

한전계통에 대한 안정화제어 방안의 적용연구

김태균*, 조강욱, 김용학, 김일동, 추진부
한국전력공사 전력연구원

An Application Study of System Stabilizing Control Scheme by Switching-over Control

Kim Tae-Kyun*, Cho Kang-Wook, Kim Yong-Hak, Kim Il-Dong, Choo Jin-Boo
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - The purpose of this paper is to analyze the effects of switching-over control for power system stabilization. Switching-over control is applied to western part of Korea electric power system to improve transient stability and short-circuit capacity.

It's effectiveness is demonstrated in terms of fault current level and critical clearing time which is quantitative evaluation means of transient stability.

The effect of generator tripping for power system stabilization is also presented.

1. 서론

우리나라 전력계통은 대용량 전원의 원격 집중화와 송전선의 장거리 대용량화 및 계통연계의 강화 등으로 사고시 과급의 영향이 대단히 클 것으로 예상된다.

이에 따라 전력설비의 효율적 활용에 의하여 계통 고유의 안정성을 향상시키는 것과 함께 중대사고에 대한 사고과급방지 시스템의 적용 등을 통하여 계통의 안정화 정도를 높이는 것이 계통운용에 있어서 현안문제로 대두되고 있다.

전력계통 안정화제어 시스템은 동기 안정화, 전압 안정화, 주파수 안정화, 과부하 제어 등을 목적으로 일련을 중심으로 활발하게 적용되고 있으며[1-4], 본 연구에서는 중대사고에 대하여 발전기 위상각의 과도 제1파 동기탈조 방지, 즉 과도안정도를 유지할 수 있는 안정화 방안을 제시한다.

전력계통의 과도안정도를 유지하기 위하여 전압, 전류 등의 사고정보를 온라인으로 취득한 후, 모선간의 위상각을 추정하여, 약 250ms 내에 탈조예측과 안정화를 위한 제어량을 결정하는 시스템[5], 온라인 데이터를 이용하여 다수의 상정사고에 대한 계통의 안정도를 주기적으로 판정하고, 불안정 판정시 제어량을 결정하는 시스템[6] 등이 현재 일본에서 적용 운전되고 있으며, FACTS를 이용하는 방법, 모선절체 등 기존의 고정된 송전망의 임피던스를 변경시키는 방법[7]등이 활발히 연구되고 있다.

본 연구에서는 우리나라 실계통에서의 중대 상정사고에 대하여 모선절체운용을 이용한 안정화제어 방안을 실시해보면서 서해안지역 발전기들의 동기탈조율을 억제할 수 있고, 동시에 고장전류를 저감시킬 수 있음을 보인다

또한, 모선절체운용과 전원제한의 협조효과에 대해서도 고장전류와 과도안정도 면에서 비교검토한다.

2. 모선절체운용

우리나라 전력계통의 단락용량은 매년 꾸준히 증가하여 수년 후에는 상당수의 345kV 모선에서 차단기의 차단용량을 상회할 것으로 전망된다. 따라서 Loop 계통의 분리운전, 모선분리 등을 적용하여 고장전류의 증대를 억제하는 방법을 생각할 수 있으나, 이에 따른 계통 리액턴스의 증가로 인하여 과도안정도 면에 악영향을 끼칠 가능성이 있다.

모선절체운용은 과도안정도 향상과 고장전류 저감이라는 상반된 목표를 동시에 이룰 수 있는 것으로, 이에 대한 설명은 다음과 같다.

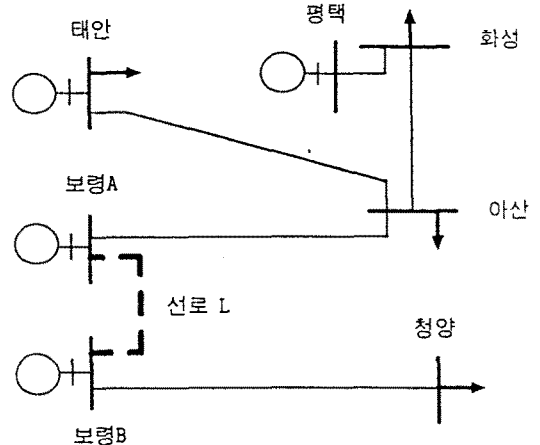
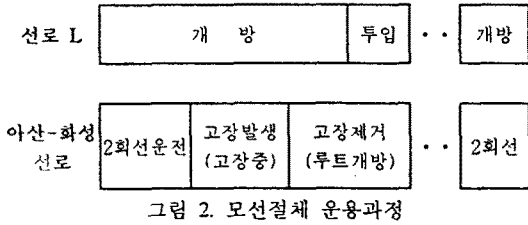


