

## 다이나믹 모델의 과도 안정도 해석 프로그램 통합

심규상, 조윤성, 장길수, 이병준, 권세혁  
고려대학교 전기공학과

### The Merger of Transient Stability Analysis Program for dynamic models

Gyusang Sim, Yoonsung Cho, Gilsoo Jang, Byongjun Lee, Saehyun Kwon  
Dept. of Electrical Engineering, Korea University

**Abstract** - The purpose of this paper is to explain techniques achieved while developing a transient stability program which is suitable to Korean power system. It concentrates on the development of a synchronous machine model, exciter models and turbine-governor models used in large-scale power system stability analysis. These proposed models enhance the performance of the developing program. This developing program has been tested with the KEPCO system, and the simulation results obtained from the program are compared to those of commercial programs.

## 1. 서 론

전력계통에서 다수의 발전기가 연계되어 운전하는 형태는 신뢰성이나 경제성 면에서 이득이 되어 현대 전력계통의 대부분은 다수의 발전기가 서로 연계된 형태로 운영된다. 이러한 시스템에서의 안정도 해석은 시스템을 구성하는 모든 발전기의 상호 영향을 모두 고려하여 해석되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 복잡한 시스템에서의 안정도 해석을 위한 과도안정도 해석 프로그램을 개발하고자 한다.

과도안정도란 어떤 전력계통에 외란(전송 선로의 지락, 단락 또는 모선이나 변압기의 사고 등)이 일어났을 때 발전기의 탈조 없이 그 계통이 다시 안정한 상태로 되돌아갈 수 있는 능력을 의미한다. 계통에서 외란이 일어났을 때 그 사고로 인한 파급은 계통 일부 또는 전체에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 이를 해석하기 위한 과도안정도 해석 프로그램은 안정한 전력계통 운영에 필수적이다.

하지만 국내에서 만든 해석 프로그램이 없기 때문에 PTI사의 PSS/E와 Powertech사의 TSAT에 의존하고 있는 실정이고, 이는 경제적, 기술적 측면에서 제약 요소로 작용한다. 이에 따라 과도 안정도 해석 프로그램 개발을 통하여 국내의 전력시장 환경에 적절한 과도안정도 해석 및 평가를 위해서 기본적으로 요구되는 안정도 해석을 할 수 있다. 또한, 우리나라 전력계통의 운영 및 계획에 있어서 적절한 과도안정도 유지를 통해 계통의 광역정전 및 과도불안정 현상을 최소화 할 수 있고 안정한 전력시장을 구축할 수 있다.

본 논문에서는 한국 계통에 특화된 과도안정도 해석프로그램 개발 과정에서 얻은 다양한 정보를 설명한다. 특히 전력계통 과도안정도 해석을 위한 기본 구조(그림 1), 한전 실계통에서 쓰이는 기본 다이나믹 모델 Library 개발 방법을 제시한다. 그리고 개발 프로그램을 바탕으로 2010년 한전 실계통 데이터를 이용해서 나온 결과를 PTI사의 PSS/E와 Powertech사의 TSAT의 결과와 비교·검증을 하였다.

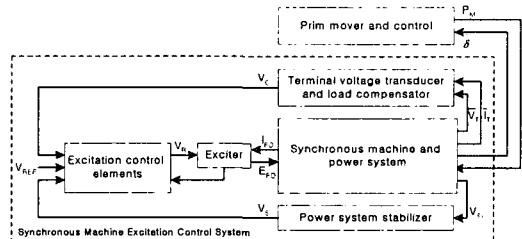


그림 1. 전력계통과 해석프로그램을 위한 시스템의 기본 구조

## 2. 본 론

### 2.1 전력계통 동적특성 해석

전력 계통의 과도 안정도의 분석은 보호계전기에 의한 사고 요소의 차단에 의한 거대한 교란을 포함하며, 보통은 송전망의 사고 등에 대한 그들의 비선형적 동적특성 응답의 계산을 의미한다. 그림 1은 과도 안정도의 분석에 대한 전력 계통 모델의 적절한 구조를 보여준다. 이 모델 구조는 미소 신호 안정도 분석과 유사하지만 그 해석 방법은 다르다. 즉 과도 안정도 분석에 있어서 비선형적 계통 방정식들을 풀어야 한다. 게다가 사고와 네트워크 스위칭에 의한 커다란 불연속성과 계통의 변화로 생기는 제한에 의한 작은 불연속성도 이 계통 모델에 표현되어야 한다. 그림 2에서 보면 전체적인 전력 계통 표현은 다음의 독립적인 구성요소의 모델들을 포함한다.

