

# 전력계통 고장해석 교육 및 훈련을 위한 대화식 컴퓨터 그래픽 소프트웨어 개발

愼重麟, 李旭和

## Development of an Interactive Computer Graphic Software for the Education & Training of Power System Fault Analysis

Joong-Rin Shin, Wook-Wha Lee

### 요 약

본 논문에서는 전력계통 고장해석 교육 및 훈련을 위한 대화식 컴퓨터 그래픽 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어는 고장해석에 대한 손쉬운 이해 및 소프트웨어의 사용자 편의를 증가시키기 위하여 윈도우, 그래픽 아이콘, 다양한 그래픽 출력 기능 등을 포함하고 있다. 특히, 대화식 기능을 부가함으로써 사용자가 다양한 사고 조건에서 고장해석을 모의할 수 있도록 하였다. 이러한 기능을 통하여 사용자는 전력계통 고장해석의 기본 개념 및 사고로 인한 계통의 영향에 대한 이해를 손쉽게 습득할 수 있다. 제안된 소프트웨어는 16모선 전력계통을 통하여 사례연구를 수행함으로써 전력계통 고장해석의 교육 및 훈련에 유용한 기능들을 갖추고 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

This paper describes the development of an interactive computer graphic software for the education and training of the power system fault analysis. The developed software is designed to increase the understanding of the fault analysis with ease and it is composed of the windows, graphic icons, and graphic representations for user-friendly environments. Specially an interactive scheme is given for user to simulate the fault analysis under the variety conditions. With this function, user can acquire the basic concepts of the power system fault study as well as the understanding of the impacts on the system by some faults. The proposed software is tested on a 16-bus sample system. The software will be useful for the education and training of the power system fault analysis.

**Key Words:** Windows, interactive, fault analysis, education, training.

### 1. 서 론

고장해석은 전력계통의 학부 수업 과정에서 중요한 부분 중의 하나이다. 학부 수준에서 고장해석을 교육함에 있어서 주된 학습 주제는 대칭 사고(symmetrical fault) 및 비대칭 사고(unsymmetrical fault)의 해석이다. 대칭 사고 해석에 대한 교습은 용이하며 학생들도 이해가 빠르다. 그러나 비대칭 사고 해석에 대해서는 상당수의 학생들이 명확한 이해를 갖지 못한다. 왜냐하면 불평형 3상 시스템에서 대칭분 성분을

다룸에 있어서 수치적 복잡성이 상당히 증가되기 때문이다. 또다른 이유로는 영상분 성분을 다루기가 어렵기 때문이다. 특히, 대부분의 학생들은 불평형 사고에서의 영상분 전류의 효과를 가시화 하는데 실패한다. 이러한 해석의 어려움을 극복하고 효과적인 학습 기능을 제공하기 위한 고장해석 교육용 프로그램의 개발에 관한 연구들이 보고되었다. 특히, Yu<sup>(1-2)</sup> 등은 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)의 시각적 기능을 이용하여 전력계통의 시퀀스 계통도를 구현할 수 있는 고장해석에 대한 학습용 툴을 개발하였다. 그리고 Flinn<sup>(3)</sup> 등은

데이터베이스 기능을 이용하여 수치적으로 복잡한 고장 해석을 용이하게 학습할 수 있는 학습 툴을 개발하였다. 이와 같이 그래픽 및 데이터베이스 기능을 갖춘 교육용 툴들이 상당한 교육적 효과를 나타내고 있음이 확인되었다. 그러나 기존의 연구들은 제한된 그래픽 기능과 텍스트 위주의 데이터베이스 관리 시스템을 제공하고 있기 때문에 사용자 편의성 (user friendly)을 감소시키고 있다.

본 연구에서는 전력계통 고장 해석의 교육 및 훈련을 위한 대화식 컴퓨터 그래픽 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 교육용 소프트웨어는 사용자로 하여금 매우 편리한 환경에서 고장 해석 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하는 인터페이스를 제공한다. 특히 교육적 효과를 높이기 위해서 시뮬레이션 환경을 윈도우 환경으로 구성하고, 고장 해석 결과로부터 생성된 각종 복잡한 수치 데이터를 그래픽을 통하여 가시화 시킴으로써 사용자로 하여금 사고 후의 전력계통의 상태에 대한 직관적인 이해를 갖도록 하였다. 그리고 사용자가 복잡한 데이터의 조작을 가능한 작게 하면서 고장 해석 시뮬레이션을 용이하게 수행할 수 있도록 입·출력 데이터를 관리하는 데이터베이스 관리 시스템을 구성하였다. 구성된 데이터베이스 관리 시스템은 저자들의 이전 연구에서 이미 개발된 것으로<sup>(4)</sup> 본 고장 해석 소프트웨어에서 사용되었다. 소프트웨어를 개발하는데 사용된 개발 수단으로써, GUI 및 데이터베이스 시스템 구현을 위하여 Borland C++ builder를 사용하였고 수치 연산 엔진을 위하여 C++을 이용하였다. 개발된 소프트웨어가 요구하는 하드웨어는 IBM PC 486 이상으로 8메가바이트 이상의 메모리와 시뮬레이션 결과에 대한 그래픽 출력을 위한 칼라 그래픽 카드가 필요하다. 그리고 작업 환경이 윈도우 환경이므로 마우스의 사용이 요구된다. 다음절들에서는 개발된 고장 해석 소프트웨어의 특징, 구성, 선택된 수치 연산 알고리즘, 실행 순서도 등을 나타내었다. 또한, 16도선 전력계통의 사례 연구를 통하여 제시된 전력계통 고장 해석 교육 및 훈련용 소프트웨어의 유용성을 확인하였다.

