

OOP 기법을 이용한 GUI를 갖춘 배전계통 운용 전문가 시스템

김 세 호*

An Expert System for Distribution System
Operation with GUI using OOP Technique

*Kim Se-Ho**

Summary

This paper deals with the expert system in distribution system which combined with GUI(graphic user interface) using OOP(object-oriented programming) technique. The proposed expert system can recognize and adjust to the system change, and includes the rulebases of security monitoring. Also it provides the rulebase of load transfer for efficient load distribution. The graphic user environment for expert system is implemented in the mouse-oriented user interface with overlapped window functions and pull-down menus. GUI includes the graphic editor. Graphic editor is X11 and Motif 1.1 based editor and is used for drawing one line diagram of substation and distribution line and breaker. Graphic editor provides the function for creating, deleting and modifying graphic objects. So, graphic editor can easily handle every graphic objects with least operations.

서 론

배전계통은 방대하고 복잡하게 구성되어 있으며, 계통운용시 선로를 계속 추적하면서 제한조건을 검토하여 상태를 판단하는 작업을 수없이 반복하여야 한다. 이 작업을 인간 운전원의 판단과 수계산으로 수행됨에 따라 실수로 인한 오조작으로 불필요한 정전과 인축사고의 우려가 있어 왔다. 이에 따라 컴퓨터를 통한 이 문제의 해결을 시도하였으며, 전

문가 시스템이 계통추적 및 계통 상태 판단을 수행하는 데 최적이라고 판단되어 배전계통 운용 전문가 시스템을 개발하였다. 따라서 현재 수작업에 의존하는 계통운용을 개발한 전문가 시스템을 통하여 신속 정확하게 수행할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 배전계통에서 사고복구나 정전계획시 가능한 부하절환 방안을 계통 추적기법을 사용하여 찾아내고 변압기 용량, 피더용량, 말단 전압조건, 계전기 정정치 등의 제한 조건을 검토하여 안전한 부하절환 방안을 도출하고 상시 운전시 계

* 공과대학 전기공학과(Dept. of Electrical Engineering, Cheju Univ., Cheju-do, 690-756, Korea)

통의 상태를 주기적으로 감시하여 계통 상태의 이상 유무를 확인할 수 있는 전문가 시스템을 개발하였다.

또한 전문가 시스템에 GUI를 위한 MENU를 만들어 사용함으로써 운전원이 화면에 표시된 계통도 그래픽 화면으로 계통을 운용할 수 있도록 하였다. 즉 화면에 표시된 개폐기 및 선로 심볼에 직접 마우스로 선택하여 필요한 정보를 입수할 수 있으며, 개폐기 조작 및 선로 사할상태를 킬라 변화로 인지할 수 있다. 따라서 운전원이 배전계통을 그래픽 화면을 통하여 보다 효율적으로 운용할 수 있도록 하였다.

본 논문의 GUI는 객체 지향 프로그래밍 기법을 이용한 X Window의 Motif widget을 이용하여 구현하였으며 배전 계통의 여러 구성 요소를 그래픽 객체로 하여 윈도우와 마우스를 사용하여 쉽게 계통도를 작성 또는 수정하고 변전소의 단선 결선도를 작성하는 그래픽 에디터를 개발하였다.

GUI의 객체는 배전 계통 현장의 기기들로서 캡슐화(Encapsulation)의 기능으로 각각의 객체는 서로 독립적인 구조를 가지며 새로운 기능의 추가로 인한 기존의 프로그램에 영향을 미치지 않는다. 또한 다형성(Polymorphism)을 통하여 각 객체의 형태에 대한 지식이 없이도 그래픽 메시지를 통하여 계통도 상에 각각의 객체를 표현할 수 있도록 하였다.

연구내용 및 방법

1. 전문가 시스템의 구조

배전 계통의 효율적인 운용을 위하여 전문가 시스템의 추론결과는 계통 운전의 안전성을 최우선적으로 만족시키도록 하였고 신속 정확한 해를 탐색하는 것을 그 다음 순위로 하며 시간이 허용되는 범위내에서 계통 운전의 최적성을 고려한다는 원칙 하에서 전문가 시스템을 개발하였다. 그리고 운전원이 GUI를 통하여 사고 복구 및 정전 작업 시뮬레이션을 수행하도록 하였으며 마우스를 중심으로 한 다양한 화면 조작, 데이터 베이스의 수정과 참조 기능, 편리한 사용자 입출력 기능 등으로 기존의 GUI에 비해 기능이 더욱 강화되었다.

