

전력계통 해석용 시뮬레이터 성능향상 및 설치시험

윤용범*, 김태균, 김기동, 전동훈, 신정훈, 김용학, 박시우, 차승태
 한전전력연구원 전력계통연구실 계통안정화그룹

Improvement and Installation Test of a Power System Simulator

Y.B.Yoon*, T.K.Kim, K.D.Kim, D.H.Jeon, J.H.Shin, Y.H.Kim, S.W.Park, S.T.Cha
 KEPRI of KEPCO

Abstract - KEPRI successfully developed and installed RTDS(Real-Time Digital Simulator) during March 2001. The simulator will be used to study interactive simulation of electromagnetic & electromechanical and validation of protective & control systems. In this paper, the authors will present an overview of real-time digital simulator and its characteristic features. Special emphasis will be placed to the installation test results. This paper also addresses some key issues on the accuracy, reliability, flexibility and its practical uses for real-time power simulation.

전전력연구원에서는 한전계통의 HVDC, SVC 운전 및 FACTS개발을 시점으로 하여 고도의 전력계통 해석기술 확보를 통한 전력환경변화에의 능동적 대처, 그리고 계통운전원의 교육·훈련, 국내 전력계통 기반기술 축적으로 위하여 "전력계통 해석용 시뮬레이터 개발 및 설치" 연구('98.3~'01.10) 수행중에 있으며 최근 설치시험을 완료하였다. 이에 본 논문에서는 시뮬레이터의 기본기능과 함께 특징, 그리고 설치시험 결과를 소개하였다.

1. 서 론

전력수요의 증가와 함께 전력계통은 대규모화되고 있을 뿐만 아니라 전력계통 운용의 경제성과 신뢰성 확보측면에서 FACTS(Flexible AC Transmission System) 등과 같은 새로운 기능의 제어·보호기들이 계속적으로 설치, 운전되고 있어 이의 효율적 운용기술은 새로운 과제로 부각되고 있다. 또한 전력에너지 운용에서의 경쟁시장 도입으로 인하여 기존의 계통운용 체제에 많은 변화가 예상되고 있어 이에 대한 기술확립이 시급한 실정이다. 위와 같은 전력수급 및 운용에 관한 환경변화로 인하여 전력설비의 운전점이 점차 한계용량에 근접하는 등 전력계통 운용제약은 더욱 심화되고 경제적·안정적 전력공급에 대한 사회적 관심은 더욱 높아질 전망이다. 이에 대한 기술적 대책으로는 정확한 전력수요 예측을 바탕으로 한 적기의 전원설비 확보, 그리고 이의 효율적 운용을 통한 고품질의 전력공급으로 대별할 수 있는데 그 기본이 되는 기술이 전력계통 해석기술이다. 발전설비, 송변전설비, 그리고 배전설비로 구성되는 전력계통은 특성상 전국에 분산, 노출되어 있어 사고의 가능성을 배제할 수 없을 뿐만 아니라 일단 사고가 발생한 경우 전력계통에 나타나는 현상은 고장조건이라든지 주변의 전력제어·보호기기 특성에 따라 그 특성이 시간에 따라 다양하게 나타나게 된다. 이와 같은 전력계통 현상을 효과적으로 해석하기 위하여 각 전력설비를 대상시간 및 주파수 등으로 구분하여 수식적으로 모델링하고 이를 수치해석적으로 컴퓨터에 의하여 계산함으로써 계통해석을 수행하게 된다. 또한, 새로운 성능의 제어·보호기기를 개발 또는 도입하여 전력계통에 설치, 운전코자 할 때, 실제 전력계통을 대상으로 시험을 하는 경우 대규모 정전이나 기존 운전설비의 트립(Trip)과 같은 위험이 있으므로 이에 대한 대체수단으로 전력계통 시뮬레이터가 세계 주요전력회사 및 관련연구소, 전력기기 제작사에서 사용되고 있다[1,2]. 국내에서도 학계 및 연구소, 산업체를 중심으로 전력계통 해석프로그램과 시뮬레이터를 자체개발 또는 도입하여 소규모 전력계통 해석이나 보호기기 실험에 활용하고 있는 실정이다. 이와 관련하여 한

