

# 그래픽통합환경을 갖춘 전력시스템 해석과 운용을 위한 교육 및 훈련용 패키지

(Development of the Educational and Training Package with an Integrated  
Graphic Environment for Power System Analysis & Operation)

신중린\* · 이옥화\*\* · 임동해\*\*

(Joong-Rin Shin · Wook-Hwa Lee · Dong-Hae Im)

## 요 약

본 연구에서는 그래픽통합환경을 갖춘 전력시스템 해석과 운용을 위한 교육 및 훈련용 패키지를 개발하였다. 개발된 패키지는 PC에서 운용되며 초보자의 전력시스템교육 및 훈련에 적합하도록 대화식으로 구성되어 있다. 그 구성 요소들로는 첫째, 전력시스템 모델링을 위한 그래픽 편집기. 둘째, 풀-다운 방식의 주메뉴, 셋째, 모의 결과의 그래픽 및 동화상 출력 모듈. 넷째, 데이터베이스 시스템. 다섯째, 전력시스템 해석 및 운용의 응용 모듈 등이 있다. 사례 연구를 통하여 제시한 패키지가 초보자를 위한 전력시스템 해석과 운용에 대한 유용한 교육 및 훈련용 수단일 수 있음을 나타내었다.

## Abstract

This paper describes the development of educational and training package with Integrated graphic environment for power system analysis & operation. This package runs on a personal computer with interactive scheme and includes a graphic editor for modeling of power system, a database system, the various graphic illustration & animation modules to represent the simulation results, and the application module of the power system analysis & operation. The proposed package is tested on a sample system, the package will be useful for the education and training of power system analysis and operation.

## 1. 시 론

최근에 그래픽통합환경을 갖춘 전력시스템 교육/

\*정회원 : 건국대학교 전기공학과 부교수

\*\*정회원 : 건국대학교 전기공학과 박사과정

접수일자 : 1997. 11. 21

훈련용 패키지 개발에 대한 여러 가지 연구가 보고 되고 있다.

이들 연구에서 특히 그래픽통합환경을 많이 사용하고 있는 이유는 전력시스템 패키지 개발에 있어서 가장 힘든 부분인 그래픽 전력시스템 단선도 구축과 이와 관련된 방대한 시스템 데이터의 입출력 과정

등을 효과적으로 처리하는 기법을 제공하고 있기 때문이다.

이들 기술들을 구체적으로 살펴보면, 이미 컴퓨터를 이용한 교육 분야(Computer-assisted instruction)[1]에서 널리 사용되고 있는 컴퓨터 그래픽 설계(Computer graphic design), 대화식 구성(Interactive scheme), 그리고 데이터베이스(Database) 등이 있으며, 최신 기법으로 시각화 기법(Visualization techniques)[2]와 서로 독립적인 구조를 가지면서 새로운 기능의 추가로 인한 기존의 프로그램에 영향을 받지 않은 객체 지향 프로그래밍 기법(Object-oriented programming techniques) 등을 들 수 있으며 이 기술들을 적용한 패키지 개발이 진행되고 있다[3].

지금까지의 전력시스템 교육/훈련용 패키지 개발과 관련된 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. D.C Yu[4]는 PC를 이용한 단순한 2차원 그래프 기능을 통한 대화식 그래픽 패키지 개발을 발표했으며, M. Daneshdoost[5]는 도스 환경에서 동작하는 통합환경을 갖춘 패키지를 제안했다. 그 이후 B.H. Chowdhury[6]은 풀다운 메뉴(Pull down Menu)와 윈도우를 제공하는 사용자 인터페이스를 가진 교육 툴(tool)을 제시하였지만 수치 연산은 중형 컴퓨터인 VAX 8800에게 맡기고 그래픽 기능만을 PC로 구현하므로 툴의 범용성을 떨어뜨렸다. 90년 중반부터는 객체지향 기법이 적용된 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface)를 갖춘 교육용 패키지[7]가 보고되고 있지만 아직 개념 정립 단계에 머무르고 있다. 한편 Overbye[8]은 시각적모의 기법을 이용하여 동화상(animation)을 제공하는 통합환경을 갖춘 교육용 전력시스템 운용 패키지를 개발하였다. 이는 훈련자에게 복잡한 전력시스템 운용에 대한 직감적인 이해를 갖도록 구성되어 있다.

본 연구에서는 최근의 컴퓨터 그래픽 기술의 연구 결과들인 그래픽 사용자 인터페이스 및 시각적 모의 기법 등이 적용된 그래픽 통합환경을 갖춘 전력시스템 해석 및 운용 기술에 대한 교육/훈련용 패키지를 개발하였다. 특히, 개발된 패키지의 모든 운용 과정은 PC에서 이루어진다. 제시된 패키지의 주요 특성

을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 훈련자가 손쉽게 전력시스템 단선도(One-line diagram of power system)를 구성할 수 있도록 마우스구동 방식으로 동작되는 그래픽 편집기(Graphic Editor). 둘째, 훈련자의 능동적인 학습을 위한 대화식 운용 체제. 셋째, 전력시스템의 복잡한 현상에 대한 쉬운 이해를 위한 다양한 그래픽 출력 기능과 전력시스템 요소들간의 물리적 상호 변화를 가시화할 수 있는 동화상 기능. 넷째, 모의 대상 시스템과 관련된 데이터를 손쉽게 관리할 수 있는 효과적인 데이터베이스의 구축 등이다.

