

OPAL-RT를 이용한 전력계통 과도안정도 분석

성노균*, 서훈철**, 김철환*, 조봉근***
 성균관대학교*, 기초전력연구원**, (주)신호시스템***

Analysis of Transient Stability in Power System using OPAL-RT

No-Kyu Seong*, Hun-Chul Seo**, Chul-Hwan Kim*, Bong-Geun Cho***
 Sungkyunkwan University*, KESRI**, Shinho Systems Co., Ltd***

Abstract - 실제 대규모 전력계통에서 발생 가능한 과도현상 모의 및 새롭게 개발된 보호 장비와 같은 전력기기들의 사전 동작검증을 위하여 실시간 시뮬레이터의 필요성이 증가하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 여러 실시간 시뮬레이터 중 OPAL-RT eMEGAsim을 사용하여 실시간 시뮬레이션을 통한 과도안정도 분석을 수행하였다. 우선, OPAL-RT eMEGAsim의 특징 및 하드웨어 구조, 시뮬레이션 도구에 대하여 기술하였고, 간단한 1기 무한모선 계통에서 과도안정도를 분석하고 모의결과를 제시하였다.

OPAL-RT eMEGAsim은 전력계통에서 다음 분야를 포함한 여러 가지 분야에서 응용될 수 있다.

- ① 과도안정도 시뮬레이션
- ② 보호계전기의 협조 및 시험
- ③ 대규모 전자기적 과도현상 시뮬레이션
- ④ 조류해석 및 고장해석
- ⑤ 태양광, 풍력 같은 분산전원 기술의 설계 및 구현

1. 서 론

전력계통에서 고장, 낙뢰 등으로 인한 과전압 등 다양한 과도현상이 발생할 수 있으며, 분산전원의 도입 및 FACTS 기기의 보급으로 인하여 보호협조, 조류 등 기존계통에서 발생하지 않는 또 다른 운영상의 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 전력계통의 안정적인 운영을 위하여 이러한 현상에 대한 정확한 분석이 사전 요구된다.

전력계통을 시뮬레이션 할 수 있는 도구로는 EMTP, EMTP-RV, PSCAD/EMTDC, PSS/E 등이 존재한다. 그렇지만 이러한 시뮬레이션 도구들은 구현 가능한 노드수 제한, 시뮬레이션 시간 등으로 인한 제약이 존재한다. 또한, 전력 수요의 증가, 계통 설비의 대규모화 및 복잡화로 인하여 실제 대규모 전력계통에서 발생하는 과도현상에 대한 정확한 시뮬레이션을 위하여 강력한 실시간 시뮬레이터의 사용이 요구된다. 실시간 시뮬레이터는 FACTS 등의 전력전자 장비, 변압기 등의 전력기기 등에 대하여 실제적인 조건 하에서의 시험을 위하여 이용가능한 도구이다. 대표적인 실시간 시뮬레이션 도구로서 Real Time Digital Simulator(RTDS)가 존재하지만, RTDS의 경우 1rack 당 노드 수의 제한이 있으므로, 대규모 전력계통을 모의하기 위하여 상당히 많은 rack을 필요로 하는 단점이 있다[1].

본 논문에서는 또 다른 실시간 시뮬레이션 도구로서 OPAL-RT eMEGAsim simulator를 이용하여 과도안정도를 분석하였다. OPAL-RT eMEGAsim simulator는 Matlab/Simulink 파일뿐만 아니라 전력계통 과도현상을 해석함에 있어 사용빈도가 높은 EMTP-RV의 회로 파일을 Matlab/Simulink 파일로 변환하는 기능을 제공하고 있어 사용자가 계통을 구현하고 구현한 계통을 실시간 시뮬레이션함에 있어 보다 유리하다. 본 논문에서는 Matlab/Simulink를 이용하여 1기 무한모선 계통을 구성하였으며, OPAL-RT eMEGAsim simulator를 이용하여 고장발생 시 과도안정도를 분석하였다.

2. OPAL-RT eMEGAsim simulator

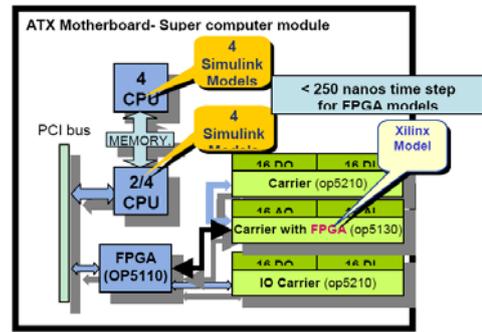
2.1 OPAL-RT eMEGAsim simulator의 특징[1]

OPAL-RT eMEGAsim은 전력전자 기기를 포함한 대규모 전력계통에서 발생가능한 전자기적 과도현상의 시뮬레이션을 위하여 최적화 되어 있으며, 다양한 프로세서에 의하여 시뮬레이션 되는 완전히 디지털화된 실시간 시뮬레이터이다. OPAL-RT eMEGAsim 시뮬레이터의 특징은 다음과 같다.

