

전력계통해석용 시뮬레이터를 이용한 대규모 계통 모의

김용학*, 신정훈*, 박시우*, 강부일**
 전력연구원*, 한국전력공사**

Largest Equivalent System Using RTDS

Yong Hak Kim, Jeong Hoon Shin, Si Woo Park, Bu Il Kang
 Korea Electric Power Research Institute, Korea Electric Power Company

Abstract - 전력계통 실시간 시뮬레이터를 사용하여 대규모 계통을 모의한 사례를 제시하며 RTDS 26락을 사용하여 중부-호남지역 축약 계통을 기반으로 160모선, 발전기 41기 규모의 계통을 모의하였다. PSS/E 입력 데이터를 RTDS용 계통 데이터로 변환하고 계통 초기치로서는 PSS/E의 조류계산 결과를 이용하여 정상상태, 부하모선에 대한 부하변동, 계통에 사고 발생한 경우 전력계통의 과도현상 등과 같은 계통운전 특성을 시뮬레이터를 활용하여 모의할 수 있음을 확인하였다.

합하는 한전계통에 대하여 전력계통 시뮬레이터를 활용하여 계통분석을 도모하고자 발전기, 여자시스템, 송전선로 등과 같은 전력계통 컴포넌트를 RTDS용 모델로 개발하고 이들 모델을 사용하여 한전계통의 등가축약을 통한 등가계통 구성, 다양한 운전조건의 변화 및 전력계통 사고 등을 모의함으로써 전력계통 시뮬레이터의 활용성 및 계통모의 신뢰성을 검증하고자 한다.

2. 본 론

1. 서 론

산업의 발달과 국민 생활 수준의 향상으로 인하여 전력의 수요가 증가함에 따라 전력계통 규모의 증가와 전력 품질의 향상이 요구되고 있다. 그러나 환경문제와 계통설비를 위한 부지확보 등의 어려움으로 발전단은 부하밀집 지역에서 멀리 떨어진 장소에 위치하고 있어서 대용량의 발전단으로부터 대규모 전력 수송이 불가피한 실정이다. 이러한 계통의 취약한 구조는 주요선로의 사고 발생시나 대규모 발전단의 사고발생시 광역정전 등의 결과로 나타날 수 있다. 최근에는 공급신뢰도 향상 측면에서 계통구성이 다중 루프 형태로 구성되면서 일부 지역에서는 단락전류의 급격한 증대와 선로 과부하가 안전운용의 장애 요인으로 대두되고 있다. 또한 전력수급 및 환경변화로 인한 전력설비가 한계용량에 근접하여 운전하는 등 전력계통 운용의 제약은 더욱 가중되고 있으며 아울러 안정적인 전력공급에 대한 관심이 증가되고 있는 추세이다.

즉, 정확한 전력수요 예측을 바탕으로 최적의 시기에 전원설비 확보하고 이를 효율적 운용을 통하여 고품질의 전력을 공급할 필요가 있으며 이를 위해서는 실제계에 근접하여 전력계통을 구성과 신뢰도가 높은 전력계통 해석기술이 요구된다. 특히 발전설비, 송/배전설비로 구성되는 전력계통은 항상 사고의 가능성이 존재하며 사고발생시 전력계통에 나타나는 현상은 고장조건 또는 주변의 전력계/보호기기의 특성에 따라 다양한 현상으로 발생하고 있다. 따라서 이와같은 전력계통 현상을 효과적으로 분석하기 위해서는 각각의 전력설비를 수학적으로 정확히 모델링하는 기술이 요구되고 새로운 설비의 제어/보호기기를 개발하거나 도입하여 전력계통에 설치하여 운영하고자 하는 경우에 실제계를 대상으로 새로운 설비를 시험하는 것은 불가능하며 이러한 경우에 전력계통해석용 시뮬레이터를 활용하여 새로운 설비를 시험하게 되며 현재까지 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 HVDC, SVC, FACTS 설비 등을 포

2.1 등가계통의 규모

등가계통으로는 중부지역을 중심으로 하는 한전의 Benchmark 축약계통을 사용하였고 RTDS 전력계통 시뮬레이터를 이용하여 모의한 결과를 전력계통 해석을 위하여 사용되고 있는 PSS/E의 모의 결과와 비교검토하였다. 사용된 Benchmark 축약계통은 전력계통 시뮬레이터의 규모가 26락으로 한정되기 때문에 전력계통 시뮬레이터가 수용 가능한 모선수 이내로 축약계통을 구성하였다.

