

전력계통의 고장해석을 위한 대화식 교육용 소프트웨어 개발

조기선* · 양광민 · 박우진 · 조영훈 · 박종배 · 신종린
 건국대학교 전기공학과

Development of an Interactive Educational Software for Fault Analysis in Power Systems

Ki-Seon Cho* · Kwang-Min Yang · Woo-Jin Park · Young-Hun Cho · Jong-Bae Park · Joong-Rin Shin
 Department of Electrical Engineering, Konkuk University
 jrshin@konkuk.ac.kr

Abstract - This paper describes an interactive educational software developed at Konkuk University. This software provides an educational opportunity for electrical engineering students at the junior level to expand their knowledge about fault analysis in power systems. The developed educational software has three main modules: 1) Z-building, 2) setting the type and location of the fault, 3) displaying the calculated fault currents, according to the given simulation options. The main features of this tool are the diversification of acquisition network data, the function of learning about the z-building procedures, and the dynamic display function of state vectors - all voltage/current phasor. To verify the effectiveness of the developed educational software, some case studies are performed.

Keywords: Graphical User Interface(GUI), Fault Analysis, Z-building Educational Software for Fault Analysis (ESFA)

1. 서 론

최근 전력산업 구조개편이라는 커다란 체제 변화를 겪으면서, 전력 산업 분야는 전력계통 및 전력경제분야의 전문 우수 인력의 필요성을 인지하고 우수 인력 확보를 위한 다양한 방안이 논의되어 왔다. 근본적으로 전기공학 특히 전력산업 분야의 전문우수인력의 확보에 있어서 학부수준 교육의 역할이 그 어느 때 보다도 막중해지고 있다. 학부수준에서 전력산업에 관련된 학문 자체가 '난해하고 어렵다'라는 인식은 여전히 불식되지 않고 있어, 학부수준 학습자가 전력관련 이론을 학습함에 있어서 흥미를 유발할 수 있는 학습도구(educational tool) 개발의 필요성에 대한 인식이 확산되고 있다[1-7].

전력산업 관련분야의 효과적인 학습 기능을 제공하는 학습도구 개발에 관련된 많은 연구가 보고되고 있다. Glover[1]는 전력공학 교육을 위한 PC기반 소프트웨어 패키지를 개발하여 학습도구로 활용한 사례를 보고한 바 있다. 이 학습도구는 개발 당시 하드웨어시스템의 제약으로 학습자는 텍스트 형태의 출력데이터를 해석함으로써 관련이론을 습득하였다.

Yu[2,3,4]들은 학습자의 학업 성취도를 효과적으로 증진시키기 위해 텍스트기반이 아닌 대화식 GUI(Graphical User Interface)기반 학습도구의 중요성을 인식하고, 발전소보조시스템의 설계·모의·해석을 위한 GUI기반 패키지 설계기법과 대칭성(symmetrical component)이론 학습을 위한 GUI기반 패키지 및 대칭분 회로해석을 위한 가시화도구를 개발하였다. 또한, 시작적인 데이터 베이스(텍스트기반)를 이용한 학습도구를 개발함으로써, 수치적으로 방대하고 복잡한 고장해석분야의 학습을 효과적으로 수행할 수 있는 대안을 제시하였다[5].

Schulz[6]는 과거에 비해 실용성을 더 증진하는 학부수준 학습자들의 심리를 반영하여 교육(education)의 목적과 학습자의 흥미(fun)를 접목시키는 방안을 제시하였다. 이는 학습자들이 일상생활에서 이미 경험해 봤음직한 소재를 사례연구 주제로 선정하고 이 주제에 공학이론을 도입하여 교육 목적을 달성하는 것이다. Schulz는 정전(blackout)이라는 사례연구 주제에 다양한 복구대책(restoration)이론을 학습시키는 GUI기반 학습도구를 개발하였다. 이 교육도구를 통해서 학습자의 학업성취도를 증진시키고 동시에 새로운 분야에 대한 도전의식을 고취시키는 효과를 창출한 바 있다[6].

