

2중 상정고장시 대규모 전력계통으로부터 분리된 소규모 전력계통 과도안정도 분석

윤기섭*, 백승도, 구성완, 이종수
한국전력공사

An analysis of transient stability for small scale power system separated from large scale power system at N-2 contingency

Gi-Seob Yoon , Seung-Do Baik , Sung-Wan Gu, Chong-Soo Lee

Abstract in case of the small scale power system separated from large scale power system N-2 contingency, the Over excitation , Under Frequency and Power swing Tripping Relay operate depending on unbalance Of Generation and Load. and then we studied and measured the angle and frequency deviation between generators. moreover, we compared real fault example with simulation results.

1. 서 론

과도안정도 평가는 전력시장의 개방화와 같은 범플상의 변화로 늘어난 독립전기사업자(IPP)들로 인해 중요성이 더욱 부각되고 있다. 이러한 과도안정도 문제는 주로 원거리에서 발전시설을 갖고 있는 장거리 송전선의 Pole Slipping , 원자력발전소의 불안정성, 스위칭 동작 후 불안한 뎀핑현상, 취약한 송전계통에서의 AGC 상호작용 등에 기인한다. 이에 우리 관리처의 N-2 Contingency (이중 상정사고)시의 경우를 다음과 같이 검토하여 고장시 대규모 전력계통에서 분리되어 소규모 계통으로 Power System Island화 되는 계통을 모의하여 안정적 운전을 하고자 한다. 분당S/S는 분당C/C의 발전량과 용인S/S 측으로부터의 송·수전력량에 따라 2회선 동시 고장시 분당C/C측의 발전량과 분당S/S 및 5개 변전소에서 공급하는 부하량에 따라 용분#1,2T/L 2회선 동시 고장시 발전량과 부하량이 거의 일치하여 분당C/C의 발전기가 안정하게 운전되기도 하고, 고장시 발전량과 부하량 불일치에 의한 발전량과 부하량의 차이에 의한 주파수변화에 의거 발전기가 탈락하여 광역정전을 일으키는 경우가 있으므로 어느 정도의 용분#1,2T/L 송·수전력량과 분당C/C 발전량이 2회선 고장시에도 발전기가 탈락하지 않고 안정한 운전상태를 유지 할 수 있는지를 검토 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 과도안정도의 정의 및 KEPCO 기준

가. 과도안정도의 정의
전력계통이 어떤 조건하에서 안정(Steady state)하게 운전하고 있을 때, 급격한 외란(단·지락의 계통사고에 의한 발전 및 송변전 설비의 차단시 및 부하급변 등)에 따른 계통동요의 과도(외란 발생 후 1~3sec 이내)현상이 발생하더라도 다시 안정 상태로 회복해서 발전기의 탈조 없이 동기운전이 지속될 수 있는 정도를 말하며, AVR 및 GOV 고려에 따라 고유과도 안정도와 동적 과도 안정도로 나눈다. 고유과도 안정도는 자동전압조정기(AVR), 조속기(GOV) 효과등 발전기의 제어 효과를 고려하지 않고 발전기 과도임피던스 배후전압이 일정하다는 조건하에 다루어지는 안정도를 말하며 보통 외란 발생으로부터 1~2sec 이내의 현상을 대상으로 한다. 그리고 동적과도 안정도는 발전기의 돌극성 및 계자 쇄고 자속 변화를 고려하고 자동전압조정기 효과, 조속기 동작

등의 제어효과 및 계통 보호계전기 동작특성, 부하의 전압, 주파수 특성까지 고려한 경우의 과도 안정도를 말한다.

나. KEPCO 기준

과도안정도는 급격한 계통동요(외란)시 과도상태에서의 전력-상차각 특성을 검토하는 것으로 계통이 안정한가 불안정한가의 판별은 보통 외란 발생 후 수초(대략 3sec)이내에서 결정되는 것이므로 1차 동요(First swing)에서 수렴하지 않고 계속 상승하게 되면 불안정한 것으로 판정한다. 안정도 검토시 발전소 연결계통의 경우 관련 발전소 전 출력 운전상태에서 인근 345kV 선로 1루트(765kV 1회선)고장시 과도안정도에 이상이 있을 경우 상정고장 조건에서 관련 발전소의 발전기를 2,000~3,000MW 강제 탈락시켜 과도안정도 문제가 해소되고 탈락시킨 상태에서 조류에 이상이 없을 경우 계통 보장 방안을 검토치 않으며, 이상이 있을 경우에는 관련 계통 보장방안을 검토 후 경제성 및 건설여건이 여의치 않을 때, 관련발전소 건설방안을 재검토 한다.

