

송	길	영	고	덕	대	학	고
김	영	한*	고	덕	대	학	고

1. 서론

전력계통운영에서 전력계통운영자의 역할은 실험으로 만족한다.

전력계통이 확대되고 부잡 다양화되어 감에 따라 사고의 빈도도 증가하고 또한 사고시 피할 수 없는 피해도 커지고 있으며, 이에따른 전력계통 운영기술도 사전에 계통의 안전성(Security)을 해석하는 등 점점 고도화 되어 가고 있다.

이에 대응하여 전력계통운영자는 정상시의 계통 조작이나 전압조정등의 계통운영기술에 부가하여 안정성 해석등 진보된 전력계통운영기술의 습득은 물론 여러분야에서 보다 많은 실무경험을 쌓은 전문요원을 필요로 하게 된다.

그리하여 계통에 큰 사고나 장애가 일어났을 때 사고의 확대를 방지하고 신속히 복구조치를 취할 수 있는 능력을 갖추도록 해야 한다.

그러나 현실적으로 학력, 원자력, 수력등 발전의 구분야와 조그압변전소 그리고 제어시스템의 하드웨어, 소프트웨어의 응용기술등에 실무경험과 지식을 갖춘 요원을 발견하기는 매우 어렵다.

이러한 심정에서 전력계통운영자의 실무기술 습득을 위한 교육용 시뮬레이터의 필요성이 높아지고 있으며, 더욱이 심 계통과 똑같은 상태에서 온라인 데이터를 가지고 전력계통의 여러가지 변화상태를 동적으로 모의하여 심 계통의 특성을 정확히 파악할 수 있게 하는 동적 시뮬레이터의 이용이 세계적으로 증가하고 있다

2. 하드웨어의 구성

전력계통운영자 교육용 시뮬레이터는 크게 나누어 정적(Static) 및 동적(Dynamic) 시뮬레이터로 구분할 수 있다.

정적 시뮬레이터는 전력계통의 정태적인 조건에서 계통을 모의하므로 조속기, 여자기, 계통주파수등의 동적인 변화에 대하여 모의가 불가능하며 그 기능이 제한된다.

이 시뮬레이터는 일반화된 전력계통의 특성에 관해 교육을 하기 위한 것으로서 설비구성도 별도의 소규모설비(Standalone system)로 구성되며 차차 이와같은 시뮬레이터를 구비하는 확성은 줄어들고 있다.

한편 동적시뮬레이터는 전력계통의 모든 동적변화(Dynamic behavior)를 모의할 수 있으며 전력계통운영자에게 사건발생과 조작에 따른 계통의 변화특성을 즉시즉시 CRT를 통해 제시하여 준다.

따라서 동적시뮬레이터는 온라인 제어용 컴퓨터시스템을 이용하도록 하드웨어를 설계하며, 일반적으로 컴퓨터의 운전모드를 변경하여 예비 컴퓨터 전체가 동적시뮬레이터용으로 사용되게 하고 있다.

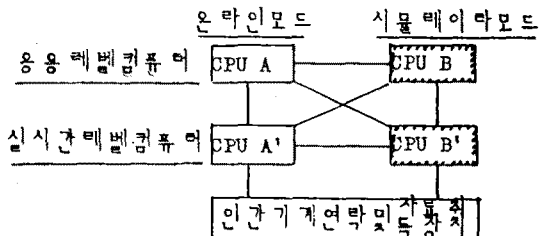


그림 1. 동적시뮬레이터의 운전모드

3. 주요 기능의 구성

전력계통운영자 교육용 동적시뮬레이터는 최소한 다음 3가지 기능을 구비하도록 해야한다.

- (1) 온라인 기능
- (2) 전력계통 모델링 기능
- (3) 지원기능(모의결과 분석기능)

(1) 온라인 기능 (On-Line Functions)

시뮬레이터의 온라인 기능은 실험계통에서 적용되는 온라인 프로그램과 동일한 프로그램으로 동일한 데이터베이스 구조에 의해 모의 계통을 실험계통과 똑같은 상태에서 피교육자가 감시, 제어, 분석 및 운용할수 있게하는 기능으로서 다음과 같은 기능으로 구성된다.

