

전력계통 시뮬레이터를 이용한 교육 훈련 코스 개발

최준호 신정훈 김태균 곽방명
 한국전력공사 전력연구원

The development of training courses using real time digital simulator(RTDS)

Joon-Ho Choi Jeong-Hoon Shin Tae-Kyun Kim Bang-Myeong Kwak
 KEPRI

Abstract - This paper presents the development of the training courses using real time digital simulator (RTDS). This training courses for the engineers who are working at power system field are expected to be developed the sixteen courses. We describe the developed five courses in this paper which are protective relay testing, voltage compensation using a voltage compensator such as SVC and capacitor, the restoration of power for KEPCO system, phase unbalance simulation of transmission lines and harmonic analysis. We also describe the benchmark system composed of six buses with three machines for the KEPCO system to verify the power system analysis.

1. 서 론

우리나라 전력계통은 매년 10%이상의 부하가 지속적으로 증가하는 대규모 계통으로써, 최근 전력산업의 구조가 경쟁적으로 변모함에 따라, 설비 투자비의 절감과 설비 이용률 향상을 통해 전력산업의 경쟁력을 확보할 필요성이 대두되고 있다. 또한, 최신 설비 및 제어기술이 도입됨에 따라, 전력계통 해석의 신뢰성을 제고하기 위한 전력설비의 고정밀 모델 개발 및 적용이 절실히 필요하다. 아울러, 이러한 전력산업 및 전력계통 구조의 변화에 능동적으로 대응하여 전력계통의 안정화를 도모하기 위해서는 고도의 능력을 보유한 우수인력 양성이 절대적으로 필요하며, 실시간 시뮬레이터(RTDS)와 연계되어 종합적인 실무훈련이 가능한 교육 및 훈련 시스템의 개발로 전력계통 실무에 적용, 가능한 교육 및 훈련 시스템의 개발을 통하여 전력계통 실무에 직접 활용 가능한 고급기술의 공유가 필요하다. 이에 고정밀 전력계통 설비 모델을 개발하고, 전력계통 교육 훈련 시스템 구축을 위해 개발된 SVC 등 전력보상기기를 이용한 전압보상 훈련, 전력계통 정전복구 방법, 상불평형 현상 모의, 고조파 모의 훈련 코스, 보호계전기 훈련코스 등 5개의 훈련 코스에 대해 상술한다.

2. 개발된 훈련코스

2.1 전압보상 훈련코스

커패시터 뱅크의 기본적인 특성을 이해하고, RSCAD/RTDS를 이용한 커패시터 뱅크 동작 특성 모의를 위해 전압 보상을 훈련한다.

2.1.1 훈련절차

그림 1과 같이 154kV, 60Hz의 1기 무한 모선에 부하 용량 114MVA, 역률 0.6의 부하로 구성된 계통에 스위치드 브랜치 모델을 이용하여 커패시터 뱅크 투입시 계통에 미치는 영향을 알 수 있다.

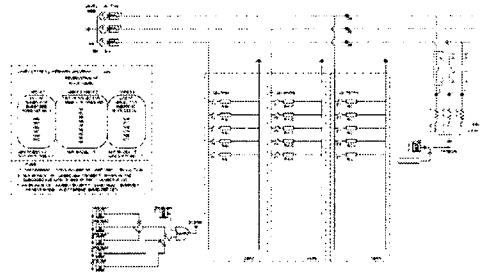


그림 1. Capacitor를 통한 전압 보상 훈련 회로도

2.1.2 모의

런타임 모드에서 정상상태를 확인하기 위해 전압을 확인하는데 실제 부하에 걸리는 전압은 149kV로 소스 임피던스 때문에 삼상 전압원에서 공급하는 전압보다 낮다. 커패시터 투입을 위해 스위치 SWBANK1을 ON으로 조작하고 전압의 변화를 관찰 하면 30MVAR(3 μ /Bank)를 투입했을 때 전압은 그림 2와 같이 147kV에서 149kV로 상승함을 볼 수 있다.

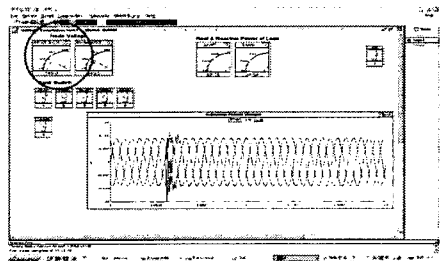


그림 2. 30Mvar 3상뱅크 투입시 모션 전압

2.2 고조파 훈련코스

RTDS를 이용하여 고조파 특성을 익히고, 다양한 수동 필터의 설계방법(R,L,C 계수계산) 훈련 등을 수행하여 고조파 해석 및 대책에 대한 이해를 훈련한다.