## 2. 고장 해석 소프트웨어의 특징

### 2.1 시퀀스 데이터 입력 기능

고장 해석에 필요한 계통의 시퀀스 데이터는 간단한 계통 규모라도 그 양이 상당하다. 따라서 학습자는 고장 해석을 위한 입력 데이터 준비에 많은 시간을 소비해야 한다. 기존의 고장 해석 교육용 프로그램들에서는 모의를 수행할 때마다 계통의 시퀀스 수치 데이터를 사용자가 일일이 입력함으로써 모의를 위한 데이터 준비 작업을 수행하였다.<sup>(5)~(6)</sup> 그러나 이러한 복잡한 시퀀스 데이터 입력 작업은 전력공학에 생소한 초보자에게는 매우 지루하고 어려운 작업이 되며 결국 고장 모의 결과에 대한 이해나 검토에 할애될 시간을 시퀀스 데이터 입력 작

업에 소비하므로 전반적으로 교육적 효과를 크게 감소시켰다. 이러한 어려움을 극복하기 위해서 본 교육용 소프트웨어에서는 시퀀스 데이터 입력 기능을 제공하였다. 이 기능은 주 화면이 출현함과 동시에 자동적으로 고장 해석 모의에 필요한 시퀀스 데이터를 데이터베이스<sup>(4)</sup>로부터 로드 시킴으로써 복잡한 전력계통의 시퀀스 데이터 준비 작업을 생략할 수 있도록 하였다. 또한, 시퀀스 데이터 입력 기능을 이용함으로써 사용자가 사고로 인한 전력계통의 영향에 대한 이해 및 검토에 많은 시간을 할애할 수 있도록 하였다. 결과적으로 시퀀스 데이터 입력 기능을 이용하여 사용자는 손쉽게 반복적으로 동일한 전력계통에서 다양한 조건의 고장 해석 시뮬레이션을 수행할 수 있다.

### 2.2 그래픽 아이콘을 통한 사고 모의 기능

사용자가 그래픽 아이콘을 통하여 대화식으로 고장 해석 모의를 수행할 수 있도록 하였다. 기존의 다른 고장 프로그램들도 대화식으로 사고의 시나리오 (fault scenario)를 작성하는 기능을 가지고 있지만 이들 대부분은 텍스트 형식의 질의 응답 인터페이스 (query-response interface)<sup>(7)</sup>로 구현되어 있기 때문에, 텍스트 형식이 가지는 한계를 고스란히 포함하고 있어서 사용자에게 편리한 환경을 제공하지 못한다. 본 소프트웨어는 이러한 한계를 극복할 뿐만 아니라 보다 적극적으로 사용자에게 난해한 전력계통 고장 해석에 대한 흥미를 유발시키기 위하여, 고장 해석 시뮬레이션 전 과정을 그래픽 아이콘을 이용하여 대화식 형태로 진행할 수 있도록 하였다. 즉, 다양한 기능에 해당하는 그래픽 아이콘을 주 화면에 배치하여 사용자로 하여금 마우스 클릭만으로 손쉽게 다양한 조건의 고장 해석 모의를 가능하도록 하였다.

### 2.3 결과 데이터의 시각화 기능

3 차원 막대 그래프를 이용하여 고장 해석 결과 데이터를 가시화 하였다. 고장 해석은 상당한 양의 시퀀스 수치 데이터를 발생하기 때문에 모의 결과에 대한 신속한 판단이 어렵다. 이를 극복하는 방안으로, 모의 결과로 발생하는 수치 데이터를 막대 그래프로 시각화 시킴으로써 고장 후의 전력계통의 상태를 신속하게 파악할 수 있도록 하는 그래픽 윈도우 페이지를 구성하였다. 그리고 자세하게 모의 결과의 수치 데이터를 살펴볼 수 있도록 테이블 형식을 갖춘 텍스트 윈도우 페이지도 제공한다.

## 3. 고장 해석 소프트웨어의 구성 및 알고리즘

위의 특징들을 실제적으로 구현하기 위해서 고장 해석 소프트웨어는 4 부분으로 이루어져 있다. 첫째, 사용자가 실제로 고장 해석의 시뮬레이션을 수행할 수 있는 고장 해석 실행 윈

도우, 둘째, 결과 데이터를 그래픽 또는 텍스트로 표현하는 출력 윈도우, 셋째, 고장해석을 수행하는 수치 연산 알고리즘 모듈, 넷째, 그리고 각종 입·출력 데이터를 관리하는 데이터베이스 등이다. 여기서 데이터베이스 부분은 이미 저자들의 이전 연구에서 개발된 부분<sup>(4)</sup>이므로 여기서 생략한다. 소프트웨어 구성의 세부적인 사항 및 고장해석 모의의 실행 순서를 나타내면 다음과 같다.