전문가 시스템의 개발 환경 및 언어는 다음과 같다.

- 컴퓨터 기종 : SUN Spark Workstation
- 사용 O/S : UNIX OS Release (V 1.2)
- 지식베이스의 LOGIC 및 데이터베이스 부분 : IF-PROLOG (V 4.0)
- 계통도 그래픽 및 메뉴 부분 : X-WINDOW (V 1.1.1) + MOTIF (V 1.1.2) + C

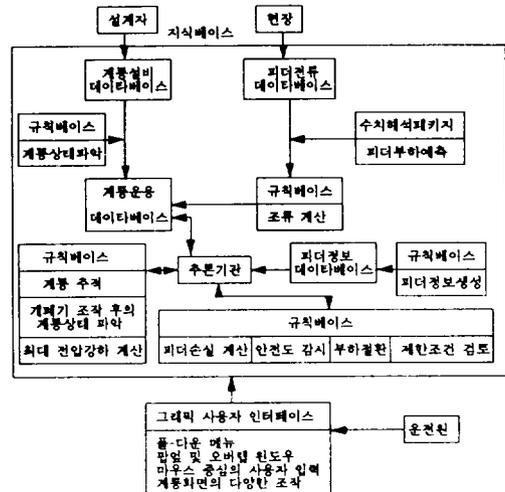


Fig. 1. The structure of expert system

2. 전문가 시스템의 구성 기법

본 논문에서 제안하는 전문가 시스템의 특징적인 구성 기법은 다음과 같다.

1) 규칙 기반 전문가 시스템 기법

- 규칙과 사실로 구성된 규칙기반 기법 적용
- 데이터베이스, 지식베이스, 추론기관, 인간-기계 연락장치로 구성
- PROLOG 언어의 백트래킹과 단일화 기능을 이용한 계통추적

2) 부하절환 트리 해석 기법

- 배전계통의 효율적인 부하절환 판단을 위하여 트리 구조의 해석기법 개발
- 절환의 용이도 (횟수 및 방법)에 따라 트리 구조로 구성

3) 최적 우선 탐색 기법

- 부하결환 판단을 위한 계통추적시 경험적 탐색 기법을 도입하여 탐색기간 단축
- 계통추적시 트리에서 비용 함수를 계산하여 최소의 값을 가진 분기부터 검색

4) 전방 연결, 후방 연결 추론 기법

- 계통 상태 파악 : 후방 연결 추론 기법
 - 부하결환 방안 도출 : 전방 연결 추론 기법
- 5) 동적 데이터베이스 기법
- 필요에 따라 추론기관에 의하여 기존 데이터 베이스를 수정 또는 생성

3. 지식베이스

지식베이스는 데이터베이스와 규칙베이스, 추론 기관으로 구성된다.

1) 데이터베이스

- 계통설비 데이터 : 기기특성, 기기의 연결상태
- 계통상태 데이터 : 구간선로 상태, 개폐기 상태, 고장여부
- 계통종류 데이터 : 피더전류, 구간 부하전류
- 피더정보 데이터 : 연계 개폐기, 결환 후의 공급 피더, 보호기기, 주변압기

2) 규칙베이스

필요한 업무 특성에 따라 규칙베이스로 부터 필요한 규칙을 불러내어 모듈을 구성하도록 하였으며 이 모듈은 부하결환 및 안전도 감시 수행시 별도의 지식으로 사용되고 각자가 독립적으로 구성되어 있어 확장하거나 수정하기 편리하다.

① 안전도 감시 규칙베이스

안전도 감시 항목으로는 주변압기 용량, 선로 허용전류, 보호기기 최소 트립 전류, 전압 강하 등이며 계통에 미치는 영향에 따라 다음과 같이 분류하였다.

- 비상상태 (Emergency) : 주변압기 용량, 선로 허용전류, 보호기기 최소 트립전류를 100% 초과할 때
- 경고상태 (Alert) : 주변압기 용량, 선로 허용전류, 보호기기 최소 트립전류를 80%를 초과하거나 최대 전압강하가 송출전압의 10%를 초과할 때
- 정상상태 (Normal) : 정상적인 운전상태

전문가시스템은 계통의 상태를 스스로 파악 분석하고 한계치를 초과하면 그래픽 화면을 통하여 감시 결과를 색깔로 표시한다.