Overbye[7]는 전력계통의 3차원 가시화기법을 제시하여, 경쟁적 시장하에서 특정 사업자의 관점에서 전체 전력계통을 보다 효과적이고 직관적으로 평가할 수 있는 도구를 마련하였다.

선행연구에서 살펴본 바와 같이, GUI기반 패키지는 사용자와 컴퓨터 및 사용자 학습이론간의 친화적인 매체를 제공함으로써, 관련이

론의 이해도를 증진시킬 수 있을 뿐만 아니라 교육용 학습도구를 경험한 학습자로 하여금 새로운 형태의 학습 도구 개발에 대한 동기부여를 제공함으로써, 전반적인 학습환경의 제고를 꾀할 수 있다. 이러한 GUI기반 패키지의 장점을 활용하여, 본 논문에서 개발된 교육용 소프트웨어는 GUI기반으로 개발되었으며, 학습자의 학업성취도를 제고하기 위해서 출력데이터를 텍스트모드와 동적모드(dynamic mode) 형태로 가시화 하였다.

본 논문에서는 전력계통해석의 핵심 분야이면서 학습도구의 효용이 극대화될 수 있는 학습 주제로 "고장 해석(fault analysis)"를 선정하였다. 이에 고장해석에 관련된 이론 습득을 학습 목표로 설정하고, 효과적으로 학습 목표를 달성하기 위한 GUI기반 학습도구(Educational Software for Fault Analysis, ESFA)를 Visual C++ 6.0 개발환경에서 개발하였다. 본 논문에서 개발한 ESFA의 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 계통데이터 입력방법의 다양화
- 2) 대칭분 임피던스 행렬 구성과정의 시각화
- 3) 고장위치에 따른 순차적 사고모의
- 4) 고장전류 데이터의 시각화
- 5) 모의 결과데이터 출력방법의 다양화
- 6) 체계적이고 구제화된 도움말 제공

다음 2절에서는 ESFA의 구성 및 주요 특징을 살펴보고, 3절에서 표본계통과 사용자 정의 계통에 대한 사례연구를 수행하여 본 ESFA의 효용 및 학습효과를 검증하였고, 4절에서 결론을 도출하였다.

2. ESFA의 구성 및 특징

2.1 ESFA의 구성

본 논문에서 개발한 ESFA의 개념도는 그림 1과 같다. 본 ESFA는 계통 데이터 입력, 대칭분 임피던스 행렬구성, 사고상황 설정, 고장 전압/전류 계산, 그리고 사고모의 데이터의 가시화 부분으로 구성되어 있다. 본 ESFA는 확장성과 효율성, 편리성에 중점을 두고 객체지향언어를 사용하여 구현되었으며, 공간복잡도(storage complexity)를 고려하여 모든 데이터는 연결리스트(linked list)로 구현하였다. 그림 2는 본 ESFA의 주 윈도우이다.