3.1 고장해석 실행 윈도우 구성 및 메뉴

고장해석 실행 윈도우는 사용자가 매우 편리한 환경에서 데이터 입력, 시뮬레이션, 결과 출력 등을 수행할 수 있도록 구성되어 있다. 먼저, 고장해석을 위한 데이터 입력은 저자들이 이전에 개발한 전력계통 단선도 편집기<sup>(4)</sup>를 이용한다. 이 기능을 이용하여 모의 계통에 관한 데이터를 손쉽게 입력할 수 있다. 이렇게 입력된 데이터는 고장해석 실행 윈도우가 화면에 출현됨과 동시에 데이터베이스에서 고장해석 프로그램으로 전송되어 시뮬레이션을 위한 데이터 준비가 완료된다. 또한 고장해석 실행 윈도우에는 여러 기능에 해당하는 그래픽 아이콘과 다양한 조건에서 사고를 발생시킬 수 있는 조건 지정 상자 등이 배치되어 있다. 그래픽 아이콘의 종류로는, 1선 지락을 나타내는 "Line to Ground Fault" 및 3상 사고의 "Three-phase Fault" 등의 사고 형태 선정을 위한 아이콘, 데이터베이스로부터 넘어온 데이터를 이용하여 모의 계통에 대한 고장해석 시뮬레이션을 실행하는 "Run" 아이콘, 고장해석 모의를 종료하는 "Close" 아이콘 등이 있다. 여기서, 그래픽 아이콘의 선택은 마우스의 클릭으로 손쉽게 이루어진다.

조건 지정 상자들로는, 사고모션 지정을 위한 "Faulted

Bus" 조건 상자, 고장 임피던스값을 지정하는 "Fault Imp" 조건 상자 등이 있다. 특히, 모의 계통에서 사고 모션을 지정할 수 있는 "Faulted Bus" 조건 상자를 사용하면 사고 발생 지점에 따른 전력계통의 변화를 손쉽게 비교 검토할 수 있어서 모의된 전력계통의 물리적 특성에 대한 이해와 고장계산 고유의 기능 등의 학습에 용이하다. 그리고 구성된 조건 지정 상자에 사고 조건을 지정하려면 사용자는 원하는 조건 상자에서 마우스를 클릭 하여 커서를 옮겨 놓은 다음, 키보드로 사고조건에 해당하는 정보를 입력하면 된다. 그림 1은 윈도우 환경에서 구현된 고장해석 시뮬레이션을 위한 실행 윈도우 초기화면을 보이고 있다. 실행 윈도우의 하단에는 앞서 설명된 그래픽 아이콘과 조건 지정 상자들이 나열되어 있다. 그리고 고장해석 결과 중에서 가장 중요한 정보라 할 수 있는 사고 모션 번호, 사고 모션의 전류 크기 및 위상각 등을 윈도우의 최하단 가장자리에 표시하므로써 사용자의 주목을 집중시킬 수 있도록 하였다.

3.2 결과 출력 메뉴

고장해석 결과를 출력하는 부분은, 해석 결과로 발생하는 방대한 수치 데이터를 막대 그래프로 시각화하여 사용자에게 보여주는 "Graphic output"과 세밀하게 결과 데이터의 분석을 할 수 있도록 테이블 형식으로 수치 데이터를 표현하는 "Text output" 등의 윈도우 페이지로 구성되어 있다. 그리고 윈도우 페이지의 선택은 실행 윈도우 페이지 좌측상단의 문자를 마우스로 클릭함으로써 이루어진다. 먼저, "Graphic output" 윈도우 페이지의 구성을 살펴보면, 전압의 크기 및 위상각의 수치 데이터를 막대 그래프로 보여 주는 부분이 각각 상하로 배치되어 있다. 이때, 각 모션의 전압값은 3상으로 표현되므로 상간의 분별이 용이하도록 각상의 색을 다르게 하였다. 즉, a 상은 연두색, b상은 파란색, c상은 빨간색으로 표현하였다. 그리고 막대 그래프를 나타내는 조건 지정 상자의 가로축은 모의 계통의 모든 모션 번호를 나타내며 세로축은 출력 데이터의 크기 값을 표현하는데 데이터의 크기에 따라 자동으로 데이터의 높이가 조절되는 자동 스케일 (autoscale) 기능을 가진다. 여기서, 전압의 크기 값은 단위 범위로 전환된 값을 출력한다. 앞서 지적한 것처럼 윈도우 페이지의 아래쪽에는 대화식으로 지정할 수 있는 그래픽 아이콘과 조건 지정 상자들이 나열되어 있다.

