

제주계통을 대상으로 하는 전력계통 고장복구 교육시스템 개발

이남호 송인준 조경보  
한국전력공사 전력연구원

Development of the Power Restoration Training System for Je-ju Network

Nam-ho Lee, In-Jun Song, Kyeong-Bo Cho  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - In order to improve the power restoration capability of system operators In case that the fault and blackout happen in the power system, Development of the Power Restoration Training System is necessarily required as a simulator tool for training operator. Owing to those reasons, KEPRI has developed the power restoration training system and graphic editor and applied it to Jeju transmission system. This paper presents the design and implementation of the system, and shows a example to simulate the primary restorative line in jeju.

1. 서 론

전력연구원 전력시스템기술그룹에서는 “전력계통 고장복구 및 지원교육프로그램 개발” 연구과제와 관련하여 고장복구 교육시스템과 계통편집프로그램을 개발하고 이를 제주계통에 적용하였다. 전력계통에 발생하는 사고 및 이상현상에 대한 계통 운용자와 운전자의 빠르고 정확한 복구조치 능력향상을 위해서 서전에 모의 훈련을 통한 교육은 절실히 필요하다. 제주계통 교육시스템은 66 kV 이상 제주 송전계통을 GUI에 구현하고 HVDC를 통해 해남변전소로부터 공급받는 전원은 동일한 크기의 발전기로 대체하여 시뮬레이션이 가능하도록 하였다. 본 시스템은 GUI, 데이터베이스, 계통해석 모듈로 구성되어 있으며, 제주계통에 대한 사용자가 임의의 제어를 하면 계통조류를 계산하고 발전기 공급한계량, 모선 과전압, 선로 과부하를 판단하는 기능을 수행한다.

2. 본 론

2.1 교육시스템 구성

교육시스템은 크게 데이터베이스, 전력계통해석, GUI(Graphical User Interface)의 3가지 모듈로 구성되어 있으며 지원프로그램으로는 GUI에 구현되는 계통도 편집을 위한 그래픽 편집기가 있다.

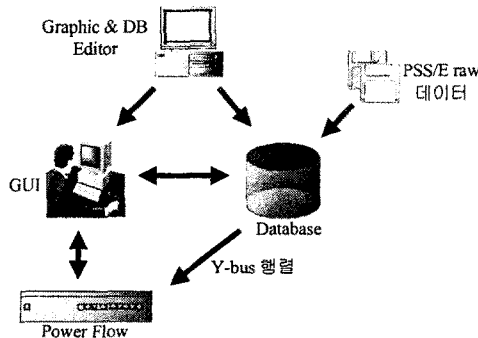


그림 1 교육시스템 구성도

각 모듈간의 통신은 자체 제작한 Message\_Q를 통하여 이루어진다. 또한, 본 시스템은 사용자의 전력계통에 대한 임의의 제어를 윈도우즈 환경 내에서 가능하도록 해주며 그래픽을 이용한 다양한 사용자 편의기능을 제공해준다. 그림 1은 고장복구 교육시스템의 구성과 흐름을 보여준다.

2.1.1 데이터베이스 설계 및 구축

교육시스템의 데이터베이스는 모선, 선로, 발전기, 변압기 등의 계통데이터를 관리하는 Static 데이터와 전력계통 해석을 위해 필요한 전압, 위상, 발전량, 부하량 등의 Dynamic 데이터로 설계되었다. 그리고 GUI 계통도의 그래픽 데이터와 계통데이터 구축과 인터페이스는 모선번호와 선로번호를 Primary Key로 하여 구현되었다. 본 시스템의 DB는 자체 데이터 저장파일 이외에도 한전에서 계통해석 툴로써 사용 중인 PSS/E 데이터를 컨버전하여 초기화 할 수 있다. 또한 계통연계와 Undo 기능을 위해 각기 다른 DB 저장 형식을 가지고 있으며 시스템이 교육상황에 따라 자동으로 저장하도록 설정되었다. 데이터베이스에 저장된 정보는 GUI의 그래픽데이터와 일치하여야 함으로 교육시스템의 데이터베이스 관리시스템은 두 정보 간 데이터가 일치하는 지를 검색하여 사용자에게 알려주는 기능을 가진다. 제주계통의 특성상 계통 데이터는 66kV 이상 송전망에 대한 데이터를 구축하였고 육지계통으로부터 전원을 공급받는 HVDC선로는 동일한 발전출력을 낼 수 있는 발전기를 직접 제주변환소에 연결하여 구축하였다.