표 1. Benchmark 축약계통 규모

| | 원계통 | 축약계통 |
|------|------------|--------------|
| 모선 | 779 | 160 |
| 선로 | 1217 | 234 |
| 발전기 | 212 | 41 |
| 변압기 | 326 | 78 |
| 부하모선 | 613 | 86 |
| 발전량 | 38576.9 MW | 15862.0 MVar |
| 부하량 | 37953.2 MW | 15590.9 MVar |

표 2. Benchmark 축약계통에 사용된 설비 모델

| | 사용된 모델 |
|--------|--|
| 발전기 | GENROU(33), GENSAL(8) |
| 여자기 | IEET1(3), IEEX2A(2), EXAC1(2) EXST1(8), EXPIC1(2), SCRX(7), EXST3(12), EXAC3(2), EXAC1A(3) |
| 터빈-조속기 | TGOV1(11), GAST(2), HYG0V(8), IEESGO(1), IEEEG1(19) |
| PSS | IEE2ST(2) |

2.2 데이터 변환

시뮬레이션에서는 PSS/E로 구성된 등가 축약계통을 이용하였으므로 PSS/E 원시데이터를 PSCAD/RTDS

용 데이터로 변환하는 작업이 필요하고 이 작업은 사용자가 PSS/E 원시데이터를 이용하여 구성하며 그림 1은 데이터변환 과정 및 생성되는 파일을 보여준다.

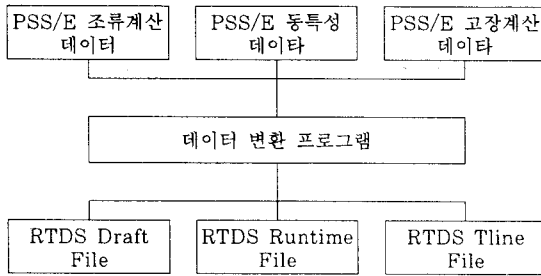


그림 1. 데이터 변환 및 생성 파일

또한 데이터 변환이 완료되면 RTDS 시뮬레이터 운영을 위한 초기 작업이 완료되었음을 의미하며 다음과 같은 서브시스템으로 구성된 PSCAD/RTDS Draft가 생성된다.

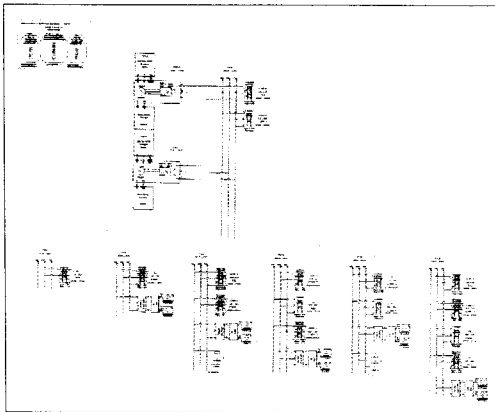


그림 2. PSCAD/RTDS Draft(Subsystem #1)

3. 전력계통해석용 시뮬레이터 이용한 계통모의

대규모 등가계통의 전력계통의 응답특성을 RTDS 전력계통 시뮬레이터를 이용하였고 시뮬레이션 결과의 정밀도를 확인하기 위해 정상상태, 운전조건의 변동, 상정 사고 검토 등을 통하여 이를 전력계통 해석용 프로그램인 PSS/E와 결과를 비교하여 전력계통 시뮬레이터 정확도를 검증하였으며 사용된 부하모델로는 정상상태 비교시에는 정전력 부하를 사용하고 동적 시뮬레이션에서는 유효전력 35%, 13%, 52%, 무효전력 56%, 8%, 36%의 부하 구성비를 갖는 ZIP모델을 사용하였다.