(가) 감시기능 (Monitoring Functions)

ORT 상의 단선결선도나 보조 데이터블은 온라인 모드에서 사용되는 것과 동일해야 하며, 경보 (Alarm)도 동일하게 표시된다.

(나) 발전제어 기능 (Generation Dispatching Functions)

자동발전제어(AGC)와 경제급전(ED)기능으로 구성되며 온라인 모드에서 사용되는 것과 동일하고 또한 동일하게 운전되나 제어신호는 실험계통으로 보내지지 않고 계통 모델링 기능에 의해 출력 변화가 모의 된다.

(다) 계통안정성 해석기능 (Network Security Analysis Functions)

전력계통의 상정사고 해석에 의한 안전성 감시와 예방제어 기능이 시뮬레이터 모드에서 수행 가능하며 다음과 같은 프로그램으로 구성된다.

- 계통모델 구성기(NMB; Network model Builder)
- 모선부하예측 (BLF; Bus load Forecast)
- 상태추정기 (SE; State Estimator)
- 안정성 해석(SA; Security Analysis)
- 급전원 전력조류(DPF; Dispatdier Power Flow)
- 제널티 계수(PF; Penalty Factor)
- 제약경제급전(SCED ; Security Constraint Economic Dispatch)
- 전압제어 (VC ; Voltage Control)

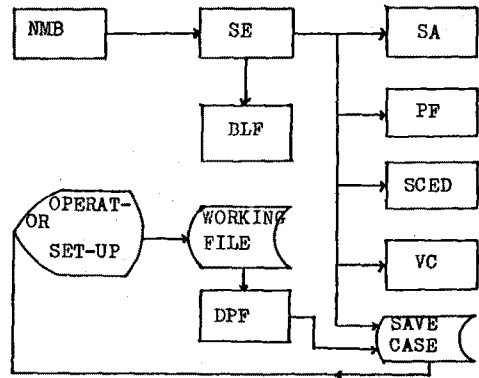


그림 2. 계통안정성 해석기능 개요도

(라) 원격제어 기능 (Supervisory Control Functions)

온라인 모드에서 수행되는 원방제어 기능과 똑같은 기능이 구비되며 ON/OFF 제어, 변압기 탭 제어(Jogging Control), 기동정지제어 및 Tagging 등이 수행되나 제어신호는 실험계통에 전달되지 않는다.

(마) 기록기능 (Logging Functions)

기록기능 역시 온라인에서 수행되는 것과 동일하게 수행되며 시나리오에 들어 있는 데이터에 따라 기록된다.

(2) 전력계통 모델링 기능 (Power System Modeling Functions)

이 기능은 시뮬레이터의 주기능으로서 전력계통의 움직임(Power System Behaviour)을 모의하게 되는데 다음 기능의 수행이 가능하다.

(가) 원격제어 응답모델링 기능(Supervisory Control Response Modelling Function)

시뮬레이터 모드에서 제어신호는 연락큐 (Liason Queue)에 들어 가게 되며 큐 내부 데이터에 따라 전력계통의 움직임이 이 기능에 의해 모의되고 그 결과가 상태변화 큐(Status Change Queue)에 들어가 데이터 처리되어 필요시 경보나 상태변화 메시지를 나타내게 된다.

(나) 계통모델 구성기능(Network Model Building Functions)

이 기능은 동적 시뮬레이터를 위해 주기적으로 수행되는 기능중에서 제일 먼저 수행되며 네트워크상태, 전제부하, 계범부하 및 소내부하의

모델을 구성한다.

(다) 주파수 편차계산 (Frequency Deviation Calculation)

이 계산은 주파수 편차와 발전기출력제어를 위한 조속기 출력을 0.1초 주기마다 다음의 두 개의 식에 의해 계산한다.

$$\text{SUM}_i(M_i) \frac{d(DF)}{dt} = \text{SUM}_i(PM_i) - \text{SUM}_i(PLO_i) * (1+RK*DF) - \text{SUM}_i(PSS_i) - PLOSS' \dots\dots(1)$$

$$DP = \text{SUM}_i(PM_i) - \text{SUM}_i(PLO_i) - \text{SUM}_i(PLO_i) - \text{SUM}_i(PSS_i) - PLOSS' \dots\dots(2)$$

상기의(1)식은 부하주파수 특성을 포함한 조속기의 운동방정식이고 (2)식은 조속기의 출력이 고려된 발전력과 부하간의 유효전력 불평형 방정식이다.