2.1.2 전력계통 해석

전력계통 해석 모듈은 전 정전 또는 광역 정전시 운전자가 조작한 계통의 제어입력에 대한 조류계산을 수행하고 결과를 GUI에 전달하는 기능을 담당한다. 본 모듈에 적용된 알고리즘은 전력계통 해석에 널리 이용되는 Newton-Raphson 법과 Gauss-seidel법을 혼합 사용하였으며 수렴속도의 향상을 위해 Sparse-Matrix를 적용하여 구현되었다. 전력조류 계산을 통해 각 선로의 유효전력, 무효전력 및 모선의 전압과 위상각을 계산하고, 송전선로의 전력 조류상태가 선로용량을 초과하는지에 대한 여부와 각 모선의 전압이 허용수준을 유지하는가를 검토한다.

2.1.3 Graphical User Interface

사용자가 윈도우즈 상에서 교육시스템을 운용하고, 데이터베이스를 관리하는 것은 GUI상에서 이루어진다. 그림 2에서 보여 지는 것처럼 GUI에 구현된 제주계통도에는 66kV 이상 송전망, 제주T/P모선에 연결된 디젤발전기를 포함한 제주지역 내 23대의 발전기와 Step-up Tr, 차단기, 변압기, 16개 모선, HVDC를 통해 연결된 육지계통의 전원공급을 대신하는 발전기 2대로 구성되어 있다. 각 모선 옆에는 모선전압을 기준으로 색깔로 구분된 유효전력, 무효전력, 전압, 위상각이 표시되어 있다. GUI 상에서 사용자는 차단기를 조작하고 발전기의 투입여부

를 결정한다.

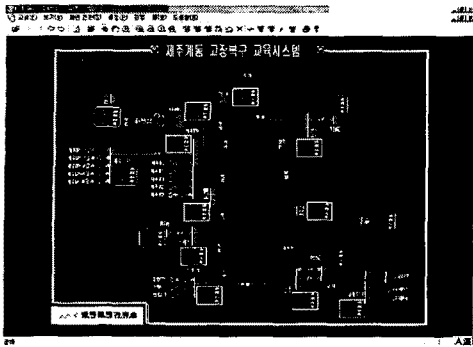


그림 2 Graphical User Interface

각 요소에 대한 마우스클릭을 하게 되면 발전기 전원 공급량과 가압전압, 모선 부하공급량, 변압기 탭을 조정할 수 있는 서브윈도우즈 창을 띄워준다. 사용자 편의 기능으로는 화면의 확대와 축소기능, 패닝 그리고 출력 등이 있으며, 데이터의 저장 및 불러오기 기능이 있다. 사용자는 GUI를 통해 모의 결과를 그래프적으로 확인하고 계통 복구 모의를 수행한다.

### 2.1.4 그래픽 편집기

GUI에 구현된 제주계통을 제작하기 위해서는 자원프로그래밍 그래픽 편집기를 이용한다. 우선 제주지역의 계통정보 데이터베이스를 구축하고 모선, 선로, 발전기, 변압기의 Primary Key를 가지고 그래픽편집기에 구현하고자 구성요소의 태그를 정의한다. 다음 단계로 그림 3과 같이 각 요소의 그래픽 효과를 위한 색상, 수치, 마우스 동작 등 동적요소를 설정하면 GUI에 구현될 계통도가 완성된다.

