



# EMS를 利用한 給電員教育用 시뮬레이터

金 榮 漢 · 李 孝 祥  
韓國電力公社 發電處

## 1. 序 言

전력계통이 단순하고 소규모인 경우에는 급전원의 경험과 지식에 의해 계통을 감시하고 제어하는데 큰 문제점이 없었으나 전력계통이 확대되고 복잡 다양화 되어 감에 따라 감시, 제어 대상이 엄청나게 증가되고 또한, 고품질의 전력 공급을 위해 거의 모든 전력회사에서 전력계통 제어소에 컴퓨터를 중추로 한 자동급전 시스템을 설치하여 운용하고 있다. 더욱이 대 전력계통의 운용을 총괄하는 중앙급전지령소에는 자동급전시스템 중에서 가장 진보된 최신기술이 적용된 에너지관리시스템(EMS: Energy Management System)을 설치하여 운용하고 있다.

우리 나라의 한국전력공사에서도 EMS의 설치공사가 한창 진행 중이며 1988.8월 부터 정상 가동될 예정이다.

이 시스템이 가동되면 전체 계통의 변화 상태를 신속, 정확히 판단할 수 있고 경제급전을 포함한 자동발전 제어 기능의 효과가 향상됨은 물론 계통의 안전성을 사전에 평가하므로써 보다 고품질의 전력을 공급할 수 있게 된다.

그러나 EMS에도 아직까지 사고에 대비한 예방제어와 사고시 복구를 위한 복구제어의 자동제어는 실용

화되지 않고 있어 계통에 큰 사고나 동요가 일어났을 때 사고의 확대를 방지하고 신속히 복구조치를 취해야 하는 것은 급전원이며 이들이 모든 결정을 내리고 조치를 취해야 한다.

최근 새로운 설비가 많이 개발되고 또한 계통사고도 감소하여 여러분야에 실무경험과 지식을 갖춘 요원을 찾기가 매우 어려우며 더욱이 실계통의 사고를 경험하고 이에 대한 조치를 취해 본 경험이 있는 요원을 발견하기는 더욱 어렵다.

따라서 급전원의 임장감(臨場感) 나는 실무교육의 필요성이 높아지고 있으며 이를 위해 전력계통의 모든 동적변화를 실계통 데이터를 가지고 모의할 수 있도록 EMS에 급전원 교육용 시뮬레이터(DTS: Dispatcher Training Simulator)를 구비시키고 있다.

여기에서는 이와 관련하여 급전원 교육체계와 EMS를 이용한 DTS의 필요성, 설비구성 및 주요기능에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 給電員 教育體系

계통규모의 급격한 증대와 복잡다양화 및 컴퓨터 시스템 간 정보의 상호 교환에 따른 대량정보 취급등으로 "두뇌급전"이 요구되는 상황에서는 급전원 교육의

중요성에 대한 인식은 새삼 재론 할 필요가 없을 것이다.

세계 대부분의 전력회사는 급전원 교육을 위한 프로그램과 과목 선택을 위한 과정을 준비해 시행하고 있으며, 그 과정은 OJT(ON-THE-JOB TRAINING)의 형태를 취하고 있으나 훈련의 형식화와 과목 선택의 우선도 등이 실제 교육 실행 목적에 부합되어야 한다.

비록 급전원에게 유익한 정보를 제공해 주는 강력한 기능을 갖춘 새로운 시스템이 제공된다 하더라도, 급전원 입장에서는 그것을 효과적으로 다룰 수 있는 운용 기술(SKILL)을 모색하지 않으면 안된다. 이러한 방향에서 피교육자의 욕구를 충족시키고 교육효과를 증진시킬 수 있도록 교육체계가 이루어져야 한다.

여기에 한전의 급전분야 교육체계를 소개하면 그림1과 같다.

### 3. DTS의 必要性

뉴욕, 프랑스 그리고 최근 일본에서의 대정전 사고 이후 기존의 경제운용 외에 안전도 평가(Security Assessment) 기능과 아울러 급전원의 교육을 위한 동적 시뮬레이터의 필요성이 세계적으로 높아지고 있다.

