

## 급전원 훈련을 위한 전력계통 모의 프로그램 개발

황평익, 안선주, 윤용태, 문승일  
서울대학교

### Development of the power system simulator for dispatcher training simulator

Pyeong-ik Hwang, Seon-Ju Ahn, Yong Tae Yoon, Seung-Il Moon  
Seoul National University

**Abstract** - 본 논문에서는 급전원 훈련 프로그램의 구성 요소 중 하나인 전력계통 모의 프로그램 개발 방법에 대하여 요약하였다. 전력계통 모의 프로그램의 구현을 위한 유효전력/주파수 계산 모델, 부하 모델, 전압 조정기 모델, 계전기 모델, 보상기 모델을 소개하였다.

통으로 나누어진다. 내부 계통의 경우 계통의 정확한 정보를 알 수 있지만 외부 계통의 경우 정확한 정보를 알 수가 없다. 그래서 외부 계통의 경우 전체 계통을 단순화 시켜 몇 개의 발전소로 모델링하는 방법을 사용한다.

#### 1. 서론

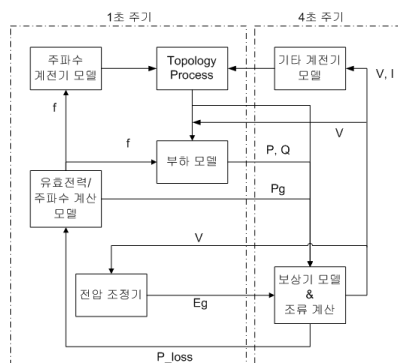
급전원 훈련은 전력계통의 안정적인 운영을 위해 반드시 필요하다. 하지만 전력계통의 특성상 실제 계통을 사용한 훈련은 불가능하다. 따라서 급전원 훈련을 위해서는 가상의 계통과 그 계통을 실제와 같게 모의할 수 있는 프로그램이 필요하다. Energy Management System(EMS)에서 제공하는 급전원 훈련 프로그램(Dispatcher Training Simulator, DTS)은 전력계통의 동적 특성과 EMS의 기능을 실제와 같이 모의하는 프로그램으로 EMS를 처음 접하는 급전원의 EMS 기능에 대한 이해도 증진과 기존 급전원의 전력 계통 복구, 보호 등 EMS 기능의 활용 능력 증진을 목적으로 한다[1].

급전원 훈련 프로그램은 전력계통 모의 프로그램(Power System Simulator), Telemetry Model, Dispatcher Training Management Function, Control Center System으로 구성되어 있다[1]. 본 논문에서는 급전원 훈련 프로그램의 구성요소 중 하나인 전력계통 모의 프로그램의 개발 방법에 대하여 살펴보았다. 전력계통 모의 프로그램은 주어진 계통의 동적 특성을 실제 계통과 같게 모의하는 프로그램이다. 단, 매우 빠른 과도 현상은 급전원이 조정할 수 없는 부분임으로 모의하지 않는다[1]. 전력계통의 동적 모의를 하기 위해서는 기본적으로 계통을 구성하는 기기들의 모델이 필요하며 계통의 구성요소들의 상호 작용을 표현하는 모델이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 모델들을 소개하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 전력계통 모의 프로그램

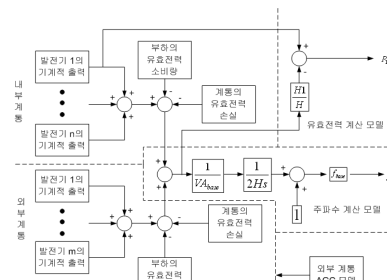
전력계통 모의 프로그램은 유효전력/주파수 계산모델, 전압 조정기 모델, 부하 모델, 계전기 모델, 보상기 모델, 조류계산, Topology Processor로 구성되어 있다. <그림 1>은 전력계통 모의 프로그램의 흐름도이다. 그림에서 보는 바와 같이 전력계통 모의 프로그램은 1초 주기로 계산이 수행되는 루프와 4초 주기로 계산이 되는 루프로 구성되어 있다[1].



<그림 1> 전력계통 모의 프로그램 흐름도

##### 2.1.1 유효전력/주파수 계산 모델

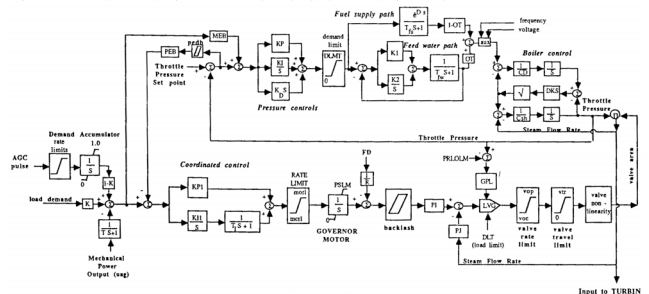
유효전력/주파수 계산 모델은 각 발전기의 유효전력 출력량과 계통의 주파수를 계산하는데 사용된다. 유효전력/주파수 계산 모델은 <그림 2>와 같이 표현된다[1]. 전력계통은 <그림 2>에서 보는 바와 같이 크게 내부의 EMS가 관리하는 내부 계통과 외부의 EMS가 관리하는 외부 계