2. 본 론

2.1 시뮬레이터 개발 및 기능개선, DB구축

1970년대에 개발된 EMTP로 디지털컴퓨터를 이용한 전력계통 과도현상 해석이 보편화되었으나 EMTP를 포함하는 여러 비실시간 시뮬레이션 프로그램들은 1초 동안의 현상을 모의하는데 수분 내지 수시간을 요구하게 되어 실제 제어·보급기의 페루우프 시험을 불가능하게 한다. 따라서 전력계통에서 발생하는 현상을 실시간으로 모의할 수 있는 실시간 시뮬레이터의 필요성이 대두되었고 TNA와 같은 축소된 전력계통 모형을 이용한 아날로그형 시뮬레이터가 전력계통의 전자기 과도현상을 실시간으로 해석하는데 사용되어 왔다. 이어서 아날로그와 디지털화된 부분을 동시에 채용한 하이브리드형 시뮬레이터를 거쳐 디지털형 시뮬레이터가 개발되었는데 이는 실시간으로 전자기 과도현상을 모의해석하기 위하여 특별히 고안된 일종의 컴퓨터라 할 수 있다. 그중 대표적인 RTDS(Real Time Digital Simulator)는 크게 H/W와 S/W로 구성되며 H/W는 DSP로 구성되어 병렬처리에 의한 고속연산을 수행하게 된다. 그리고 S/W는 실제 전력계통 구성설비들의 모델링을 위한 단위요소 모델들을 내장하고 있는데 사용하고 있는 기본적 회로연산 방식은 Dommel알고리즘에 기초한 Nodal 해석방법이다. 또한 RTDS S/W는 PSCAD라고 부르는 강력한 GUI를 이용하여 사용자가 해석계통을 구성하고 수행, 분석할 수 있다.

2.1.1 전력계통 실시간 시뮬레이터 개발

캐나다 RTI에서 개발한 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 기본 구조로 하여 총26랙 규모의 시뮬레이터를 그림1과 같이 개발하였으며 단계별 추진현황을 표1과 같다.

표1. 단계별 전력계통 시뮬레이터 개발현황

단계	1단계 (기본모듈)	2단계 (부가모듈)	3단계 (확장모듈)	4단계 (종합연결)
개발규모	8랙	8랙	10랙	26랙
완료시기	'99.6	'00.1	'00.6	'00.11

여기서 랙이란 그림2에 나타난 바와 같이 시뮬레이터를 구성하는 기본단위로서 1랙에는 다음과 같은 역할을

담당하는 13개의 3PC, 2개의 IRC, 1개의 WIF Card로 구성된다.

- 3PC Card : 수치적인 계산을 담당하는 카드로

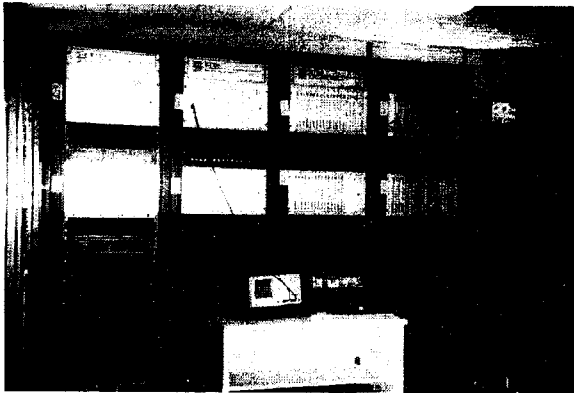


그림1. 전력계통 시뮬레이터 실체도

SHARC 21062프로세서 3개가 내장되어 있다.