2.2.1 훈련절차

수동필터에 의한 고조파 성분 제거를 모의하기 위한 계통도를 구성한다. 각 조파별 고조파 전류원은 RTDS가 제공하는 함수발생기(function generator)를 사용하여 고조파 차수에 해당하는 크기, 주파수를 입력하고 위상은 모든 차수가 동시에 시작하도록 모두 0으로 설정한다. 계통의 Fourier 분석을 통해 계통 내에 흐르는 전류에 3, 5, 7, 11, 13, 17 조파의 고조파가 있음이 확인하고, 이 고조파를 제거하기위해 각 고조파 차수에 대한 그림 3과 같이 동조필터를 사용한다.

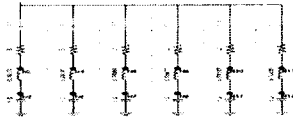


그림 3. 각 차수별 동조필터

2.2.2 모의

아래 그림 4는 필터에 의해 고조파 성분이 제거되어 기본파 성분만 계통에 흐르는 Runtime 결과이다.

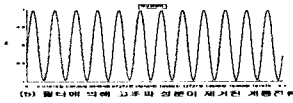


그림 4. 동조필터링 후의 결과

2.3 계통복구 훈련코스

계통복구 훈련코스는 KPX에서 작성한 전계통 또는 광역정전 시 계통 복구 절차에 대하여 전력계통 운영 실무자들이 실시간 시뮬레이터(RTDS) 모의를 통한 계통 복구를 수행할 수 있도록 훈련한다.

2.3.1 훈련절차

제주 지역을 제외한 경인북부(주선로, 예비선로), 경인남부(주선로, 예비선로), 영동(주선로, 예비선로), 중부(주선로, 예비선로), 영남(주선로, 예비선로), 호남의 지역별 시송전 선로의 계통 데이터를 PSS/E 입력 데이터로 작성하고 이를 PSS/E-RTDS간 데이터 변환 프로그램을 사용하여 RTDS draft파일로 변환한다. 변환된 시송전선로에 한국전력거래소(KPX)의 전계통 정전시 복구계획에 따라 지정된 황색차단기, 부하, Shunt Reactor를 추가하고 계통복구 모의 시 모선 및 선로 가압을 위한 차단기와 변압기 Tap 제어장치를 추가하였다.

2.3.2 모의

KPX가 제시한 복구 절차대로 RTDS로 모의한 결과 시송전시 계통이 과도적으로 안정하게 복구됨을 알 수 있었다. 그림 5는 한 예로, 경인북부지역 주선로 시송전 계통 모의 결과로서 청평수력 시송전 가압 후 서인천 복합기동전력 공급시 과도상태에서 안정적으로 계통이 가압됨을 나타내는 결과이다.

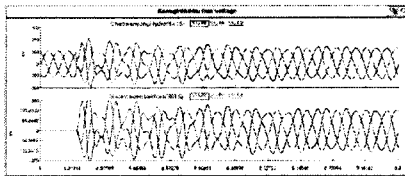


그림 5. 서인천 복합 모선 가압 및 기동전력 공급시의 계통 파형

2.4 송전선로 상불평형 모의 훈련코스

송전선로 상불평형 모의 훈련은 상불평형을 방지하기 위한 연가(Transpose)에 따른 선로의 불평형 임피던스가 전체 계통의 불평형에 미치는 영향을 훈련하기 위하여 국내 765 kV 비연가 선로를 대상으로 불평형 정도를 모의하고 또한 완전연가시와 비교하여 선로의 비연가시에 계통에 미치는 영향을 훈련한다.

2.4.1 훈련절차

RSCAD상에서 T-Line 모듈을 실행하여 선로 정수를 계산하기 위하여, 선로의 물리적 배치 및 도체의 전기적 데이터 등을 입력한다. 765kV 선로의 데이터입력을 완료

한 후, 계산을 실행시킨다. 그런 후에, 그 결과를 RTDS의 송전선로 데이터 파일로 저장한다. 그리고 그림 6과 같이 2007년 계통을 기준으로 765kV 송전선로 불평형 모의 훈련을 위한 대상 계통을 생성한다.