"Text output" 윈도우 페이지는 사고로 인한 전력계통의 영향을 정밀하게 분석할 수 있도록 전력계통 모션의 전압값 및 선로 조류에 해당하는 수치 데이터를 테이블 형식으로 표현한다. 이때 페이지의 상단은 모의 계통의 모션번호, 모션별 3상 전압의 크기 및 위상각을 모션 번호의 순서대로 보여준다. 이때, 현재의 화면으로 모든 모션의 데이터를 볼 수 없을 경우는 스크롤(scroll) 기능을 사용하여 숨겨진 부분을 나타

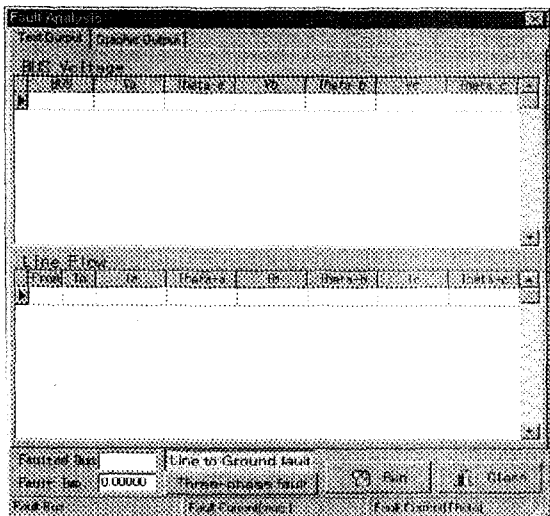


그림 1 고장해석을 위한 실행 윈도우  
Fig. 1 The execution window for fault analysis

낼 수 있다. 그리고 페이지의 하단에는 선로 조류를 나타내는 수치 데이터가 보여지는데, 즉 각 선로 구간별로 연결된 모선 번호, 구간 사이에 흐르는 3상 전류의 크기 및 위상각 등의 수치 데이터가 표현된다. 또한 윈도우 페이지의 아래 부분은 "Graphic output" 페이지와 동일한 구성의 그래픽 아이콘, 조건 지정 상자, 그리고 결과에 대한 주요 정보의 표시 등이 존재한다.

### 3.3 고장해석의 수치 연산 알고리즘

전력계통의 고장해석은 일반적으로 계전기의 정정, 차단용량의 결정, 통신선에 대한 전자유도전압, 상정사고해석 및 이상전압 등의 검토를 위해 행하여진다. 전력계통에서 발생하는 대표적인 사고들로는 1선 지락, 2선 지락, 선간단락, 3상 사고 등을 들 수 있으나 이 중에서 발생 빈도가 가장 높은 것은 1선 지락이며 계통에 가장 큰 영향을 주는 사고는 3상 사고이다. 이러한 사고들이 발생하면 전력계통에 큰 동요를 일으켜 기기를 손상시키고 부분적으로 전력공급이 불가능해진다. 고장해석이란 이와 같은 사고들이 발생되었을 때의 전력계통의 전압과 전류의 변화를 해석하는 것이다.

고장해석 방법들로는  $Y_{BUS}$  를 이용한 반복 계산법,  $Z_{BUS}$  를 이용한 계산법 등 여러 가지 고장해석법이 개발되어 실제계통에서 많이 쓰이게 되었다. 본 연구에서는 보다 실용적이며 우수한 방법으로 평가받고 있는 전력계통의 모선 임피던스 행렬법 ( $Z_{BUS}$ )을 고장해석을 위한 계산법으로 선정하였다.<sup>(8)</sup> 그리고 본 교육용 고장해석 모듈에서 모의 가능한 사고 형태로는 실제의 사고에서 가장 큰 빈도를 차지하는 1선 지락 사고와 전력계통에 큰 영향을 미치는 3상 사고로 제한한다. 그 이유는 앞서 지적한 것처럼 두 사고가 전력계통에서 발생하는 대표적인 고장 사고로써 전형적인 전력계통 사고의 특성을 가지고 있어서 초보자의 고장해석 교육 및 훈련에 매우 적합하기 때문이다. 선정된 사고 형태와  $Z_{BUS}$  행렬 법을 디지털 형태의 수치 연산 엔진으로 구현하기 위해서 컴퓨터 언어인 볼랜드 C++을 이용하였다. 특히, 구현된 연산 엔진은 독립적인 모듈로 구성되어 있어서 모듈의 확장 및 수정이 용이하다.

### 3.4 고장해석 시뮬레이션의 실행 순서

고장해석 시뮬레이션을 실행하는 절차를 순서대로 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 그래픽 전력계통도 편집기능<sup>(4)</sup>을 이용하여 모의 계통의 데이터를 데이터베이스에 입력하고 고장해석 실행 윈도우를 화면 위에 중첩시키면 이와 동시에 데이터베이스에서 고장해석 프로그램으로 모의 대상 계통의 시퀀스 데이터가 넘어감으로 자동적으로 해당 전력계통의 임피던스 행렬값이 계산되어 데이터베이스에 저장된다. 따라서, 동일한 모의 계통에 대한 고장해석을 반복적으로 수행할 경우 데이터베이스에 저장된 해당 계통의  $Z_{BUS}$  행렬이 사용되어 고