그림 1. 서해안지역의 간략계통도

그림 1의 계통에서 아산-화성간 송전선의 3상 단락고장을 2회선 루트개방으로 제한한 경우를 상정하면, 모선 보령 A와 보령 B 사이의 선로 L이 없는 경우보다는 선로 L이 연결되어 있는 경우에 동기화력이 증대되어 과도적으로 더욱 안정하게 된다.

그러나 선로 L을 상시연계하여 운전하는 것은 고장전류 측면에서는 바람직하지 못하며, 또한, 고장지속 중에 선로 L이 연개된다면 고장의 영향이 건전계통의 모선인 보령 B까지 과급되는 단점이 있다.

따라서, 그림 2와 같이 선로 L이 정상운전시부터 고장 제거 전까지는 미연계로 운전되다가 고장제거 후(아산-화성간 루트개방)에는 연계운전되는 모선절체운용을 실시하게 되면 고장전류 저감과 과도안정도 향상이라는 상반된 목표를 모두 달성할 수 있게 된다.



3. 서해안지역의 안정화제어 방안

여기서는 모선절체운용의 효과를 고장전류와 임계고장 제거시간 등의 비교를 통해 검증하고, 우리나라 실제 통의 서해안 지역에 이 운용을 이용한 안정화제어 방안을 적용하여 과도안정도가 개선됨을 보인다.

가. 검토조건

분석대상으로 하는 계통은 우리나라 1998년 최대 수요시 계통으로, 계통규모는 총 부하 38046[MW], 발전기 수 217기, 모선 수 1037개, 선로 수 1821개이다.

보령발전기들의 출력이 기당 450MW(CASE 1)와 기당 500MW(CASE 2)인 경우에 대하여, 아산 345KV 모선 부근의 345KV 선로에 3상 단락사고가 발생하고, 사고발생 0.1초(6Hz) 후에 아산-화성간 병행 2회선(루트) 개방에 의해 사고가 제거되는 상정사고에 대하여 PTI사의 PSS/E를 이용하여 검토하였다.

해석시 부하의 전압특성은 유효전력 부하의 경우에는 정전력 52%, 정전류 13%, 정임피던스 35%, 무효전력 부하는 정전력 36%, 정전류 8%, 정임피던스 56%로 표현하였다.

나. 모선절체운용에 의한 안정화제어

그림 3과 그림 4는 CASE 1과 CASE 2에 대하여 이미 언급한 상정사고 적용시, 사고제거 후 5cycle 후에 모선절체운용과 전원제한을 함께 실시한 경우에 대하여 보령발전기의 위상각 응답특성을 나타낸 것이다.

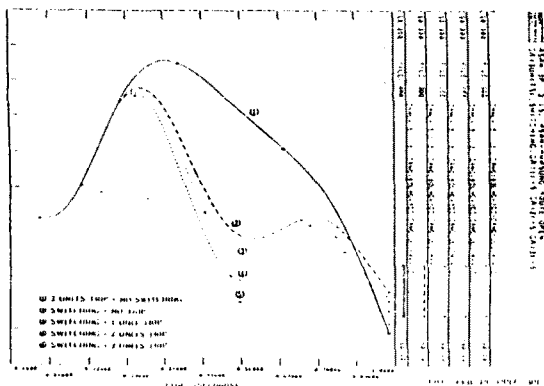


그림 3과 그림 4에서 전원제한만을 실시하는 경우에는 최소한 3기 이상을 실시한 경우에만 과도안정성을 유지할 수 있었다. 모선절체운용을 병행하여 실시하는 경우에는 전원제한을 전혀 하지 않아도 과도안정하였고, 제한하는 발전기의 기수가 많을수록 과도적으로 더욱 안정함을 알 수 있다.