② 부하결환 규칙베이스

부하결환의 제한조건 검토 항목은 다음 5가지가 있으며 중요성에 따라 필수조건과 선택조건으로 분류하였다.

- 필수조건 : 주변압기 용량, 선로 허용전류, 보호기기 최소 트립전류
- 선택조건 : 최대 전압강하, 피더손실

사고복구를 위한 부하결환 검토시에는 필수 조건을 만족하고 만족하는 방안이 여러개 있을 경우 결환 후의 공급피더와 보호기기 등의 부하율을 계산하여 가장 작은 방안부터 제시한다. 제한 조건은 피더정보 데이터베이스를 이용함으로써 별도의 계통 추적은 불필요 하다.

정전작업의 경우에는 작업시간에 따른 최대 피더전류를 이용하여 예상 결환 전류량을 계산하고 제한 조건 검토시 사고시 보다 여유가 있으므로 필수 조건과 선택조건을 모두 고려하여 결환 방안을 제시한다.

3) 추론 기관

추론기관은 전문가시스템의 심장부 역할을 담당하며, 특정문제 또는 업무가 주어지면 지식베이스에 있는 규칙이나 사실을 사용하여 추론과정을 거쳐 해답을 탐색한다.

추론기관에서는 Task Scheduler에 의하여 업무 추론 구동 모듈이 선택되고 각 업무 추론 구동 모듈은 그 내부의 추론과정에 의하여 관련된 업무 모듈을 구동한다. 또한 각 업무 모듈은 각자가 목표를 달성하기 위하여 지식베이스로 부터 규칙과 사실을 불러내고 필요한 규칙을 적용하여 새로운 사실을 생성하면서 추론을 수행한다.

① 업무 모듈의 기능

본 연구에서는 배전계통의 부하결환 및 안전도 감시에 필요한 업무들 업무 특성에 따라 모듈화하여 구성하였다. 이 모듈은 업무 구동 모듈에 의하여 선택되며, 선택된 업무 모듈은 내부적으로 조건의 사실을 확인하면서 최종 결론을 유도하는 전방 연결 추론을 수행하게 된다. 이러한 업무 모듈은 다음과 같다.

- 선로상태 파악(LSR : Line State Recognition) 모듈
- 계통 조류계산(SLFC : System Load Flow Calculation) 모듈
- 피더정보 파악(FIR : Feeder Information Recognition) 모듈
- 부하절환시 안전도상태 판정(SSD : Security State Decision) 모듈
- 부하절환 제안(OLTP : Optimal Load Transfer Proposal) 모듈

② 업무 추론 과정

Task Scheduler는 주어진 업무 내용에 따라 필요한 업무 구동(task driving) 모듈을 결정하기 위하여 지식을 사용하여 추론하는 역할을 담당한다. Task Scheduler에 의하여 업무가 결정된 후에는 최종적인 결론이 도출될 때 까지 필요한 업무 모듈을 불러내면서 추론을 계속한다. 업무 구동 모듈은 다음과 같다.

- 업무구동 모듈 1(TD-M1 : Task Driving Module 1); 계통 개폐기 조작에 따른 계통 상태 수정을 추진한다.
- 업무구동 모듈 2(TD-M2 : Task Driving Module 2); 피더전류의 변동에 따른 계통상태 수정을 추진한다.
- 업무구동 모듈 3(TD-M3 : Task Driving Module 3); 사고복구및 정전계획에 따른 부하 절환 방안제시를 추진한다.
- 업무구동 모듈 4(TD-M4 : Task Driving Module 4); 안전도 감시에 따른 감시 업무를 추진하고 그 결과를 제시한다.

그림 2는 구성된 추론기관의 구조도이다.

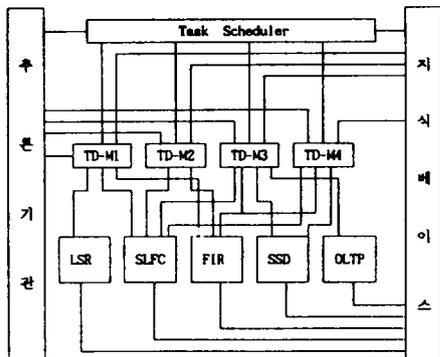


Fig.2. The structure of inference engine

4. 그래픽 사용자 인터페이스

배전계통은 특성상 구성이 복잡할 뿐만 아니라 많은 설비들이 방대한 지역에 걸쳐 있어 운전원이 계통의 상태를 정확하게 파악하는 것이 매우 어렵다. 따라서 운전원이 전문가 시스템을 효과적으로 사용할 수 있기 위해서는 시각적으로 운전원이 편리하게 인식하고 조작할 수 있도록 그래픽 처리를 통한 다양한 화면 구성 및 입출력 기능이 필요하다.