본 패키지의 구성은 크게 세 가지로 이루어져 있다. 첫째, 풀-다운 방식의 주메뉴, 그래픽 편집기, 그리고 그래픽 및 동화상 모듈 등을 포함하는 그래픽통합환경. 둘째, 통합환경과 연계되어 있는 데이터베이스 시스템. 셋째, 전력시스템 응용 모듈로써 개발된 조류계산[10] 및 안정도 모듈[11]을 포함하고 있다. 여기서 응용 모듈은 독립된 윈도우를 가지고 있으며 그 특징들은 그래픽 및 동화상 모듈에서 설명되어 있다. 그림 1.은 제시된 패키지의 전체 구성도를 보이고 있다. 패키지를 개발하는데 사용된 개발 툴로써, 데이터베이스와 그래픽 사용자 인터페이스 구성을 위하여 Borland C++ Builder를 사용하였고 수치 연산은 C++를 이용하였다. 개발된 통합환경이 요구하는 하드웨어는 IBM PC 486이상으로 8메가 바이트 이상의 메모리와 시뮬레이션 결과에 대한 그래픽 및 동화상 출력을 위하여 칼라 그래픽 카드가 필요하다. 그리고 작업환경이 윈도우즈 환경이므로 마우스의 사용이 요구된다.

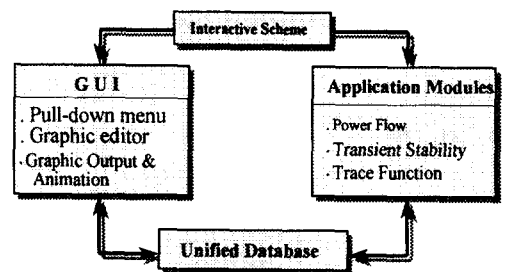


그림 1. 패키지의 구성도  
Fig. 1. Schematic diagram of the package

## 2. 그래픽 통합 환경

### 2.1 주 메뉴

주 메뉴는 훈련자가 여러 구성 요소에 쉽게 접근하도록 풀-다운 방식으로 되어 있으며 세 가지 메뉴를 가지고 있는데 첫째, 자유로운 문서 입·출력 및 저장을 위한 “문서” 메뉴. 둘째, 그래픽 편집기의 출현과 훈련 분야 선정을 위한 “훈련” 메뉴. 셋째, 모의 대상 시스템과 관련된 데이터를 데이터베이스화하고 관리하는 “자료” 메뉴 등으로 구성되어 있다. 또한, 훈련자로 하여금 신속한 데이터 처리와 프로그램 운용을 위하여 사용 빈도가 비교적 높은 기능들인 새문서, 열기, 저장, 새이름으로 저장, 인쇄 등을 그래픽 아이콘으로 구성하였다.

### 2.2 그래픽 편집기(Graphic editor)

그래픽 편집기는 훈련자가 모의할 전력시스템의 단선도를 작성할 수 있게 하는 도구로써 단선결선도 도면의 주화면과 단선도 작성을 도와주는 도구상자(Toolbox) 그리고 전력시스템의 각 구성 요소들을 나타내는 그래픽 아이콘들로 구성되어 있다.

#### 2.2.1 그래픽 편집기 메뉴 및 도구상자

##### (1) 그래픽 편집기 메뉴

그래픽 편집기의 메뉴들을 살펴보면 다음과 같다. ‘New’ 메뉴는 새로운 시스템의 단선도 작성을 위한 새도면을 출력하며 작성될 전력시스템명을 입력한다. ‘Open’ 메뉴는 기존에 작성한 전력시스템의 단선도를 화면에 표시한다. ‘Save’ 메뉴는 변경하거나 새로 작성한 시스템의 단선도를 저장할 수 있게 한다. 이 경우 시스템명이나 도면 이름은 변하지 않는다. ‘Save as’ 메뉴는 작성한 전력시스템의 단선도를 새로운 이름의 시스템명과 도면 이름으로 저장한다. ‘Print’ 메뉴는 작성한 그래픽 도면을 프린터로 출력하게 한다.