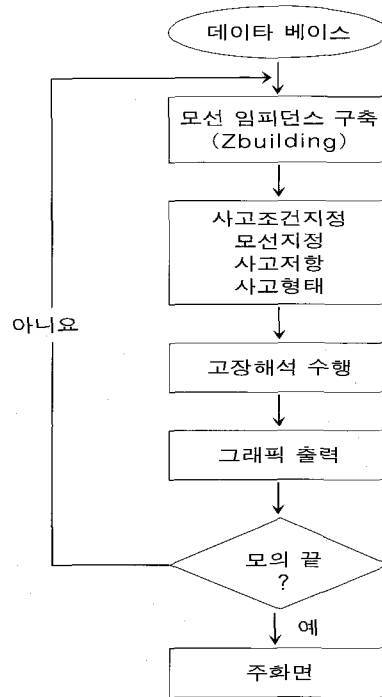


그림 2 고장해석 모의 실행 순서도  
Fig. 2 Flow chart for the fault analysis simulation

장상태의 전력계통의 전압과 전류를 계산하도록 프로그래밍 되어 있다. 이러한 일련의 데이터 준비 작업은 단순히 사용자가 화면에 고장해석의 실행 윈도우 출현시키므로 완료된다.

사용자는 실행 윈도우 하단에 존재하는 그래픽 아이콘과 조건 지정 상자를 통하여 사고의 조건을 지정할 수 있다. 즉, 사고 모선 번호, 사고 임피던스, 사고 형태 등을 손쉽게 지정할 수 있다. 사고 모선 지정 시, 모의 계통에 존재하지 않은 모선 번호를 입력하면 재입력을 요구하는 메시지를 나타내어 사용자로 하여금 모의 계통의 모선 번호를 삽입하도록 유도한다. 그리고 사고 형태의 선택은 1선 지락 사고 또는 3상 사고를 나타내는 그래픽 아이콘을 클릭 함으로 이루어진다. 사용자가 사고의 조건을 모두 지정한 후 "Run" 아이콘을 클릭 하면 시간 지연 없이 계산이 수행되며, 실행이 성공된 경우는 사고로 인한 계통의 변화를 나타내는 각 모선의 전압, 전류 그리고 선로 조류 등에 대한 결과를 파일로 저장하고 이를 데이터베이스에 전송한다. 그리고 사용자의 요구에 따라서 3차원 막대 그래프 또는 텍스트로 출력한다. 또한 사용자는 데이터 입력 작업 없이 반복적으로 다양한 사고 조건의 고장해석 모의를 수행할 수 있다. 그리고 "Close" 아이콘을 클릭 함으로 고장해석 모듈을 빠져나올 수 있다. 위에서 서술된 내용을 순서도를 통하여 나타낸 것이 그림 2이다.

#### 4. 사례연구 및 검토

사례연구를 위한 모델 계통은 발전기 3대, 변압기 7대 등으로 구성된 16모선 전력계통이다.<sup>(8)</sup> 사례연구에서 수행된 절차는 먼저, 그래픽 편집기를 이용한 그래픽 단선도 구축 및 모의에 필요한 계통의 시퀀스 데이터의 데이터베이스화 작업 과정, 그리고 고장해석 실행 윈도우에서 다양한 조건의 고장해석 시뮬레이션의 실행 및 해석 결과를 나타내고 이를 검토하여 본 연구에서 개발된 고장해석 교육 및 훈련용 대화식 그래픽 소프트웨어의 유용성을 확인하였다.

##### 4.1 전력계통의 단선도 및 데이터베이스 구성

그래픽 편집기<sup>(4)</sup>에서 모의 계통 단선도의 구현 과정을 구체적으로 나타내면 다음과 같다. 먼저, 편집기 메뉴 항목에서 '문서' 메뉴를 포인팅하면 세부 메뉴들이 풀다운 형식으로 펼쳐진다. 이때 '새문서' 항목에 마우스를 놓고 클릭 하면 새로운 도면이 열린다. 이제 사용자는 모델 계통을 그래픽 편집기의 도구 상자에 나타난 시스템의 객체들을 이용하여 단선도를 구성할 수 있는데, 구성에 앞서 도면의 모드를 편집기 가능 모드로 전환하기 위하여 편집기 화면에 있는 연필 모양의 '도면구성' 아이콘을 클릭 하여야 한다. 그 결과, 도구상자의 여러 객체들은 활성화되어 편집 가능하게 된다.

이제 사용자는 마우스와 키보드를 이용하여 16모선 전력계통의 그래픽 단선도를 구성하면 된다. 본 모델계통의 발전기는 3대이므로 그래픽 편집기의 도구상자에서 발전기 객체를 클릭하고 3번 복사하여 계획된 위치에 발전기 그래픽 심벌을 위치시키면 되는데, 사용자는 단지 복사된 발전기 객체를 마