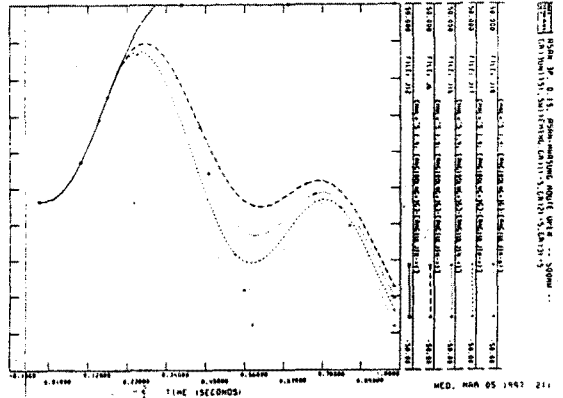


그림 5와 그림 6은 CASE 1과 CASE 2에 대하여 기수별로 전원제한을 실시하는 경우에 모선 보령 A와 보령 B의 전압 위상각의 차를 나타낸 것이다.

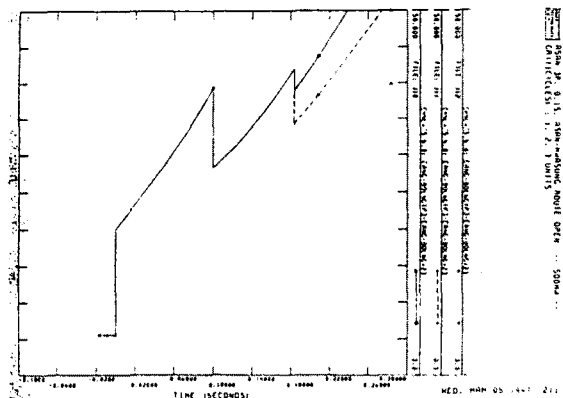
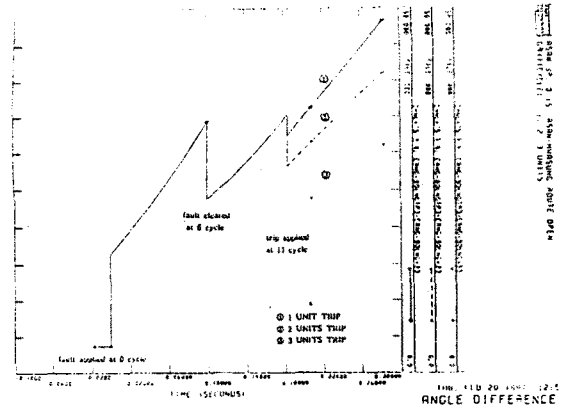


그림 3. 발전기의 위상각 응답특성(CASE 1)

그림 6. 기수별 전원제한시 전압위상각 차(CASE 2)

그림 1의 선로 L에서 절체운용을 실시하기 위해서는 동기검정기의 동작조건을 고려하여 모선 보령 A와 보령 B의 전압 위상각의 차가 30° 이내이어야 한다. 따라서 이 조건을 만족하기 위해서는 그림 5와 그림 6으로부터 모선절체운용+전원제한(3기)이라는 안정화제어 방안이 적용가능할 것으로 판단된다.

그림 7과 그림 8은 CASE 1과 CASE 2에 대하여 모선절체를 실시하는 순간에 발전기 유효전력 출력을 나타낸 것이다.

일반적으로 발전기 설계시 발전기의 터빈축은 발전기 유효전력의 출력이 발전기 자기기준의 7배까지 견딜 수 있도록 하고 있다. 따라서 그림 7과 그림 8에서 유효전력의 과도출력이 자기 기준의 2배 정도이므로, 스위칭에 따른 발전기 축비틀림은 안전한 것으로 판단된다.

