

P&S를 활용한 발전용 SOVR의 모델링과 동특성 해석

Modeling and Simulation for Dynamic Behaviors of SOVR for Electric Power Plant

노 태 정 (Tae-Jung Lho)

* 동명정보대학교 정보공학부 로봇시스템공학과
(Tel: 051-629-7237; Fax: 051-629-7249; E-mail: tjlho@tmic.tit.ac.kr)

Abstract : The P&S(Power Plant Simulation System) is a powerful simulation software system for the dynamic behavior of power plants. The P&S module libraries provide plant models with higher flexibility of dynamic simulations for process and control designs. The P&S software was effectively available for PCs based on Linux and modern workstations based on Unix. The P&S was applied for simulating the dynamic behaviors of the SOVR(Supercritical Once-Through Variable Pressure Reheater) according to the operations such as start-up, shutdown, load following, load change and trip in order to obtain an optimal operation procedure for Unit 5/6 of Taeahn fossil power plant consisted of SOVRs and steam turbines.

Keywords : Dynamic Behavior, Fluid Network, Modular Modeling, P&S, Fossil Power Plant, SOVR, Simulation

I. 서론

일반적으로 전기를 생산하는 발전설비 중에서 원자력 발전소는 기저부하를 담당하는 반면에 화력발전(Fossil Power Plant)과 복합 사이클발전(Combined Cycle Power Plant)은 전력부하 조정에 사용된다. 따라서 화력발전은 급격하고 빈번한 부하변동에 대하여 기기의 트립(trip)이 없이 빠른 추종이 요구되며, 이러한 급격한 운전 조건하에서는 플랜트 구성 기기의 동적 거동을 예측하거나 해석할 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 따라서 공사 발주자들은 발전 플랜트를 건설하기 전에 다양한 운전조건에 대하여 발전설비 구성 기기의 동적 거동을 예측하기 위하여 동적 특성에 대한 시뮬레이션 결과 제시가 의무화되고 있는 추세이다.

1983년 미국의 EPRI(Electric Power Research Institute)에서 MMS(Modular Modeling System)[1]을 개발한 이후 발전플랜트의 구성 기기의 동특성을 시뮬레이션하는데 있어서 모듈 모델링(Modular Modeling)이 일반적으로 적용되고 있으며, 압력점 방식(Pressure Nodal Method)을 적용한 유체역학적 네트워크(Fluid Network)의 실시간 해석도 적용되고 있다. 이에 대하여 국내에서는 1997년 삼성중공업에서 Linux OS를 기본으로 PC에서 구동되는 모듈 모델링과 유체역학적 네트워크 방법을 사용하여 각 운전조건에 대하여 발전설비 의 동적 거동을 시뮬레이션할 수 있도록 P&S 시스템을 개발하였다.[2] 여기서 모듈 모델링은 GUI로서 발전설비 기계 모듈과 제어기 모듈을 조합하여 원하는 가상발전소 및 제어 로직을 손쉽게 구성하고 변경할 수 있으며, 또한 유체역학적 네트워크는 내부노드(Internal Node), 외부노드(External Node(Boundary)) 및 브랜치(Branch) 개념을 도입한 유체역학적 압력점 방식으로서 기동, 기기의 트립, 비상정지와 부하변동 등의 각 운전조건에 대한 발전설비 구성 기기의 압력, 온도, 유량등의 동특성을 해석하는데 정확성과 안정성을 제공하였다.

II. P&S(Power Plant Simulation System)

발전플랜트를 구성하고 있는 기기의 모듈은 수학적 모델링으로 기기의 동적 거동을 묘사하며, 유체역학적 네트워크는 대상 발전플랜트 전체 시스템의 에너지, 질량, 운동량 방정식에 의하여 해석한다. 유체역학적 네트워크의 해석 수단으로서 본 연구에서 채택한 압력점 방식은 T.D Li[3]에 의하여 제시된 것으로서 이 방식은 경계조건이 주어지는 경우 발전플랜트의 해석에 유용하게 적용될 수 있다. PMS(Process Modeling System)에서 발전설비 구성 기기의 모델링은 압력점 방식에서의 노드와 브랜치 개념을 도입하여 발전플랜트 전체시스템에 대응하는 유체역학적 네트워크를 만들고 해석한다. 유체역학적 네트워크 계에서 모든 노드의 압력, 엔탈피(enthalpy) 및 브랜치에서의 압력강하 및 유량을 계산하며, 임의의 노드 i 에서의 유체의 압력 P_i 와 엔탈피 H_i 는 식 (1),(2)와 같은 선형방정식으로 표현할 수 있다.

$$[A][P] = [B] \tag{1}$$

$$[D][H] = [E] \tag{2}$$

여기서 $[A]$, $[B]$, $[D]$, $[E]$ 의 내용과 수식 전개는 참고문헌 [4], [5], [6]에 자세히 명기되어 있다. 발전플랜트와 같은 열유체 시스템에서는 식 (1),(2)는 보통 희소행렬(sparse matrix)로서 차수는 수백에 이르므로 역행렬(inverse matrix)을 구하여 해를 구하는 것은 계산시간이 많이 소요되고 계산의 수렴이 잘 되지 않으므로 P&S에서는 K. Zollenkopf[7]가 구현한 Bi-Factorization 방법에서 반복적인 직접해를 구하는 알고리즘을 사용하였다.

또한 P&S는 PC에서 구동될 수 있도록 Linux OS 환경을 구축한 것으로서 크게 PMS, CMS(Control Modeling System), RMS(Resource Management System), ISS(Integrated Simulation Server), 모듈 라이브러리 등으로 구성되어 있으며 GUI 및 데이터 베이스를 통하여 유기적으로 결합되어 시스템을 이루고 있다. 여기서 PMS는 각종 구성 기기의 프로세스 모듈을 사용하여 플랜트 모델을 생성하기 위한 것이고, CMS는 각종 제어 모듈을 사용하여 제어로직을 생성하기 위한 것이고, RMS는 상기의 프로세스와 제어모듈을 개발하며, ISS는 시뮬레이션을 지원하는 시스템이다.[4] 특히, 모듈 모델링은 GUI로서 발전설비 구성 기기와 제어기 모듈을 조합하여 원하는 가상발전소 및 제어로직을 손쉽게 구성하고