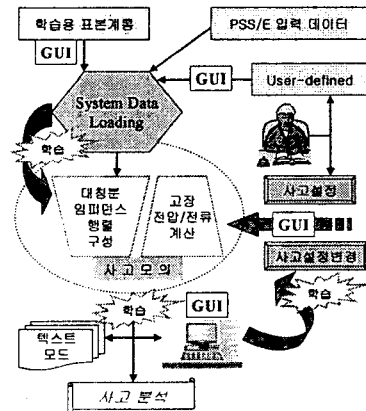


그림 1 ESFA 개념도
 Fig. 1 Conceptual diagram for ESFA

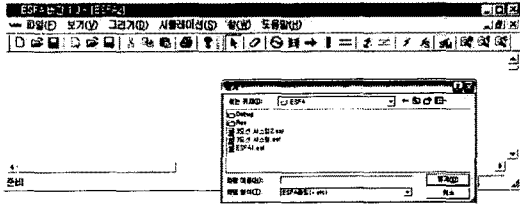


그림 2 ESFA의 메인 윈도우
Fig. 2 The main window for ESFA

■ 계통데이터 입력

본 ESFA는 사용자의 편의를 위하여 그래픽 환경 하에서 모의 계통의 데이터를 입력할 수 있도록 구성되어 있다. 계통 데이터 입력방법은 3가지 형태로 설계하였다. 첫째, 학습 목적으로 저장되어 있는 계통데이터를 불러오는 방법, 둘째, PSS/E Raw데이터를 불러오는 방법, 셋째, 주 화면에서 사용자가 직접 모의계통의 단선도를 구성하는 방법이다. 이를 위해서 ESFA의 주 화면에 전력계통 구성요소에 대한 아이콘을 배치하였다. 사용자는 마우스를 이용해 아이콘의 클릭과 위치지정만으로 손쉽게 모의대상 계통을 구성할 수 있도록 설계되었다. 계통의 단선도 구성하는 데 사용되는 아이콘은 아래와 같다. 사용자는 마우스를 이용해서 이들 아이콘을 클릭하고 위치를 지정함으로써 사용자 정의의 계통을 손쉽게 구성할 수 있다.

- 1) : 지우기, **Ctrl+D**, 2) : 발전기, **Ctrl+G**
- 3) : 변압기, **Ctrl+T**, 4) : 부 하, **Ctrl+B**
- 5) : 모 선, **Ctrl+L**, 6) : 선 로, **Ctrl+W**
- 7) 회전: 마우스 오른쪽 버튼(90°ccw로 회전/클릭)

구성된 단선도에 수치데이터를 입력하기 위해서는 개별 설비요소를 더블 클릭하면 그림 3과 같은 정보 입력창이 뜨면서, 데이터 입력 절차를 수행하게 된다.

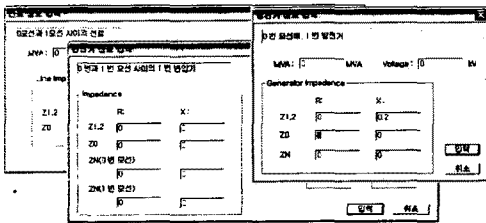


그림 3 데이터 입력창
Fig. 3 Windows to input data

입력한 데이터의 검증용 위해서 [보기-입력값보기] 메뉴 탭을 통해 입력된 수치데이터를 재확인할 수 있다.

■ 대칭분 임피던스 행렬 구성(Z-building)

ESFA의 대칭분 임피던스 행렬 구성 모듈은 학습자로 하여금 행렬구성 절차를 단계적으로 확인하면서 진행할 수 있도록 설계함으로써, z-building에 대한 심도있는 학습의 기회를 제공하고 있다. 5가지 형태의 계통조건에 따른 대칭분 임피던스 행렬의 변화(8,9)를 대상 계통의 단선도와 동일 화면상에 배치함으로써 학습자로 하여금 쉽게 z-building 이론에 접근할 수 있도록 하였다. 대칭분 임피던스 행렬 구성에 관련된 아이콘은 다음과 같다.

- 1) : 실행 (**Ctrl+N**), 대칭분 임피던스 행렬 구성
- 2) : 단계적 실행 (**Ctrl+S**), 순차적으로 행렬 구성
- 3) : 모의 후 대칭분 임피던스 행렬 보기
- 4) : 학습 모드

단계별 실행을 선택한 경우, 그림 4와 같은 화면이 구성된다. 이때, 중앙의 단계 버튼을 클릭함으로써, 단선도의 현재 처리될 계통요소가 적색으로 표시되면서 하단 행렬의 요소값이 갱신된다. 따라서, 학습자는 이를 반복적으로 수행함으로써, 요제에서 학습한 이론을 좀더 심도 있게 이해할 수 있는 기회를 제공받게 된다.

학습모드를 선택한 경우에는 사용자가 대칭분 임피던스 행렬 구성 시 현재 선정된 전송선로의 파라미터를 임의적으로 변경할 수 있도록 한 것이다. 즉, 학습자가 본인의 필요에 의해서 특정 전송선로의 파라미터를 변경함으로써, 본인의 대칭분 임피던스 행렬 구성 이론의 성취도를 판별할 수 있는 기회를 제공하게 된다.