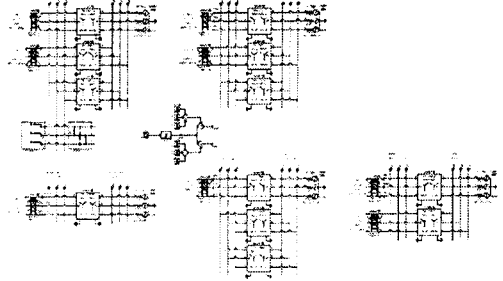


그림 6. 765kV 선로 계통 Draft 창

2.4.2 모의

본 모의계통에서 T-Line을 연가/비연가시 송전선로 파일(.lib)을 바꾸어 가며 모의한 결과 그림 7에서 알 수 있듯이 선로의 비연가로 인한 불평형은 모선전압에는 크게 영향을 미치지 않지만, 선로 전류에 불평형 전류가 흐르고 있음을 알 수 있다.

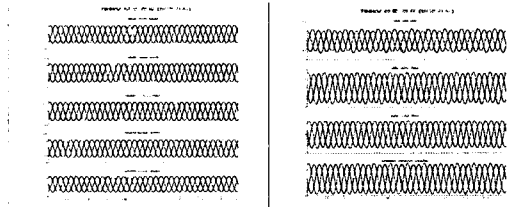


그림 7. 765kV 정상상태 모선 전압/전류(비연가시)

2.5 보호계전기 시험 훈련코스

송전선로 보호방식에 대한 기본적인 이해와 PCM전류차동계전기의 알고리즘과 동작특성을 이해하고 RTDS의 CC(Control Component) 모델을 이용한 디지털 PCM비율차동 계전기의 알고리즘을 구현하여, 송전선로 보호계전기의 동작특성을 이해하는 것을 목적으로 훈련한다.

2.5.1 PCM 전류차동계전기의 동작특성 시험

아래 표 1은 RTDS를 이용한 전류차동계전기의 동작특성 시험절차를 표로 정리한 것이다.

표 1. PCM 전류차동계전기의 동작특성 시험 순서

구분	순서	내용	사용 Tools
필터	1	디지털필터를 MathCad로 구현	MathCad
	2	전류차동알고리즘을 MathCad로 구현	MathCad
	3	MathCad로 구현된 디지털 필터들을 RSCAD/RTDS로 구현	RSCAD
계전 알고리즘	4	MathCad로 구현된 계전알고리즘들을 RSCAD로 구현	RSCAD
	5	기타 차단로직과 고장로직을 작성	RSCAD
	6	RUNTIME에서 감시할 변수들을 지정하며 억제요소와 동작요소들 X-Y Plot기능을 이용하여 지정	RSCAD
내부 고장	7	0.01Ω의 내부고장을 일으켜 알고리즘의 요소별 상태를 감시하고 차단기의 동작상태를 기록하며 억제영역과 동작영역의 X-Y Plot에서 고장영역이 어느위치에 있는지 평가	RSCAD
	8	내부고장시 고장저항값을 줄가시켜가며 반복시험을 실시하여 계전기가 동작하지 않을 때의 고장저항값을 기록하고 고장보호보능력을 평가	RSCAD
외부 고장	9	0.01Ω의 외부고장을 일으켜 알고리즘의 요소별 상태를 감시하고 차단기의 동작상태를 기록하며 억제영역과 동작영역의 X-Y Plot에서 고장영역이 어느위치에 있는지 평가	RSCAD

2.5.2.1 송전선로 보호용 거리계전기 코스

거리계전 알고리즘을 RTDS의 CC모델을 이용하여 디지털 필터, 영상보상, 거리계전 임피던스 계산, 고장판단회로, 차단기의 차단로직, 보호영역 구간 판정, 거리계전기 정정 등에 해당되는 부분을 구현 한다.

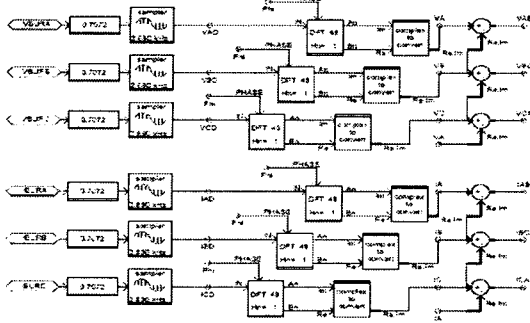


그림 8. 거리계전 알고리즘 구현 (필터, 전류, 전압 연산)

2.5.2.2 거리계전기 모의

RTDS CC 모델로 구현된 거리계전 임피던스를 검증하기 위해 50%지점에서 지락고장을 발생시켜 거리계전기가 Zone 1으로 동작하는지를 확인할 수 있다.