- ① 분산전원, FACTS, HVDC 등이 포함된 대규모 전력계통의 시뮬레이션 가능
- ② Matlab/Simulink의 SimPowerSystem 및 EMTP-RV와의 연계 가능
- ③ 수 μ s의 time step 값을 이용하여 INTEL multi-core 프로세서 상에서 대규모 전력망의 시뮬레이션 가능
- ④ 수 ns의 time step 값을 이용하여 FPGA 기술을 기반으로 고 주파수의 전력전자 장비의 시뮬레이션 가능
- ⑤ Matlab/Simulink내의 Real-Time Workshop 및 FPGA Code Generator를 이용하여 여러 개의 FPGA 프로세서를 이용한 병렬 시뮬레이션 가능

2.2 OPAL-RT eMEGAsim의 하드웨어 구조[1]

OPAL-RT eMEGAsim을 이용한 시뮬레이터의 최대 장점은 여러 과학적인 응용에서 사용된 슈퍼 컴퓨터 기술을 사용한 병렬처리가 가능하다는 것이다. 많은 수의 FPGA 기반의 입력 및 출력 카드를 이용하여 OPAL-RT eMEGAsim은 외부 장비와 고속으로 직접적인 연결이 가능하다. 다음 그림 1은 병렬로 8개의 Matlab/Simulink 모델을 시뮬레이션 할 수 있는 8개의 프로세서의 핵심 모듈을 보여준다.



〈그림 1〉 슈퍼 컴퓨터 처리과정과 I/O 모듈 구조

2.3 시뮬레이션 도구

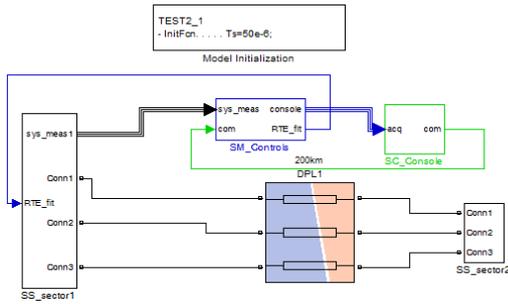
OPAL-RT eMEGAsim simulator는 사용자가 Matlab/Simulink를 이용하여 체이거 모델을 구현하고 Simulink 내의 SimPowerSystem을 이용하여 전기적 회로 구성을 가능하도록 지원한다. 또한 전력계통 과도현상을 분석함에 있어 사용도가 높은 EMTP-RV로 구현한 회로 파일을 OPAL-RT 시뮬레이터에서 이용 가능한 Matlab/Simulink파일로 변환하는 기능을 제공하고 있다. 구현한 회로도는 Matlab/Simulink의 variable-step 혹은 fixed-step solver 및 Opal-RT의 ARTEMIS fixed-step solver를 이용하여 오프라인 시뮬레이션도 가능하다.

현재, 지원가능한 소프트웨어 중 Matlab/Simulink가 OPAL-RT eMEGAsim의 시뮬레이션 도구로 많이 사용된다. OPAL-RT eMEGAsim을 이용한 실시간 시뮬레이션을 위하여, Matlab/Simulink에서 지원되는 ARTEMIS fixed-step solver를 사용하여야 하며, 오프라인 시뮬레이션을 위하여 사용되는 powergui는 삭제하여야 한다. 삭제하지 않는다면, 에러가 발생하여 실시간 시뮬레이션이 불가능하다.

3. OPAL-RT eMEGAsim simulator를 이용한 과도안정도 해석

3.1 Matlab/Simulink를 이용한 계통 모델링

OPAL-RT eMEGAsim을 이용하여 과도안정도 해석을 수행하기 위한 계통 모델은 1기 무한모선 계통모델로서, 발전기 용량은 100[MVA]이며 345[kV]로 승압되어 계통에 공급된다. 송전선로 길이는 200[km]이며, Matlab/Simulink를 이용하여 모델링하면 다음 그림 2와 같다[2].

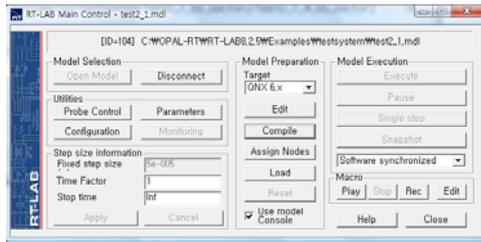


〈그림 2〉 Matlab/Simulink로 구현한 모델 계통

Matlab/Simulink로 구현한 계통은 OPAL-RT와의 실시간 시뮬레이션 을 위해 OPAL-RT가 인식할 수 있는 구현 방법을 사용해야 한다. 전체 SS_Sector, SM_Controls, SC_Console 세가지 섹션으로 구성해야 하며, 각 섹션 별 데이터 교환은 RT-LAB에서 제공하는 OPComm 소자를 사용하여한다. SS_Sector에서는 발전기와 부하와 같은 전력계통 소자를 구현하고, SM_Controls 부분에서는 계통에서 필요한 데이터를 얻는 부분이며 SC_Console 부분에서는 얻은 데이터를 실시간으로 출력할 수 있는 부분이다. 선로모델은 ARTIMES가 제공하는 선로모델을 사용하여 한다.