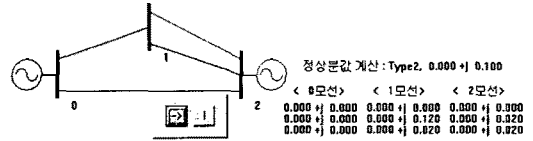


그림 4 Z-building 단계별 모드
Fig. 4 Sequential mode of Z-building

■ 고장 상황 설정 및 결과 데이터 가시화

고장의 위치는 고장 위치지정 아이콘()을 클릭한 후 계통 구성 요소(위치)를 클릭함으로써 고장 위치가 지정됨과 동시에 고장의 종류를 선택할 수 있는 입력창이 뜨고, 고장정보를 입력하게 된다. 학습자가 전송선로의 임의의 지점에 마우스를 클릭하면 ESFA는 정확한 사고 지점을 한 모선에 대한 거리로 환산하여 학습자에게 보여준다. 또한, 학습자는 수시로 고장 종류, 고장 임피던스, 그리고 고장이 발생한 지점을 변경하면서 모의할 수 있도록 설계되어 있다. 즉, 고장 상황에 대한 모든 절차가 단지 마우스 동작만으로 수행이 가능하므로, 절차가 번거롭지 않아 학습자가 충분한 시간을 두고 학습에 임하도록 할 수 있다.

사용자가 설정한 고장의 위치가 동일 전송선로에서 다른 지점으로 변경되는 경우에는 고장 정보를 다시 입력하지 않고 고장계산 결과 데이터 윈도우에서 다시 모의할 수 있도록 설계하였다. 이를 통해서 학습자로 하여금 모의의 편리성을 제공함과 동시에 고장위치가 변경됨에 따라 고장전압이 어떻게 분포되는지를 동적으로 확인할 수 있는 기회를 제공하게 되었다. 그림 5는 고장 발생에 따른 전압 특성을 해석하기 위해서 설계된 윈도우이다.

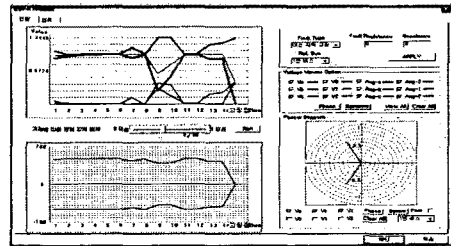


그림 5 고장전압 해석을 위해 윈도우
Fig. 5 Window to analysis the voltage phasor

그림 5의 윈도우는 크게 4부분으로 구성되어 있다. 좌측의 그래프 출력은 전 모선의 전압의 차를 쉽게 식별할 수 있도록 줘는 선 그래프 형태로 모선 전압페이즈를 도시한 것이다. 상단은 전압페이즈의 크기, 하단은 전압페이즈의 위상을 도시하였다. 또한, 중앙에 '고장위치(거리)'에 따른 전압의 변화'를 모의할 수 있도록 하였다. 윈도우의 우측 상단은 고장 정보 변경판을 두어 현재 윈도우에서 다양한 모의를 수행할 수 있도록 하였으며, 전압 페이즈 표현은 상당 내지는 대칭분으로 표시가 가능하도록 설계하였다. 우측 하단은 특정 모선의 전압페이즈를 비교 분석하고자 할 때 용이하도록 설계되었다.

고장 전류페이즈에 대한 해석 결과는 그림 6과 같은 형태의 윈도우로 가시화 된다. 전압이 경우와 유사하게 전류에 대해서도 고장의 형태를 현재 윈도우에서 변경하여 모의가 가능하도록 하였다.

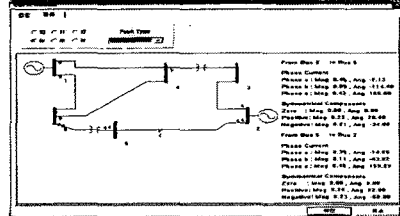


그림 6 고장전류페이즈 해석을 위해 윈도우
Fig. 6 Window to analysis the current phasor

고장전류의 크기를 직관적으로 평가할 수 있도록 각 전송선로 상에 화살표의 개수를 통해서 전류를 크기를 나타내었고, 화살표의 방향은 고장전류의 방향을 표시하였다. 또한, 특정 구성요소의 구체적인 전류값을 쉽게 취득할 수 있도록 설계하였다. 학습자는 관심 있는 선로를 마우스 왼쪽버튼의 클릭으로 선택할 수 있으며, 이때 선택된

구성요소에 관련된 고장전류 정보는 윈도우의 우측에 수치 데이터 형태로 제시된다. 따라서, 학습자는 이 정보를 통해서 대상시스템의 고장 전류 해석의 이해도를 증진시킬 수 있겠다.