3.1 정상상태 모의

정상상태에서는 PSS/E의 조류계산 결과를 초기치로 하여 RTDS 시뮬레이터의 정상상태에 도달한 결과를 비교하였으며 발전기 단자전압, 모선전압 및 선로의 조류량은 표 3과 같다. 표 3으로부터 정상상태에서의 전압의 크기는 0.08%, 선로의 조류량은 유효전력 1%, 무효전력 5.9%의 결과의 차이를 보이고 있다. 특히 선로

의 조류량에서 무효전력이 상대적으로 유효전력에 비해 다소 차이를 보이며 이는 PSS/E와 RTDS 송전선로의 모델링의 차이에서 기인할것으로 생각되며 이에 대한 추가적인 연구가 진행중이다.

표 3. 정상상태 모의 결과

| | 측정대상 | PSS/E | RTDS |
|----------|-------------|------------------------|----------------------|
| 발전기 단자전압 | 27151 | 1.0pu | 1.0pu |
| | 26151 | 1.0pu | 1.0pu |
| 모선전압 | 6800 | 344.14kV | 344kV |
| | 6600 | 338.83kV | 339kV |
| | 7100 | 345.28kV | 345kV |
| 선로조류 | 6450-6500#1 | 691.8MW -j33.1MVar | 690MW -j33.5MVar |
| | 6600-7100#1 | -656.4MW +j42.5MVar | -655MW +j45.0MVar |

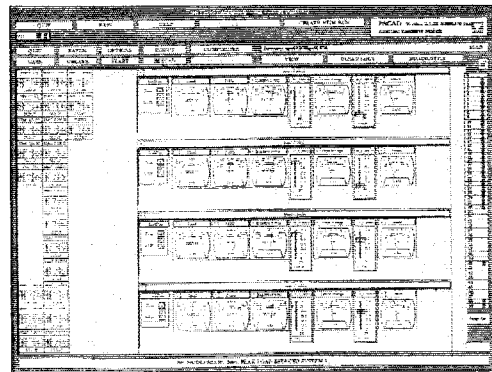


그림 3. PSCAD/RTDS Runtime

3.2 부하변동과 같은 운전조건 변동 모의

변전소 또는 지역별 부하변동, 전계통의 부하변동과 같은 운전조건의 변화에 대해 전력계통의 응답특성 또는 운전원의 교육 및 훈련 등에 전력계통 시뮬레이터를 응용할 수 있도록 계통을 구성하였고 계통의 응답특성, 발전기 출력조정 및 예비 발전기 계통병입 등을 실제통과 유사한 시나리오를 사용하여 전계통의 부하가 증가하는 경우를 모의하였다.

즉, 전계통의 부하를 5.2%(811.82+j266.83MVar) 증가시키는 경우에 650MVA 정격의 예비 발전기를 투입하였을 때의 모선(6240) 전압 변동은 그림 4와 같다.

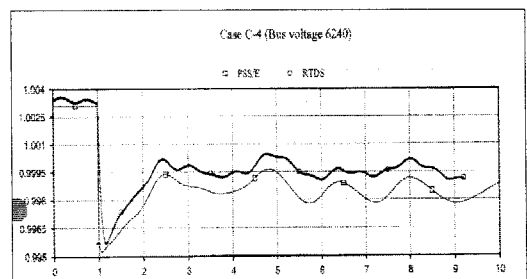
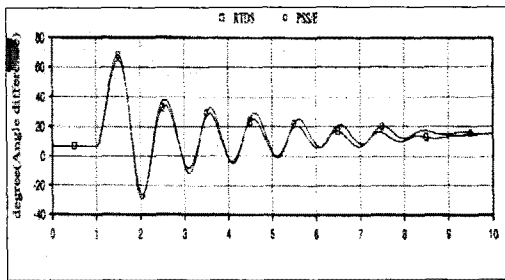


그림 4. PSS/E 및 RTDS 계통모의 결과

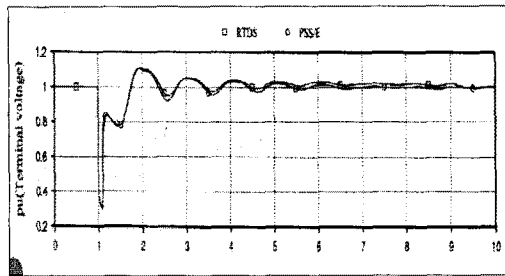
그림 4는 계통의 운전조건 변화에 대하여 RTDS 전력계통 시뮬레이터를 사용하여 계통모의가 가능하며 실효치 계산 프로그램인 PSS/E와 유사한 모의결과를 얻을 수 있음을 보여준다.