- IRC Card : 랙간 통신을 담당하는 카드
- WIF Card : 시뮬레이터를 총괄하는 워크스테이션과의 통신을 담당하는 카드

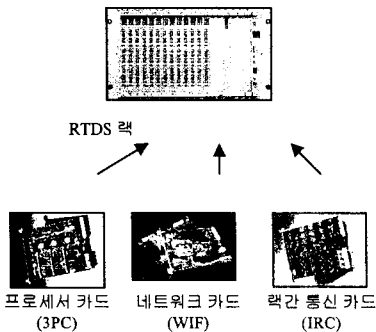


그림2. 전력계통 시뮬레이터의 랙(Rack) 구성

2.2 시뮬레이터의 성능향상

2.2.1 네트워크 구성자동화 시스템 개발

입력의 랙에 있는 프로세서에서 생성되는 신호를 지정된 랙의 프로세서에서 출력되게 함으로써 이미 결선된 외부시험 회로를 변경하지 않고도 연속적인 모의가 가능하도록 하는 네트워크 구성자동화 시스템을 개발하였다.

2.2.2 전력계통 해석용 추가모델 개발

보다 다양한 계통해석을 위하여 다음과 같은 모델들을 개발, 추가하였다.

- 1차에너지계통
 - 부하모델
 - ZIP
 - 다항식, 지수함수
 - 주파수의존
 - 시가변
- FACTS모델
 - HVDC, SVC
 - TCSC, STATCOM, UPFC
- 보호계전기 모델

- 거리 Ry, 탈조 Ry, 방향지락 Ry 등 12종 상기 모델들중 과전압 계전모델을 그림3에 예시하였다.

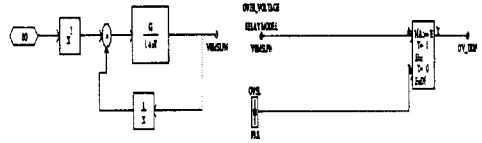


그림3. 시뮬레이터용 과전압계전 모델

2.2.3 계통 축약 프로그램 개발

본 연구에서 개발한 26백규모의 시뮬레이터서 모의할 수 있는 계통규모는 당초에는 발전기 30기로 예상했으나 개발기간중의 H/W의 성능향상과 함께 Step-up 변압기와 발전기를 하나의 모델로 결합하는 등의 개선으로 인하여 설치시험결과 모의가능계통이 발전기 80기를 포함하는 360모선계통으로 증가하였다. 따라서 과도한 계통축약없이도 한전계통모의가 가능하여 졌으며 이를 고려하여 방사상 계통을 등가부하로 처리하는 계통축약 프로그램을 개발하였다.

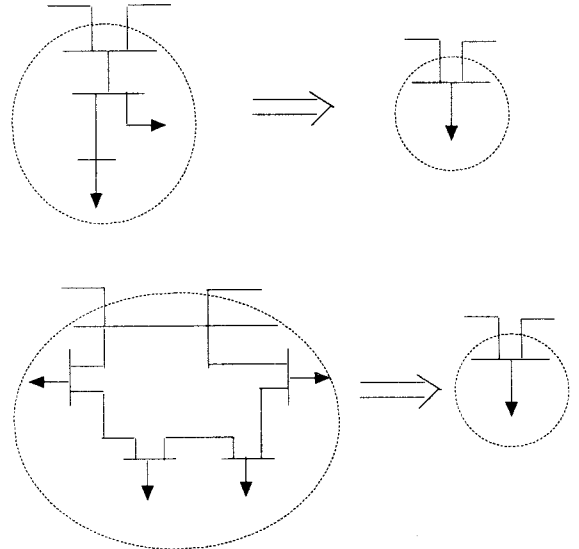


그림4. 계통축약 개념도

2.2.4 계통행렬 실시간 연산 알고리즘 개발

전력계통에 고장이 발생하여 차단기가 동작하고 이에 따라 계통구성상태가 변하는 경우를 실시간으로 모의할 때, 계통구성과 관련된 대규모 행렬의 역행렬을 일정 시간 이내에 계산하여야 한다. 지금까지는 이와같은 고속계산이 불가능하여 오프라인으로 미리 계산해 저장했다가 필요시 사용하는 방식이었다. 그러나 본 연구에서는 계통행렬의 구조적 특성을 이용한 Cholesky 알고리즘을 이용하여 역행렬 계산을 실시간으로 가능토록함으로써 차단기의 제약을 해소하였다.