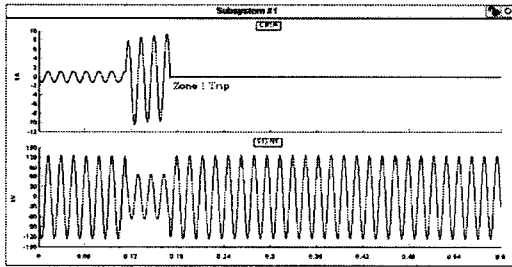


그림 9. Zone 1지역 50% 지락고장시 전압, 전류

2.6 3기 6모선 벤치마크 계통 개발

벤치마크 계통 모델 개발은 기존 모델을 분석하여 3기 9모선 규모의 모델의 개발을 기본 방향으로 하여 한전 실 계통의 데이터를 이용해 각 모선의 발전 및 부하 특성과 송전 선로를 통한 조류 특성을 모델링 하는 것으로 아래와 같이 벤치마크 모델 개발하였다.

2.6.1 모델 구성

실 계통의 조류 계산 데이터와 계통 데이터의 특성을 비교하여, 한국 계통의 주요 특징인 발전량과 수요지의 지역적 편재와 복상선로를 통한 대규모 원거리 송전 등의 특성은 목적한 대로 벤치마크 모델에 반영되도록 모델링 하였다.

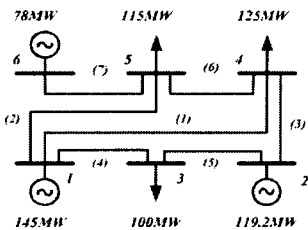


그림 10. 벤치마크 모델 계통도

아래 표 2는 벤치마크 모델의 선로 데이터이다.

표 2. 벤치마크 모델 선로 데이터

선로 번호	1	2	3	4	5	6	7
from 모선 번호	1	1	2	1	2	4	5
to 모선 번호	4	5	4	3	3	5	6
선로의 저항(R)	0.00030	0.00160	0.00032	0.00300	0.00300	0.00130	0.00130
선로의 리액턴스(X)	0.00740	0.02800	0.00840	0.05100	0.05100	0.01300	0.01300
선로의 정전용량(B)	0.41500	0.06700	0.04700	0.01260	0.01260	0.02100	0.02100
1차 전류 허용용량	7290.00	2220.00	7290.00	2220.00	2220.00	1110.00	1110.00
2차 전류 허용용량	8748.00	2664.00	8748.00	2664.00	2664.00	1332.00	1332.00
3차 전류 허용용량	10932.0	3330.00	10932.0	3330.00	3330.00	1665.00	1665.00
선로의 길이	140	110	160	200	200	40	40

2.6.2 복상조류 모의

복상 조류는 1번 발전 모선과 2번 발전 모선에서 4번, 5번 부하모선으로의 조류의 합이 된다. 이는 해당 모선들이 발전 모선의 경우 남부의 대표적인 발전 설비를 의미하며, 부하 모선의 경우 서울 및 수도권의 집중된 전력 수요를 의미하도록 모델링하여, 한전의 2007년 실제 통에서의 복상 조류의 특성을 반영되도록 진행하였다.

표 3. 계통해석 이론 검증용 벤치마크 모델 조류계산 결과

from	to	유효 전력 (MW)	무효전력(MVR)
1	3	49.9	8.9
1	4	64.9	8.9
1	5	21.0	5.5
2	3	50.3	8.9
2	4	59.7	5.3
4	5	8.5	7.7
6	5	74.5	13.9
6	1	1.5	-6.4

3. 결 론

본 논문에서는 실시간 시뮬레이터와 연계된 전력계통 분야 훈련코스 개발을 위하여 고조파 모의, 계통복구(전계통), 전압보상, 송전선로 상간 불평형 모의, 보호계전기 등 5개의 훈련코스를 개발 내용에 대해 기술하였으며, 전력계통 벤치마크 시스템 개발에서는 계통해석 이론 검증용 벤치마크 모델로서, 조류계산, 안정도 해석, 고장계산 등을 모의해 볼 수 있는 벤치마크 계통을 개발하였다. 이 벤치마크 모델은 한국의 실제 계통 특성을 반영하여 개발되었는데, 특히 우리나라 계통에서 존재하는 수요지와 공급지의 원거리 특성, 대규모 복상 조류가 존재하는 특성 등을 반영하였고, 실제 계통에서 쓰이는 데이터를 활용하였다. 본 연구에서 개발된 벤치마크 모델은 산업계와 학계의 검증을 거쳐 수정 보완될 것이며, 최종적으로 한국형 벤치마크 모델로 발전될 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부지원 전력산업기술개발사업에 의해 수행된 연구 결과의 일부임.

[참 고 문 헌]

- [1] "고정밀 전력설비 모델링 및 교육, 훈련시스템 개발" 전력산업기반기금 과제 1차년도 중간보고서
- [2] RSCAD/RTDS User's Manual
- [3] ABB's Line distance protection Application Manual