본 논문에서는 객체 지향 프로그래밍 기법을 이용한 X Window의 Motif widget을 이용하여 GUI를 구현하였으며 배전 계통의 여러 구성 요소들 그래픽 객체로 하여 윈도우와 마우스를 사용하여 쉽게 계통도들 작성 또는 수정하고 변전소의 단선 결선 도를 작성하는 그래픽 에디터를 개발하였다.

1) GUI의 특징

그래픽 사용자 인터페이스의 객체는 변전소 내의 변압기, 차단기, 모선, 단로기와 선로(가공, 지중), 개폐기, 패드 스위치 등이며 캡슐화(Encapsulation)의 기능으로 각각의 객체는 서로 독립적인 구조를 가지며 새로운 기능의 추가로 인한 기존의 프로그램에 영향을 미치지 않는다. 또한 다형성(Polymorphism)을 통하여 각 객체의 형태에 대한 지식이 없이도 그래픽 메시지를 통하여 계통도 상에 각각의 객체를 표현할 수 있도록 하였다.

데이터 저장은 GUI로 표현된 그래픽 화면에서 화면에 직접 운전원이 계통의 도안을 그리게 하여 그 즉시 해당 데이터의 그래픽 정보가 다른 화일 속에 저장되게 하였다. 이를 바탕으로 전문가 시스템에서는 직접 그래픽의 인덱스와 맞추어서 데이터 베이스를 동시에 연결할 수 있게 하였다. 또한 데이터가 MOTIF안에서 지식베이스와 연결된 것처럼 자원을 공유할 수 있도록 하였으며 Zoom 기능을 이용하여 가상 메모리상에서 데이터의 모습을 전체적으로 볼 수 있게 하였다.

2) GUI의 기능

GUI에는 전문가 시스템을 용이하게 사용할 수 있는 풀다운 방식의 메뉴 선택 기능과 필요한 정보의 입출력을 자유롭게 나타낼 수 있는 팝업(pop-up) 및 오버랩(overlap)된 다중 윈도우 처리 기능,

그리고 편리한 작업 수행을 위한 마우스 중심의 인터페이스 기능이 포함된다. 특히 변전소 내부 결선도의 디스플레이와 선로 및 차단기의 상태 정보를 참조할 수 있는 포인팅 기능을 비롯하여 개폐기 조작, 사고복구 및 정전작업 계획 시뮬레이션을 마우스를 이용하여 아이콘을 선택함으로써 수행시킬 수 있다. 또한 사용자는 현재 환경에서 빠져나오지 않고 시스템의 분석 및 시뮬레이션을 편리하게 수행할 수 있다.

GUI의 기능은 다음과 같다.

① 그래픽 화면 심플 선택을 통한 기능

- 변전소 단선 결선도 화면표시
- 변전소 정보 화면 표시 및 데이터 수정
- 변전소의 부하결환 가능 연결선로 정보해석
- 선로 정보 화면표시 및 데이터 수정
- 선로 수용가 정보 화면표시 및 데이터 수정
- 개폐기 정보 화면표시 및 데이터 수정
- 피더 평균 및 최대 선로손실 화면표시
- 피더 최대 전압강하 화면표시
- 피더 공급전류 데이터 수정
- 피더공급 연결선로 표시

② 아이콘을 이용한 기능

- 개폐기의 조작 및 선로 상태변화
- 사고복구 및 정전계획시 부하결환 제시
- 계통감시 및 경보
- 운용자 환경전환 (실제, 가상)
- 개폐기 조작일지 자동 작성기능
- 정전 수용가 정보 기능
- 그래픽 기호의 설명 표시 기능

③ 마우스의 드래에 의한 계통도 그래픽의 10단 ZOOM 기능

④ 버튼을 통한 그래픽 Draw 기능

- 그래픽 에디터

3) 그래픽 에디터

MOTIF내에서 지원하는 Widget을 이용하여 그래픽 (Color, Button, Icon, Dialogbox)을 표현하였다. 또한 그림 3에서 보는 바와 같이 MOTIF에서 지원하는 Window들의 Index ID를 이용하여 계통도를 그릴 수 있도록 하였다.

