

발전기 운전조건을 고려한 조상설비계획

○이 철휴*, 이 상호*, 박 종근* 이 송근**, 김 흥균***, 이 석진***
 *서울대학교 전기공학부 **전주대학교 전기공학부 ***한전 송변전처

Shunt Compensator Planning considering generator's operating condition

C.H.Lee, S.H.Lee, J.K.Park S.K.Lee H.G.Kim S.J.Lee
 Seoul National Univ. Jeonju Univ. KEPCO T&S Dept.

Abstract - The line charging is becoming larger due to the expansion of underground cable and extra high voltage lines. It causes reactive power surplus at light load condition which may force generators to operate reluctantly in the under excited mode. This paper proposes the practical criteria and methodology for the shunt reactor planning while suppressing generator's under excited operation.

소로 발전출력감소 등의 문제점이 나타나므로 대다수 전력회사에서 기피하는 실정인바 기존의 지상조상설비계획에서 제시하는 지상조상설비량만으로는 실계통에서 바람직한 발전기 운전상태를 유지할수있다고 보기 어렵다 [1][5].

1. 서 론

최근들어 대도시 지역에서의 지속적인 지중송전선로의 확충과 초고압 송전선로의 건설에 따라 선로충전용량이 크게 증가하게 되었다. 이로 인한 경부하시 잉여무효전력은 모선전압상승 및 일부 발전기의 진상운전 돌입을 유발하며 설날, 추석과 같은 극심한 경부하시에는 송전선로의 차단마저 불가피한 실정이 되었다. 모선전압 상승으로 인한 기기절연 파괴가능성 증가, 발전기의 진상운전으로 인한 계통안정도 여유의 감소 및 송전선로 차단시 계통신뢰도의 저하 등 문제의 중요성에 비추어볼 때 경부하시 지상조상설비를 이용한 적정 무효전력계획의 수립은 어느때보다 그 중요성이 더욱 커지고 있다.

그간 경부하시 무효전력 부족에 따른 전압저하 문제의 해소와 계통손실 저감을 위하여 진상조상설비를 중심으로 많은 연구가 진행되어 왔으나 경부하시에는 지상 조상설비 투입에 따른 손실저감의 효과는 감소되는데 비하여 발전기 진상운전에 따른 정태안정도 악화 및 고정자 권선 과열의 가능성이 상대적으로 증가하므로, 한전계통 고유의 특성이 반영된 적정 검토기준을 파악하고 이에 근거한 실제적 지상조상설비계획의 수립 필요성이 대두되었다 [1], [4-6]

본 논문에서는 지상조상설비계획 수립을 위하여 경부하수준, 발전기단자전압, 부하단역률, 변압기탭전압 범위에 대하여 각 기준별 영향을 고찰한 후 적정 검토기준을 수립하였으며 이 기준을 한전계통에 적용하여 기존의 조상설비계획을 통한 지상조상설비 용량산출과 대비 검토하여 실계통 적용에 따른 타당성을 입증하였다.

2. 지상조상설비계획의 검토기준

2.1 기존의 지상조상설비계획 절차

그림 1은 지상조상설비계획 수립을 위하여 기존의 절차를 나타낸 것으로 경부하수요를 별도로 예측하지 않기 때문에 검토대상 년도의 PSS/E용 침두부하데이터를 기본으로 시작한다. 우선 상정된 경부하수준에 맞추고 이에 따라 발전력배분을 한 후 모선전압을 유지하기 위하여 적정 모선별로 조상설비의 투입량을 결정케 된다 [6].