##### (2) 도구상자

도구상자는 도면을 표시하는 주화면과는 다른 별개의 그래픽 아이콘들의 집합으로써 이것을 이용해

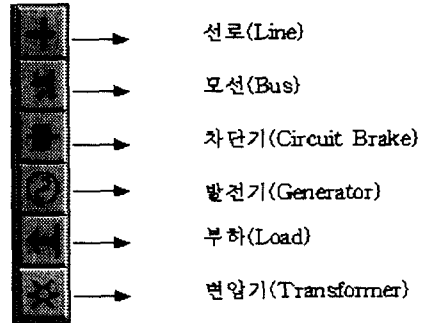


그림 2. 그래픽 편집기의 도구상자  
Fig. 2. Toolbox of the graphic editor

서 훈련자는 원하는 시스템 객체를 쉽게 선택할 수 있을 뿐만 아니라 단선도 편집 작업을 효율적으로 수행할 수 있다. 도구상자에 포함되어 있는 객체로는 선로, 모선, 차단기, 발전기, 부하, 변압기 등이다. 그림 2는 팩키지에서 구현된 도구상자를 보이고 있다.

#### 2.2.2 그래픽 편집기의 기능

##### (1) 객체 추가 기능

훈련자가 원하는 객체를 도면에 추가시킬 수 있는 기능으로, 먼저 추가하기를 원하는 객체를 마우스로 선택하면 화면에 해당 객체가 나타나고 마우스 커서를 따라서 움직이게 되는데, 커서의 위치는 객체의 좌측 상단이 되도록 한다. 이때 사용자가 왼쪽 마우스 버튼을 누르면 객체가 추가되고 오른쪽 버튼을 누르면 추가 기능이 취소된다.

##### (2) 객체 삭제 기능

훈련자가 도면에 있는 객체를 도면에서 제외시킬 수 있는 기능으로, 삭제할 원하는 객체에 마우스 커서를 위치시키고 왼쪽 버튼을 누르면 객체가 선택되고 이때 ‘Delete’키를 누르면 객체가 도면에서 삭제된다.

##### (3) 객체 이동 기능

훈련자가 도면에 있는 객체를 이동시킬 수 있다. 이동을 원하는 객체에 마우스 커서를 위치시키고 왼쪽 버튼을 누르면 객체가 선택되고 왼쪽 마우스 버

튼을 누른 상태에서 마우스 커서를 움직이면 이에 따라 객체가 이동된다. 마우스의 왼쪽 버튼을 해제 시키면 이 위치에 객체가 위치한다.

(4) 객체 복사 기능

훈련자가 도면에 있는 객체를 선택하여 복사할 수 있는 기능으로, 마우스의 이중 클릭으로 복사된 객체는 마우스 커서를 따라 움직이게 되는데 원하는 위치에서 한번더 클릭을 하면 화면에 선택된 객체를 복사하여 놓을 수 있다.

(5) 도면의 데이터베이스화 기능

도면에 객체를 추가하거나 도면에 있는 객체에 변경이 있을 때마다 이런 추가/변경 사항들을 데이터베이스에 저장할 수 있다.

2.3 그래픽 및 동화상 출력 모듈

2.3.1 모의 과정의 그래픽 출력 및 개입 기능

훈련자로 하여금 전력시스템의 계산 과정을 관찰할 수 있도록 즉, 전력시스템의 수치해법의 수렴 과정을 그래픽으로 나타내고 동시에 수렴 결과를 윈도우 화면에 출력함으로써 수치계산과정 및 결과에 대한 빠른 이해를 가능케 한다. 이러한 모의 과정의 그래픽 출력 기능은 이미 개발된 조류계산모듈[10]에 포함되어 있다. 또 다른 특징으로 모의 중간에 사용자로 하여금 계산과정에 개입할 수 있도록 했다. 즉, 사용자 개입 기능을 부가함으로써 모의 수행 중 훈련자가 인터럽트를 걸어 시스템의 조건을 변경시키고 변경된 정보로 시뮬레이션을 가능케 함으로서 시스템 해석 알고리즘의 수렴 특성 및 수리적 안정성에 대한 이해를 훈련자로 하여금 얻을 수 있도록 하였다.

2.3.2 동화상을 이용한 모의 결과 출력 기능

본 패키지의 동화상 출력 기능은 훈련자에게 시각적으로 전력시스템의 특성을 이해시키기 위해서 고안된 기능이다. 주지하다시피 전력시스템은 수치정보의 방대함 때문에 해석 결과에 대한 신속한 판단이 어렵다. 따라서 모의 결과로 발생하는 수치 정

보를 즉석에서 동화상으로 보여줌으로 훈련자로 하여금 시스템 변화 후의 전력시스템의 상태에 대한 직관적인 이해를 높인다. 특히 이러한 기능은 물리적으로 이해하기 힘든 전력시스템 안정도 및 연계된 계통 특성의 교육에 효과적이다.