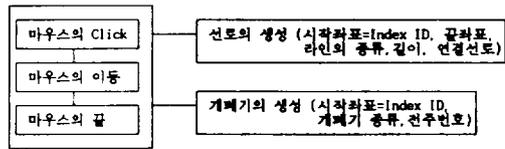


Fig. 3. Production process of Graphic Index using MOTIF Widget

4) GUI의 구성도

GUI의 구성도를 그림 4에, POP MENU CONTROL과 BUTTON SYMBOL의 구조를 그림 5와 6에 표시하였으며 각각의 기능은 다음과 같다.

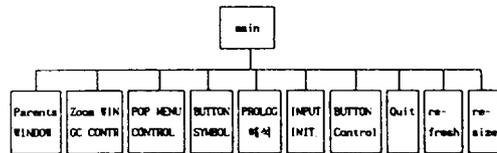


Fig. 4. The configuration of GUI

- Parents WINDOW : top level을 사용하여 Canvas를 그리는 모든 WINDOW를 제어한다.
- Zoom Window Graphic Control : Zooming시 윈도우 내의 그래픽 객체들을 제어한다.
- POP MENU Control : 마우스의 오른쪽 버튼의 INPUT 신호가 Check되면 발생하는 메뉴들을 제어한다.
- BUTTON SYMBOL : 마우스의 왼쪽 버튼으로 INPUT되는 신호중에서 BUTTON으로 들어오는 신호들을 제어한다.
- PROLOG 해석 : Prolog를 초기화하여 제어 및 해석한다.
- INPUT Initialize : 입력되는 모든 신호들에 대하여 초기화한다.
- BUTTON Control : 정의된 버튼들을 제어한다.
- QUIT : 종료의 형식을 Window자체 내에서 제어한다.
- refresh : 다시 그려지는 모든 그래픽을 MOTIF에서 제어한다.
- resize : 다시 그려지는 WINDOW의 크기를 MOTIF에서 제어한다.

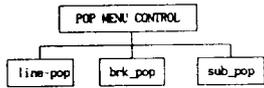


Fig. 5. The structure of POP MENU Control

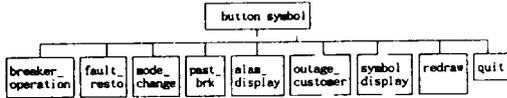


Fig. 6. The structure of button symbol

결과 및 고찰

전문가 시스템의 적용대상은 6개 변전소, 75개 피더로 이루어진 한전 서부 지점으로 선정하였으며 실제통에서 측정된 피더 데이터 전류와 실제 현장에서 이용되는 설비 데이터를 입력하였다.

1. 계통도 작성을 위한 그래픽 에디터 화면

계통도를 작성하기 위한 에디터를 따로 구성하여 변전소, 선로, 개폐기 등으로 이루어 지는 계통을 그릴 수 있도록 하였으며 계통 변경시에도 에디터 화면을 통하여 계통을 변경시킬 수 있다.

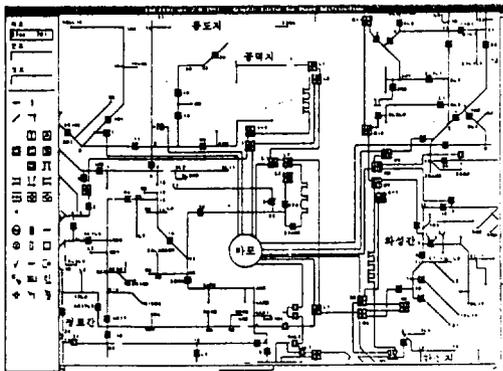


Fig. 7. Display of graphic editor

2. 전체 메뉴 화면

전문가 시스템을 실행시키면 인터페이스를 통해 최근의 온라인 데이터를 받아 그래픽 시스템이 사용할 수 있는 데이터베이스로 구성하고 계통도 출력에 필요한 그래픽 데이터도 함께 읽어 들여 초기

화면을 나타내게 된다.

초기 화면은 사용자의 명령을 받아들일 수 있는 대기 상태로서 계통도 내에서 개폐기가 ON 상태이거나 선로가 HOT상태이면 흑색으로 개폐기가 OFF 상태이거나 선로가 DEAD상태이면 적색으로 표시된다.