이와 같은 기존의 지상조상설비계획에서는 잉여무효전력 흡수를 위한 발전기의 진상운전이 불가피하게 된다. 그러나 발전기의 진상운전은 저여자운전에 따른 동기화력 저하, 고정자권선 과열우려, 발전기 보조기 토크 감

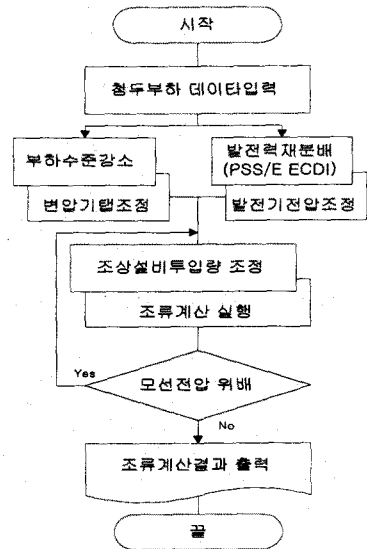


그림 1. 기존의 조상설비계획 흐름도

2.2 지상조상설비계획 검토기준의 수립

지상조상설비계획시 경부하수준, 발전기단자전압, 변압기탭동작 및 지상조상설비 설치위치의 제약등 검토기준은 한전계통의 운전특성을 고려하여 적절하게 설정되어야 하며 단순히 해외전력회사 사례의 적용은 부적절하다 [2], [3]. 검토기준을 수립하기 위하여 과년도 운전실적과 설비별 특성을 감안하여 검토기준을 수립하였으며 검토기준간 영향을 고찰하였다.

2.2.1 경부하수준

한전계통의 경부하수준을 알아보기 위해 과거 30년간의 부하수준을 살펴보았다. 일단 부하특이일의 영향을 제외하기 위해 설날 및 추석연휴를 제외한 연중최대부하 및 최소부하와의 비는 44.7%임을 그림2에서 알수있다. 단, 위의 값은 양수부하량을 반영치 않은 것으로 양수부하량을 반영하면 대략 5%비율을 차지하므로 경부하수준은 50%로 설정할수 있다.

그림 3은 경부하수준별 무효전력 수급분변화를 살펴본것으로 부하수준이 낮아질수록 더 많은 분로리액터 (Sh.R)가 필요하고 송전손실은 감소케 됨을 알 수 있다. 그러나 발전단 무효전력 출력은 거의 움직이지 않으며 선로충전용량 역시 일정한 값을 유지함을 알 수 있다.

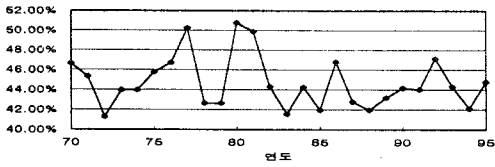


그림 2 연중 최소부하/최대부하의 비
(신정, 설날, 추석 연휴 제외)

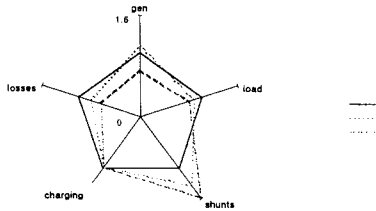


그림 3 경부하수준별 무효전력수급분포

2.2.2 발전기단자전압

발전기 전압기준을 설정하기 위해 원자력, 화력, 복합 발전소별 전압실적관리상태를 조사한 결과 경부하시는 발전기전압이 0.965pu~0.99pu까지 변동하는 것으로 나타났으며 이는 한전계통운용기준상 경부하시 발전기단자전압기준인 0.95pu보다는 부하변동시 기준전압인 0.975pu에 근접한 것으로 나타난다. 이로부터 경부하시 발전기 단자전압은 0.975 pu를 유지하도록 설정한다.

발전단 전압수준에 따라 무효전력 수급분포변화를 살펴보면 그림4와 같다. 발전단 전압이 상승하면 계통전압이 전체적으로 상승하므로 선로의 충전용량이 늘어나게 되며 Sh.r량이 부족함에 따라 발전단 무효전력출력이 줄어드는 양상을 나타냄을 알 수 있다.