이러한 대정전 사고는 앞으로 이와 유사한 사고를 방지하기 위하여 전력설비의 확충에 앞서 이를 고려한 전력계통의 운용특성을 모의 훈련함으로써 급전원이 전력계통의 변화상태를 정확히 파악할 수 있고, 사고시 신속

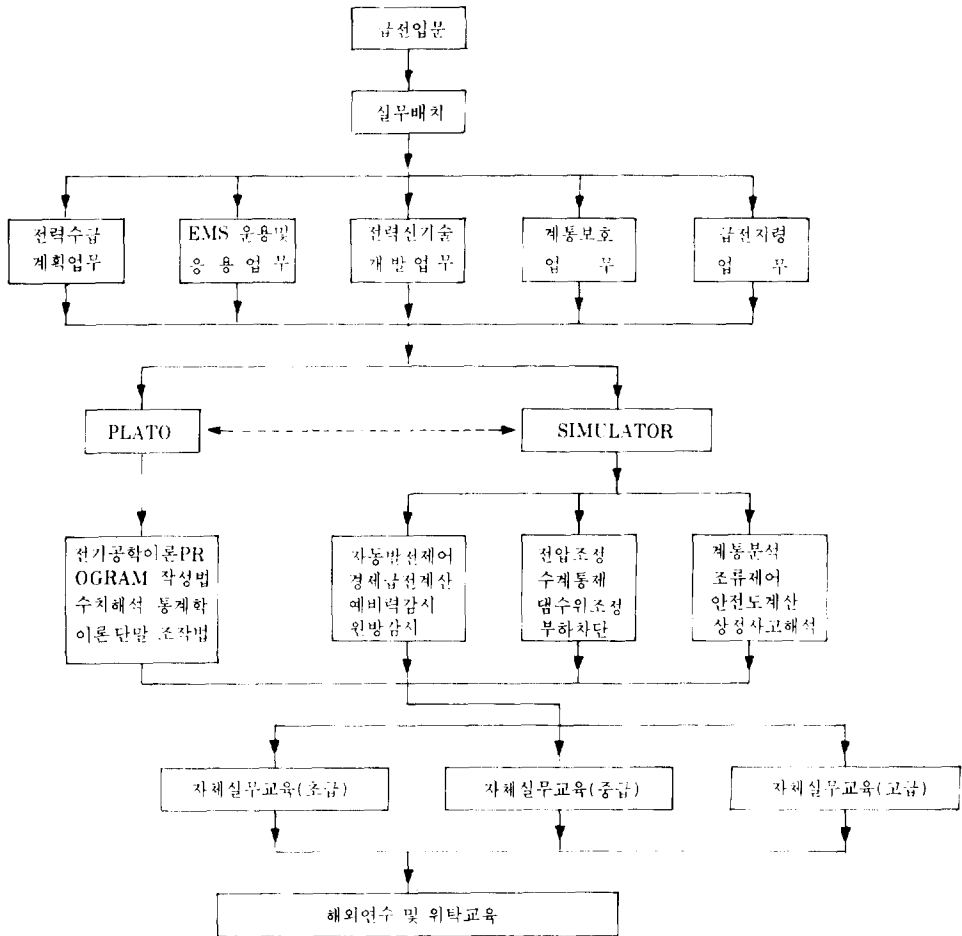


그림1 한전급전분야교육체계도

한 판단과 처리 능력을 급전원에게 부여할 수 있는 동적 시뮬레이터를 구비해야 하는 것이 중요하다는 교훈을 준다.

따라서 동적시뮬레이터를 이용한 급전원 교육이 확대되고 반복적으로 수행되어야 함은 물론 시뮬레이터 설비도 하드웨어와 소프트웨어가 계통의 구성변경과 운용 방식에 따라 개선되어, 전력계통 운용기술에 대한 모의 교육의 필요성 뿐만 아니라 제어시스템의 운전 및 유지보수에 대한 모의 교육도 수행될 수 있도록 그 이용이 높아지는 추세에 있다.