동화상 출력 기능을 구체적으로 확인하기 위해서 기 개발된 안정도 모듈[11]에서 구현된 동화상 기능을 살펴보면 다음과 같다. 즉, 초보자나 미숙련자들이 시각적으로 안정도를 이해할 수 있도록 시스템의 모든 발전기들을 실제의 형태와 유사한 동화상으로 나타내었다. 따라서, 시스템의 안정도를 모의하면 모의 시작 시점부터 마칠 때까지 발전기들의 회전자의 스윙 (swing)이 동화상으로 나타나며 이에 대응하는 발전기의 위상각이 그래프와 디지털화된 수치로 표시된다. 그리고 모의 동안에 발전기들의 주요 변수들의 수치 변화들은 자동적으로 글로벌 파일로 저장된다. 또한 과도기간 동안의 개별 발전기들의 주요 변수들의 동특성을 재생하여 볼 수 있도록 하는 트레이스 기능(Trace function)을 제공한다. 즉, 모의 후 사용자가 자세히 관찰하고자 하는 발전기의 파일을 불러들이기만 하면 모의 기간의 해당 발전기의 여러 가지 주요 변수들의 변화 과정을 윈도우 화면에 그래프와 동화상으로 출력한다.

3. 데이터베이스의 구성

교육 및 훈련용 패키지에서 모의 대상 전력시스템에 대한 다양한 모의를 수행하려면 각종 데이터의 이동이 자유롭고 효율적으로 관리되어야 할 것이다. 특히 도면데이터, 전력시스템 데이터, 그래픽 형태의 결과 데이터 등을 손쉽게 관리하기 위해서는 관련된 정보들을 효과적으로 데이터베이스화하여야 한다. 본 연구에서 구성된 데이터베이스는 일반 사무 분야에서 널리 사용되는 관계형 데이터베이스[9]를 사용하였다. 본 연구의 데이터베이스의 구축을 위하여 수행된 과정은 첫째, 패키지내에서 데이터 흐름 및 처리 흐름과 훈련자에게 필요로 하는 기능 등을 조사하는 요구 사항 분석 및 정의를 수행하였다. 둘째, 위의 분석된 요구 사항들로부터 데이터 개체 (enti-

ty)와 속성(attribute)을 추출하고 이들 상호관계를 그림으로 표현하였다. 셋째, 얻어진 개체-관계 모델(Entity-Relational model) [9]를 통하여 도표 형태의 관계형 스키마 (Schema)를 생성하였다. 다섯째, 사용된 데이터베이스관리 시스템(DataBase Management System : DBMS)에 대하여 나타내었다.

### 3.1 데이터베이스의 요구 분석

제안된 팩키지의 데이터베이스의 요구 분석은 그래픽 편집기에서 구성된 전력시스템 데이터, 훈련자에 의한 변경된 데이터, 모의 결과 데이터 등을 서로 다른 모듈에서 쉽게 참조하며 데이터 중복을 피하므로 효과적인 메모리 관리를 수행하도록 하였다. 본 연구의 목표가 '초보자 또는 미숙련자'를 위한 교육/훈련용 팩키지의 구성이기 때문에 제공될 데이터 객체들 (objects)로 발전기, 선로, 변압기, 모선으로 제한하였다. 각 데이터 객체들에 대한 구체적인 요구 사항 분석 결과를 나타내면 다음과 같다.

#### (1) 발전기 객체

발전기 객체에서는 발전기 번호, 정격 출력, 정격 전압, 정격 주파수, 발전기 무효 전력의 최대 및 최소 발전량, 발전기 관성 상수, 발전기 차과도 리액턴스, 발전기 시퀀스 리액턴스(저항성분 무시), 중성점 접지 리액턴스, 그리고 경제급전 모의를 위한 각 발전기의 중분 연료비 특성 파라메트에 관한 정보를 제공한다.

#### (2) 선로 객체

선로 객체에서는 선로번호, 선로연결 시작모선, 선로연결 끝모선, 선로임피던스 실수부, 선로 임피던스 허수부, 선로 시퀀스 임피던스(저항성분 무시), 선로 어드미턴스 등에 관한 데이터를 제공한다.

#### (3) 변압기 객체

변압기 객체에서는 1차측 연결 모선번호, 2차측 연결 모선번호, 변압기 임피던스 실수부, 변압기 임피던스 허수부, 변압기 탭비, 변압기 시퀀스 임피던스

(저항성분 무시), 변압기의 중성점 임피던스, 변압기 결선 방식 정보로서 1차측 결선방식, 2차측 결선 방식 등을 제공한다.

#### (4) 모선 객체

모선 객체에서는 모선번호, 모선전압 크기 및 위상각, 발전기 모선에 대하여는 연결된 발전기의 유효전력 및 무효전력의 초기값, 발전기 전압이며 부하모선의 경우에는 부하의 유효 및 무효 전력 등을 제공하고 있다.