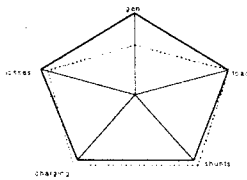


그림 4 발전기 단자전압 변동시 무효전력수급
(실선: 0.975p.u , 점선: 0.985p.u)

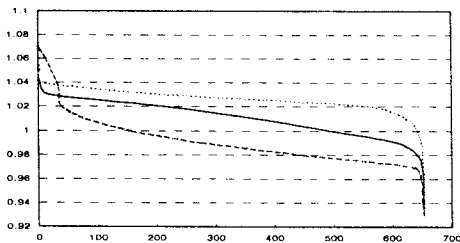


그림 5 탭전압범위 변경시 전압분포누적곡선
(점선:1.05~1.03 실선:1.038~0.987
파선:0.99~0.97)

2.2.3 변압기탭운전협조

변압기 2차측 전압을 유지하기 위한 탭운용은 PSS/E로 모의할수있다(7). PSS/E를 이용한 모의과정상 변압기의 탭운용 전압범위를 좁게 제한할수록 2차측 모선전압을 허용전압범위 내로 끌어내리는 반면에 1차측 모선 전압상승은 불가피하게 된다. 이런 이유로 탭운용범위는 실적치를 사용하는 것보다 한전의 경부하시 전압허용기준인 1.038~0.987pu로 설정하는 것이 그림5의 전압수준별 전압분포 누적곡선으로 볼 때 타당한 것으로 판단된다.

2.2.4 발전단 및 부하단 역률

부하단의 역률변화실적을 파악하기 위하여 각 변전소별로 역률의 변화를 조사하였다(그림6). 154kV변전소들의 역률은 평균 0.96 부근에서 움직이고 있음을 알 수 있다. 한편 그림8에서 한전계통의 전체발전소를 포함하는 발전단역률을 조사하면 주간과 심야 사이에 차이가 존재하며 심야 발전단역률은 0.98~0.985정도로 유지되고 있음을 알 수 있다.

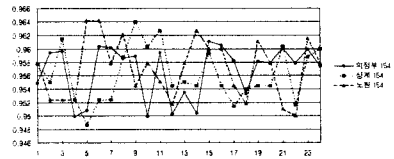


그림 6. 154kV 변전소 역률실적

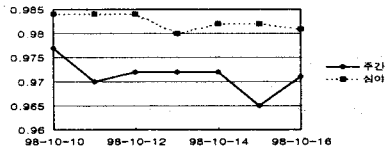


그림 7 전체발전소의 발전단 역률

3. 지상조상설비계획의 개선

3.1 검토기준간 영향 고찰

이상과 같이 지상조상설비가 어느 정도 필요한지 결정하기 위한 검토요인중 경부하수준, 부하단 역률, 변압기 탭전압범위 및 발전기 단자전압은 현장 조사결과로부터 고정된 값을 알 수 있으므로 계획단계에서 그 값들을 변화시키는 것은 의미를 갖지 못한다.

그림8은 지상조상설비 증가에 따른 무효전력수급변화를 나타낸것으로 무효전력발전량은 지상조상설비와 가장 민감한 관계를 가짐을 알수있다.

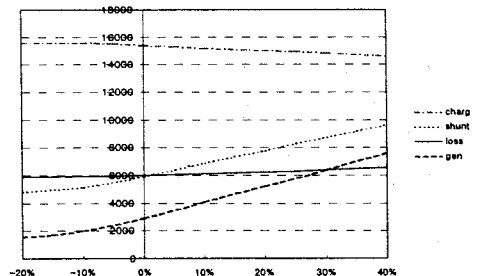


그림 8. Sh.R 증가에 따른 무효전력량 변화

즉, 발전단 역률이 적정범위내로 정해지면 그 값의 유지에 필요한 지상조상설비량을 추정할 수 있으므로 지상조상설비계획시 주요한 판단지표는 발전단 역률로 판단된다. 기존의 지상조상설비계획 수립에 발전단 역률을 검토하는 과정이 반영되는 개선안을 다음 그림11과 같이 도출할 수 있게 된다.

