345kV 및 154kV 계통의 정상시 최대, 최소전압을 다음 각호와 같이 유지하여야 하며, 중부하 및 경부하 등 부하대별로 최대·최소전압 유지범위를 달리할 수 있다. 단, 송전사업자는 모선별 중요도에 따라 전압조정 목표가 달성될 수 있도록 계획을 수립하여 시행하여야 한다.

345kV	345±5%(328kV~362kV)
154kV	154±10%(139kV~169kV)

2.2 전력용 콘덴와 전압조정

가. 전압조정

일반적으로 전력계통은 송수전단 전압을 일정하게 유지하는 정전압 송전방식을 취하고 있다. 그러나 통상의 동력부하는 그 역률이 70~80[%]정도이므로 중부하시에는 큰 지상전류가 흘러 송배전선의 전압강하가 커진다. 또 장거리 송전선의 경우는 경부하시에는 충전전류(진상전류)의 영향, 이른바 페란티 효과로 수전단전압이 송전단 전압보다 높아진다. 이 때문에 수전단에 조상설비를 설치하여 중부하시에는 진상전류를 흘리고, 경부하시에는 지상전류를 흘려서 송수전단의 전압을 부하의 크기에 관계없이 일정하게 유지하도록 하고 있다. 이 결과로써 송전계통의 안정도가 향상되어 송전전력은 증가하게 된다.

나. 조상설비의 종류

조상설비는 전력계통의 무효전력을 조정하여 계통전압의 적정 유지와 전력손실감소를 목적으로 해서 설치되는 것으로, 이에는 회전형과 정지형이 있다. 회전형은 동기조상기이고 정지형은 전력용 콘덴서와 분포리액터이다.

다. 전력용 콘덴서(static condenser)

전력용 콘덴서는도 또한 역률조정과 전압조정과의 역할을 한다는 것이 동기조상기와 같지만, 이장치는 지상의 방향으로 조정할 수 없다는 것이 동기조상기와 다르다. 전력용 콘덴서는 정지 기기이기 때문에 가격이 싸고 손실도 적고 또 소음도 없다는 장점이 있다. 그 밖에 [kVA]용량의 증설이 용이하기 때문에 진상용량은 주로 이 콘덴서에 맡기는 경우가 많다. 다만 콘덴서는 지상 무효전력을 취할 수 없으므로 무부하시나 경부하시에는 분포리액터를 투입하는 것이 바람직하다.

2.3 S.C 모델링 위치에 따른 154kV 전압

가. 전력계통 모의고장 해석 프로그램인 PSS/E의 활용

범위는 ① 보호계전방식의 적용, 보호계전장치의 정정 및 동작상황 분석②차단기 차단용량 검토③ 각종 전력용 기기의 과전류, 과전압내력 검토④근접 통신선의 유도장에 재산검토⑤직접접지 계통에서의 유효접지 계수 계산 검토⑥계통 안정도 검토, 조류해석, 및 고장해석용으로 사용되고 있다. 본 논문에서 적용 되는 PSS/E Ver 28은 154kV이상 계통 관련 데이터만 취급되고 있어, 154kV 변전소에 설치 운전중인 22.9kV S.C의 무효전력량이 PSS/E 입력데이터 에서는154kV S.C 데이터에 들어가 있다. (PSS/E :Power System Simulator Engineering)

나. 22.9kV S.C 설치는 역률이 낮은 변전소, 상정사고 시 저전압 변전소, 상시과전압 변전소 제외 등의 과정을 통해 결정되는데, 상기와 같이 처리될 경우, 22.9kV S.C의 신설이나 중설 변전소의 선정에 있어서, 154kV 모선 전압의 오차가 발생함으로 이에 대한 검토가 필요하다.

다. 현재 사용 중인 PSS/E 입력데이터에는 아래 그림 1-①과 같이 154kV 변전소에 22.9kV 모선에 S.C이 설치되어 있다. 이를 그림1-②와 같이 22.9kV S.C을 154kV 모선에 설치되어 있는 것처럼 고려하여 전압 검토시 모델링하고 있다.