2.2.5 계통현상 시각화 프로그램 개발

본 프로그램은 전력계통 특성자체에 대한 이해기반을 높이기 위하여 개발되는 것으로서 흔히 학교나 실무에서 교과서 중심으로 전력계통 관련 교육이 진행됨으로 인한 개념파악 어려움을 해결하기 위하여 활용될 예정이며 주요내용은 다음과 같다.

- 1기무한대 계통에서의 발전기 동요현상
- 다기계통에서의 발전기 동요현상
- P-V곡선의 시각화
- 운전점 변화에 따른 운전점의 안정/불안정 이동 현상
- 축 비틀림 현상
- 송전선로 과부하
- 주파수 변동현상
- 고조파 현상

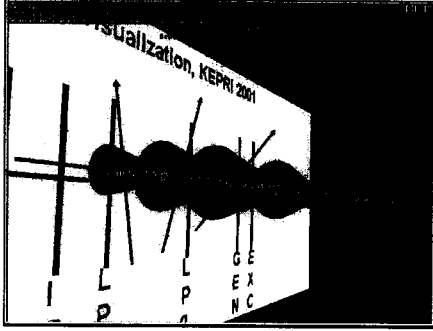


그림5. 축비틀림 현상 시각화

2.2.6 교육훈련용 프로그램 개발

전력계통 공학의 웹기반 설계 및 이를 기반으로 한 프로그램 개발이 주요내용으로서 전력계통 초보자의 교육훈련에 활용될 예정이다. 현장감 있는 사진과 풍부한 그림을 위해 자바스크립트를 사용하여 학습자가 기대한 학습목표를 달성하도록 흥미와 호기심을 동시에 유발하게 구성하고 있다. 이것은 효과적인 학습동기 유발과 학습-교수과정동안 학습에 대한 주의를 유지시켜 학습효율을 극대화시키는데 그 목적이 있으며, 주요내용은 다음과 같다.

- 전력계통의 기본구성
- 한전계통의 이해
- 전력계통 설비 모델링
 - 발전기
 - 송전선로
 - 변압기
 - 부하
 - FACTS
 - 여자제어시스템
- 조류계산
- 경계급진
- 최적조류계산
- 주파수 제어
- 전압제어

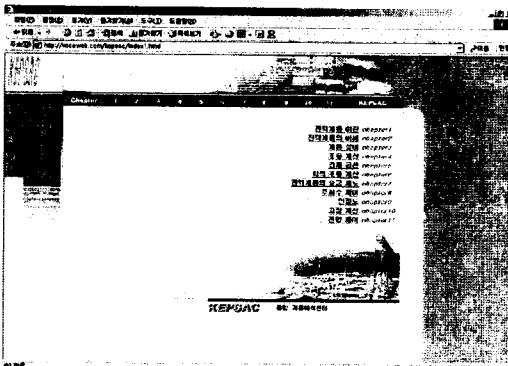


그림 6. 교육훈련시스템 초기화면

또한 산·학·연에서 본 시뮬레이터를 활용요자 하는 경우 용이하게 데이터를 입력, 모의, 해석할 수 있도록 사용난이도 별로 훈련교재를 개발하였다.

- 훈련과정 I (초급)
 - PSCAD/RTDS Tutorial
 - Control Compiler 구성 및 조작
 - UDC 모델개발
 - Batch Mode 운용
 - 전력계통 안정도 해석 I
 - 전력계통 안정도 해석 II
- 훈련과정 II (중급)
 - 외부기기 접속 시험I
 - FACTS 응용기초
 - SSR 해석
- 훈련과정 III (고급)
 - 외부기기 접속시험 II
 - 전력계통 안정도 해석 III
 - 대규모 계통모의
- FACTS 해석
 - HVDC
 - SVC

2.3 전력계통 해석 데이터베이스 개발

2.3.1 데이터베이스 설계 및 구축

전력계통내에서 발생하는 각종 현상을 해석하고 분석하는 실시간 시뮬레이터 및 관련 프로그램에 필요한 2010년 기준 한전 전력계통의 데이터베이스를 설계하는 것이 주목표이다.