DTS의 시뮬레이션 개념도를 나타내면 그림2와 같다

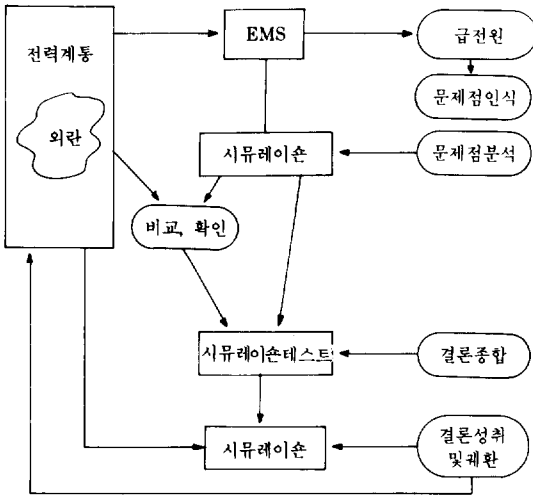


그림2 DTS의 시뮬레이션 개념도

#### 4. DTS의 設備構成

급전원 교육용 시뮬레이터는 크게 나누어 정적(Static)과 동적(Dynamic)시뮬레이터로 구분할 수 있다.

정적시뮬레이터는 전력계통의 정태적인 조건에서 계통을 모의하므로 조속기, 여자기, 계통주파수 등의 동적인 변화에 대한 모의가 불가능하며 그 기능이 제한된다.

반면 동적시뮬레이터는 전력계통의 모든 동적변화(Dynamic Behavior)를 모의 할 수 있을 뿐만 아니라 급전원에게 사건발생과 조작에 따른 전력계통의 변화특성을 시시각각 CRT를 통해 제시하여 준다.

따라서 동적시뮬레이터는 전력계통 운용에 사용되고

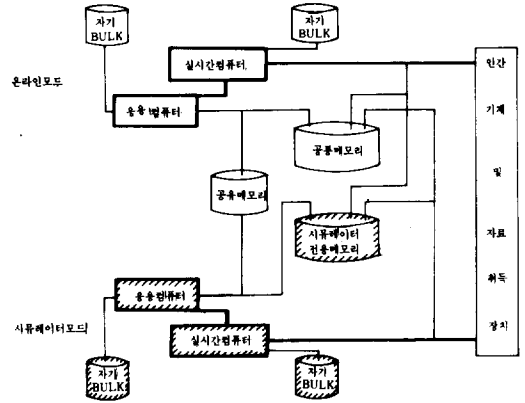


그림3. 시뮬레이터 설비 구성도

있는 온라인 제어용 컴퓨터 시스템을 이용하도록 그림3과 같이 하드웨어를 설계하여 일반적으로 컴퓨터 시스템의 운전모드만 변경함으로써 예비 컴퓨터 전체가 동적시뮬레이터용으로 사용되게 하고있다.

### 5. DTS의 主要機能

급전원 교육용 시뮬레이터는 교육의 효과를 높이기 위해, 정적·동적시뮬레이션이 가능하도록 다음의 세가지 기능을 이용해 그림4와 같은 운용절차로 동작된다.

- 온라인 機能
- 電力系統 모델링 機能
- 支援 機能

#### 5.1 온라인 機能

이 기능은 동적 모의훈련중 피교육자가 실제통에서 운용되는 기능과 동일한 기능 그리고 온라인 데이터베이스와 동일구조를 갖는 시뮬레이터 전용의 데이터베이스에 의해, 모의계통을 실제통과 똑같은 상태에서 감시, 제어 분석 및 운용을 가능하게 하는 기능으로써 다음과 같은 세부기능으로 구성된다.

