

## 실시간 시뮬레이터를 이용한 송전계통 자동재폐로 훈련 코스 개발

윤상운, 조윤성, 이철균, 김용길  
LS산전(주) 전력연구소

### A Development of Training Course for the Automatic Reclosing of Transmission Systems using a Real Time Digital Simulator

Yun Sang-Yun, Cho Yoon-Sung, Lee Chul-Kyun, Kim Young Kil  
Eelectrotechnology R&D Center, LS Industrial Systems

**Abstract** - 본 논문은 실시간 디지털 시뮬레이터(Real Time Digital Simulator, RTDS)를 이용한 송전계통의 자동 재폐로 모의 교육훈련시스템 개발에 대해 요약하였다. 본 논문에서 개발한 모의 훈련 코스는 3상 일괄 재폐로와 1상 및 3상 재폐로의 두 가지 부분으로 나뉘어 구성되었다. RTDS를 이용한 모의 파일의 구성 시 각 계통은 양단에 거리계전기를 설치한 것으로 모의하였으며 154kV 계통의 경우 송전단은 실제 거리계전기를 이용하여 구성하였다. 1상 및 3상 재폐로의 경우 1선지락 고장에 대해서는 해당상만 트립 및 재폐로를 하도록 하고 나머지 고장에 대해서는 3상 일괄 트립 및 재폐로가 되도록 모의하였으며 대상 계통은 345kV의 전형적인 송전계통을 대상으로 하였다. 리셋 시간의 모의 훈련을 위해 현재 국내 리셋 시간 기준치 이내에 또 다른 고장이 발생했을 경우와 기준시간 이상 경과한 후에 고장이 발생한 경우를 나누어 모의할 수 있도록 구성하였다. 고장 종류, 고장지속시간, 1상 및 3상 재폐로 선택, 재폐로 횟수 및 재폐로 시간 등은 현재 한국전력의 재폐로 규정에 언급된 것을 모의하는 것은 물론 사용자 임의로 변경이 가능하도록 구성하였다. 본 논문에서 개발한 모의 훈련 코스는 송전계통의 자동재폐로에 대한 실무자들의 이해 증진을 위한 교육용으로 사용될 수 있음은 물론 보호 계전기 등의 시험을 위해서도 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

#### 1. 서 론

송전 선로 사고의 대부분은 뇌에 의한 아크(arc) 지락사고로서 영구사고(permanent fault)는 전 사고의 10% 미만이다. 따라서 사고제거 후 아크의 자연소멸을 기다렸다가 재투입하면 사고점의 절연은 회복되어 있어서 다시 송전을 계속할 수 있는 경우가 많다. 재폐로 방식은 사고차단후의 재투입을 자동으로 하는 것이며, 송전선 보호 계전기에서 신호를 받아서 기동하고 계통의 여러 가지 조건을 확인하여 규정된 시간후에 투입지령을 내는 방식이다.

재폐로는 동작 시간에 따라 저속도 방식과 고속도 방식이 있으며 재폐로 하는 상(phase)수에 따라 단상 재폐로, 삼상 재폐로, 다상 재폐로로 구분되며 시도횟수에 따라 1회(single-shot) 재폐로 방식과 다회(multi-shot) 재폐로 방식으로 나누어진다. 단상 재폐로는 고장 상단 차단하고 재폐로 하는 방식으로 동기 확인의 필요가 없으며 고속도의 재폐로 방식에 적용된다. 삼상 재폐로는 사고상에 관계없이 3상 모두를 차단하였다가 재폐로 하는 방식으로 재폐로 시 동기확인이 요구(loop 계통)되며 154kV 계통에서 주로 적용된다. 다상 재폐로는 다 회선 계통에서 2회선 중 다중상에 적용되는 재폐로 방식이다. 고장이 일시적이 아닌 경우에는 재폐로 이후 다시 트립이 일어나게 되는데 다회 재폐로 방식의 경우에는 정해진 시퀀스에 따라 여러 번 재폐로를 시도하는 반면, 1회 재폐로 방식은 1회 재폐로 후에는 재폐로 기능을 저지시키고 최종 트립 명령을 내려 다시 재폐로 하지 않도록 하는 방식이다.

