

하이브리드 재폐로 방식의 초고압 표본 계통에 대한 안정도 영향 시뮬레이션

이 태 형, 안 병 천*, 박 병 철*, 이 옥 화*, 신 중 린*, 이 성 우**
건국대학교 전기공학과*, 한국전력공사 전력연구원**

Simulation of Stability Effect with Hybrid Reclosing of A Sample EHV System

Tae-Hyung Lee*, Byung-Chen AN*, Peung-Churl Park*, Uk-Hwa Lee*, Jung-Rin Shin*, Sung-Woo Lee**
Dept. of Electrical Engineering, Kon-Kuk University* KEPCO**

Abstract

This paper presents some stability simulations using EMTP to see the effect of EHV Lines with hybrid reclosing on power system stability. The Hybrid reclosing on EHV lines can improve the reliability of power systems. These studies is performed as a part of the research work which is aimed to find proper scheme of reclosing for EHV lines in Korea. Completing a number of simulation works with the diverse conditions such as ones reported in this paper, some decisions could be made through some stochastic approaches for the simulation results for the proper scheme of reclosing for Korean systems.

1. 서 론

초고압 선로에 단상 재폐로를 설치하고 운용하므로 생기는 잇점들에 대하여는 이미 선진 외국에서 이미 검증되었다. 이들의 결론을 간단히 살펴보면, 미국의 BPA에서는 다중 우발의란에 대해 과거 계통붕괴와 시뮬레이션 결과로부터 다중 선로 시스템에 단상 및 3상 스위칭을 적용했을 때의 이점을 확인하여 자신들의 새로운 500kv 선로에 단상 스위칭을 설치하고 있다[1]. PP&L에서는 716km 선로에서의 단상 스위칭 방식이 운전 전에 들어간 후, 아크 재발생으로 인한 재폐로 실패는 관찰되지 않았으며, 4각리액터(four-legged reactor) 배열이 적절한 설계임을 확인하였다. 유럽의 경우의 단상 스위칭에 대한 견해는 일반적으로 말해서 매우 긍정적이다. 보통 유럽의 선로는 단거리이기 때문에 2차 아크 억제를 지원하기 위한 추가 수단을 갖지 않는다. 통계에 의하면 후속 재폐로 성공에 의하여 많은 단상사고가 매우 높은 확률로 제거된다는 것을 알 수 있다. 구 소련에서 초고압 선로 및 1200kv 선로에 대한 단상자동 재폐로(SPAR)의 적용 경험 및 분석결과로부터 SPAR는 330~750kv 선로고장의 58~52%를 처리할 수 있는 것으로 확인되었으며 1200kv 선로에 대해서는 약 50%를 처리할 수 있을 것으로 예상되었다[2]. 이러한 이유 때문에 미국과 유럽 및 구 소련 등에서는 전력계통의 안정도와 신뢰도를 증진시키기 위하여 초고압 송전계통에 단상재폐로 방식을 채용하고 있다.

우리나라도 송전계통에 자동재폐로 방식이 도입이 되었으나 그동안 우리나라 전력계통의 구성 및 특성등이 크게 변화하였기에 기존의 도입된 재폐로방식에 대한 종합적인 검토를 통하여 그 적정성여부를 평가하고 이에 대한 개선안을 확인해 볼 필요가 있다.

본 연구는 이러한 종합적인 검토의 한 부분으로서 우리나라 송전계통에 대한 적정 재폐로 scheme을 찾기에 앞서 표본 계통 선정을 위한 준비작업이다. 재폐로 체계는 지역마다 또는 구역마다 다를 수 있기 때문에 모든 경우에 대해서 적정 재폐로 체계를 찾기 위한 시뮬레이션을 한다는 것은 불가능한 일이며 또한 의미도 없다. 다시 말해서 우리나라의 계통적 특성을 감안하여 주요한 계통 상황이나 고장조건에 가장 잘 조화할수 있는 합리적 재폐로 체계를 찾기 위해서는 역시 모든 상황을 조화있게 모의할 수 있는 표본 계통의 선정이 중요하며 따라서 면밀한 검토아래 표본 계통이 선정되어야 한다. 이를 위하여 여러 가지 계통 상황과 고장조건을 가정하여 그 각각에 대하여 하이브리드 및 단상 재폐로 방식 등의 다양한 재폐로 시뮬레이션을 시도, 그 결과를 종합적으로 분석하여 표본 계통 선정을 위한 중요한 자료들을 수집하고자 한다. 여기에 발표되는 내용은 그러한 시뮬레이션 작업의 일부이다.