여기에서

M_i : 발전기 i 의 관성모멘트

DF : 계통의 주파수 편차

PLO_i : $\Delta f=0$ 을 위한 부하의 유효전력

RK : 조정에너지

PSS_i : 발전기 i 의 소내부하

$PLOSS$: 전체충전손실

DP : $DF=0$ 에서 발전력과 부하간의 유효전력 불평형을 나타낸다.

(라) AGC/ED 응답 모델링 기능

(AGC/ED Response Modelling Functions)

이 기능들은 발전기의 기계적 출력(PM_i)을 직접변경 시키고 또한 조류계산 이전에 PM_i 를 결정한다.

중감발 신호와 설정치 신호(Setpoint Signal)가 AGC/ED에 의해 보내지고 교육지도자가 직접 PM_i 를 변경시킬수 있으며 보일러의 응답이 고려된다.

(마) 조류계산 (Load Flow Calculation)

시뮬레이터의 전력계통 모델링 시퀀스에서 조류계산은 AC 조류계산법이 사용된다.

(바) 보호장치 모델링 기능 (Protective Equipment Modelling Functions)

이 기능에 의해 저주파 계전기와 자동부하절제에 대해 모의를 할 수 있다.

(사) 모의된 온라인 데이터 베이스 갱신 기능 (Simulated On-Line Data Base Updating

Functions)

모델링에 대한 주기적 수행에서 매주기가 끝남직마다 모의된 온라인 데이터 베이스를 수정하는 기능이다.

이상의 전력계통 모델링 기능에 대하여 전체적으로 나타내면 그림 3과 같다.

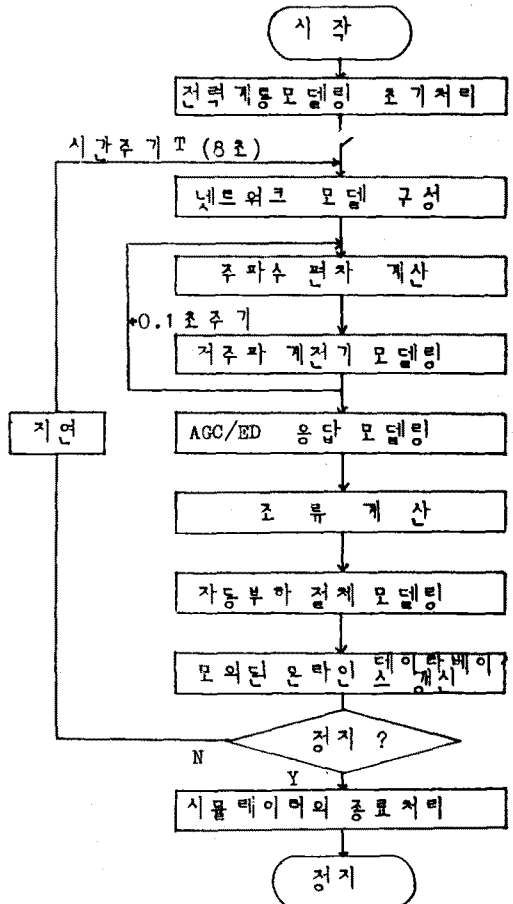


그림 3. 전력계통 모델링 기능의 개념도

(3) 지원기능 (Support Functions)

이 기능은 시뮬레이터가 효율적으로 효과있게 동작하도록 지원하는 기능으로서 모의결과를 분석하는 등 다음의 기능들로 구성된다.