### 3.2 개체-관계 분석

개체간의 관계 분석은 개체-관계를 그래픽 방식으로 표현하는 개체-관계 다이어그램(Entity-relational diagram)[9]를 사용하여 수행한다. 이 개체-관계 다이어그램에서 사용되는 요소들은 4가지의 그래픽 심벌로 구성되어 있는데, 즉 개체 집합을 표현하는 사각형, 관계 집합을 나타내는 다이아몬드, 그리고 이들을 연결하는 링크로 구성되어 있다. 특히 관계 집합을 나타내는 다이아몬드는 그 관계 집합에 연관된 개체 집합들을 연결하는데 그 관계의 사상원소수, 즉 일대일(1:1), 일대다(1:N), 다대다(N:m)에 따라 레이블을 붙인다. 하나의 관계는 둘 이상의 개체 집합이 관련된 다원관계일 수 있으며, 또 두 개체 집합간에 둘 이상의 다중 관계가 존재할 수도 있다. 앞절에서 추출된 객체, 속성, 관계성을 개체-관계 다이어그램으로 표현하면 그림 3과 같다.

### 3.3 관계형 스키마 생성

관계형 스키마의 생성은 앞절에서 제시된 개체-관계 모델로부터 여러 개의 릴레이션관계 정의를 구성하므로 얻어진다. 여기서 릴레이션 관계 정의란 각 데이터 객체 상호간의 연관 관계를 테이블로 표현하는 것을 말한다. 구체적으로 나타내면 이차원 테이블의 각 세로로 배열된 행은 데이터베이스에 포함시키고자 하는 데이터 값들을 나타내고 각 열은 각 행에 있는 해당되는 값들이 해석되는 근거인 데이터의 속성을 제공한다.

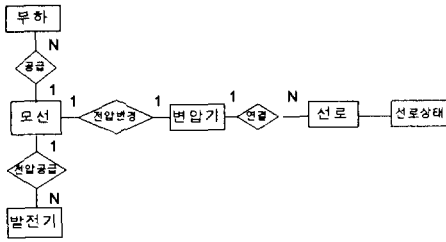


그림 3. 개체-관계 모델  
Fig. 3. The model of the entity-relation

데이터베이스에서 제공되는 관계형 스키마의 종류로는 발전기, 선로, 변압기, 그리고 모션 등이 있다. 이때 각 스키마 테이블의 구성은 3.1절의 요구 분석 결과에 해당하는 각 개체들의 속성들을 열에 배치하고 행에는 각 속성에 해당하는 실제 데이터값을 삽입함으로써 이루어진다. 본 패키지에서는 이러한 관계형 스키마의 구성을 다음절에서 소개되는 ‘데이터 입력원도우’를 통하여 손쉽게 해결한다.

### 3.4 데이터베이스 관리 시스템 (DBMS)

데이터베이스 관리 시스템은 사용자들로 하여금 편리하게 데이터베이스들을 생성 및 유지하도록 제작된 프로그램들의 집합이다. 다시 말하면 DBMS는 사용자들에게 데이터베이스의 생성, 입력, 수정 검색 등의 작업을 지원해 준다. 현재 많이 사용되고 있는 DBMS로는 dBASE, 파라독스(Paradox), 폭스프로(FoxPro), 오아시스(Oasis), 액세스(Acess) 등이 있는데 본 연구의 데이터베이스 구현을 위해선 유일하게 그래픽 처리 기능을 제공하는 파라독스 시스템을 선택하였다.

선정된 DBMS을 이용하여 데이터베이스를 구축하기 위해선 훈련자는 단지 DBMS이 제공하는 관계형 스키마 테이블인 ‘데이터 입력원도우’의 요구 데이터를 입력하면 된다. 그 외 구체적인 작업들은 파라독스와 패키지의 통합환경이 연계되어 자동적으로 수행되도록 구성되어 있다. ‘데이터 입력원도우’의 종류는 3.3절의 관계형 스키마의 종류와 동일하다.

## 4. 사례 연구 및 검토

본 연구에서 개발된 그래픽통합환경을 갖춘 패키지의 사례 연구를 위한 모델시스템은 발전기 3대, 변압기 7대 등으로 구성된 16모선 전력시스템[12]이다. 사례 연구에서는 그래픽 편집기를 이용하여 모델시스템을 그래픽 화면에 구축하는 과정과 모의에 필요한 시스템의 데이터를 데이터베이스화하는 작업 과정 및 결과를 나타내었다. 마지막으로 통합환경에서 대화식 모의를 위하여 제공된 사용자 개입 기능, 훈련자가 모의 결과에 대하여 빠른 이해를 하도록 하는 그래픽 출력 및 동화상 기능의 특성들은 기개발된 조류계산과 안정도해석 모듈에서의 모의를 통하여 확인하였다.