2. 재폐로 방식들의 특성 비교

2.1 단상 재폐로의 특성

단상재폐로는 사고시에도 건전한 두상으로 계속 에너지를 공급하게 하고 2차 아크 소멸 후에 선로 끝에 있는 차단기를 제투입함으로써 왜란의 심각성을 줄이므로 상호연결된 전력계통의 과도안정도를 유지할 수 있게 한다[3]. 과도안정도 향상뿐만 아니라, 특히 먼 거리에 있는 발전소가 부하중심과 한 개 혹은 두 개의 송전선로와 연결되어 있는 계통의 가용도와 신뢰도 향상, 스위칭시의 과전압의 억제, 대응량 기기들의 변화에 따른 왜곡되는 진동의 억제등과 같은 특징들이 있다[4]. 이러한 특징들에도 불구하고 단상 재폐로를 사용함에 있어서 다음과 같이 사항이 고려되어야 한다[5].

- ① 2차 아크 소멸 : 장거리 선로에 대해서, 충전된 상으로부터의 유도성 및 용량성결합이 사고난 상의 회로 차단기가 개방된 후에 아크를 유지시키게하는 경향이 있다.
- ② 보호 릴레이 : 보호 시스템은 어느 상이 사고가 났는지를 검출해야 하고, 적당한 차단에 트립과 재폐로 명령을 내려야 한다.
- ③ 터빈-발전기에 대한 고려사항 : 재폐로 때드 타임동안(한상 개방), 터빈 날개는 120Hz의 자극을 받게 된다.

2.2 3상 재폐로 방식의 특성

3상 재폐로는 단상 재폐로 방식에 비해 더욱 신뢰성을 가진

재페로 방식이다. 그러나 시간이 경과할 경우 발전기의 비틀림 진동을 유발할 수 있다. 3상 재페로의 특성을 정리하면 다음과 같다.[1]

- ① 계전기와 제어 회로가 간단하다.
- ② 단상스위칭은 사고난 상의 검출이 어렵다.
- ③ 영상과 역상전류에 대한 계전기의 민감도가 좋다.

2.3 하이브리드 재페로 방식의 특성

단상재페로는 진전한 두상이 아크 전도를 더 길게 유지하도록 에너지를 계속 공급하고 있다는 사실 때문에 데드타임을 길게 설정할 필요가 있다.[6] 이를 개선하기 위해 단상 재페로와 3상 재페로를 혼합하여 사용하는 하이브리드 재페로방식이 사용될 수 있다. 하이브리드 재페로 방식은 단상재페로를 사용하여 사고를 제거하고 백스윙시(사고제거후 약 40사이클)에 2차 아크 소멸을 확실하게 하기위해 3상 트립을 하는 것이다.

여기서는 위 사항들 중에서 하이브리드 재페로방식의 영향을 알아보기위하여 안정도 및 신뢰도 향상의 관점에서 EMTP를 이용하여 다양한 고장조건과 재페로 방식들에 대한 안정도 시뮬레이션을 수행하였다.

3. 모델계통에 의한 송전계통의 안정도 시뮬레이션

3.1 모델시스템의 선정

앞서말한 표본계통의 선정에 필요한 여러 가지 사항을 알아보기 위하여 우선 BPA에서 C.W.Taylor등이 검토한 모델[1]을 대상으로 일반적인 단상 스위칭을 사용하는 방식과 안정도 영향측면에서 비교하였다.