##### 5.1.1 감시기능

효과적이고 능률적인 교육효과를 도모하기 위하여 온라인 모드에서와 동일한 단선 결선도와 보조 테이블을 이용하고 동일 기준에 의한 경보기능을 구비해 이상상태 발생시 CRT 화면상에 경보 내용을 표시함은 물론

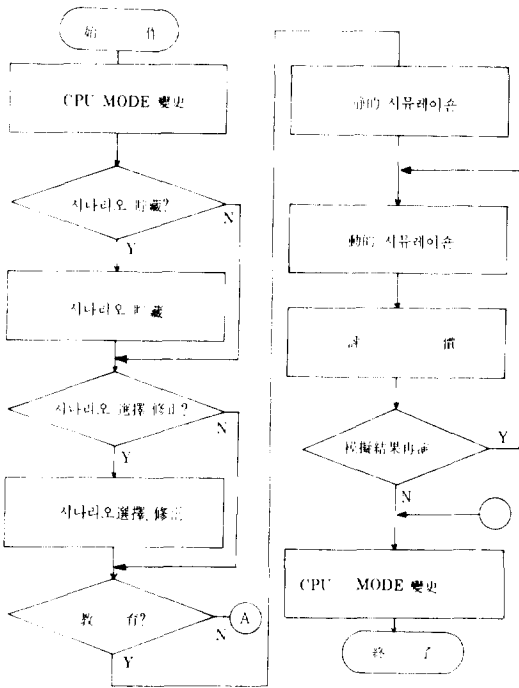


그림4. 시뮬레이터 운용절차도

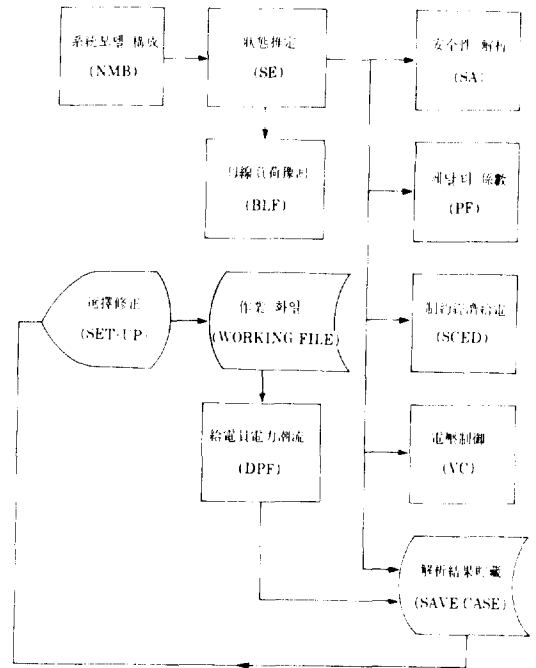


그림5. 전력계통 해석기능 흐름도

경보음을 발생시킨다.

### 5. 1. 2 발전제어기능

온라인 모드에서 운용되는 것과 동일한 자동발전제어 (AGC)와 경제급전(ED) 기능으로 구성되어 운용되지만, 실제 제어명령은 현장원격소에 전달되지 않고 전력계통 감시기능에 의해 모의만 이루어 진다.

### 5. 1. 3 전력계통 해석기능

전력계통의 상정사고 해석에 의한 안전성 감시와 예방제어 기능이 시뮬레이터에서 수행 가능하며 다음과 같은 세부기능으로 구성된다.

- 계통모델 구성기(NETWORK MODEL BUILDER)
- 모선 부하예측(BUS LOAD FORECAST)
- 상태추정(STATE ESTIMATOR)
- 안전도 해석(SEcurity ANALYSIS)
- 페널티 계수계산(PENALTY FACTOR CALC)
- 제약 경제급전(SEcurity CONSTRAINED ED)
- 전압제어(VOLTAGE CONTROL)
- 급전원 조류계산(DISPATChER POWER FLOW)

여기서 전력계통 해석기능에 대한 흐름도를 나타내면 그림5와 같다.

### 5. 1. 4 원격제어기능

온라인 모드에서 수행되는 ON/OFF 제어, 변압기 탭제어(JOGGING CONTROL), 내연과 소수력 발전기에 대한 기동정지제어 및 TAGGING 기능 등이 현장 계기에 전달되지 않고 감시기능에 의해 모의된다.

### 5. 1. 5 기록 기능

온라인 모드에서 수행되는 모든 기록기능이 수행되는 물론 훈련결과에 대한 평가레포트라고 하는 독특한 형태의 보고서를 작성한다.