### 4.1 그래픽 편집기를 통한 단선도 구성

그래픽 편집기에서 모델시스템 단선도의 구현 과정을 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 주 화면으로 들어가서 ‘문서’메뉴를 포인팅하면 세부 메뉴들이 풀다운 형식으로 펼쳐진다. 이때 ‘새문서’ 항목에 마우스를 놓고 클릭하면 새로운 도면이 열린다. 이제 훈련자는 모델시스템을 도구상자에 나타난 전력시스템의 객체들을 이용하여 단선도를 구성할 수 있는데, 구성에 앞서, 도면의 모드를 편집 가능 모드로 전환하기 위하여 주 화면에 있는 연필 모양의 ‘도면구성’ 아이콘을 클릭하여야 한다. 그 결과 도구상자의 여러 객체들은 활성화(activation)되어 편집 가능하게 된다. 이제 훈련자는 마우스와 키보드를 이용하여 16모선 전력시스템의 그래픽단선도를 구성하면 된다.

본 모델시스템의 발전기는 3대이므로 도구상자에서 발전기 객체를 클릭하고 복사하여 계획된 위치에 발전기 그래픽 심벌을 위치시키는데, 훈련자는 단지 복사된 발전기 객체를 마우스로 끌고 가서 해당 위치에 이르러 마우스의 왼쪽 버튼을 놓으면 된다. 만약 훈련자가 구성 과정의 실수로 인하여 그 발전기의 위치를 옮기고자 한다면 먼저, 훈련자는 도구상자에 있는 객체선택을 위한 ‘화살표’ 모양의 아이콘을 누르고 화면을 수정 모드로 바꾼다. 다음 위치를 변경하길 원하는 발전기 객체에 마우스를 놓고 클릭하면 선택된 객체에 빨간 테두리가 입혀지고 다른

객체와 구별이 된다. 이때 사용자는 마우스를 이용하여 원하는 위치에 객체를 재배치할 수 있다.

구성된 발전기들을 기점으로 모선을 그리는 과정을 살펴보면 다음과 같다. 훈련자가 주메뉴 중 “훈련” 메뉴에서 세부 메뉴 ‘모선’을 마우스로 포인팅하면 도면에 그래픽 모선 심벌이 발생하고 이를 도면의 계획된 모선 위치까지 왼쪽 마우스를 누른 채로 끌고 가서 다시 클릭하면 굵은 단선 형태의 모선이 된다. 모선의 위치 변경은 발전기의 경우와 동일한 과정을 거친다. 구성된 모선과 발전기 사이로 차단기와 변압기를 설치하려면 도구상자의 차단기와 변압기 객체를 앞서 제시된 과정을 거쳐서 도면상에 위치시키면 된다. 모선과 모선 사이의 선로를 그리려면 도구상자의 선로 객체를 선택하고 시작점에서 클릭하고 끝지점에서 이중 클릭을 하면 모선간에 선로가 발생한다. 선로 구성을 좀더 자유롭게 하기 위하여 2가지 자유도를 주었다. 즉, 상하로 선로를 구성할 수 있다. 이와 같은 모든 과정을 거쳐서 구성된 16모선 모델시스템의 그래픽 단선도화면은 그림 4에 나타나 있다.

#### 4.2 데이터 입력윈도우를 통한 데이터베이스 구성

훈련자가 모델 시스템의 데이터를 데이터베이스화하려면 주 화면의 그래픽 단선도에서 전력시스템의 설비에 해당하는 그래픽 심벌들을 마우스로 포인팅함으로써 각각의 관계형 스키마 테이블인 ‘데이터 입력윈도우’를 발생시켜 요구 데이터를 삽입하면 모델 시스템의 데이터베이스가 구축된다. 데이터베이스 구축 예로 발전기 관련 데이터를 데이터베이스화하는 과정을 살펴보면, 먼저 그래픽 단선도에서 특정 발전기의 심벌을 클릭하면 해당 발전기의 스키마인 ‘데이터 입력윈도우’가 주화면에 오버랩되는데 사용자에게 요구하는 발전기 관련 데이터 목록은 발전기의 모선번호, 파라메트값 지정, 그리고 고장 해석을 위한 대칭분 임피던스 및 경제급전에 필요한 연료특성상수 등이다. 이는 3.3절의 발전기의 관계형 스키마 테이블의 속성들의 항목에 해당하는 것이다. 그림 5는 ‘데이터 입력윈도우’를 통한 시스템에 물려 있는 모든 발전기모선에 관련된 데이터를 입력할 결

과를 나타내고 있다. 다른 전력시스템 설비들에 대한 데이터 입력은 발전기와 마찬가지로 마우스를 움직여 해당 설비 메뉴에서 클릭을 풀어서 화면에 나타난 ‘데이터 입력윈도우’에 데이터를 입력하면 된다.