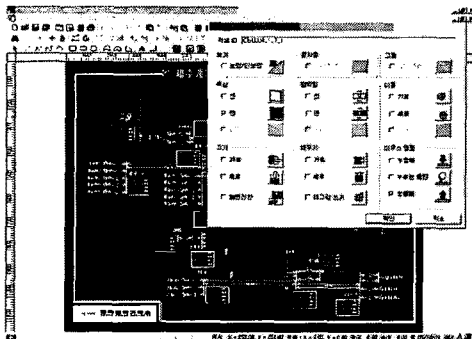


그림 3 그래픽 편집기

### 2.2 교육시스템 특징 및 기능

본 연구에서 소개된 교육시스템을 통해 사용자는 아래에서 서술한 것처럼 크게 시송전 복구 모의와 광역정전 복구 및 계통연계 모의 2가지를 수행할 수 있다. 본 시스템이 가지고 있는 주요 기능은 다음과 같다.

- 사용자의 계통조작에 대한 조류계산을 수행하고 모선 과전압, 선로 과부하, 발전기 무효전력 공급한계량을 판단하여 GUI를 통해 시각적으로 전달.
- 계통의 이상현상 발생 시 모의 진단단계로 돌아가는 UNDO 기능
- 조작대상: 발전기 가압전압과 발전량, 변압기 탭 조절, 모선 전상/지상 부하투입, 차단기 On/Off
- 이중 슬랙모선 지정, 데이터 matching 등 DB 검색

기능

- 살아있는 모선 수, 슬랙지정보선, 총발전량/부하량 등 계통 정보를 사용자에게 제공
- 데이터베이스 구축 시 PSS/E 데이터 컨버전 기능을 제공하고 다양한 계통복구 모의를 위한 DB 저장 및 관리 기능
- 전계통 정전모의를 위한 제주계통 모든 스위치 자동 트립 기능 제공

### 2.2.1 시송전 복구 모의

국내의 복구지침은 전정전 또는 광역정전 발생시 신속한 복구를 위해 7개의 지역계통으로 구분하여 자체기동발전기로 시송전 계통을 가압한다. 그리고 각 지역 계통별 발전력과 부하를 일정 수준 회복한 이후 계통연계를 수행하고 정전부하를 완전히 복구하는 방법을 사용한다. 본 시스템에 적용된 제주지역도 동일한 복구절차에 따라 육지계통으로부터 전원공급이 없는 상태에서 시송전 계통을 가압한다. 제주지역 시송전 선로는 주선로와 예비선로로 구성되었다. 주선로는 자체기동발전기인 제주화력 G/T 1대를 0.9[PU] 전압으로 가압하여 우선공급 발전기인 한림복합에 전원을 공급하고, 예비선로는 선정된 자체기동발전기와 우선공급발전기는 동일하고 공급 선로가 다르게 설정되어 있다. 교육시스템을 통해 시송전 복구를 모의하려면 우선 사용자는 GUI의 전 정전 기능을 통해 제주계통 전지역의 차단기를 트립시키고 부하량과 발전량을 0으로 설정해준다. 그런 이후 정해진 복구 절차에 따라 자체기동발전기의 가압전압을 설정하고 시송전 선로의 황색차단기를 투입하여 우선공급 발전기 까지 전원을 공급하도록 계통을 조작한다.

### 2.2.2 광역정전 복구 및 계통연계 모의

광역정전 발생시 복구 모의 훈련을 위해서는 우선 제주지역 내 광역정전 지역을 설정해야 한다. 이는 PSS/E 또는 자체 DB 파일을 조작하여 설정할 수 있고, 또한 GUI 상에서 선로를 차단하여 정전지역을 설정할 수 있다. 이때 교육시스템은 모선에 전원이 공급되지 않으면 자동으로 부하량과 전압을 0으로 설정하여 주기 때문에 사용자는 차단기 조작의 기타 제어입력을 할 필요가 없다. 광역정전 지역이 구성되면 사용자는 GUI상의 계통 제어기를 통해 정전지역에 전원공급용 차단기를 투입하여 복구조작을 하고 이때 계통상태에 따라 부하를 투입한다. 해석결과가 과부하 또는 과전압을 판정되면 UNDO 기능을 통해 모의전 단계로 돌아가 다시 복구조작을 수행한다. 계통연계는 두개의 광역정전 지역을 각기 복구한 후 이를 교육시스템이 제공하는 Case 저장방식을 이용하여 저장하고 이를 동시에 불러와 연계검의 차단기를 투입하고 계통을 해석한다.