가. 모델계통 1

(1) 모델계통 및 사례선정

시뮬레이션의 목적은 다중선로를 갖는 계통에 대해 하이브리드 재페로가 계통에 미치는 안정성과 신뢰도를 확인하기 위한 것이다. 모델계통 1은 그림 1과 같이 중간 위치에 스위칭지점(개폐소)이 있는 2회선 송전선로를 통하여 발전 플랜트가 대규모 시스템에 연결된 계통이다. 계통의 기준용량과 전압은 각각 2000 MVA, 525kv base이며 각 선로의 길이는 약 160km이다. 시뮬레이션을 간단히 하기 위하여 회로는 상호결합이 없다고 가정했다. 사례선정으로 3사이클만에 소멸되는 단상사고를 발생시켰다. 동시에 선로 3에 3사이클의 3상 트립과 재페로를 하지 않는 잘못된 트립 또는 연쇄 사고를 가정한다. 과도현상 프로그램인 EMTP를 사용하여 다음사례에 대한 발전기의 회전자의 각도를 출력하여 계통의 안정성을 보고자 하였다. 그리고 시뮬레이션을 위한 사고 모의 시나리오는 표 1과 같다.

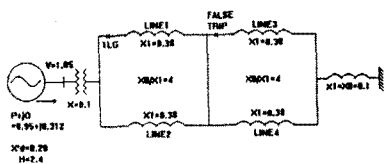


그림 1 모델계통 1의 단선도

Fig 1. Single-line diagram of the model system 1

표 1. 모의계통 1에 대한 사고 시나리오

Table 1. Scenarios for the model System 1.

모의경우	사고 시나리오
CASE 1.1	선로 1에서 순시 1상 지락이 발생하여 3사이클 후에 사고상을 개방하여 사고를 제거하고 그후 30사이클 후에 단상재페로가 성공하였으나 선로 3이 오동작으로 사고 발생후 3cycle 후에 3상 trip이 발생한 경우
CASE 1.2	CASE 1에서 재페로가 90사이클 후에 이루어진 경우
CASE 1.3	순시 1선지락사고가 선로1에서 발생한 후 3cycle후에 제거된 동시에 선로 3에서 잘못된 3상 trip으로 인한 3상 개방과 선로 1에서 3상 trip 30cycle 재페로가 이루어진 경우.
CASE 1.4	CASE 1.1과 같은 상황에서 단상재페로로 사고를 제거후 40사이클 후에 3상 트립을 하고 15사이클의 데드타임후에 재페로를 한 경우.

나. 모델 계통 2

(1) 모델계통 및 사례선정

모델계통 2는 3회선 계통을 나타낸 것이다. 2000MVA, 525kv를 기준으로 하며 각 선로는 약 400km(250mile)이다. 계산의 간략화를 위하여 상호결합은 없다고 가정한다. 또한 계통망은 주파수 독립인(independent) 분포정수 선로로 모델링하였다. 모델계통에 인가된 단상사고는 3사이클만에 제거된다. 재페로가 없는 3사이클 3상 트립으로 병렬선로에 잘못된 트립 또는 동시사고를 가정한다. 그림 3에서 주어진 파라미터 이외는 모델계통 1의 경우와 같다. 안정도가 검토된 사례는 다음과 같다.

표 2. 모의계통 2에 대한 사고 시나리오

모의경우	사고 시나리오
CASE 2.1	모델계통 2를 대상으로 CASE 1.1과 같은 조건
CASE 2.2	모델계통 2를 대상으로 CASE 1.2와 같은 조건
CASE 2.3	모델계통 2를 대상으로 CASE 1.3과 같은 조건
CASE 2.4	모델계통 2를 대상으로 CASE 1.4와 같은 조건

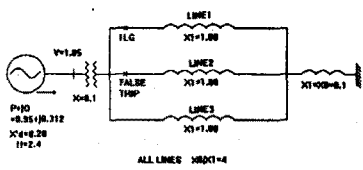


그림 2 모델 계통 2의 단선도

Fig. 3 Single-line diagram of the model system 2

3.2 모델계통의 재폐로 시뮬레이션

앞에서 제시한 각 경우에 대하여 EMTP를 이용하여 계통의 안정도를 시뮬레이션 하였으며 다음은 그 결과를 나타낸 것이다.