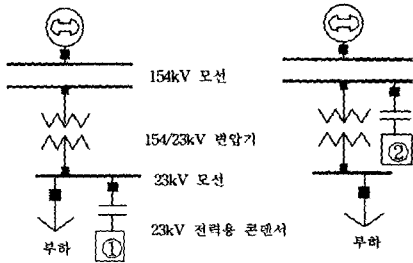


Fig 1 모선위치에 따른 전력용 콘덴서 설치도

라. 22.9kV 모선데이터

154모선번호, '154kV모선이름', 기준전압, 모선코드, 대지어드미턴스, Area, Zone, 모선전압크기, 모선전압위상각, 1
 22.9모선번호, '22.9kV모선이름', 기준전압, 모선코드, 대지어드미턴스, Area, Zone, 모선전압크기, 모선전압위상각, 1

주) 숫자로 표시된 부분은 그대로 사용하여도 무방한 값들이다. 의미는 PSS/E Manual을 참조하면 알 수 있다.

1) PSS/E 입력데이터에서 모선은 위와 같이 구성되는데, 기존의 입력데이터에는 154kV이상 변전소 관련 데이터만 들어가 있다. 여기에 22.9kV 모선데이터를 추가하는데, 이때 22.9kV 모선 초기전압크기, 위상각, 대지어드미턴스는 154kV 모선과 동일하게 고려 마. 부하데이터

1) 154kV 이상 모선만을 고려한 부하데이터

154모선번호, '부하이름', 부하상태, Area, Zone, 154유효전력부하, 154무효전력부하, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, Owner 번호

2) 22.9kV 모선까지 추가 입력한 부하데이터

22.9모선번호, '부하이름', 부하상태, Area, Zone, 22.9유효전력부하, 22.9무효전력부하, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, Owner 번호
 22.9모선번호, '부하이름', 부하상태, Area, Zone, 22.9유효전력부하, 22.9무효전력부하, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, Owner 번호

① 154kV 모선의 유효, 무효전력부하가 그 모선에 연결된 154kV 주변압기 수만큼 등분배 된 것으로 가정한다. 현장의 부하 조건을 그대로 반영할 수도 있다. ② 뒤의 예제 계통에 적용할 때는 154kV 모선에 154kV 주변압기 2Bank가 연결되어 있을 때, 22.9유효, 무효전력부하에는 154kV유효, 무효전력부하의 1/2씩 분배된 것으로 검토하였다. ③ 모선번호와 부하이름은 임의로 정하고, 부하상태, Area, Owner 번호등은 154kV데이터와 동일하게 정한다. ④ Zone은 22.9kV를 추가하여 새로 정한다.

바. 154kV 주변압기 데이터

1st Data Block
 154모선번호, 22.9모선번호, 0, '회로번호', 1, 1, 1, 0, 0, 2, '변압기명', 초기 변압기 상태, 1, 1, 0
 2nd Data Block
 변압기 1-2차간 저항, 변압기 1-2차간 리액턴스, 권선기준전력
 3rd Data Block
 권선턴수비, 0.000, 0.000, 권선정격용량1, 권선정격용량2, 권선정격용량3, 1, 피제어 모선번호, 턴수비 상한, 턴수비 하한, 피제어 모선 전압상한, 하한, 13, 0, 0.00000, 0.00000
 4th Data Block
 1.00000, 0.000

① 변압기 데이터는 2권선 변압기로 표현되고 있으며, 2 권선 변압기는 4개의 데이터 블록으로 구성되어 있다. ② 초기변압기 상태는 in-service이면1,out-of-service이면 2이다. ③ 154kV 주변압기의 1-2차간 임피던스를 두 번째 데이터 블록에 입력한다.④ 권선 기준전력은 100[MVA]로 한다.⑤ 권선 턴수비[p.u.]는 연결되어 있는 154kV 모선의 전압값을 입력하였다. 이 전압은 154kV 이상 모선만 고려한 입력데이터를 조류계산한 결과이다. ⑥ 권선 정격용량은 154kV 주변압기 FA 방식의 정격용량인 60[MVA]를 정격용량1로 하고, 정격용량2, 정격용량 3은 각각 정격용량1의 120%인72[MVA], 150%인 90[MVA]를 입력하였다.⑦ 피제어 모선번호는 전압조정이 되는 22.9kV 모선을 입력하였다. ⑧ 턴수비 상,하한과 피제어모선 전압 상,하한은 디플트 값인 1.1, 0.9[p.u.]를 취하였다.