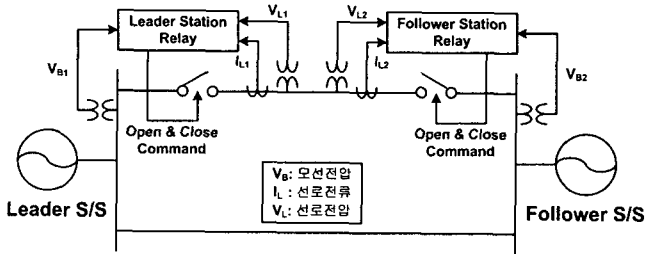
본 논문은 송전계통보호 실무담당자의 재폐로 동작에 대한 이해를 돕기 위한 실시간 모의 교육훈련시스템 개발에 대해 다루었다. 이를 위해 모의 훈련 코스는 크게 두 가지 부분으로 나뉘어 구성되었다. 하나는 3상 일괄 재폐로 부분으로 각 고장 종류(1선지락, 선간단락 및 3상단락 고장)들에 대해 3상이 모두 트립(trip) 및 재폐로(reclosing)되는 것을 모의하였으며 대상 계통은 154kV 및 345kV의 전형적인 송전계통을 대상으로 하였다. RTDS를 이용한 모의 파일의 구성 시 각 계통(154 및 345kV 계통)은 양단에 거리계전기를 설치한 것으로 모의하였다. 154kV 계통의 경우 송전단(reader)의 경우 M사의 실제 거리계전기를 이용하여 구성하였으며 수신단(follower)의 경우 RTDS의 내부 콤포넌트들을 이용하여 구성한 계전기 모델을 이용하였다. 345kV 계통의 경우 송전단 및 수신단 모두 RTDS 내부 콤포넌트들을 이용하여 구성된 거리계전기 모델을 이용하여 모의하였다. 다른 하나는 1상 및 3상 재폐로 부분으로 1선지락 고장에 대해서는 해당상만 트립 및 재폐로를 하도록 하고 나머지 고장에 대해서는 3상 일괄 트립 및 재폐로가 되도록 모의하였으며 대상 계통은 345kV의 전형적인 송전계통을 대상으로 하였다. 각각의 경우들에 대해 리셋 시간(reset time)을 적용하였으며 차단기가 첫 번째 트립되고 현재 한전의 리셋 시간 기준치인 1분 이내에 또 다른 고장이 발생했을 경우 리셋 시나리오에 따라 차단기의 트립 및 재투입을 모의할 수 있도록 구성하였으며 재폐로 성공 후 1분 이상 경과한 후에 고장이 발생한 경우에는 완전회 초기화 되어 설정된 재폐로 절차를 모의하는 시나리오를 구성하였다. 고장종류, 고장지속시간, 1상 및 3상 재폐로 선택, 재폐로 횟수 및 재폐로 시간(reclosing deadtime) 등은 현재 한국전력의

재폐로 규정에 언급된 것을 모의하는 것은 물론 사용자 임의로 변경이 가능하도록 구성하였다.

#### 2. 국내 송전계통의 재폐로 현황

154kV 송전선의 보호책부는 Differential relay(전류 차동 계전기)가 주보호를 담당하며 Distance relay(거리 계전기)는 후비 보호를 담당한다. 345kV 송전선의 보호책부는 Differential relay와 Distance relay가 병렬로 조합되어 트립신호가 빠른 것이 먼저 차단기를 동작시키며 재투입은 트립시킨 계전기가 명령을 내리는 방식이다. 송전선 자동 재폐로는 재폐로 횟수의 경우 1회로하며 재폐로 형태는 154kV급 계통(주보호: 전류차동, 후비보호: 거리)의 경우 3상 일괄이며 345kV급 계통(전류차동 및 거리계전기 병렬보호)의 경우 1+3상 재폐로를 하고 있다. 송전계통의 계전기는 그림 1에서 보는 바와 같이 가압단(leader)과 수신단(follower)으로 나뉘어 지며 각각의 경우에 대해 다음과 같은 조건에서 재폐로를 수행한다.

- 가압단의 재폐로 조건: 1)VB1=On이고 VL1=Off인 경우, 2)VB1=On이고 VL1=On인 경우(단, 위상동기를 고려함)
- 수신단의 재폐로 조건: 1)VL2=On이고 VB2=Off인 경우, 2)VL2=On이고 VL1=On인 경우(단, 위상동기를 고려함)



〈그림 1〉 송전선로 자동재폐로 조건

국내 송전계통에서의 재폐로 방식을 표 1에 정리하였다.

〈표 1〉 국내 송전계통에서의 재폐로 방식

전압(kV)	1Φ/3Φ 재폐로	재폐로시간 (주기)	조건
345	3Φ	24	2회선 이상 사고시
	1Φ	48	1회선 1Φ사고 발생시
154	3Φ	18	주 보호방식 미 적용시 ⇒ 26(reader), 18(follower)(단, 주 보호방식 미 적용시 33(follower))
	1Φ	-	-