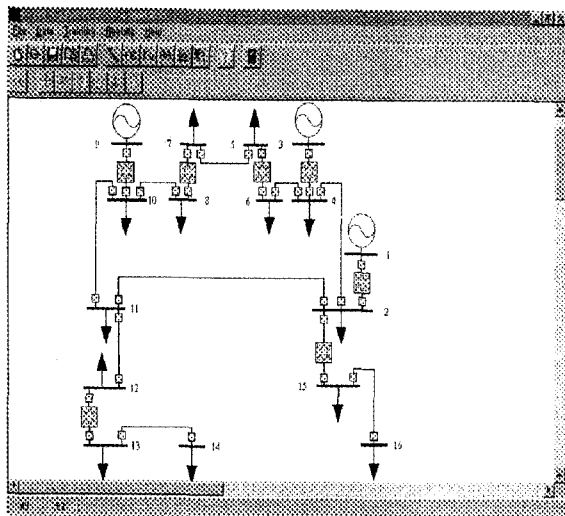


그림 3 모델 계통의 그래픽 단선도  
Fig. 3 The graphic one-line diagram of the sample system

Line No.	From Bus	To Bus	Length (km)	Series Impedance (pu)	Shunt Capacitance (pu)	Series Reactance (pu)	Shunt Susceptance (pu)
1	11	4	0.00390	0.152791	0.111440	0.184031	0.002311
2	4	11	0.016640	0.067390	0.185440	0.267000	0.007200
3	11	7	0.016640	0.067390	0.185440	0.267000	0.007200
4	7	11	0.006300	0.048790	0.080120	0.152700	0.004770
5	16	11	0.027000	0.151000	0.022700	0.551000	0.151000
6	11	12	0.008400	0.036190	0.074870	0.146190	0.005190
7	14	11	0.005100	0.177300	0.033707	0.621300	0.177300

그림 4 선로 데이터 입력 윈도우  
Fig. 4 The window for the line data input

우스로 끌고 가서 해당 위치에 이르러 마우스의 왼쪽 버튼을 놓으면 된다. 만약 사용자가 구성 과정의 실수로 인하여 그 발전기의 위치를 옮기고자 한다면 먼저, 사용자는 도구상자에 있는 객체 선택을 위한 '화살표' 모양의 아이콘을 누르고 화면을 수정 모드로 바꾼 다음, 위치를 변경하길 원하는 발전기 객체에 마우스를 놓고 클릭 하면 선택된 객체에 빨간 테두리가 입혀지고 다른 객체와 구별이 된다. 이때 사용자는 마우스를 이용하여 원하는 위치에 객체를 재배치할 수 있다. 위와 동일한 편집 과정은 모선, 선로, 변압기 객체 등의 편집에도 적용된다. 이와 같은 편집 과정을 거쳐서 구성된 16모선 모델 계통의 그래픽 단선도 화면이 그림 3에 나타나 있다.

사용자가 모델 계통의 데이터를 데이터베이스화하려면 그래픽 단선도 상에서 전력계통의 설비에 해당하는 그래픽 심벌들을 마우스로 포인팅하여 해당 설비의 '윈도우 대화식 상자'<sup>(4)</sup>를 발생시켜 요구 데이터를 입력하면 손쉽게 모델 계통의 데이터베이스가 구축된다. 선로 관련 데이터를 데이터베이스화하는 과정을 살펴보면, 선로 데이터 입력을 위한 '윈도우'를 주 화면에 중첩시켜 선로간 모선번호, 선로 임피던스, 상별 시퀀스 데이터 등을 입력하면 된다. 그림 4는 전력계통의 모든 선로에 관련된 데이터를 '윈도우 상자'에 입력한 결과를 나타내고 있다. 다른 전력계통 설비들에 대한 데이터 입력도 해당 설비 메뉴에서 클릭하여 화면에 나타난 '윈도우 대화식 상자'를 사용하면 된다. 이와 같이 간단한 과정을 통하여 모의 계통 시뮬레이션에 필요한 모든 데이터를 데이터베이스화 할 수 있다.

##### 4.2 다양한 사고 조건에서의 고장해석 모의

고장해석 사례연구에서는 사고 시나리오를 16모선 모델계통에 적용하여 고장해석 모의를 수행하였다. 전력계통의 고장해석 모의에 적용된 사고의 종류는 계통에서 발생 빈도가 가장 높은 1선 지락 사고와 계통에 가장 큰 사고의 영향을 주는 3상 사고이다. 수행된 고장해석 모의 결과를 나타내면 다음과 같다.

##### 4.2.1 1선 지락 사고 모의

비대칭 사고로써 가장 발생 빈도가 많은 사고가 1선 지락사

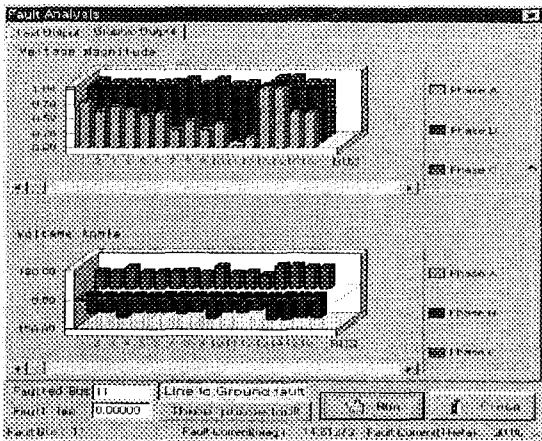


그림 5 모델 계통에 1선 지락 사고를 적용한 결과(그래픽 출력)  
 Fig. 5 The results of the fault analysis of the sample system applied the single line fault (graphic output)