- 동기 발전기, 그리고 연관된 여자 시스템과 터빈-조속기, 정적 부하가 포함된 연결된 송전망
- 유도 그리고 동기 모터 부하, 다른 장치들(FACTs)

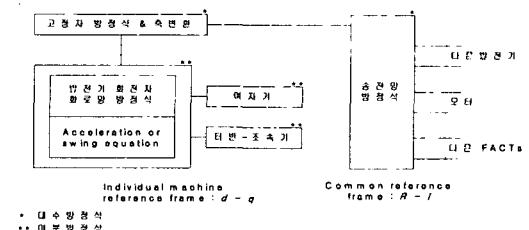


그림 2. 과도안정도를 위한 전력계통 모델의 구조

### 2.2 전력계통 다이나믹 해석 프로그램의 알고리즘

그림 3은 전력계통의 동적특성을 해석하는 개발 프로그램의 전체적인 순서도이다. 개발 프로그램의 다이나믹 해석 알고리즘은 크게 3개의 모듈 즉, 시스템의 초기 상태를 기초로 하여 모든 상태변수의 값을 계산하는 초기화과정, 주어진 상태변수와 입력 변수를 바탕으로 상태변수(출력변수)의 도함수를 계산하는 도함수 계산과정,

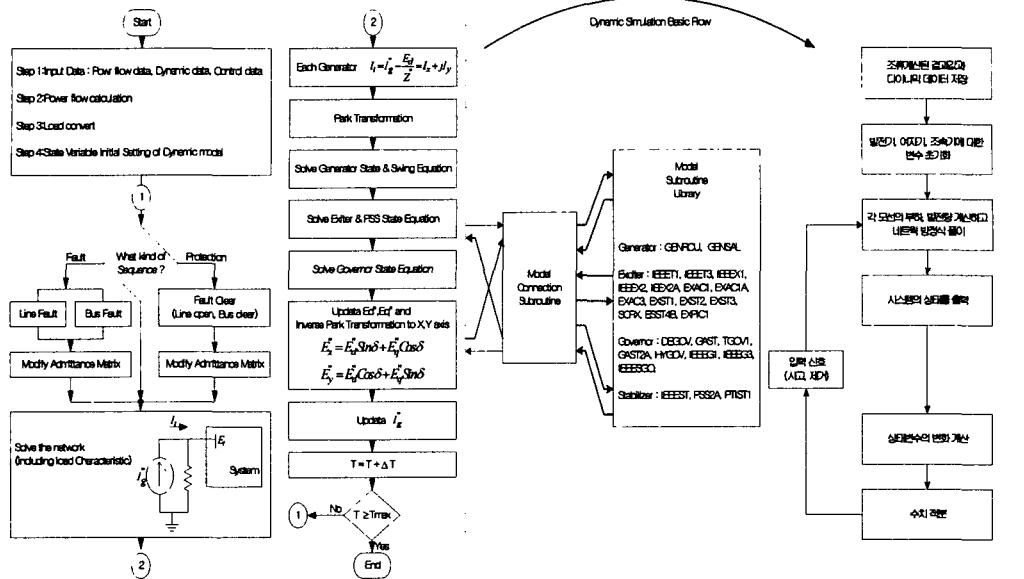


그림 3. 국산 과도안정도 해석 프로그램의 구조

마지막으로 개발프로그램에 쓰여진 시적분 알고리즘인 4차 Runge-Kutta법을 이용하는 수치적분과정으로 나눌 수 있다. 기존 상용 프로그램 중 PowerTech사 TSAT의 수치적분과정은 4차 R-K법과 Trapezoidal법을 사용하며, PTI사 PSS/E는 수치적분과정에 개선된 Euler법과 Trapezoidal법을 사용하고 있다.

### 2.3 전력계통 다이나믹 모델링

현재 한전 실계통에서 쓰이는 여자기와 조속기는 각각 14개와 8개이며, 모델명에 대한 자세한 정보는 그림 3에 나와 있다.