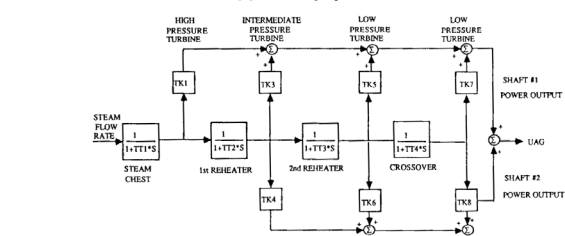
<그림 2> 유효전력/주파수 계산 모델

##### 2.1.1.1 발전소의 기계적 출력 계산 모델

계통에는 화력발전소, 수력 발전소, 원자력 발전소, 복합 화력 발전소 등 다양한 발전소들이 연결되어 있다. 실제 계통과 같은 모의를 하기 위해서는 발전소의 기계적 출력을 결정하는 주요 요소들 즉 보일러, 조속기, 터빈 등이 모델링 되어야 한다. <그림 3>은 화력발전소의 조속기 모델과 보일러 모델의 예이다[2]. <그림 4>는 일반적인 터빈의 모델이며 터빈 모델의 출력이 발전소의 기계적 출력이 된다[2].



<그림 3> 화력 발전소 모델



<그림 4> 일반적인 터빈 모델

##### 2.1.1.2 주파수 계산 모델

계통의 주파수는 발전소의 기계적 출력, 계통의 부하량, 계통의 유효전력 손실, 관성 정수의 미분방정식으로 주어지며 <그림 2>에서와 같이 표현된다[1].

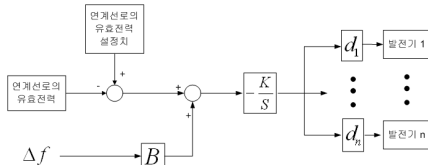
##### 2.1.1.3 유효전력 발전량 계산 모델

각 발전기의 유효전력 출력량은 터빈의 기계적 출력에서 계통의 회전 에너지 변화에 기여하는 값을 뺀 값으로 계산되며 <그림 2>에서와 같

이 표현된다[1].

### 2.1.1.4 외부 계통 AGC 모델

내부 계통의 AGC 신호는 Control Center System에서 생성되지만 외부 계통의 경우 Control Center System Model이 없기 때문에 <그림 5>와 같이 단순화된 AGC 모델을 사용하여 외부 계통의 AGC 신호를 생성한다[1].



<그림 5> 외부 계통 AGC 모델

### 2.1.2 부하 모델

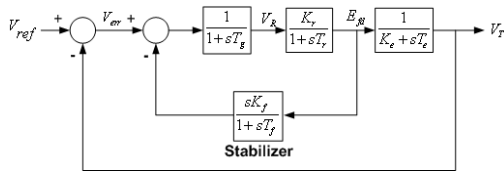
전력계통에는 매우 다양한 형태의 부하들이 연결되어 있다. 따라서 계통에 연결된 모든 부하를 실제와 같이 모델링하는 것은 불가능하다. 일반적으로 부하는 ZIP모델(Constant Impedance Model, Constant Current Model, Constant Power Model)로 모델링된다. ZIP모델과 주파수에 의존하는 부하의 모델은 다음과 같은 수식으로 모델링 된다. 여기서  $P_0$ ,  $Q_0$ 는 정격에서의 부하량이며  $V$ 는 단위법으로 표현한 모선의 전압,  $\Delta f$ 는 주파수의 변동량이며 나머지는 부하의 특성을 나타내는 파라미터이다[3].

$$P = P_0 (p_1 V^2 + p_2 V + p_3) (1 + C_{pf} \Delta f)$$

$$Q = Q_0 (q_1 V^2 + q_2 V + q_3) (1 + C_{qf} \Delta f)$$

### 2.1.3 전압 조정기

전압 조정기 모델은 동기 발전기와 동기 조상기의 단자 전압 모의에 사용된다. <그림 6>은 Stabilizer를 포함하는 전압 조정기의 모델이다 [4]. 전압 조정기의 경우 응답 속도가 빠르기 때문에 과도현상을 무시하고 입력 전압이 바로 출력전압이 되게 모델링하기도 한다.