2.1.1 이중 상정고장(가공 345 및 154kV 환상계통)

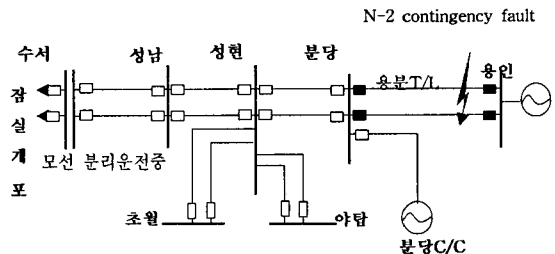
가. 송전선 2회선 탈락

나. 송전선 1회선 탈락과 변압기 1기 탈락

다. 송전선 1회선 탈락과 발전기 1기 탈락

2.2 실제고장 사례

가. Power System Network at N-2 Contingency



나. 고장개요

○ 고장일시 : '01. 08. 13. 11:13 (비)

○ 고장설비 : 분당S/S 용분#1,2T/L

○ 고장내용

154kV 용분#1,2T/L이 낙뢰로 역선락에 의한 분당S/S 용분#1,2T/L Relay가 동작하여 해당 차단기가 Trip 되었으나 재폐로 부동작

분당측 재폐로 조건 : Follower
용인측은 재폐로 정동작 (재폐로 조건 : Leader)

다. Relay 동작사항

154kV 분당S/S 용분#1T/L : CRGAB, A, B, N#

154kV 용분#2T/L : CRGAB, A, B, NΦ
 154kV 용인S/S 용분#1T/L : Z1GAB, A, B, NΦ
 154kV 용분#2T/L : Z1GAB, A, B, NΦ

라. Pre-Fault 계통 운전상황

분당C/C 592MW를 발전하고, 560MW의 부하를 공급 중에 있었으며, 잔여 전력 32MW를 용분#1,2T/L를 통하여 용인측으로 송전중이었음

마. Post-Fault 계통 운전상황

용분#1,2T/L 차단으로 분당C/C로부터 분당, 성현, 성남, 초월, 야탑, 수서S/S의 부하를 공급하였음.

라. Relay storage at Fault

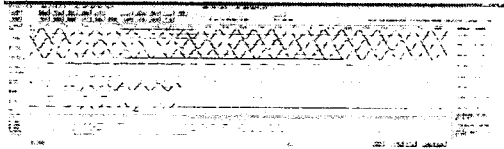


Fig 1 : 고장시 보호계전기 저장 데이터

마. Analysis of Voltage angle and Frequency deviation

1) 분당C/C에 연결된 분당S/S 모선전압(Va) 과 용인측에서 재폐로 성공으로 가압되어 환상상태인 용분#1,2T/L 선로전압(VL)간의 3 Cycle 동안 용인측 전원계와 분당측 전원간의 발전기 동기(Generator Synchronization) 진행 중의 Va 및 VL(1 sample = 10°)이, Fig 2에서 같이 용인S/S측 용분T/L 재폐로 성공직후 분당S/S측에서 모선전압(63.1V)과 선로전압(69.1V)간의 동기검출 조건은 전압차는 만족하나, 위상차는 약 1 Sample(10°) 차이가 발생하였음. 이 차이는 재폐로 수행을 위한 동기검출 조건(±25°)을 만족하나 단지 14 Cycle 동안 만 유지되었음, 만약 동기검출 조건 상태가 2 Sec(120 Cycle)동안 유지되었다면 재폐로 성공되어 용인계와 분당계가 정상적으로 연계 되었을 것으로 판단함.

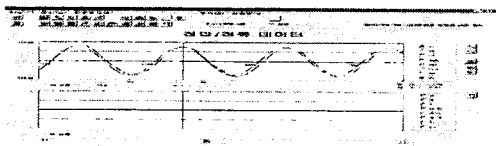


Fig 2 용인측 재폐로 성공후 14cycle 동안 모선 및 선로전압 파형

2) 용인S/S 용분T/L 재폐로 후 0.5 Sec(30 Cycle) 경과 시점에 분당 모선전압(63.5V)과 용분 선로전압(66.6V)의 Fig 3와 같이 동기 검출 조건에서 양단 전압차는 만족하나, 위상차는 약 5샘플(≈50°)로 양 계통을 동기투입 할 수 있는 동기 검출 조건을 벗어나 재폐로 실패하였음, 위상차 발생은 용분#1,2T/L 동시고장으로 대규모 전력계통으로 분리되어 소규모 전력계통으로 운전하게 된 분당 C/C 발전기의 Pg(발전량)과 P1(부하)간의 차이가 역학적 에너지(Kinetic energy)인 Pacc(가속력)가 Positive쪽으로 작용하여 발전기가 가속함으로써, 순시 동작(6cycle)하는 발전기 보호용 계전기(over excitation Relay : 59/81)가 동작하여 Trip되었음. 그러나, 속응성있는 전력계통안정화 장치(PSS, GOV Free, High speed AVR)를 운전할 경우는 과도시간 동안 First Swing후 Stable한 상태로 수렴할 수 있을 것으로 판단되며, Fig 3에서 보는 것 과 같이 multi-swing 후 용인계 전압과 분당계 전압의 위상차가 점점 더 벌어져 결국은 양단이 동기 운전을 할 수 없는 조건이 되어 불안정하게 되었음.