가. CASE 1.1 - 1.4(모델계통 1에 대한 회전자 각도 비교)

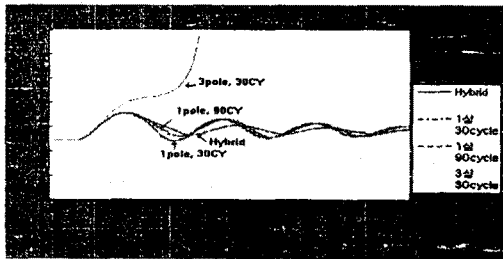


그림 3 모델계통 1에 대한 CASE 1.1 - 1.4의 회전자 각도
Fig. 9 Rotor angle in the model system 1

나. CASE 2.1 - 2.4(모델계통 2에 대한 회전자 각도 비교)

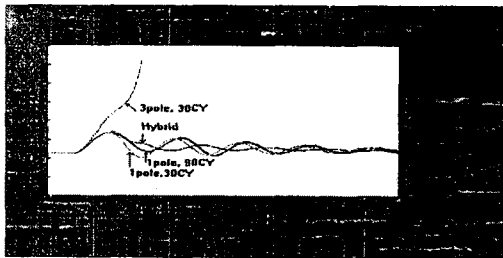


그림 4 모델계통 2에 대한 회전자 각도
Fig. 14 Rotor angle in the model system 2

3.3 시뮬레이션 결과 고찰

가. 모델 1에 대한 결과 고찰(CASE 1.1 ~ 1.4)

시뮬레이션 결과로부터 다음과 같은 사실을 관찰할 수 있다.

- ① 빠른(30사이클) 재폐로의 단상 스위칭일 때 시스템은 약간의 동요를 하면서 안정된 상태로 진행된다.
- ② 느린(90사이클) 재폐로의 단상 스위칭일 때 시스템은 앞의 빠른 재폐로 보다는 훨씬 안정된 상태를 가지는데 이는 느린 재폐로가 2차 아크 소멸을 가능하게 한 것으로 해석할 수 있다.

- ③ 3상 트립 30사이클 재폐로 때 시스템은 불안정하다.
- ④ 하이브리드 재폐로인 경우 재폐로 방식의 경우보다 더 나은 안정도를 보였다.

나. 모델 2에 대한 결과 고찰(CASE 2.1~2.4)

시뮬레이션을 관찰해보면 모델 1의 결과와 같이 3상 트립과 30사이클 재폐로시 시스템은 불안정했다. 그리고 30사이클 또는 90사이클의 재폐로 시간을 갖는 단상 스위칭시에는 안정함을 알 수 있다. 그리고 모델 1과 마찬가지로 하이브리드 재폐로 방식이 안정도에 관하여 가장 우수한 성능을 갖고 있음을 나타내고 있다.

4. 결 론

우리나라 초고압 송전계통에 대한 합리적 재폐로 체계를 찾기 위한 모델 시스템 선정의 예비 작업으로서, BPA에서 검토된 모델계통을 대상으로 단상 재폐로 및 3상 재폐로를 채용한 하이브리드 재폐로 방식에 대한 안정도 영향에 관하여 EMTP 시뮬레이션을 시도하였다. 결과적으로 하이브리드 방식이 다른 재폐로 방식에 비해 안정도 면에서 우수한 성능을 갖고 있는 것으로 나타났다.

앞으로 계속하여 여러 가지 다양한 시스템의 조건과 재폐로 방식들에 대한 재폐로 시뮬레이션을 수행함으로써 우리나라의 초고압 선로에 적절한 재폐로 scheme을 찾기 위한 표본 계통 선정을 시도할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Discrete Supplementary Controls Working Group, "Single-pole Switching for Stability and Reliability", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRS-1, No. 2, May, 1986
- [2] N.N. Belyakov, "Application of Single-phase Autoreclosing in a Complex EHV Network Containing 1200kv Transmission Lines", CIGRE, 34-207, 1990
- [3] R.M. Hasibar, A.C. Legate, J.Brunke, W.G. Peterson, "The application of high-speed grounding switches for single-pole reclosing on 500kv Power systems", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-100, No. 4, April, 1981
- [4] IEEE Committee report, "Single-Phase Tripping and Autoreclosing of Transmission lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 1, January, 1992
- [5] J.J. Haubrich, G. Hoseman, and R. Thomas, "Single-Pole Reclosing on Long EHV Transmission Lines", CIGRE, 31-09, 1974
- [6] Walter A. Elmore "Protective Relaying Theory and Applications" ABB Power T&D Company Inc. 334page