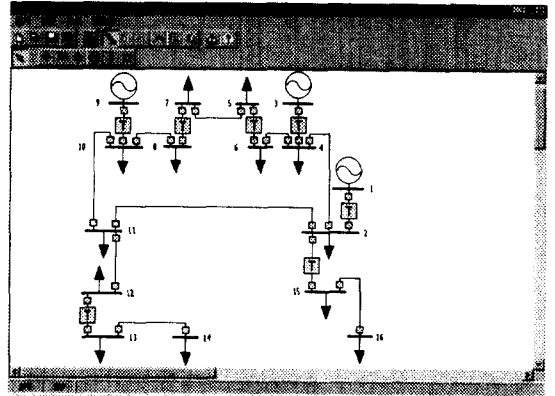


그림 4. 모델 시스템의 그래픽 구성도  
Fig. 4. The graphic configuration of the model system

9	1.050000	0.000000	220.000000	0.000000	15.000000
3	1.050000	0.000000	110.000000	0.000000	10.000000
	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

그림 5. 발전기의 데이터 입력윈도우  
Fig. 5. The data entry window for all the generator

#### 4.3 조류계산 모듈에서 그래픽출력 및 사용자 개입 기능

기개발된 조류계산모듈[10]은 전력시스템 해석 기술의 기본이 되는 조류계산의 계산과정의 이해를 높이기 위해서 그래픽 출력 및 사용자 개입기능을 포함하고 있다. 제시된 기능들의 특성을 확인코자 모델시스템을 조류계산 모듈에서 실행하였고 그 과정과 결과는 다음과 같다.

훈련자가 주메뉴의 “조류계산”서브메뉴를 찾아 16모선 시스템의 조류계산을 실행시키면 ‘시간지연’된 계산 중간 수렴 과정이 독립된 윈도우에 표현되는데, 그 결과는 네번의 반복 계산만에 수렴하였다. 다음으로 사용자 개입 기능을 수행하기 위해 다시

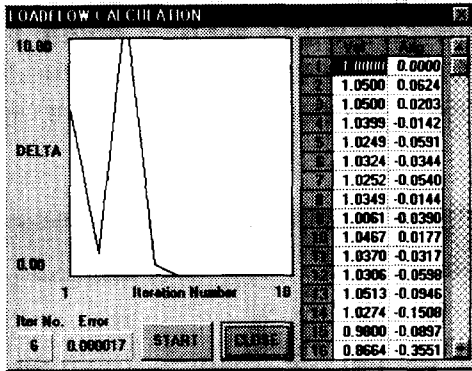


그림 6. 사용자개입 후 수렴 지연된 경우  
Fig. 6. Case of convergence delayed after user interrupt

조류계산을 수행하고 계산 중간에 인터럽트 버튼을 눌러 계산을 잠시 중단시키고 11번 모선의 전압 크기를 변경한 후 다시 조류계산을 실행시켰다. 그림 6은 그 결과로써 여섯 번의 증가된 반복 계산 횟수로 수렴 지연 되었음을 나타내고 있다. 이와 같은 그래픽 출력과 인터럽트 기능을 통하여 훈련자는 자연스럽게 조류계산 알고리즘의 수렴특성 및 수리적 안정성에 대한 직감적인 이해를 가질 수 있다.

#### 4.4 안정도 모듈에서 동화상 출력 기능

기개발된 안정도 모듈[11]은 훈련자가 쉽게 전력시스템의 안정도 개념을 이해하도록 동화상 출력기능 통한 안정도 시뮬레이션 기능을 제공한다. 본 안정도 사례 연구에서는 모델시스템에 임의의 사고 시나리오를 작성하여 안정도를 모의하였다. 작성된 사고 시나리오는 16모선 모델시스템의 2번 모선에 3상 단락사고를 발생시킨 후 0.19초가 지난 다음 사고를 제거하는 경우이다.

작성된 시나리오를 따라 안정도 모의를 수행하기 위해선 훈련자는 먼저 마우스 포인팅을 통하여 주메뉴의 “안정도계산” 아이콘을 찾아 서브메뉴를 열고 적분간격은 0.02초, 최대 모의시간은 1초, 사고모선은 2 모선으로 지정한 후 실행 아이콘을 누르면 모의가 수행된다. 그림 7은 모의 시작 시점부터 끝시점까지 시스템에 물려 있는 발전기들의 회전자의 움직임을 동화상, 그래프, 디지털화된 수치로 출력하고