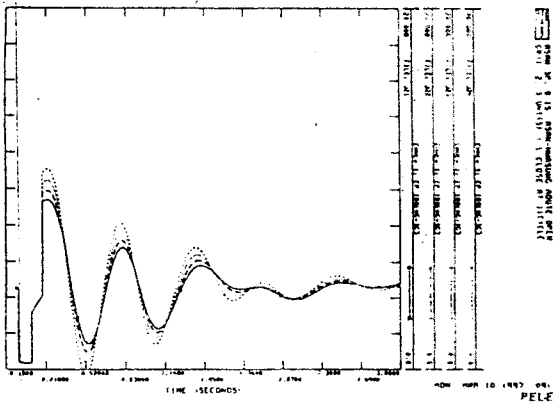


그림 7. 발전기 유효전력출력(CASE 1)

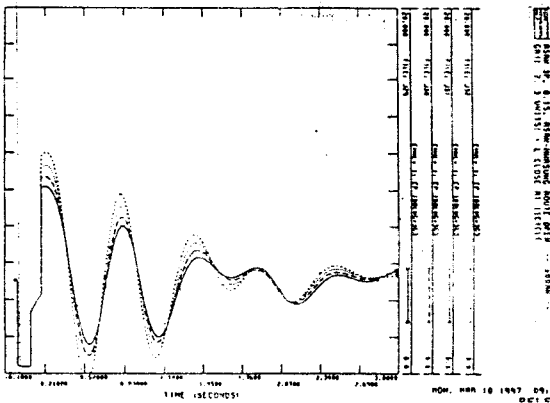


그림 8. 발전기 유효전력출력(CASE 2)

표 1은 CASE 1과 CASE 2에 대하여 모선절체운용 실시의 지연에 따른 임계고장 제거시간을 나타낸 것이다.

표 1. 모선절체운용 실시시간에 따른 CCT

지연시간	0	3	6	9	12
CASE 1	13.5	12.0	10.5	9.5	8.5
CASE 2	11.0	9.5	8.5	7.0	6.0

표 1로부터 모선절체운용은 가능한 한 빨리 하는 것이 과도안정도 여유면에서 유리하며, CASE 2의 경우 최소한 고장제거 후 12cycle 이내, 즉 고장발생 후 18cycle 이내에 실시되어야만 한다.

4. 결론

본 연구에서는 모선절체운용을 한전계통의 서해안 지역에 적용하여 동기탈조를 방지하고, 고장전류를 저감시킬 수 있는 안정화제어 방안을 제안하고, 이의 효용성을 검토하였다.

본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 아산-화성간 루트단 사고발생시, 안정화제어가 적용되지 못하는 경우에는 보령등 서해안 지역의 발전기가 동기탈조 할 가능성이 있다.
- 2) 고장전류를 저감시키면서 동기탈조를 방지하기 위해서는 보령 A와 보령 B모선에서 모선절체운용을 실시하는 것이 적당하며, 이때 전원제한을 병행하는 것도 가능하다.
- 3) 모선절체운용 실시시 동기검정기의 동작조건을 고려한다면 모선절체운용과 전원제한(3기)을 병행하는 것이 적당함.
- 4) 동기검정기의 동작조건을 무시하고 과도적인 안정만을 유지하고자 하는 경우, 스위칭이 발전기 축에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났고, 발전기의 출력이 500MWCASE 2)인 경우에는 고장제거 후 최소한 12cycle 이내에는 모선절체운용을 실시해야 한다.

끝으로, 모선절체운용을 실시하는 경우에 발전기의 축비틀림과 소내단독운전 등에 대한 더욱 면밀한 검토가 요구된다.

참고 문헌

- [1] 貝津, 谷口, "直列コンデンサおよび移相器を用いた過渡安定度の向上", 電學論B, 96卷 3號, 1976.
- [2] K.W Kimbark, "Improvement of System Stability by Switched Series Capacitors", IEEE Trans. Power Apparatus Syst., PAS-75, 1966.
- [3] 杉浦徳廣, "中部電力における系統安定化システム", OHM, 1996.
- [4] "系統安定化システムの現況", OHM, 1996.
- [5] 大浦好文, "電源系統の事故波及防止システムの方式と構成", 電學論B, 112卷 7號, 1992.
- [6] K.Matsuzawa, et al., "Stabilizing control system preventing loss of synchronism from extension and its actual operation experience", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 3, August 1995.
- [7] 岡本浩, "送電線の緊急切換え制御による電力系統の安定化に関する基礎的考察", 電學論B, 112卷 11號, 1992.