- . 시나리오 저장 (Scenario Registration)
- . 초기 데이터 설정 (Initial Data Setting)
- . 사건모의 계획 (Event Scheduling)
- . 정적 시뮬레이션 (Static Simulation)
- . 모의 결과 재연 (Play back)
- . 모의 결과 평가 (Evaluation)

4. 운용 절차

전력계통 운용자 교육용 동적시뮬레이터의 운용절차는 다음의 다섯 단계로 나누어지며, 사용자는 먼저 예비 CPU 외 온전 모드를 시뮬레이터 모드로 변경하고 CRT 표시를 통해 각 단계별로 필요한 사항을 조치한다.

- . 시나리오 저장단계 (Scenario Registration Phase)
- . 시나리오 선택 및 수정 단계 (Scenario Selection/Modification Phase)
- . 정적 시뮬레이션 단계 (Static Simulation Phase)
- . 동적 시뮬레이션 단계 (Dynamic Simulation Phase)
- . 평가 단계 (Evaluation Phase)

이상의 운용절차에 대한 전체적인 개념도를 나타내면 다음의 그림 4와 같다.

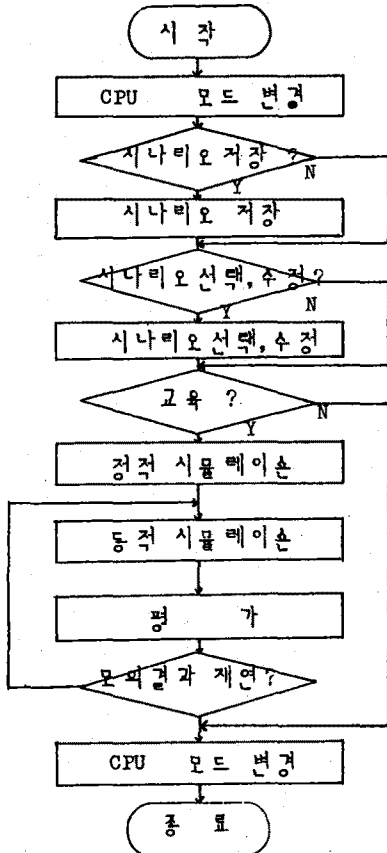


그림 4. 시뮬레이터 운용절차도

5. 결론

뉴욕 및 프랑스의 대정전 사고 이후 계통의 안전성 해석 기능과 아울러 전력계통 운용자의 교육을 위한 동적 시뮬레이터의 필요성이 세계적으로 높아지고 있다.

이러한 대정전 사고는 앞으로 이와 유사한 사고를 방지하기 위하여 전력계통 운용자가 전력계통의 변화상태를 정확히 파악할 수 있고 사고시 신속한 판단과 처리능력을 구비해야 하는 것이 중요하다는 교훈을 준다.

따라서 동적 시뮬레이터를 이용한 전력계통 운용자의 교육이 확대되고 반복적으로 수행되어야 하며 시뮬레이터 설비도 하드웨어와 소프트웨어가 계통의 구성변경 및 운용방식에 따라 개선되어 전력계통 운용 기술의 모의교육은 물론 제어시스템의 온전 및 유지보수에 대한 모의 교육도 가능하도록 해야 할 것이다.

* 참고 문헌

1. H. Amelink and A.G. Hoffmann, "CURRENT TRENDS IN CONTROL CENTER DESIGN" Electrical Power & Energy System, Vol.5, No. 4, Oct. 1983, PP205 - 211.
2. R. Podmore et al, "AN ADVANCED DISPATCHER TRAINING SIMULATOR", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-101, NO. 1, January 1982.
3. John M. Thorson, Jr. "USES OF COMPUTERS IN OPERATOR TRAINING", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-100, No.5, May 1981, PP 2295-2231.
4. John M. Thorson, Jr. and A. Lynn Misselt, "THE KEY TO SUCCESSFUL ELECTRIC UTILITY TRAINING COURSES", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, NO. 5, May 1981, PP 2584-2592.
5. H. Shiota et al, "DEVELOPMENT OF TRAINING SIMULATOR FOR POWER SYSTEM OPERATORS", IEEE PICA-83, May 17-20, 1983, PP300-306.
6. CONTRACT SPECIFICATION OF KEPCO EMS PROJECT BY KEPCO AND TOSHIBA, December 8, 1984.