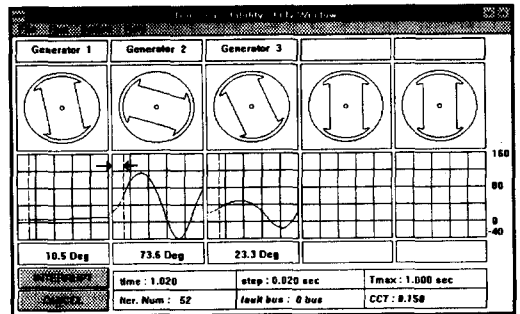


그림 7. 사고시나리오를 통하여 안정도 모의  
Fig. 7. Stability simulation with a fault scenario

있으며 그림에서 화살표는 사고지속기간을 나타내고 있다. 모의 결과를 살펴보면, 모의 과정에서 1번 발전기는 기준(slack) 발전기로 지정되었기 때문에 사고로 인한 회전자 동요가 약간씩 증가되고 있음을 알 수 있고 실제 모델 시스템의 3번 발전기모선에 해당하는 두 번째 발전기는 비교적 사고의 영향으로 회전자에 큰 스윙이 발생하지만 시간이 지나감에 따라 안정된 방향으로 진행한다. 훈련자는 이러한 모의 과정을 통하여 사고 지점에서 가까운 발전기가 사고로 인한 영향을 많이 받는다는 것을 직감적으로 확인할 수 있었다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 그래픽통합환경을 갖춘 전력시스템의 해석 및 운용 기술에 대한 교육 및 훈련용 패키지를 개발하였다. 사례 연구로 16모선 전력시스템을 적용시킨 결과, 간단한 마우스 포인팅으로 모델시스템의 그래픽 도면을 작성할 수 있었고 수정 작업도 쉽게 이루지는 것을 보였고 마우스 클릭과 키보드 동작으로 전력시스템의 모의에 필요한 데이터들을 ‘데이터 입력원도우’에 입력함으로 손쉽게 데이터베이스화하는 기능을 나타내었다. 그래픽통합환경에서 제공하는 그래픽 출력 및 동화상 기능, 사용자개입 기능들의 특성을 확인하기 위하여 기개발되어 패키지에 포함되어 있는 조류계산 및 안정도 모듈에 16모선 시스템을 적용시킨 결과 조류계산의 수렴과정



의 그래픽 출력과 인터럽트 기능을 통해 훈련자가 조류계산과정 및 수치알고리즘 특성에 대한 쉬운 이해를 가질 수 있었고 안정도 모듈에서는 동화상을 통한 안정도 모의를 함으로써 어려운 전력시스템 안정도 개념을 훈련자가 직감적으로 이해할 수 있었음을 보였다. 결론적으로, 본 연구에서 개발된 그래픽 통합환경을 갖춘 교육/훈련용 팩키지는 학생 또는 초보자의 전력시스템 해석과 운용에 대한 교육 및 훈련의 유용한 수단이 될 것이다.

이 연구는 건국대학교 산업기술연구원과 (주)프로컴시스템간에 이루어진 '95년 산학 협동 연구 과제 지원에 의하여 수행된 것입니다.

참 고 문 헌

[1] S.J. Salon, "interactive computer graphics package for power engineering education", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-102(7), 1954-1959, Jul. 1983.

[2] T.J. Overby et al., "Understanding Third-Party Access issues: A simulation and Visualization tool for nontechnical personnel", proceedings of power system computation conference, germany, Aug., 1996.

[3] A.F. Neyer, et al., "object-oriented programming for flexible software example of a loadflow", IEEE Trans. on PS, Vol. 5, No. 3, Aug., 1990

[4] D.C. Yu, S.T. Chen, R.F. Bishke, "A PC Oriented Interactive and Graphical Simulation Package for Power System Study", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 4, No. 1, Feb., 1989

[5] M. Daneshdoost, R. Shaat, "A PC Based Intergrated Software for Power System Education", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 4, No. 3, August 1989

[6] B.H. Chowdhury, D.E. Clark, "COPERITE - Computer Aided Tool for Power Engineering Reserach, Instruction, Training and Education", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 4, November, 1992.

[7] M.Foley et al., "an object Based Graphic User Interface for power systems", IEEE Trans. on PS, Vol. 8, No. 1, Feb., 1993

[8] T.J. Overbye, et al., "A User-friendly simulation program for teaching power system operations", IEEE Trans. on PS, Vol. 10, Nov., 1995

[9] 오해석, 데이터베이스 총론, 정익사, 한국, 1996

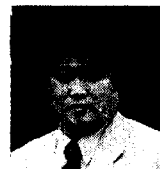
[10] 신중린, 이욱화, "그래픽을 이용한 대화식 교육용 전력

조류계산 소프트웨어 개발", 대한전기학회 논문지 제 43권 1호, 1994

[11] Uk-Hwa Lee, Dong-Hae Im, Joong-Rin Shin, "Development of an Interactive Computer Graphic Software for the Education & Training of Power System Transient Stability", ICEE, Vol. 2, Aug., 1996, Beijing.

[12] C.A. Gross, "Power System Analysis", second edition, John Wiley & Sons, 1986

◇ 著 者 紹 介 ◇



**신 중 린 (愼重麟)**  
 1949년 9월 10일생. 1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). '77년~'84년 한전 전원계획서 (부장대리). '84년~'90년 한전 연구원 선임연구원. '90년~'94년 건국대 전기공학과 조교수. '94년~현재 건국대 공대 전기공학과 부교수.



**이욱화 (李旭和)**  
 1969년 3월 27일생. 1991년 2월 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



**임 동 해 (任東亥)**  
 1971년 9월 10일생. 1995년 2월 건국대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 박사과정.