2.3.2 발전기 특성시험 및 DSM에 의한 자료취득

보다 현장감 있는 계통해석 데이터 확보를 위하여 발전기 및 제주-해남 HVDC, 교류계통을 대상으로 특성시험뿐만 아니라 동요현상을 실측(DSM:Digital System Monitor 이용)하고 이를 지속적으로 분석하고 있다.

2.4 전력계통 시뮬레이터 설치시험

시뮬레이터 설치시험은 '01. 2.12~3.17 동안 전력연구원에서 진행하였다. 본 시험은 우선 시뮬레이터 자체의 H/W 및 운용S/W를 시험을 하고 이어서 각종 모델의 정확도 시험, 그리고 주변S/W 및 대규모 계통적용 시험으로 진행되었다.

2.4.1 H/W 및 S/W 시험

- 개별 랙 및 랙간 연결시험
- IRC, DAC-12 등 컨버터 시험
- 디지털 I/O 시험
- 광절연 연결장치 시험
- DITS

2.4.2 내장 모델 시험

- 전압원 시험
- 변압기 시험(단상2권선, 3상단권 등)
- 송전선로(집중정수, 분포정수)
- 조속기(BBGOV1 등 9종)
- 여자기/PSS
- ZIP 부하모델

2.4.3 주변S/W 시험

- Database
- Case 관리
- 계통축약
- 데이터 변환
- 계통현상시각화

2.4.4 대규모 전력계통 적용시험

- 정상상태 모의

- 전압안정도
- 과도 안정도
- 고장해석
- PSS 적용효과
- 변압기 돌입전류
- SSR 현상
- 50 microsec time step

시뮬레이터 H/W 및 S/W 시험에서는 양호한 결과를 얻었으나 일부 내장모델들에 대해서는 PSS/E와 비교해 볼 때 상이한 결과를 보이고 있어 이에 대한 분석을 진행중에 있다. 또한 대규모 전력계통 적용시험에 있어서도 PSS/W를 벤치마크로 하여 설치시험을 수행하였으며 일부 오차가 발생하는 사항들에 대해서는 개선 및 보완연구를 진행하고 있다.

27151.30156 Relative Angle (YNGKNG 250 BUS CASE)

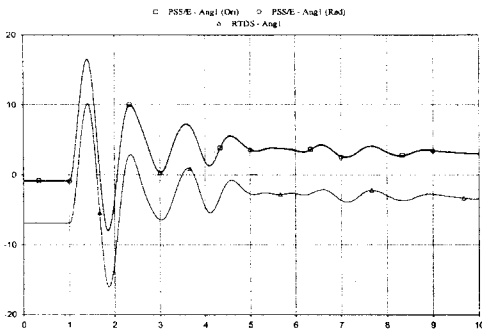


그림7. 안정도 해석결과 비교

2.5 전력계통 해석센터 구축방안

상기와 같이 하여 개발된 전력계통시뮬레이터 및 관련 프로그램, 그리고 데이터베이스를 종합적으로 연계하여 전력계통 해석센터를 구축, 운용할 예정이며 주요인무를 포함한 향후 운용방안은 다음과 같다.

2.5.1 기본업무

본 계통해석센터는 전력계통 계획 및 운용의 합리화, 효율화를 도모하기 위한 중추적 기술개발조직으로 다음과 같은 업무를 담당할 예정이다.