## 5. 2 電力系統 모델링 機能

시뮬레이터의 주된 기능으로써 전력계통의 변화 특성에 대한 응답 모의를 수행한다.

### 5. 2. 1 원격제어 응답모델링 기능

원격제어 기능에 의해 수행된 제어신호는 시뮬레

# ■ 특집/전력계통

이터의 대기행렬(Liaison Queue)에 들어가 일정 지연 시간 후 큐내의 자료를 이용 전력계통 상황을 모의하고, 자료처리를 위해 상태변화 큐(Status Change Queue)에 결과를 보내 필요시 경보나 상태변화 메시지를 출력한다.

## 5.2.2 계통상태 모델 구성기능

상태변화에 따른 계통의 재구성을 8초 간격으로 수행하며, 계통이 분리된 경우 분할된 계통이 발전기를 갖지 않은 경우는 정전 지역 처럼 취급해 처리한다.

## 5.2.3 부하모델

계통모의를 위한 부하모델은 전체부하설정, 개별부하결정, 부하조절 및 발전기 소내소비에 의하여 이루어진다.

### (1)전체부하설정

시간 t에서의 전체부하(SPL(t))는 다음과 같이 계산된다.

$$SPL(t) = COEF \times SOJYU(t) \times (1 + RNR \times N(m, Sd))$$

여기서, SPL(t):fringe component 가 포함된 계통부하(매8초)

SOJYU(t):계통부하패턴(매1분)

RNR:Random Noise Ratio

N(m, S d) :평균치m과 표준편차 S d의 Normal Random 수

COEF:상태변화 계수

### (2) 개별부하결정

○ 주파수편차 Δf=0인 경우

시간 t에서의 개별부하 PLOi는 다음과 같이 계산된다.

$$PLOi(t) = SPL(t) \times HLi$$

여기서, PLOi(t):Δf=0에 대한 부하의 유효전력

HLi:부하의 배분계수로써, 모의시작점에서의 개별부하(PLi)를 초기전체부하로 나눈 값이다.(즉, HLi=PLi/ 초기전체부하)

○ 주파수편차 응답부하

주파수 편차 Δf에 대한 응답부하 유효전력은 다음과 같이 계산되고,

$$PLi = PLOi \times (1 + RK \times \Delta f)$$

여기서, RK:regulation energy 로써 공통정수.

무효전력 QLi는 DB에 정의된 일정 Power Factor 를

사용하여 PLi로 부터 계산된다.

### (3) 부하조절

부하조절은 아래와 같이 HLi 변화에 의해 모의된다.

○ 부하차단(LOAD SHEDDING):HLi=0

○ 복구(RESTORATION):HLi= $\frac{1(MW)}{SPL(tr)}$   
(tr=복구시간)

○ 부하변화:HLi= $\frac{PLi(t)}{SPL(t)}$

### (4) 소내소비

발전기 i의 소내소비 유, 무효전력은 다음과 같이 주어진다.

$$PSSi = ai \times PMi + bi$$

$$QSSi = ci \times PSSi$$

여기서, PSSi:유효전력 소내소비

QSSi:무효전력 소내소비

PMi:발전기i의 현재출력

ai, bi, ci:발전기i의 소내소비계수

단, PMi≤0이거나 수력발전소의 경우, PSSi=0으로 간주된다.

## 5.2.4 주파수편차 분석

다음 두 형태의 방정식을 이용하여 각 영역내의 주파수편차와 발전출력을 계산한다.

$$\sum_i (Mi) \frac{d(\Delta f)}{dt} = \sum_i (PMi) - \sum_i (PLOi) \times (1 + RK \times \Delta f) - \sum_i (PSSi) - PLOSS'$$
$$\Delta P = \sum_i (PMi) - \sum_i (PLOi) - \sum_i (PSSi) - PLOSS'$$

여기서, Mi:발전기i의 관성모멘트

PLOSS':이전 계산시의 전체송전 손실량

ΔP:Δf=0에서 계통출력과 부하간의 유효전력편차.

주파수편차분석에 대한 상세 블록선도를 나타내면 그림6과 같다.