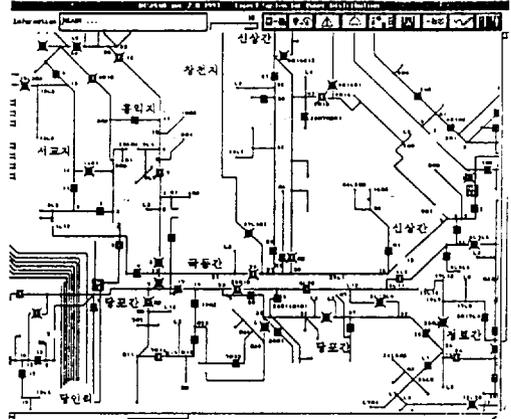


Fig. 8. Display of overall menu

3. 포인팅에 의한 입출력 화면

계통도에 있는 변전소나 개폐기, 선로 등을 마우스로 포인팅함으로써 보다 구체적인 정보에 접근할 수 있다.

계통도의 변전소를 포인팅하면 해당 변전소의 단선 결선도와 정보가 부 윈도우로 표현되며 부 윈도우 내의 기기도 마우스로 포인팅 함으로써 다양한 기능을 수행할 수 있다.

또한 개폐기나 선로를 포인팅함으로써 각 선로정보나 개폐기 정보가 부 윈도우로 표현되어 정보를 확인할 수 있으며 데이터의 변경도 가능하다.

또한 배전 계통을 효율적으로 운용하는데 필요한 선로 손실과 전압 강하값을 해당 피더를 포인팅 함으로써 얻을 수 있다. 즉, 피더를 선택하면 전문가 시스템이 피더에 속한 선로를 추적하면서 손실과 전압 강하를 계산하고 부윈도우를 통하여 결과를 표시한다.