주 1) 양단에 전원이 있는 100% 지중계통: 재폐로 안함  
주 2) 가공+지중 복합선로의 경우 아직 일정한 기준이 없는 실정

#### 3. 훈련코스 구성

재폐로 모의 훈련 코스는 크게 다음의 두 가지 시나리오로 구성되었다. 첫째, 154kV 계통의 경우 재폐로는 어떠한 사고에 대해서도 3상 일괄 트립/재투입을 수행하며 재폐로 횟수는 1회로 한다. 재폐로 무전압 시간은 18cycle(0.3초)로 하며 리셋 시간은 1분으로 한다. 수신단 차단기는 동기 검출 후 재폐로를 수행한다. 둘째, 345kV 계통의 경우 재폐로는 1상사고에 대해서는 1상 트립/재투입을, 2상 이상의 사고에 대해서는 3상 일괄 트립/재투입을 수행한다. 재폐로 횟수는 1회이며 재폐로 무전압 시간은 3상 재폐로의 경우 24cycles(0.4초)로 하고 1상 재폐로의 경우 48cycles(0.8초)로 한다. 리셋 시간은 1분이며 수신단 차단기는 3상 재폐로시만 동기 검출 후 재폐로를 수행한다. 이상의 기준을 적용하여 표 2와 같은 세부 훈련 코스를 구성하였다. 시뮬레이션을 위한 구성은 다음과 같이 크게 두 부분으로 나뉘어

각각의 절차를 통해 이루어진다.

① 실제 거리계전기를 이용하여 모의한 경우: 154kV 계통 재페로 (Case1-3)

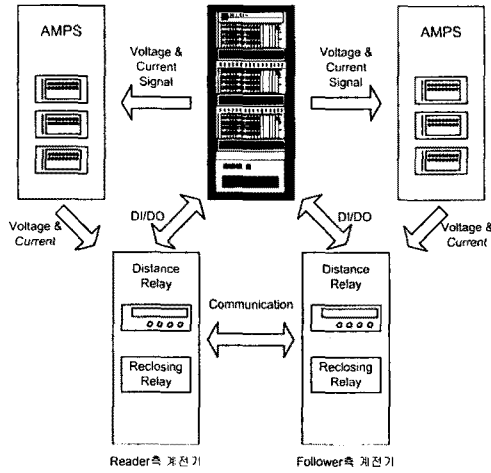
단계 1) 사용자는 RSCAD/EMTDC 소프트웨어를 통해 RTDS 시뮬레이터에 각 계통 및 제어 회로를 구성하여 실행한다.

단계 2) RTDS는 증폭기(amp)를 통해 거리 계전기에 변류기(CT 및 PT) 2차측의 실제 계통 전압 및 전류 신호를 전달한다.

단계 3) 거리 계전기는 고장을 감지하여 차단기에 트립(trip) 신호를 전달하며 RSCAD/EMTDC 내부의 차단기 모델이 응답한다.

단계 4) 차단기의 동작을 감지한 재페로 계전기가 전압 및 위상 동기, 재페로 횡수 및 리셋 시간등을 고려하여 차단기에 재투입(reclosing) 신호나 로크아웃(lock-out) 신호를 전달한다.

이상의 절차를 그림 2에 도시하였다.



<그림 2> 재페로 훈련 코스 개발을 위한 장치 구성

<표 2> 모의 훈련코스 구성

훈련 Case	전압 kV	고장 종류	고장 양태	재페로 방식	모의 절차
1	154	1선 지락	일시	3Φ 일괄	3상 재페로 성공 후 reset 시간 내 일시고장 재발생
			영구		3상 재페로 성공 후 reset 시간 후 영구고장 재발생
			재페로 후 로크아웃		
2	154	2선 단락	일시	3Φ 일괄	1-1과 동일 절차임
			영구		1-2와 동일 절차임
			1-3과 동일 절차임		
3	154	3선 단락	일시	3Φ 일괄	1-1과 동일 절차임
			영구		1-2와 동일 절차임
			1-3과 동일 절차임		
4	345	1선 지락	일시	1Φ+3Φ	1상 재페로 성공 후 reset 시간 내 일시고장 재발생
			영구		1상 재페로 성공 후 reset 시간 후 영구고장 재발생
			1상 재페로 후 로크아웃		
5	345	2선 단락	일시	3Φ 일괄	1-1과 동일 절차임
			영구		1-2와 동일 절차임
			1-3과 동일 절차임		
6	345	3선 단락	일시	3Φ 일괄	1-1과 동일 절차임
			영구		1-2와 동일 절차임
			1-3과 동일 절차임		
7	154	1선 지락	일시	3Φ 일괄	위상 동기검출 실패(재페로 실패)
			영구		위상 동기검출 실패(재페로 실패)
			일시		위상 동기검출 성공(위상 동기 기준값 조정)⇒1회 재페로 성공
8	154	2선 단락	일시	3Φ 일괄	위상 동기검출 성공(위상 동기 기준값 조정)⇒1회 재페로 후 로크아웃
			영구		7-1과 동일절차임
			일시		7-1과 동일절차임
8	154	2선 단락	일시	3Φ 일괄	7-2와 동일절차임
			영구		7-2와 동일절차임

② RTDS 내부 소자를 이용한 거리계전기를 이용하여 모의한 경우: 345kV 계통 재페로 및 동기검출 실패 케이스(Case 4-8)

단계 1) 사용자는 RSCAD/EMTDC 소프트웨어를 통해 RTDS 시뮬레이터에 각 계통 및 제어 회로를 구성하여 실행한다.