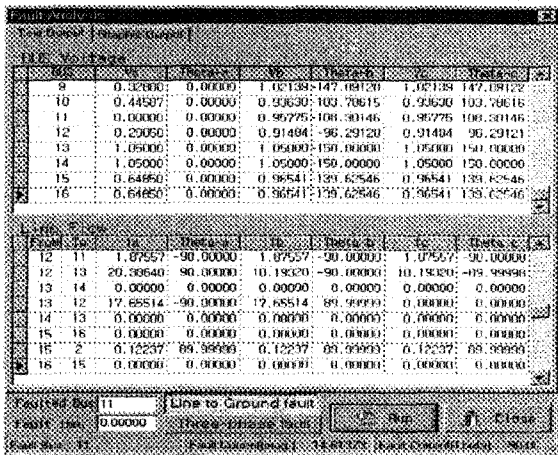


그림 6 1선 지락 사고해석 결과의 텍스트 출력  
 Fig. 6 Text output of the results of the single line fault analysis

고이다. 모델 계통에서 1선 지락 사고를 모의하기 위해서 적용된 사고 시나리오는 다음과 같다. 먼저, 고장해석 실행 윈도우에서 사고 모션을 11번 모션으로 선정하고 고장 임피던스를 '0' 값으로 지정하였다. 그리고 고장형태를 선택하는 실행 윈도우 하단의 사고 버튼에서 1선 지락 사고에 해당하는 "Line to Ground fault" 버튼을 클릭 함으로 모델계통에 대한 1선 지락 사고 모의를 위한 모든 준비를 완료하였다. 이후 실행 아이콘인 "Run"을 클릭 하여 모의를 실행시켰고 그 결과로 각 모션별 전압의 크기 및 위상각 값이 계산되었고 약간의 시간 지연 후 선로 조류도 계산되었다. 그림 5는 모델 계통의 11번 모션에 지락 사고가 발생한 후 그 영향이 전 모션 전압에 미치는 것을 3차원 막대 그래프로 가시화하여 나타내고 있다. 특히 11번 모션 주위의 모션들의 a상 전압의 크기가

많이 떨어진 것을 알 수 있다. 그림 6은 1선 지락 사고로 인한 각 모션의 전압 및 선로 전류에 대한 수치 데이터를 나열한 'Text output' 페이지를 보이고 있다.

#### 4.2.2 3상 사고 모의

3상 사고는 대형 사고로써 회로가 평형 상태로 유지되기 때문에 한 상만을 고려하며 3상 사고 해석의 결과는 차단기의 차단 용량을 결정하는데 사용된다. 일반적으로 3상 고장은 발생 직후에 매우 큰 과도 전류가 흐르나 시간이 지날수록 점점 감쇠 (attenuation)되어 간다. 그리고 오프셋성분 (offset components)도 고장 직후에 큰 값이었다가 점점 감쇠된다. 따라서 차단기의 차단 용량은 차단 동작 시간에 따라 직류 성분의 영향을 고려해 주어야 한다. 본 고장 해석에서는 발전기의 리액턴스의 입력 데이터로 d-축 차과도 리액턴스를 사용하기 때문에 계산되는 사고 전류의 성분은 차과도 사고 전류 (subtransient fault currents) 이다.

모델 계통에서 3상 사고 모의를 위한 사고 시나리오는 사고 모션으로 모델 계통의 16번 모션을 지정하였고 고장 임피던스는 '0'으로 선정하였다. 이후 윈도우 페이지 하단의 실행 아이콘인 "Run"을 클릭 함으로 모의를 실행시켰고 그 결과 모션별 전압의 크기 및 위상각, 선로 조류 등이 계산되어 3차원 막대 그래프로 출력되었다. 그림 7은 모델 계통의 16번 모션에 3상 사고가 발생된 경우에 전 계통의 전압에 미치는 영향을 막대 그래프를 통하여 가시화시켰고 그림 8은 동일한 모의 결과에 대한 수치 데이터를 출력한 'Text output' 페이지를 보이고 있다.

모델계통의 고장해석 모의를 수행한 결과, 사용자에게 매우 손쉬운 고장해석 시뮬레이션을 가능케 함으로 전력계통 고장

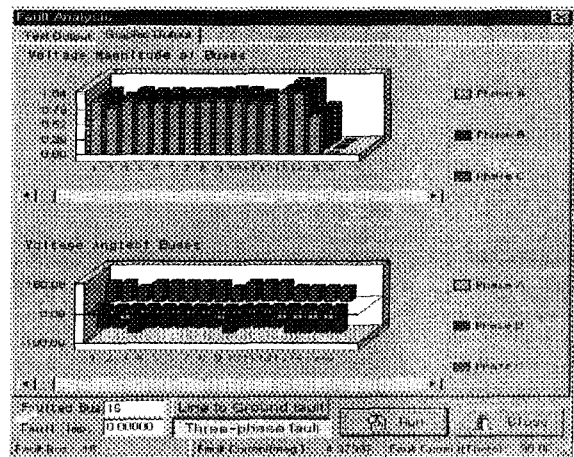


그림 7 모델 계통에 3상 사고를 적용한 결과(그래픽 출력)  
 Fig. 7 The results of the fault analysis of the sample system applied the three phase fault (graphic output)