### (1) ΔP-Δf 특성

Laplace 연산자 S를 사용해 다음과 같이 계산된다.

$$\tilde{\Delta f} = \frac{1 / (RK \times \sum_i (PLOi))}{1 + (\sum_i (Mi)) / (\sum_i (PLOi) \times RK) \times S} \times \tilde{\Delta P}$$

### (2)GOVERNOR 특성

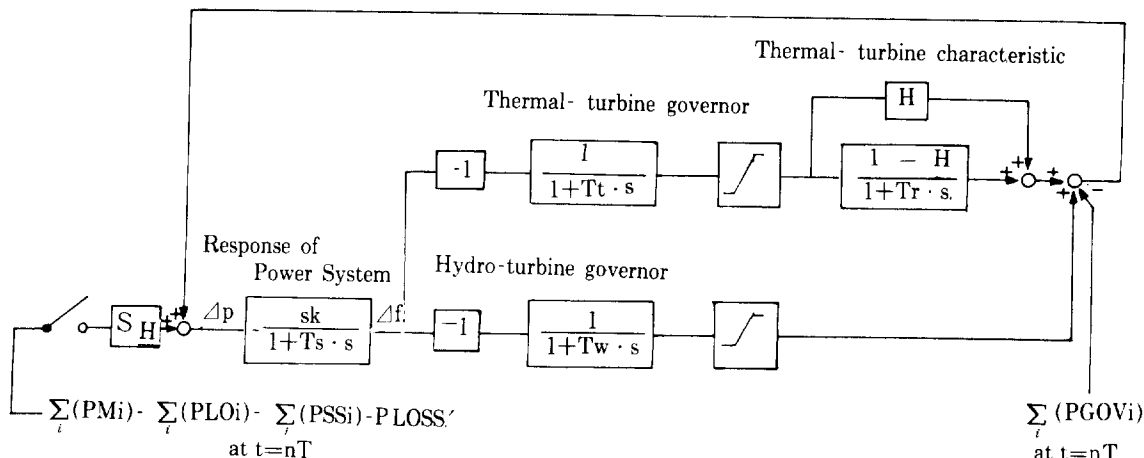


그림6. 주파수편차 분석 블록선도

조속기 특성은 1차변환기능 (First order transfer function) 과 Limiter 를 포함한다.

빠른 계산을 위해 모든 Thermal/Hydro Turbine GOVERNOR 들에 공통변환기능이 이용된다.

(3) 터빈특성

Thermal-Turbine 응동모의는 HIGH-PRESSURE 응동과 LOW and MEDIUM PRESSURE 응동으로 구분해 수행된다.

5.2.5 조류계산 분석

(1) Node Constraints

시뮬레이터는 AC 조류계산의 NETWORK FLOW METHOD 를 사용한다.

조류계산에 사용된 발전기 출력(PEi)은 관성모멘트를 고려하여 다음과 같이 주어진다

$$PE_i = PM_i - PSS_i + M_i / \sum_i (M_i) \times [ \sum_i (PL_i) + \sum_i (PSS_i) + PLOSS' - \sum_i (PM_i) ]$$

$$QE_i = QG_i - QSS_i$$

여기서, QGi: 발전기i의 규정무효전력

(2) 선로상의 조류계산

송전선로를 그림7과 같이 표현했을 때의 유, 무효전력조류는 다음 식으로 부터 계산된다

$$P_{ij} = \frac{V_i V_j \sin(PA_i - PA_j)}{Z_{ij}^2 / X_{ij}} +$$

$$Q_{ij} = \frac{V_i^2 - V_i V_j \cos(PA_i - PA_j)}{Z_{ij}^2 / R_{ij}} - \frac{V_i V_j \sin(PA_i - PA_j)}{Z_{ij}^2 / R_{ij}} + \frac{V_i^2 - V_i V_j \cos(PA_i - PA_j)}{Z_{ij}^2 / X_{ij}}$$

여기서  $Z_{ij}^2 = R_{ij}^2 + X_{ij}^2$

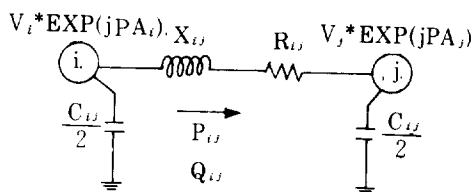


그림7. 송전선로 모델

(3) NODE 상의 조류계산

PQ 지정 node와 PV 지정 node 로 각각 구분해 계산된다.