한편, 전력계통 해석을 위해서는 발전기, 여자기, 조속기, 부하, 네트워크의 모델에 관계되는 변수들의 관계식을 구성해야 한다. 특히 정확한 계통해석을 위해서는 정교한 다이나믹 모델이 필요하다.

각각의 다이나믹 모델의 수학적 표현은 블록다이어그램으로 표현이 되며, 이 블록다이어그램을 이용하여 코딩이 가능하다. 그림4와 그림 5는 여자기 모델 중 IEEEET1에 대한 블록다이어그램과 이를 코딩하기 위한 블록다이어그램을 나타낸다. 다른 다이나믹 모델도 이와 같이 분석이 가능하다.

여기서 유의할 점은 포화곡선과 Limit에 대한 표현, 그리고 각 블록에 대한 초기값 설정이 중요하다는 것이다.

### 2.4 사례연구

본 장에서는 2010년 한전 실계통을 이용하여 상용프로그램과 비교를 하였다.

모의를 위해 쓰인 다이나믹 모델은 다음과 같다.

표 1. 모의계통의 다이나믹 데이터

다이나믹 모델	여자기	조속기
모의 계통에 쓰인 모델	IEEEET1, IEEEET3 IEEEX1, IEEEX2 IEEX2A, EXAC1 EXAC1A, EXAC3 EXST1, EXST2 SCRX	HYGOV, TGOV1 GAST, GAST2A

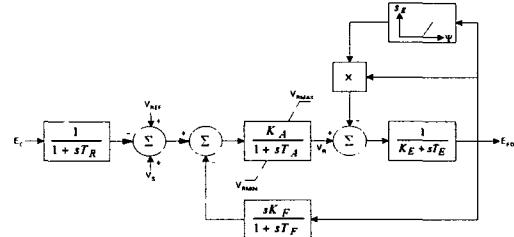


그림 4. IEEEET1의 블록다이어그램

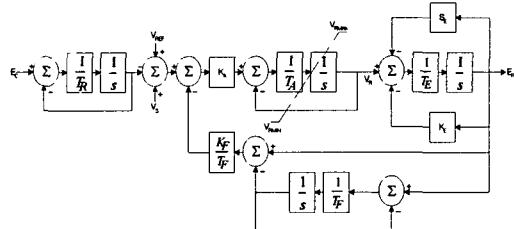


그림 5. 프로그램 코딩을 위한 IEEEET1의 블록다이어그램

표 2. 모의 데이터

상정사고구간	신옥천3 ~ 청양3S			
	정상	사고	사고제거	총모의시간
시간 (sec)	0.0	0.5	0.7	2.7
Swing 모션	울산 #4G			
측정 위치	울진 #1G, 영광 #1G			
측정 채널	상대적 위상각, 계자 전압			

이상과 같은 동일한 데이터를 바탕으로 개발 프로그램과 PSS/E, TSAT을 이용하여 모의를 하였다.