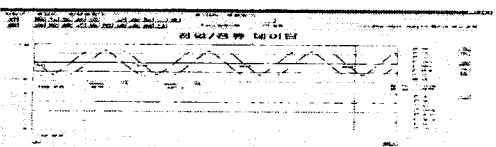


Fig 3 용인측 재폐로 성공후 30cycle 경과시 모선 및 선로전압 파형

2.3 조류변동에 따른 2회선 동시고장 모의 후

가. 검토조건은 base case(2003 peak data)이며, 주파수는 0.5sec, 위상각 및 발전기 단자전압은 은 5sec 동안 모의 하였고, 고장모의 조건은 실제 고장 당시의 발전량과는 약간 다른 조건임.

나. 용분T/L로 용인측으로 조류 공급조건에서 2회선 동시 고장시 소규모 계통은 수 cycle동안만 주파수 편차가 약 0.02P.U(1.2Hz 상승)나타났고, 발전단의 전압은 어느 정도 상승하다가 정상치로 회복하며, 발전기간 위상차는 기간 경과에 따라 약간 편차를 나타냄을 Fig 4, 5, 6에서 볼 수 있다.

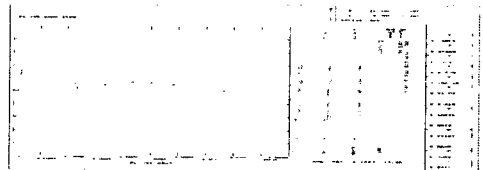


Fig 4 : Frequency deviation

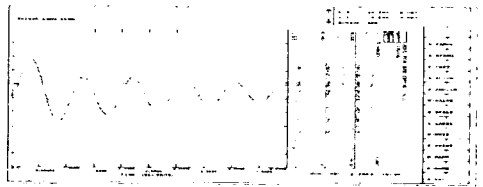


Fig5: Angle spread

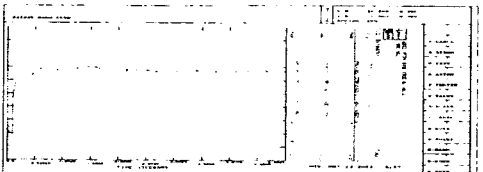


Fig 6 : Generator Terminal Voltage

3. 결 론

대규모 전력계통에서 분리된 소규모 전력계통의 주파수, 위상각 및 전압의 변화를 검토하여 분리된 후 일정 시간 경과 후 동기조건 만족시 재투입되어 대규모전력계통과 재 연계되는 경우와 불만족시 재투입 실패로 분리된 소규모 계통으로 남아 발전량과 부하량에 따라 안정한 상태를 유지하기도 불안정한 쪽으로 발전하기도 하였다. 지속적으로 변하는 분당측의 발전기의 출력량의 변동이 있어 용분T/L의 Power Limit 값을 구하기는 상당히 곤란하였으며, 연계조류 변화량에 따른 주파수 및 전압변동은 과여자계전기(59/81: Over excitation Relay)를 동작시켜 발전기를 Trip 시키기도 하고, 발전량보다 부하량이 많을시는 저주파수 계전기에 의한 발전기 Trip 및 부하측의 Load reduction이 이루어졌다. 결론적으로 용분T/L에 흐르는 조류량이 미미 할 시는 2회선 동시 고장시도 대규모 계통으로 분리된 소규모 계통은 안전한 것으로 판정되었으며, 조류량이 많을시는 소규모 계통으로 분리된 발전기가 속응성있는 조류추종 장치 및 고장 파급확산방지 장치가 반드시 설치되어야 만 하고, 용분 T/L 고장시 분당C/C계통이 Island화 되지 않도록 타 계통과의 연계선로 중립이 요구됨.

[참고 문헌]

- [1] KUNDER, Power System Stability & Control
- [2] 한국전력공사, 전력계통 계획수립 기준에 관한 연구
- [3] PAVELLA, Transient Stability Of Power Systems