그림 8 3상 사고해석 결과의 텍스트 출력  
 Fig. 8 Text output of the results of the three phase fault analysis

해석의 기본 개념 및 계산 과정에 대한 이해를 갖도록 하였다. 즉, 고장해석의 수치 계산을 위한 모션 임피던스 행렬 (ZBUS)의 구성, 사고에 따른 계통망의 재구성 등과 같이 수치적으로 부담이 큰 과정을 자동화하여 사용자가 하여금 손쉽게 고장 모의를 반복적으로 수행할 수 있게 함으로 고장해석의 기본 개념 학습에 큰 효과가 있었다. 또한, 고장해석 결과인 복잡한 시퀀스 수치 데이터를 3차원 막대 그래프로 가시화함으로써 사용자가 정의한 고장 후의 전력계통의 상태를 직관적으로 파악할 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 대화식 컴퓨터 그래픽 기능을 갖춘 전력계통 고장해석을 위한 교육 및 훈련용 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어는 전력계통 고장해석을 용이하게 수행하도록 풀다운 방식의 고장해석 실행 윈도우, 그래픽 출력 모듈, 수치 연산 모듈 등을 포함하였다. 제시된 소프트웨어의 특성 및 기능을 확인하기 위하여 16모선 전력계통을 적용시킨 결과, 간단한 마우스 포인팅으로 모델계통의 그래픽 단선도를 작성할 수 있었고 마우스 클릭과 키보드로 전력계통 고장해석 모의에 필요한 시퀀스 데이터를 '윈도우 대화식 상자에 입력함으로써 손쉽게 데이터베이스를 구현할 수 있었다.

고장해석 모듈에서 모델계통의 고장모의를 수행한 결과, 다양한 사고 조건하에서 전력계통 고장 시물레이션이 가능하였고 모의된 전력계통의 상태를 나타내는 모선의 전압값을 3차원 막대 그래프로 가시화함으로써 초보자나 미숙련자들에게 고장발생 후의 계통해석 능력을 배양시킬 수 있었다. 결과적으로 초보자들이 손쉽게 전력계통 고장해석을 수행할 수 있는 대화식 그래픽 기능을 갖춘 소프트웨어를 개발하였다. 또한,

본 저자들의 최종적인 연구목표인 전력계통의 해석 및 운용 기술에 대한 종합 패키지에 본 연구의 결과인 고장해석 모듈을 연계함으로 전력계통 해석용 모듈 (Power System Analysis Module)을 완성하는 연구의 결과를 가져왔다. 앞으로 계속하여 경제급전 및 전력계통 운용 기법에 대한 응용 모듈을 계속적으로 개발하여 최종적인 연구목표인 전력계통 해석 및 운용기술에 대한 윈도우 통합환경을 갖춘 대화식 컴퓨터 그래픽 교육 및 훈련용 종합 패키지를 완성할 것이다.

본 연구는 96년 학술진흥재단 학술연구조성비 지원 (과제번호 04-E-0495)에 의한 결과입니다.

### 참고 문헌

- [1] D.C. Yu, et al., "A Windows Based Graphical Package for Symmetrical Components Analysis", IEEE Transaction on Power System, Vol.10, No.4, pp.1742-1749, Nov., 1995
- [2] D.C.Yu, H.Liu, F.Wu, "A GUI based Visualization Tool for Sequence networks", IEEE Transaction on Power System, Vol.13, No.1, pp34-39, Feb., 1998.
- [3] D.G.Flinn, D.C.Yu, A Kriger, "Facilitating Engineering Analysis Via a Graphical Database", IEEE Transaction on Power System, Vol.10, No.1, pp.370-375, Feb., 1995.
- [4] 신중린, 이육화, 임동해, "그래픽 통합환경을 갖춘 전력 시스템 해석과 운용을 위한 교육 및 훈련용 패키지", 한국 조명·전기설비학회 논문지, 12권 2호, pp.45-53, May, 1998.
- [5] J. D. Glover, "A Personal Computer Software Package for Power Engineering Education", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, No.4, Nov. 1988
- [6] M. Daneshdoost, R. Shoat, "A PC Based Integrated Software for Power System Education", IEEE Transactions on Power Systems Vol.4, No.3, Aug. 1989
- [7] Nasrollah Hashei, et al., "A relational database approach to design of power plant and large industrial electrical facilities", IEEE Transaction on Industry applications, Vol.24, No. 6, pp.1019-1024, Nov./Dec., 1988
- [8] Charles A. Gross, Power System Analysis, John wily and Sons, 1979.

〈 저 자 소 개 〉



**신중린(愼重麟)**

1949년 9월10일생. 1977년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업(학사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1977년~1984년 한전 전원계획처(부장대리). 1984년~1990년 한전 연구원 선임연구원. 1990년~1994년 건국대학교 전기공학과 조교수. 1994년~현재 건국대 공대 전기공학과 부교수.



**이육화(李旭和)**

1969년 3월27일생. 1991년 건국대 전기공학과 졸업, 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 홍익대 과학기술연구소 연구원.