3.3 상정사고 및 PSS 적용 모의

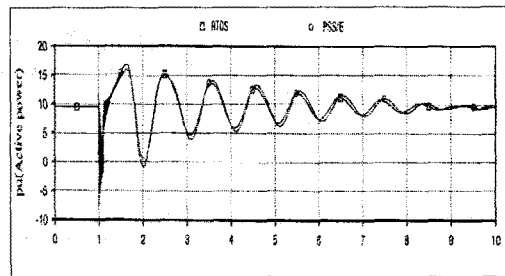
전력계통 시뮬레이터를 활용하여 3상 단락의 상정사고를 모선에 적용하고 0.1초 이후에 345kV 선로를 개방하여 고장을 제거하는 사고를 모의 하였고 이때의 발전기(27151) 유효출력, 계자전압 및 PSS 출력신호를 PSS/E와 비교 하였으며 그림 5와 같다. 그림 5의 결과는 발전기의 속응여자시스템이 적용됨에 따라 계통의 안정도 및 계동특성을 향상시키기 위해 사용되고 있는 PSS와 같은 제어를 RTDS 전력계통 시뮬레이터를 사용하여 계통을 모의할 수 있음을 보여주고 있다.



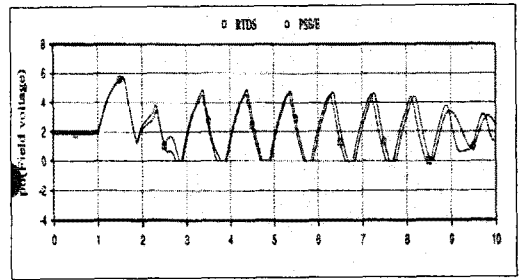
(a) 발전기 상대 위상각 차



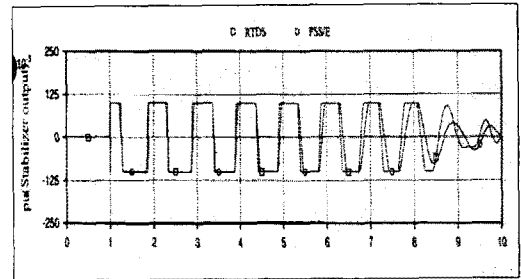
(b) 발전기 단자전압



(c) 발전기 유효출력



(d) 발전기 계자전압



(e) PSS 출력신호

그림 5. PSS/E 및 RTDS 계동모의 결과

4. 결 론

RTDS 전력계통 시뮬레이터의 활용성을 검토하기 위하여 전력계통 시뮬레이터의 수용 가능한 규모의 중부지역을 대상으로하는 한전계통의 등가 축약계통을 구성하고 정상상태, 계통의 운전조건 변동, 상정사고 모의 방법 등을 검토하였고 또한 변압기 돌입전류, 발전기 축비틀림 현상, 일일부하 운전 등과 같은 계통 모의가 가능함을 확인하였다. 그러나 PSS/E에 의한 모의 결과와 비교하였을 경우에 약간의 상이한 특성이 나타나는 경우가 발생하였고 이러한 원인으로서는 다음과 같은 원인 등에 기인할 것으로 생각된다. 발전기 모델링시 RTDS용 발전기 모델과 PSS/E의 발전기 모델은 자속의 변화분의 적용여부 및 포화특성 구현 방법에서 차이가 발생하고 있다. 송전선로 모델링시 RTDS에서는 진행파 송전선로 모델을 사용하지만 PSS/E에서는 PI 선로 모델을 사용하고 있으며 이 모델간에는 무효전력에서 차이가 크게 발생하였기 때문에 이에 대한 추가적인 연구가 진행 중이다. 본 논문에서는 RTDS 전력계통 시뮬레이터를 활용하여 대규모 계통을 해석하기 위한 계통모의 방법을 개발하였고 또한 대규모 계통 해석이 가능함을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] RTDS USER'S MANUAL(I)(II), 2000
- [2] PSS/E Program Application Guide, Vol I, II
- [3] Power System Stability and Control, 1993