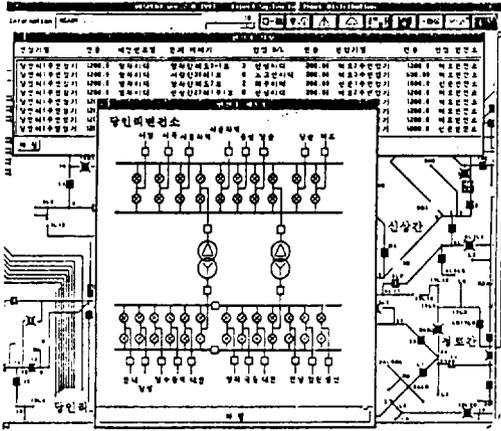


Fig. 9. Display of one-line diagram in substation

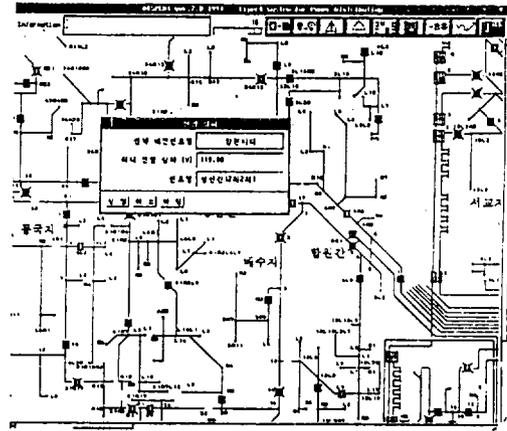


Fig. 12. Display of maximum voltage drop

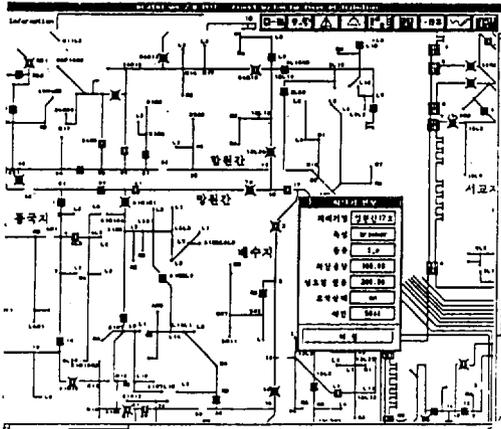


Fig. 10. Display of breaker information

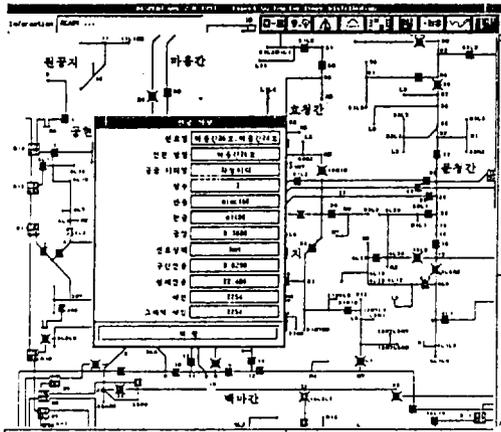


Fig. 11. Display of line information

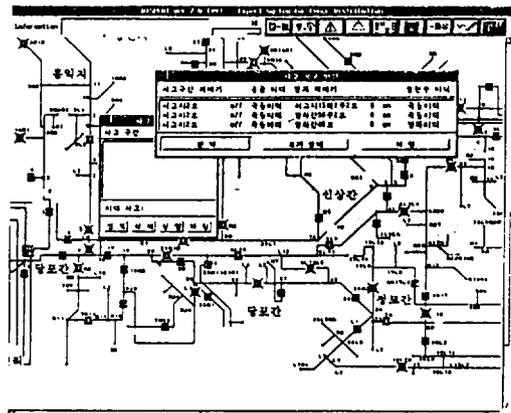


Fig. 13. Display of fault restoration guide

4. 아이콘 메뉴를 통한 입출력 화면

화면에 있는 아이콘을 마우스로 포인팅 함으로써 개폐기 조작이나 사고 복구 등을 수행할 수 있다. 우선 화면 상단에 있는 "개폐기 조작" 아이콘을 마우스로 포인팅하고 개폐기를 지정하면 실제 개폐기를 조작한 것과 같은 상황을 표현할 수 있다.

전문가 시스템의 주 기능인 사고복구를 수행하기 위해서는 "사고 복구" 아이콘을 선택한 후 사고구간 양단의 개폐기를 마우스로 포인팅 하면 개폐기 확인을 위한 부 윈도우가 나타난다. 이 부 윈도우에서 사고 개폐기를 마우스로 포인팅하고 실행 버튼을 선택하면 전문가 시스템이 수행되고 수행 결과인 사고 복구 방안이 제시된다.

또한 전문가 시스템은 상시에 계통을 감시하는 기능을 보유하고 있다. 즉 현재의 선로 전류가 허용치를 초과하는 등 계통 상태가 비정상 상태이면 전문가 시스템이 상황을 판단하여 경보를 울리며 "경보상태" 아이콘을 선택하면 부원도우를 통하여 정보 관련 정보를 얻을 수 있다.

화면의 계통도는 상시에 실제 현장의 계통 상태를 표현하는데 만일 가상으로 계통을 변경하여 상황의 변화를 미리 검토하고자 한다면 "운영환경 전환" 아이콘을 선택한 후 메뉴에 있는 가상 환경을 마우스로 포인팅하면 된다.

"개폐기 조작일지" 아이콘을 선택하면 자동적으로 기록된 과거 개폐기 조작 상황 기록을 부원도우를 통하여 쉽게 얻을 수 있다. 이 정보는 실제 계통을 운용하는데 유용하게 사용된다.

또한 "정전 수용가" 아이콘을 선택함으로써 현재 계통에서 DEAD상태의 선로에서 공급하는 전체의 정전 수용가를 신속하고 용이하게 파악할 수 있으며 이 정보는 정전 수용가 통보에 사용될 수 있다.

계통도 상에 있는 기기 관련 각종 기호의 기기명은 "그래픽 기호 설명" 아이콘을 통하여 얻을 수 있다.

5. ZOOM 기능을 이용한 계통도 화면

규모가 큰 계통을 화면에서 용이하게 파악하기 위하여 10단으로 구성된 ZOOM기능을 화면 상단 중앙에 있는 스크롤 바를 통하여 구현할 수 있다.