바. 22.9kV S.C 데이터

모선번호, 1, 원하는 전압상한, 하한, 0, 초기 Mvar, 스텝수, 각스텝에서 Mvar 증감량
 ex) 25363, 1, 1.04000, 1.01700, 0, 20.00, 2.500, 2, 5.00

① S.C을 입력하는 데이터 블록이다. ② 원하는 전압 상한, 하한은 154kV 모선에 달린 S.C 데이터를 동일하게 적용하였다. ③ 스텝수와 Mvar 증감량은 조류계산 수렴과정에서 조상설비 양이 이산적(discrete)으로 변동할 때, S.C 블록의 모선 투입 스텝 수와 매 스텝 당 증감량을 의미한다.

2.2 계통에 적용검토

가. 검토 전제조건

- ① 154kV 변전소의 부하를 각 주변압기에 균등분배
- ② 22.9kV 부하의 역률은 154kV 변전소의 부하역률과 동일함.
- ③ 22.9kV 모선 초기 전압과위상각은 154kV 모선과 동일함.(조류계산의 초기조건 지정)
- ④ 이천#1 모선에 #3,#4 변압기, #2 모선에 #1,#2,#5,#6 변압기 운영조건 반영
- ⑤ 초월#1 모선에 #2,#4 변압기, #2 모선에 #1,#3 변압기 운전조건 반영

나. 대상 계통도

① 초월S/S와 이천S/S의 전압을 검토대상으로 정함. ② 초월S/S 모선결합, 이초T/L OFF로 한 계통과 초월 S/S 모선분리, 이초T/L ON으로 한 계통, 이러한 두 가지 조건의 계통을 검토하였다.

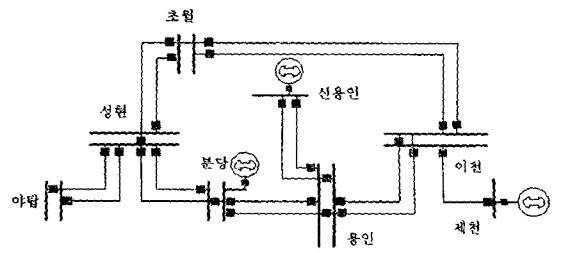


Fig 2 검토 계통도

다. 검토내용

- ① 초월S/S, 이천S/S 인근 계통을 두 가지 조건으로 나누어 전압을 검토한 결과를 아래 표1로 정리하였다. 검토한 조건 A는 초월S/S 모선결합, 이초T/L OFF 조건이고, 조건 B는 초월S/S 모선분리, 이초T/L ON 조건이다.
- ② 154kV 변전소에 22.9kV S.C을 입력한 데이터는 지금까지 검토해온 방식의 것이고, 22.9kV 모선을 모델링하여 22.9kV S.C을 입력한 데이터는 새로 제시한 방식인데, 각각의 입력데이터로 PSS/E 조류계산한 결과 초월S/S, 이천S/S의 전압을 비교할 수 있다.
- ③ 154kV에 22.9kV S.C을 입력한 데이터결과와 22.9kV 모선을 모델링하여 S.C을 입력한 데이터와의 차이는 최소 0.3%에서 최대 0.59%를 나타내고 있다. 전압으로 보면 최소 470[V]에서 880[V]까지의 차이를 보이고 있다.
- ④ 22.9kV 모선까지 모델링한 입력데이터로 계산한 전압은 154kV 변전소에 22.9kV S.C을 입력한 데이터의 계산 전압보다 더 낮은 값을 보이고 있다. 이는 154kV 주변압기가 코일(인덕턴스)이 주성분이므로 무효전력 손실이 발생하는데 따른 결과임을 알 수 있다. 왜냐하면 무효전력의 손실은 전압의 변동에 영향을 미치기 때문이다.