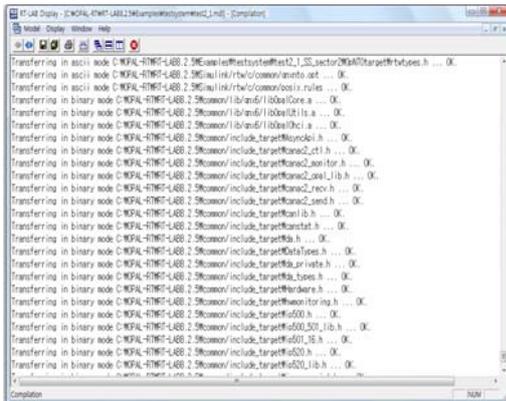
3.2 OPAL-RT eMEGAsim simulator를 이용한 시뮬레이션

OPAL-RT가 제공하는 RT-LAB Main Control 소프트웨어를 이용하여 Matlab/Simulink로 구현한 계통을 불러 온 후 컴파일 및 실행을 할 수 있다. 다음 그림 3은 RT-LAB Main Control 화면이다. Step size information 영역을 통하여 시뮬레이션 시간을 설정할 수 있으며, Utilities 영역에서 파라미터를 변경함으로써 실시간으로 모의 결과를 얻을 수 있다.



〈그림 3〉 RT-LAB Main Control 화면

다음 그림 4는 컴파일 도중 시뮬레이터가 인식할 수 있는 코드를 변환하는 과정이다. 이 과정으로 인해 컴파일 시간이 다소 오래걸리는 단점이 있다. 컴파일이 완료되면 실행 파일을 Main Control 화면에서 'Load' 후 'execute'를 실행하면 실시간 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 컴파일 시 화면

3.3 모의 조건

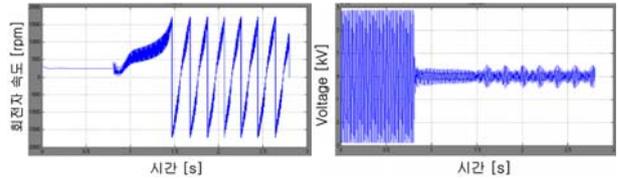
1기 무한모션 계통모델에서 과도안정도 분석을 위한 모의 조건은 다음 표 1과 같다.

〈표 1〉 모의 조건

Case	고장종류	고장제거시간	공통 모의 조건
1	1선지락고장	영구고장	고장저항 0.001 [Ω]
2	1선지락고장	10cycles	

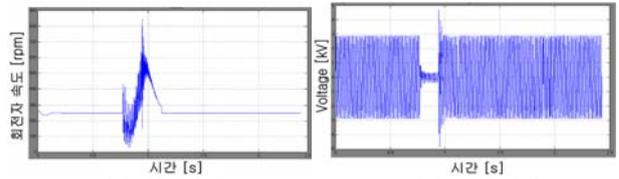
3.4 모의 결과

다음 그림 5, 6은 Case 1, 2의 모의 결과이다. Case 1의 영구고장의 경우 발전기는 불안정하게 되어 회전자 속도는 큰 값으로 진동하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 그림 5(b)와 같이 전압 역시 진동하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 고장제거 시간이 10cycles인 경우 고장발생 후 회전자 속도가 고장제거 후 다시 정상상태 값으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다.



(a) 회전자 속도 (b) 모선 전압

〈그림 5〉 Case 1의 모의 결과



(a) 회전자 속도 (b) 모선 전압

〈그림 6〉 Case 2의 모의 결과

3.5 OPAL-RT eMEGAsim의 장단점 분석

OPAL-RT eMEGAsim simulator 사용의 장점으로 고장종류 및 고장 지속 시간 등 다양한 파라미터 변경 시 실시간 시뮬레이션 통하여 그 결과를 바로 확인할 수 있다. 그렇지만, 단점으로는 OPAL-RT eMEGAsim에서 주어지는 양식에 맞춰서 모델링하여야 하기 때문에 초보 사용자에게는 다소 불편한 점이 있다.

4. 결론

본 논문에서는 Matlab/Simulink와 실시간 시뮬레이터인 OPAL-RT를 이용하여 고장발생 시 전력계통의 과도현상을 모의하였다. OPAL-RT를 이용하여 모의할 경우 사용자가 각 과도현상에 따라 시뮬레이션을 반복할 필요 없이 RT-LAB 컨트롤 센터에서 파라미터를 변경함으로써 손쉽게 과도현상을 모의하고 계통의 영향을 분석할 수 있다. 또한, OPAL-RT의 경우 EMTP-RV로 구현한 회로를 Matlab/Simulink 파일로 변경하는 기능을 제공하고 있어 실시간으로 결과를 모의함에 있어 편리하다.

향후 본 연구를 바탕으로 전력계통의 다양한 현상 및 장비들을 검증함에 있어 활용도가 예상된다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원 인력양성사업의 연구결과입니다.

[참고 문헌]

- [1] OPAL-RT, Power System Real-time simulation examples, available : www.opal-rt.com/productservices/electrical/index.html
- [2] SimPowerSystems, User's Guide, Version 4, The MathWorks Inc., 2006.