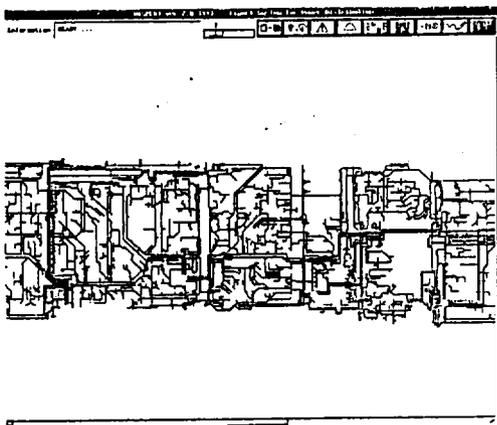


Fig. 14. Display of distribution system by zooming

결 론

본 논문의 전문가 시스템을 한전의 실제통에 적용시킨 결과 평상시에는 안전도 감시를 수행하고 사고 복구와 휴전 계획시에는 효과적인 부하 절환 방안을 제시하며 마우스와 메뉴 화면을 이용한 GUI를 통해 운전원이 계통운용을 편리하게 할 수 있었으며 그래픽 에디터를 통하여 계통도의 수정이 쉽게 이루어 지는 것을 검증하였다.

본 전문가 시스템을 실무에서 사용할 경우 다음의 효과가 기대된다.

- 선로사고시 부하절환 방안 판단
- 컴퓨터에 의한 신속한 부하절환 제시로 정전시간 및 구역 단축
- 정확한 부하절환 방안 제시로 오조작으로 인한 선로 및 인축사고 예방
- 휴전 계획시 최적 부하절환 방안 수립
- 컴퓨터에 의한 최적 부하절환 제시로 전압강하 문제 해소 및 선로손실 감소
- 수작업으로 수행해 온 휴전계획을 컴퓨터가 처리함으로써 시간 및 인력낭비 감소
- 컴퓨터 그래픽 화면에 의한 계통도 관리
- 계통판 관리를 컴퓨터 그래픽으로 처리함으로써 정확하고 편리한 계통운용
- 배전계통 데이터베이스 구축
- 정확한 개폐기, 선로, 수용가의 컴퓨터 DB 정보에 의하여 효율적인 계통운용
- 컴퓨터에 의한 배전계통 운용자료 계산
- 배전계통 운용에 필요한 선로손실 등 관련 계산을 컴퓨터가 처리함으로써 시간 및 인력 낭비 감소
- 계통상태 감시 및 이상시 경보
- 컴퓨터가 배전 계통 상태를 감시하여 이상시 미리 조치를 취함으로써 사고를 예방함
- 계통사고 모의 및 문제점 파악 보완
- 계통사고를 모의하여 부하절환 가능성을 미리 검토함으로써 사고시 정전 시간 및 정전 구역을 감소시킴
- 정전수용가 자동통보

참 고 문 헌

- Hotta, H. Nomura, H. Takemoto, K. Suzuki, S. Nakamura, 1990, Implementation of A Real time Expert System for a Restoration Guide in a Dispatching Center, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 3, pp. 1032-1038.
- Iraj, Dabbaghchi, Richard J. Gursky, 1993, An Abductive Expert System for Interpretation of Real-Time Data, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, pp. 1061-1069.
- Jay Britton, 1992, An Open, Object-based Model as the Basis of an Architecture for Distribution Control Centers, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 4, pp. 1500-1508.
- Johnson, K. Reichard, 1990, X Window Application Programming, MIT Press.
- Kamei, Y. Nakamura, S. Takeda, J. Sukamoto, K. Kaga, 1992, High Interactive Operator Workstation for Distribution Automation System using Spatial Data Management, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 1, pp. 180-186.
- Kumano, H. Ito, T. goda, Y. Uekubo, 1993, Development of Expert System for Operation at Substation, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, pp. 56-65.
- Liu, S. J. Lee and S.S. Venkata, 1988, An Expert System Operator Aid for Restoration and Loss Reduction of Distribution Systems, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 3, No. 2, pp. 619-626.
- Mike Foley, Anjan Bose, William Mitchell, Antony Faustini, 1993, An Object Based Graphical User Interface for Power Systems, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 8, No. 1, pp. 97-104.
- 문영현, 최병운, 김세호, 1990, 배전계통에서의 최적 부하절제를 위한 전문가시스템, 대한전기학회, 제 39권, 제9호, pp. 803-911.
- Robert P. Broadwater, Saifur Rahman, 1993, A Distribution Engineering Workstation for Undergraduate and Graduate Education, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 8 No. 4, pp. 1385-1391.
- Yuan-Yih, Hsu, Yi Jwo-Hwu, S.S. Liu, 1993, Transformer and Feeder Load Balancing using a Heuristic Search Approach, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 8, No. 1, pp. 184-190.