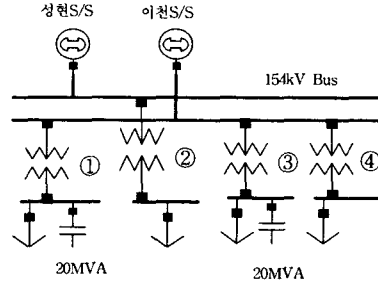


Fig 4 초월S/S 단선도

2.5 검토결과

- 1) 현재 계통검토 업무에 활용되고 있는 PSS/E 입력데이터에는 22.9kV S.C이 154kV S.C 데이터에 들어가 있으므로, 연구한 방법에서는 PSS/E 입력데이터에 22.9kV 모선을 만들고, 거기에 22.9kV S.C, 22.9kV 부하 및 154kV 주변압기를 각각 현장조건을 반영하여 고려
- 2) 22.9kV 모선을 조류계산에 고려할 경우, 154kV 대상 변전소의 전압이 22.9kV 모선을 고려하지 않을 때보다 낮은 값을 나타내게 되어 더 악조건의 계통상황을 보이게 된다.
- 3) 이러한 차이로 인해, 22.9kV 모선을 모델링한 입력데이터 전압결과가 기존 값 보다 더 낮게 나와 S.C 설치 후보 개소가 아닌 변전소가 설치 후보지로 선정될 수도 있는 결과를 예상할 수 있다.
- 4) 또한, 이런 차이는 저전압 변전소 검토 업무에서도 동일한 결과가 발생할 수 있다.

계통 검토조건	변전소 종 별	초월 (2535) (주)	초월 (2536)	이천 (4775)	이천 (4776)
		검토조건 A : 초월S/S 모선결합 이초T/L OFF조건 기존의 방법 : 154kV S/S에 22.9kV S.C을 입력한 데이터 제안한 방법 : 22.9kV 모선을 모델링하여 22.9kV S.C을 입력한 데이터 차이[V] 차이[%]	157.97 157.42 550 0.35	157.97 157.42 550 0.35	150.28 149.41 870 0.58
검토조건 B : 초월S/S 모선분리 이초T/L ON조건 기존의 방법 : 154kV S/S에 22.9kV S.C을 입력한 데이터 제안한 방법 : 22.9kV 모선을 모델링하여 22.9kV S.C을 입력한 데이터 차이[V] 차이[%]	157.21 156.74 470 0.30	156.36 155.50 860 0.55	150.33 149.45 880 0.59	155.65 154.89 760 0.49	

주) 괄호 안의 숫자는 PSS/E에서 취급하고 있는 변전소의 고유번호

표1. 각 계통조건에 따른 초월S/S, 이천S/S 전압결과

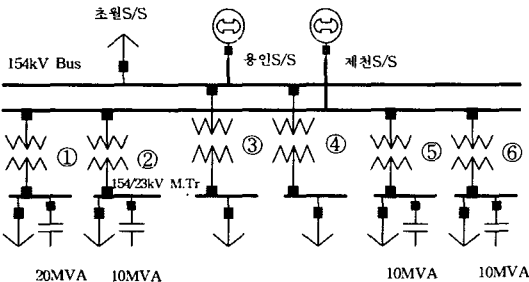


Fig 3 이천S/S 단선도

3. 결 론

변전소의 22.9kV S.C의 신설이나 증설의 선정에 있어서 PSS/E 입력데이터에 기존의 22.9kV S.C이 154kV 모선에 설치되어 있는 것으로 가정하여 Modeling하는 대신, 22.9kV 모선에 설치되어 있는 것으로 하여 Modeling을 하므로써 보다 정확한 전압으로 설치 대상 변전소 선정 업무에 활용할 수 있을 것으로 생각되며, 또한, 22.9kV S.C 데이터를 반영시켜 현장에서 전압유지범위를 자료로 계통을 검토할 수 있으므로 각 전압별 전압유지범위의 검토에 정확성을 기할 수 있을 것으로 본다. 특히, 전압유지범위 임계점에 근접된 전압을 검토시 S.C의 Modeling위치에 따라 검토하는 전압이 전압유지 범위내에 존재하거나 벗어날 수 있으므로 신중한 검토가 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] KUNDEK, Power System Stability & Control
- [2] 전력계통신뢰도 및 전기품질 유지기준(KEPCO)
- [3] 발변전공학 (동일출판사, 송길영)
- [4] Glover, Power System Analysis & Design