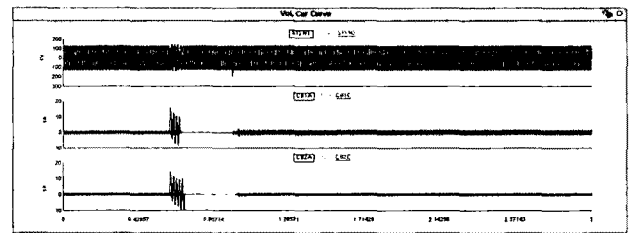
단계 2) RTDS는 내부 모듈을 이용하여 계통 전압 및 전류 신호를 이용한 임피던스 연산을 수행한다.

단계 3) 내부 거리 계전기 모델이 고장을 감지하여 차단기에 트립(trip) 신호를 전달하며 RSCAD/EMTDC 내부의 차단기 모델이 응답한다.

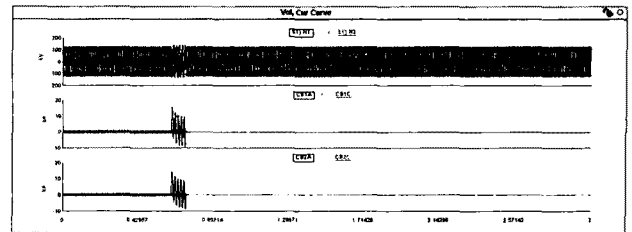
단계 4) 차단기의 동작을 감지한 재페로 계전기가 전압 및 위상 동기, 재페로 횡수 및 리셋 시간등을 고려하여 차단기에 재투입(reclosing) 신호나 로크아웃(lock-out) 신호를 전달한다.

#### 4. 훈련코스 모의 결과

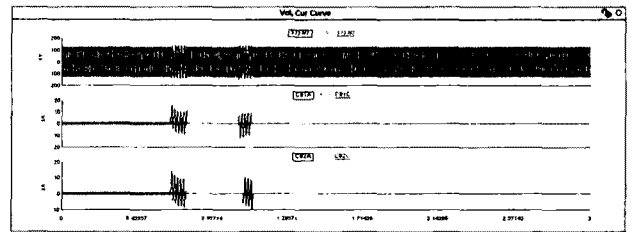
표 2의 훈련 케이스중 Case 1에 대한 모의 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)는 1선 지락 고장 발생 후 0.2초 동안 고장이 지속되며 차단기 트립 후 0.3초 후에 재투입이 되어 재페로가 성공한 것을 보여준다. 그림 3(b)는 그림 3(a)의 동작후 리셋시간 내에 고장이 다시 발생하여 차단기가 트립 및 로크아웃 상태가 되는 것을 보여준다. 그림 3(c)는 그림 3(a)의 동작후 리셋시간 후에 영구사고가 발생하여 1회 재페로 수행 후 로크아웃 상태가 되는 것을 보여준다.



(a) 일시사고 발생에 의한 재페로 성공



(b) 재페로 성공 후 리셋(reset) 시간내 일시사고 재발생



(c) 재페로 성공 후 리셋시간후 영구사고 발생

<그림 3> 모의 훈련코스 Case 1의 모의 결과

#### 3. 결론

본 논문을 통해 실시간 시뮬레이터를 활용한 154, 345kV급 송전계통상의 자동재페로 모의 훈련코스를 개발하였다. 각 훈련코스는 훈련생들에게 현재의 국내 자동재페로 방식을 이해하고 체험할 수 있도록 국내의 재페로 기준에 맞추어 구성되었다. 또한 훈련생들이 각 재페로 파라미터를 가변하여 모의할 수 있도록 구성하였다. 본 논문에서 제시한 모의 훈련코스를 사용하여 계통 운전원이나 전력기술인들의 교육 도구로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

#### [참고 문헌]

- [1] 전력계통보호기술연구회, Computer relaying(제 7회 하계 교육강좌 자료), 1997년.
- [2] 유상봉 외, 보호계전 시스템의 실무활용기술, 기타리, 2000년.
- [3] 김호표 외, 전력계통보호(I), 한국전력공사 중앙교육원, 2002년.
- [4] Peter Rush et al., Network protection and automation guide, Alstom, July 2002.