### 2.3 사례분석

위에서 언급한 것처럼 고장복구 교육시스템은 시송전 복구 모의와 광역정전 및 계통연계 모의를 수행하며 이중 본 연구의 주목적인 시송전 복구모의에 대한 사례를 제주지역 전계통 정전, 제주계통 시송전 선로복구, 기타 발전소 및 부하에 전원공급의 3단계로 나누어 소개하고자 한다.

#### 2.3.1 제주지역 전계통 정전

제주지역 시송전 계통모의를 위해서는 그림 4의 화살표가 가르키고 있는 아이콘을 클릭하여 제주지역 내 모든 차단기를 개방하여야 한다. 이는 전 계통 정전이 발생되면 시송전 선로의 황색차단기를 제외한 모든 차단기는 개방해야 한다는 고장복구 절차서를 따르는 것이다. 모든 차단기를 차단하게 되면 발전량과 부하량이 0으로 설정되고 모선과 발전기의 전압과 위상이 0으로 자동 설정된다. GUI의 선로와 모선색은 전원이 공급되는 선로는 적색으로 전원이 차단되면 녹색으로 표시되며 그림 4

에서 보여주는 것처럼 전 정전이 발생했기 때문에 제주 지역의 모든 선로가 녹색으로 바뀔 수 있다.

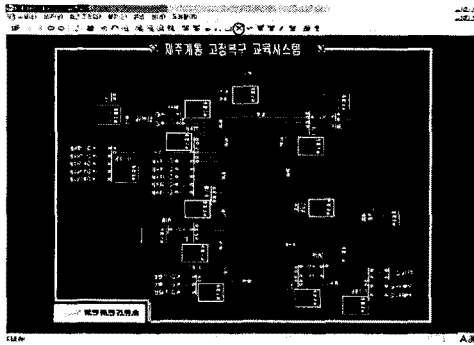


그림 4 제주지역 전계통 정전

### 2.3.2 제주계통 시송전 선로 복구

제주지역의 시송전 선로는 주선로와 예비선로가 있으나 육지계통과는 달리 제주지역은 주선로가 이용할 수 없는 경우만 예비선로를 사용한다 따라서 본 예에서는 주선로만 이용하여 복구모의를 수행한다. 우선 자체기동발전기인 제주화력 1대를 선택하고 복구절차에 따라 발전량은 35MW, 초기가압은 0.9[PU]로 설정하고 발전기를 ON으로 둔다. 이때 조류계산 알고리즘의 특성상 자체기동발전기를 슬랙모션으로 지정해야한다. 다음 단계로 제주화력 - 동제주S/S - 신제주S/S - 한림C/C 시송전 선로의 황색차단기를 투입한다. 그리고 시뮬레이션을 실행하면 그림 5와 같은 결과가 GUI상에 나타나며 시송전이 성공한 것을 알 수 있다.

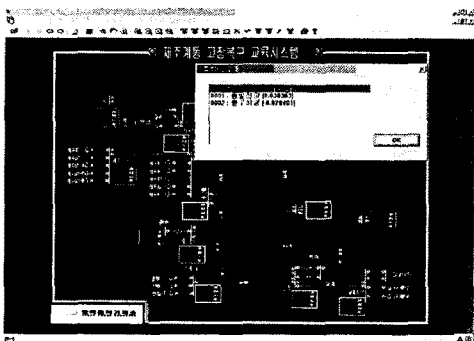


그림 5 시송전 선로 가압

시송전 선로의 가압이 끝나면 우선공급발전기인 한림복합 GT 1기의 전압과 전력량을 설정하고 발전기 상태를 ON에 위치시킨다. 이때 슬랙모션을 제주화력에서 발전용량이 큰 한림복합으로 바꾸고 시뮬레이션을 수행한다. 모의결과가 정상적으로 나타나면 한림복합의 나머지 발전기를 추가로 가압한다.