- 사내외 전력계통해석 업무지원
- 신규개발 제어기 포함 관련 개발기술 검증시험
- 전력계통 기술인력의 교육 및 훈련
- 전력계통 기술역할에 홍보

2.5.2 주요 수행업무

시뮬레이터에 의한 주요수행업무는 다음과 같다

- 전력계통 계획 및 안정운용 방안 검토 지원
- 지역계통의 운전방안 및 정전계통의 복구방안 수립 지원
- HVDC, SVC, FACTS 등 고성능 제어장치의 개발 및 검증 지원
- 보호계전기, 초전도 안정화장치, 연료전지 등 효과 및 문제점 분석지원
- 전력계통 종합 데이터베이스 유지·보수
- 전력계통 기술습득, 운용기술 향상 및 훈련 지원

2.5.3 인력구성 및 임무

전력계통 해석센터의 임무별 인력구성은 그림8과 같다.

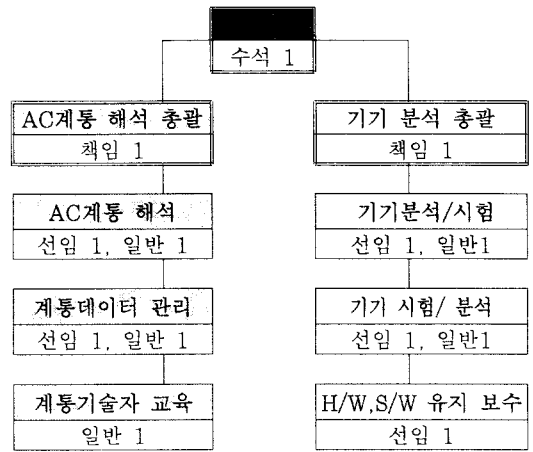


그림8. 전력계통 해석센터의 임무별 인력구성

3. 결 론

· 한전 전력연구원에서는 전력계통에서 발생하는 전자과도 및 전기기계적인 현상을 연속하여 모의함으로써 각종 이상현상 및 대책수립과 함께 보호·제어기기의 실제 통설치 전 성능시험, 산·학·연에서의 개발기술 시험이 가능한 실시간 전력계통 해석 시뮬레이터(RTDS : Real Time Digital Simulator)를 개발, 설치시험을 '01.3 완료하였다.

P

· 본 논문에서는 시뮬레이터의 기본기능과 함께 그 특징을 소개하고 설치시험결과를 중심으로 계산결과와 정확도와 운용상의 편리성, 그리고 시뮬레이터의 공동활용 방안을 제시하였다.

· 전력계통의 공급여건 다변화에 대비한 전력계통의 안정운전과 공급신뢰도 향상은 신기술 개발, 새로운 시각의 운전전략 수립 및 전문기술 요원의 확보가 뒷받침되어야 한다. 이러한 면에서 다음과 같은 기능을 가지는 전력계통 시뮬레이터는 기술개발과 계통운용 관련 요원 훈련을 위한 효율적 수단을 활용될 예정이다.

- 신기술이나 첨단장치를 실제계에 적용할 때 야기될 수 있는 예기치 못한 위험부담을 사전에 확인할 수 있는 실증시험 대체기능
- 전력계통붕괴 등 실제계통에서 직접적인 실험이나 실제 상황으로부터의 경험이 불가능한 수많은 기술상황을 모의 또는 재현함으로써 제반 불확실성에 대한 통계적 검증기능
- 실증시험 및 실제상황 재현을 통한 전문기술요원의 교육, 훈련기능
- 계통운용의 관련자료 수집, 정제, 한전 및 산·학·연 기술지원, 기술촉척 및 승계매체

[참 고 문 헌]

- 1) 전력계통 시뮬레이터 설치를 위한 기본계획 수립연구, KRC-91S-J03, 1993.9, 한전기술연구원
- 2) Site Visits illustrate advanced GRID DESIGNIEEE SPECTRUM, Dec. 1999, VOL36, NO 12
- 3) 전력계통 해석용 시뮬레이터 개발 및 설치, '99전력연-단 706, 1999.11, 한전전력연구원
- 4) 운용법, 추진부, "한전의 전력계통 시뮬레이터 개발 및 해석센터 구축", 대한전기학회지, '00.3