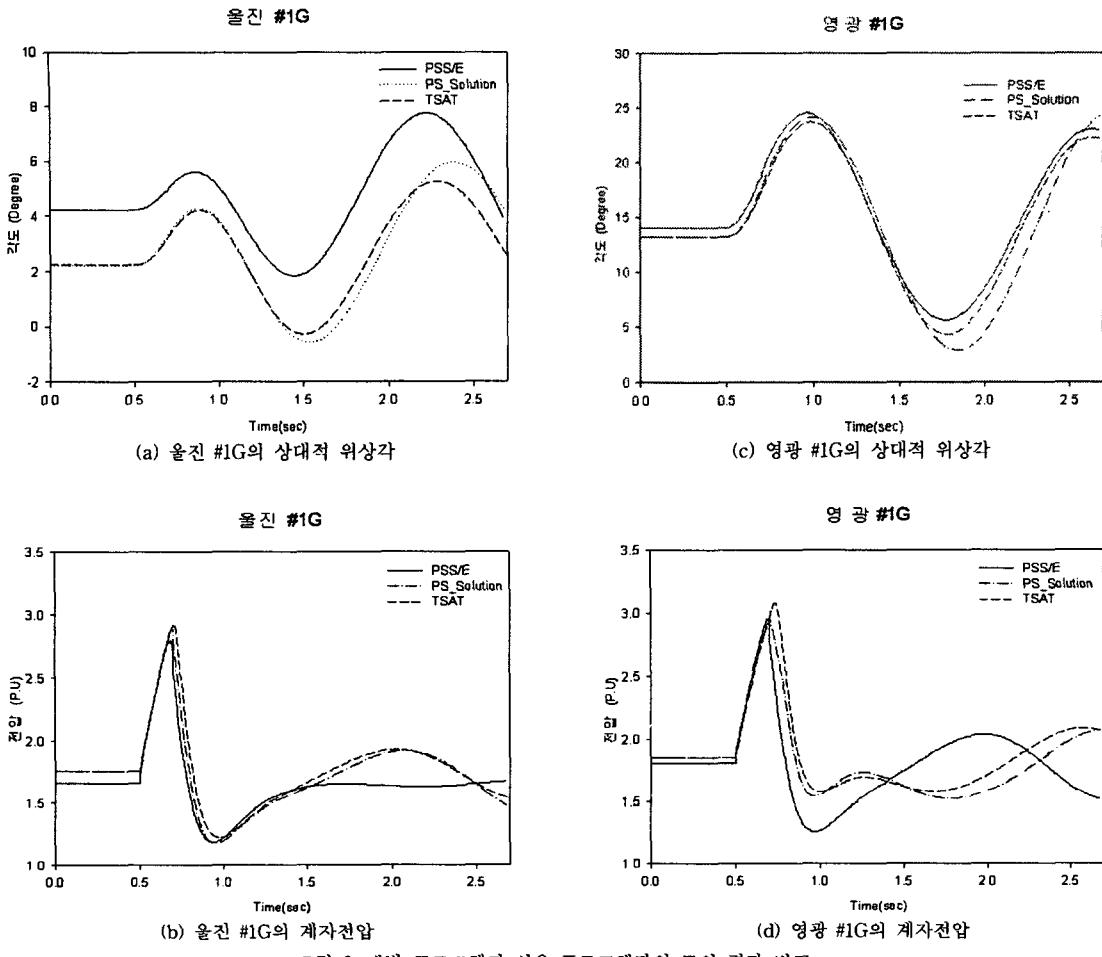


그림 6. 개발 프로그램과 상용 프로그램과의 모의 결과 비교

그림 6에서 보듯이 개발 프로그램과 기존 상용프로그램 중 TSAT과는 그 결과가 상당히 유사하나 PSS/E와는 어느 정도 차이가 있음을 볼 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 한국 계통에 특화된 과도안정도 해석프로그램 개발 과정에서 얻은 다양한 정보를 설명하였다. 그리고 개발한 해석프로그램을 바탕으로 2010년 한전 실계통을 대상으로 모의하고, 동일한 조건으로 현재의 상용프로그램인 PSS/E와 비교·검증을 하였다.

모의 결과에서 보듯이 해석프로그램마다 어느정도 차이가 있음을 볼 수 있는데, 이는 수치적방법의 차이점, 초기값의 차이점, 개발 해석 프로그램의 모델링에서의 문제점과 계통 특성 반영에서의 문제점 등인 것으로 생각된다. 따라서 향후에는 다이나믹 모델에 관한 세부적인 모델링이 병행되어야 할 것이며, 기존 상용프로그램의 수준까지 도달하기 위해서는 충분한 시간을 가지고 개발해야 될 것이다.

그리고 모의 결과값에 있어 어느정도 차이점을 보이지만 그 결과의 유사성에 비추어 볼 때, 기존 상용프로그램에 버금가는 프로그램의 개발 가능성을 입증했다고 볼 수 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김동주, 조윤성, 장길수, 이병준, 권세혁, “과도 안정도 해석 프로그램을 위한 최적 시 적분 알고리즘 선정방안”, 대한전기학회 학제학술대회 논문집 p.122~124, 2003
- [2] P.Kundur, “Power system stability and control”, McGraw-Hill inc, 1994
- [3] H. Saadat, “Power system analysis”, McGraw Hill inc, 1999
- [4] P.W. Sauer, M.A. Pai, “Power system dynamics and stability”, Prentice-Hall, 1998
- [5] J. Machowski, J.W. Bialek, J.R. Bumby, “Power system dynamics and stability”, John Wiley & Son, 1997
- [6] PSS/E Application Manual, Power Technologies, Inc., 1995
- [7] PSS/E Operation Manual, Power Technologies, Inc., 1995