### 2.3.3 기타 발전소 및 부하에 전원공급

시송전 복구 모의가 끝나면 우선공급발전소를 중심으로 기타발전소와 모선에 전원을 공급한다. 부하량은 해당 모선을 클릭하면 부하량 입력창이 그림 6과 같이 나타나고 수치물 기입하여 부하량을 설정해 주면 된다. 계통의 원활 한 복구를 위하여 변압기 탭도 계통상태에 따라 조절할 수 있으며 복구 모의를 수행하다가 과전압, 과부하등의 문제가 발생하면 언제든지 UNDO 기능을 이용하여 모의 전 상태로 되돌아가 다시 계통 조작을 할 수 있다.

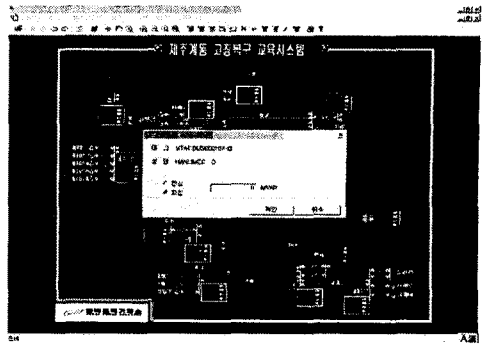


그림 6 모선 부하량 설정

## 3. 결 론

전력연구원 전력시스템기술그룹은 기초전력공학공동연구소와 공동으로 “전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발” 연구과제와 관련하여 사용자의 임의의 계통 제어에 대한 복구훈련이 가능한 교육시스템과 그래픽 편집기를 개발하고 이를 제주계통에 적용하였다. 본 시스템은 제주지역 전 계통 또는 광역정전 발생시 그리고 육지계통으로 부터의 전원공급이 안될 경우의 복구 훈련이 가능하며 윈도우즈 환경의 사용자 편의기능을 제공함으로써 보다 쉽고 편리하게 사용할 수 있도록 하였다. 제주계통 교육시스템의 활용을 통해 다양한 각도에서의 제주지역의 복구모의가 가능하고, 이를 바탕으로 한 제주지역 계통운영자와 운전자의 교육훈련은 신뢰성 높은 복구방안의 수립은 물론 광역정전 발생시 신속하고 안정된 정전복구를 가능하게 할 것으로 예상된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] M. Adibi, P. Clelland, L. Fink, H. Happ, R. Kafka, J. Raine, D. Scheurer, F. Trefny, "Power System Restoration - A Task Force Report" IEEE Trans. on PWRs, Vol. 2, No. 2, May 1987
- [2] Gaston Morin, "Service Restoration Following A Major Failure On The Hydro Quebec Power System" IEEE Trans. on PWRD, Vol. 2, No. 2, pp. 454 462, April 1987.
- [3] E. Mariani, F. Mastroianni, V. Romano, "Field Experiences In Reenergization Of Electrical Networks From Thermal And Hydro Units", IEEE Trans. on PAS, Vol. 103, No. 7, pp. 1707 1713, July 1984.
- [4] Micael B.Benson, "Electric System Training with Programmable Controllers", IEEE Computer Applications in Power, January 1989
- [5] Joseph D.Willson, "Power System Restoration Training Questionnaire Results", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.11, No.3, August 1996
- [6] 이흥재 외 7인, "Analysis of the Primary Restorative Transmission System", ICEE 2002, July 2002
- [7] 이명래 외 7인, "전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구(중간보고서)", 전력연구원 TM 615, 2001.12
- [8] 이남호, "보호계전 종합환경을 위한 HMI 개발", 대한전기학회 하계학술대의 논문집, PP200 202, July 2000
- [9] 이남호 외 4인, "GIS를 기반으로 하는 전력계통 고장복구 교육시스템 설계", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, May 2003