5.2.6 보호계전기 모델링

보호계전기 모델링은 다음과 같이 시행된다.

- Under Frequency Load Shedding Relay
- Under / Over Frequency Gen. Shedding Relay
- 자동 부하차단

이 기능은 PRIMARY 선로상에 전압손실이 발생했을 때 한 송전선에서 다른 송전선으로의 자동부하절체가 이루어진다.

### 5.2.7 복구조작 모의

대정전이나 돌발사고로부터 전력계통의 복구는 동적 모의에서 훈련할 수 있다. 완전한 정전뒤에 복구모드에서는 주파수 편차계산, 부하차단모의, 자동부하절제기능 등은 적용되지 않는다.

또한 복구조작에 의한다 하더라도 전압이 규정치를 넘는다면 복구가 성공적으로 이루어 질 수 없다고 간주되어 재차 정전상태가 된다.

이상의 전력계통 모델링기능을 전체적으로 나타내면 그림8과 같다

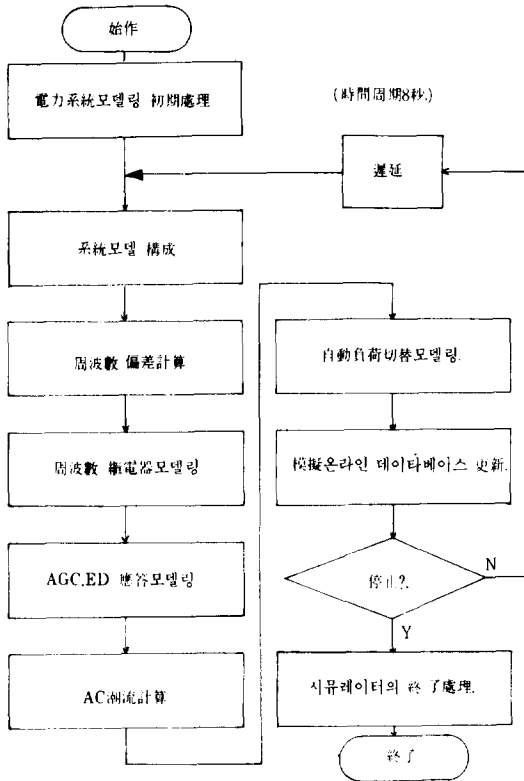


그림8. 전력계통모델구성 기능흐름도

### 5.3 支援 機能

시뮬레이터를 효율적이고도 효과적으로 동작될 수 있도록 지원하는 기능으로써 모의 결과를 분석하는 등 다음의 기능들로 구성된다.

- 시나리오 저장(Scenario registration)
- 초기데이터 저장(Initial data setting)
- 사건모의계획(Event scheduling)
- 정적시뮬레이션(Static simulation)
- 모의결과 재연(Play-back)
- 모의결과 평가(Evaluation)

## 6. 結 論

복잡 다원화된 전력계통의 특질변화와 급전운용 형태의 변화 그리고 EMS와 같은 새로운 고기능이 적용됨에 따라 그 운용을 행하는 급전요원의 자질향상 즉, 인재육성의 중요성은 앞으로 더욱 더 높아 질 것이다.