■ 강력한 도움말 제공

본 ESFA는 어떠한 추가적인 메뉴얼이 요구되지 않으며, 각종 아이콘에서부터 사용방법에 이르기까지 본 논문의 대부분 내용을 도움말에 체계적이고 구체적으로 수록하였다. 따라서, 학습자는 도움말을 참조해가며 본인이 관련된 이론 이해도를 증진시킬 수 있다. 또한, 도움말에 고장해석에 관련된 제반이론을 수록하였기 때문에, 본 ESFA를 수행함에 있어서, 이론적인 근거도 바로 참조할 수 있으므로, 학습자를 위한 강력한 학습도구가 될 것임을 확신한다. 그림 7은 ESFA의 도움말 윈도우의 일부를 나타낸 것이다.

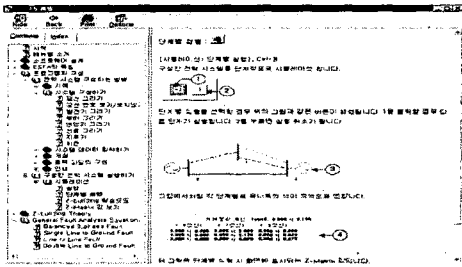


그림 7 도움말 윈도우
Fig. 7 Window for help

2.2 ESFA의 특징

전술한 ESFA의 구성과 세부 설계방안을 통해서 본 논문에서 개발한 ESFA의 주요 장점은 다음과 같다.

- 사용자 중심의 쉬운 인터페이스 및 입력방법의 다양화
- Z-building 절차의 시각화
- 고장위치 변화에 따른 전압분포의 동적 가시화
- 효과적인 결과 데이터 가시화 및 강력한 도움말 제공

3. 사례연구 및 고찰

본 논문에서 개발한 ESFA의 성능 및 효용을 평가하기 위해서 선정된 표본계통은 그림 8과 같다. 그림 8의 (a)는 ESFA의 계통구성 도구를 이용하여 모의할 계통이고, (b)는 본 ESFA에서 제공하고 있는 학습용 계통이다.

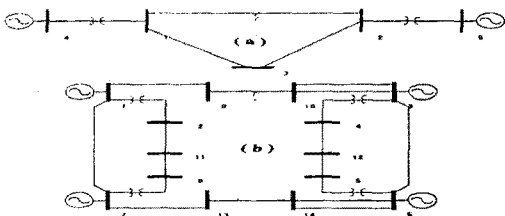


그림 8 표본계통
Fig. 8 sample systems

■ 표본계통 1 : 5-모선 계통, 사용자 정의 계통

1선지락, 선간단락, 2선지락 고장에 대한 해석결과를 그림 9에 제시하였다. 그림 9의 우측은 고장전류를 나타낸 것으로 고장 위치는 중앙에서 발생된 경우의 결과를 제시한 것이다. 이는 해석적인 결과와 일치하였다(8.9). 학습자는 본 ESFA의 그래픽 환경하에서 고장상태에서 물리량을 직관적으로 확인할 수 있어서 관련 제반이론을 학습하는데 효과적이다.

■ 표본계통 2 : 14-모선 계통, ESFA에서 제공

그림 8(b)의 표본계통에 대해서 9-10번 모선을 연결하는 전송선로에서의 고장을 상정하고, 3상평형 고장이 선로에 발생된 경우의 모의 결과를 그림 10에 제시하였다. 학습자는 좌측의 전압의 분포 및 페이저도를 통해서 현재의 전압상태를 식별하고, 우측의 전류분포를 통해서 고장전류에 대한 심도있는 학습을 수행할 수 있다. 또한 고장전류는 관심 있는 전송선로를 마우스로 선택하여 실제 수치 데이터를 동일 윈도우에서 확인할 수 있으므로, 고장 전류의 상황과 데이터를 일괄해서 학습하는데 도움이 된다.