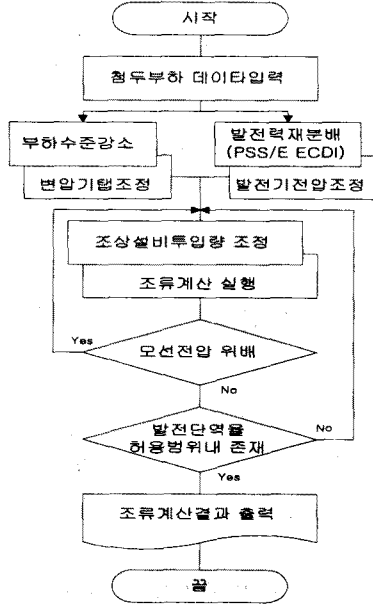


그림9. 개선된 지상조상설비계획흐름도

3.2 새로운 검토기준을 이용한 사례모의

기존방식의 지상조상설비계획과의 차이점을 비교하기 위하여 개선된 지상조상설비계획방법을 2000년 한전계통 경부하시를 상정하여 적용하였다. 본 사례연구에서 기존방식과 개선방식 양쪽 모두 경부하수준 및 발전기전압 등은 현장조사에서 얻은 값을 그대로 적용하였으며 경부하시의 발전력배분은 PSS/E의 ECDI배분을 적용하였다[7].

기존방식과 비교하여 볼 때 새롭게 설정된 기준을 적용하였을 경우 지상조상설비량은 15% 증가하였으나 진상운전 발전기대수는 당초의 19대에서 4대로 크게 감소하였으며 발전단 무효전력발전량은 당초의 1,790 Mvar에서 3,026Mvar로 증가하였다. 반면에 계통손실은 1.5%증가하는 정도로 극히 미미하였다. 이 결과로부터 기존 조상설비계획에서 간과하기 쉬운 진상운전에 돌입한 발전기대수의 대폭적인 감소와 발전단역률의 적정범위내로의 유지는 실제 경부하시의 송변전 조상설비와 발전기간의 적절한 무효전력 제어운전의 여유가 높아짐을 의미하는 것이고 발전기의 안정운전을 제고하여 정태안정도를 향상하는 부수적인 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 지상조상설비계획 사례모의

구분	기존방식	개선방식
분포리액터 (Mvar)	5,280	6,260
진상운전 발전기수	19	4
발전단역률 (%)	99.7	99.0
계통손실 (MW)	273.1	277.2

3. 결 론

본 논문에서는 경부하시 지상조상설비계획을 수립하기 위하여 필요한 새로운 검토기준과 검토기법의 개발에 대하여 기술하였다. 새로운 검토기준을 제시하기에 앞서 계획수립시 필요한 각 요인들간의 영향을 비교, 고찰하였으며 과거 실적과 한전계통운전기준에 부합하는 경부하수준, 발전기전압, 변압기탭전압, 부하역률값을 포함하는 통일된 검토기준을 제시하였다. 나아가 막대한 선로충전용량으로 경부하시 유발되는 발전기 진상운전에 따르는 위험성을 파악하고 진상운전을 회피하기 위하여 발전기 적정역률을 감안한 발전단역률개념을 도입하여 지상조상설비 계획수립기법의 개선을 도모하였다. 발전기의 진상운전이 많이 발생하는 상태에서의 지상조상설비계획은 실질적으로 수용할 수 없는 운전조건이므로 본 논문에서 제시하는바와 같이 발전기 진상운전도 일정범위내로 제약하는 기법은 계통운전자에게 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Z.Elrazaz, A.Al-ohaly, "Criterion for Inductive Compensation Location to Enhance System Steady State Stability", IEEE Trans. on Power Systems, Vol 8, No.4 pp.267-274, Nov.,1993
- [2] P.Nedwick, A.F.Mistr,E.B.Croasdale, "Reactive Management A Key to Survival in the 1990s", IEEE Trans. on Power Systems, Vol 10, No.2 pp.1036-1043,May, 1995
- [3] N.J.Frew,A.W.Grainger,"Reactive Power Planning of the New South Wales Transmission System", International Conference on Large High Voltage Electric Systems,CIGRE Aug.,1980
- [4]M.M.Aidibi, D.P.Milanicz, T.L. Volmann, "Optimizing Generator Reactive Power Resources", IEEE Trans. on Power Systems,Vol 14 No 1, Feb., 1999
- [5] 한전 계통운용처, "전력계통운용기술자료", 1998, 3
- [6] 한전 기술연구원, "최적조상설비계획 프로그램 패키지개발에 관한 연구", 1988, 7
- [7] Power Technologies inc, "PSS/E Program Operation Manual", 1995