<그림 6> 전압 조정기

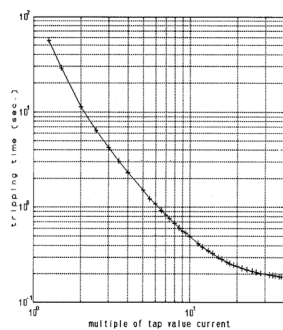
### 2.1.4 계전기 모델

계통에는 전류 계전기, 전압 계전기, 주파수 계전기 등 다양한 계전기들이 존재한다. 각각의 계전기는 계전기의 고유 특성을 반영하여 모델링 되어야한다. 계전기들은 프로그램 상에서 자신이 측정하는 변수들이 계산 될 때마다 실행된다. 즉, 주파수 계전기는 1초 주기로 전압, 전류 계전기는 4초 주기로 실행된다. <그림 7>은 반한시형 과전류 계전기의 특성을 나타낸다. 이 계전기의 특성은 다음과 같은 근사식으로 표현된다[5].

$$t_r(I) = b_0 + \sum_{j=1}^n \frac{b_j}{(I-1)^j}$$

계전기가 차단기를 작동시키는 시점은 다음의 관계식으로 결정된다.

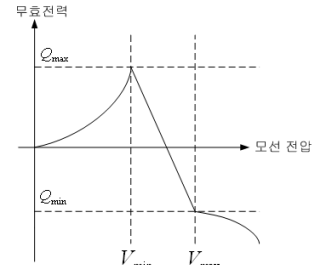
$$\int_{\tau=0}^T \frac{1}{t_r(I)} d\tau = 1 \quad \text{or} \quad \sum_{i=0}^N \frac{1}{t_r(I)} \Delta t = 1$$



<그림 7> 반한시형 과전류 계전기의 I-t 곡선

### 2.1.5 보상기 모델

보상기에는 리액터, 컨덴서, 동기 조상기, 정지형 무효전력 보상장치(SVC)가 있다. 리액터, 컨덴서는 조류 계산 과정에서 일정한 서셉턴스로 모델링된다[1]. 동기 조상기는 전압 조정기로 모델링 된다[1]. 정지형 무효전력 보상장치의 응답속도는 조류계산 주기(4초)보다 빠르다. 그래서 정지형 무효전력 보상장치의 동적 특성은 모의하지 않는다. 대신 정지형 무효전력 보상장치는 <그림 8>과 같은 특성을 갖는 무효전력 발생원으로 모델링 된다[3]. 하지만 조류계산 주기가 작아진다면 정지형 무효전력 보장은 동적 특성을 모의할 수 있는 모델로 모델링 되어야 한다.



<그림 8> 정지형 무효전력 보상 장치의 특성

### 2.1.6 조류 계산

조류 계산은 유효전력 발전량, 부하 모델, 보상기 모델, 선로 모델, 변압기 모델을 바탕으로 계통의 전압, 전류, 손실 등을 계산한다. 조류계산은 일반적으로 4초 주기로 실행되지만 계통의 Topology가 변하는 경우 Topology Processor 실행 직후 실행된다.

### 2.1.7 Topology Processor

실제 계통은 Bus-section/switching-device model로 주어진다. 하지만 전력계통 모의 프로그램에서는 Bus/branch model을 사용한다. Topology Processor는 Bus-section/switching-device model을 Bus/branch model로 변경해 준다. Topology processor는 계통의 스위치 상태가 변하는 경우에만 실행된다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 급전원 훈련 프로그램에 사용되는 전력계통 모의 프로그램 개발 방법에 대하여 소개하였다. 소개된 방법으로 주어진 전력계통을 실제와 같이 모의 할 수 있는 프로그램을 개발할 수 있다. 단, 프로그램의 정확성은 모델과 구현 방법의 선택에 따라 달라진다.

본 논문에서 소개한 전력계통 모의 프로그램은 급전원 훈련 프로그램 뿐만 아니라 계통의 운전과 관련된 연구 분야에서도 활용될 수 있다.

\*본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발사업 (R-2005-1-898-004)으로 수행되었습니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Fuquan Wang, G. Janka, G. Schellstede, "Dynamic power system simulation for real time dispatcher training", Power System Monitoring and Control Third International Conference, pp109 - 114, 1991
- [2] Vani Kola, Anjan Bose, Paul M. Anderson, "Power plant models for operator training simulators", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 2, pp559 - 565, 1989
- [3] P.Kundur, "Power system stability and control", McGraw\_Hill, 1993
- [4] J.I. de la Fuente, J.L. Sancha, "Modern methodology for improving voltage regulator modelling", IEE International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, 1991
- [5] H.A.Darwish, M.A.Rahman, A.I.Taalab, H.Shaaban, "Digital model of overcurrent relay characteristics", Industry Applications Conference 1995. Thirtieth IAS Annual Meeting, IAS '95., Conference Record of the 1995 IEEE Volume 2, pp1187 - 1192, 1995