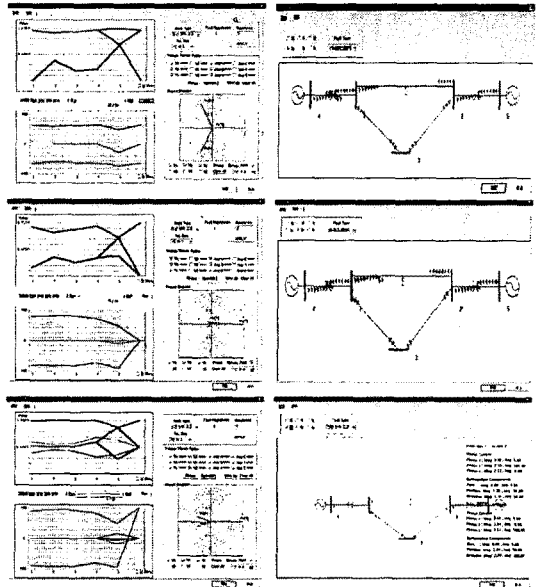


그림 9 사용자 정의 계통에 대한 고장해석 결과
Fig. 9 The results of the fault analysis on user-defined system

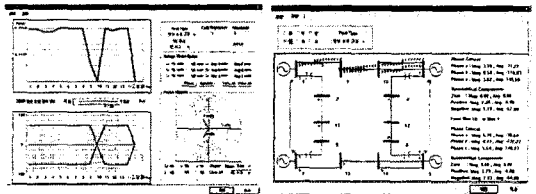


그림 10 표본계통 2에 대한 3상 평형고장 해석 결과
Fig. 10 The results of the fault analysis on sample system 2 applied the three phase fault

4. 결론

본 논문은 전력시스템의 중요 학습분야인 "고장해석"에 대한 학습효과를 제고하고자 대화식 교육용 소프트웨어(ESFA)를 개발하였다. 본 ESFA는 학습자의 편의를 위해 GUI를 기반으로 설계되었으며, z-building, 고장전류 및 전압페이저의 분포, 고장 임피던스에 대한 영향, 고장 위치에 따른 영향 등을 통합적으로 학습할 수 있도록 설계하였다. 사례연구를 통해서 본 ESFA의 계산 정확도를 검증하였으며, 사용자는 GUI환경에서 최소의 노력으로 사용자 정의 계통을 구성 및 모의할 수 있었다. 향후, 다양한 학습 환경을 제공하기 위해서 많은 표본계통을 추가할 예정이며, 학습 대상을 단지 학부생에 국한하지 않고 전력계통 운전원도 확대하여 교육/훈련을 위한 도구로 확장할 예정이다.

(참고 문헌)

- [1] J.Duncan Glover, "A Personal Computer Software Package for Power Engineering Education", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 3, No. 4, pp.1864-1871, Nov. 1988.
- [2] D.C. Yu et al., "A Graphical User Interface for Design, Simulation and Analysis of Power Plant Electrical Auxiliary System", *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 9, No. 2, pp.263-269, June 1994.
- [3] D.C. Yu et al., "A Windows Based Graphical Package for Symmetrical Components Analysis", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 10, No. 4, pp.1742-1749, Nov. 1995.
- [4] D.C. Yu et al., "A GUI Based Visualization Tool for Sequence Networks", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 13, No. 1, pp.34-39, Feb. 1998.
- [5] D.C. Yu et al., "Facilitating Engineering Analysis Via a Graphical Database", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 10, No. 1, pp.370-375, Feb. 1995.
- [6] N.N. Schulz et al., "A Case Study on Blackout Restoration as an Educational Tool", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 15, No. 2, pp.467-471, May 2000.
- [7] Tomas J. Overbye, "New Techniques for Power System Visualization Under Deregulation", *IEEE PES Winter Meeting*, Vol.1, pp.28-33, Jan 2000.
- [8] C.A.Gross, "Power System Analysis", pp.333-400, John Wiley & Sons, 1986.
- [9] P.M.Anderson, "Analysis of Faulted Power Systems", IEEE Press, 1995