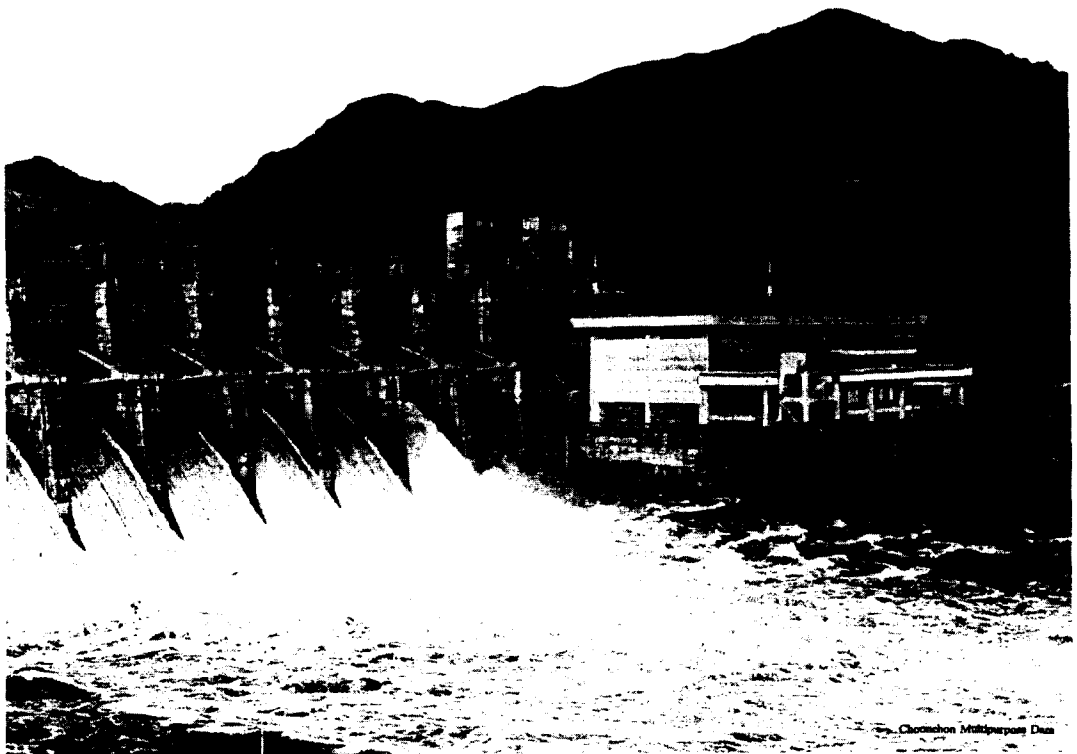
급전원 교육용 시뮬레이터는 발, 승, 배전에 종사하는 모든 피교육자가 이제까지 현장에서 경험했던 몸에 밴 산지식을 체계화하고 정립화 시키는 도구로 이용될 수 있을 뿐만 아니라, 돌발사고나 대정전 사고를 맞이하여 신속 정확한 의사 결정을 수행할 수 있도록 지원해 줌으로써 복구처리에 대한 기술과기능을 점차 고도화시켜 나갈 것이다.

추후 모의 교육 수행에 따른 주제와 목표의 명확한 설정에 따른 교과목의 올바른 선택과 각 계층(중앙급전원, 지역급전원, 현장원)간의 폭넓은 정보교환을 통해 교육체계를 정립하므로써 장래에 구성될 Expert System의 지식 데이터베이스에 이용되도록 하는 것이 과제가 된다.

## 참 고 문 헌

- 1) 송길영, 김영한  
"전력계통 운용자 교육용 동적시뮬레이터" 대한전기학회, 1985년도 하계학술회의 논문집 pp119-122, 1985.7.26
- 2) KEPCO'S EMS DOCUMENTATIONS  
"Operation Definition of Dispatcher Training Simulator" Transmittal NO. TO66, 1985.4.19
- 3) H.Amelink and A.G. Hoffman  
"CURRENT TRENDS IN CONTROL CENTER DESIGN" Electrical Power & Energy System, Vol.5, NO.4, Oct. 1983, pp205-211.
- 4) R.Podmore et al, "AN ADVANCED DISPATCHER TRAINING SIMULATOR", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol.PAS-101, NO.1, January 1982.

- 5) John M. Thorson, Jr. "USES OF COMPUTERS IN OPERATOR TRAINING", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-100, NO. 5, MAY 1981, pp2295-2231.
- 6) 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, pp2584-2-592.
- 7) H.Shiota et al, "DEVELOPMENT OF TRAINING SIMULATOR FOR POWER SYSTEM OPERATORS", IEEE PICA-83, MAY 17-20, 1983, pp300-306.



Choncheon Multipurpose Dam