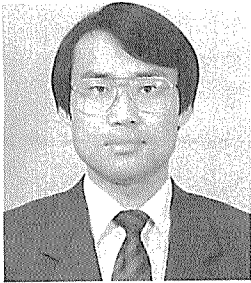


配電系統 最適運用을 위한 專門家 시스템



韓電 技術研究院
先任 崔 炳 允
研究員

1. 序 論

한전에서는 발전소에서 생산한 電力을 최종사용자에게 전달하기 위하여 선로를 구성한다. 우선 1차로 발전소에서 각 변전소까지 154kV나 345kV의 전압으로 승압하여 送電하는 데 이를 일반적으로 送電系統이라 하며, 전국에 분포된 系統이 중간에 개폐기의 차단 없이 연결되어 운용된다.

각 변전소에서 전기를 직접 사용하는 需用家 인근의 전주까지는 주로 22.9kV(일부 6.6kV) 전압으로 電力이 전달되며, 각 전주에 부착된 변압기를 통하여 22.9kV의 전압을 220V 또는 380V로 전압을 내려서 각 건물 및 가정에 전기를 공급한다. 변전소 인출에서 각 직접 전기를 사용하는 지역까지 공급하는 선로를 통상 配電系統이라 칭한다.

본 研究에서는 위의 電力系統 가운데 配電系統에 대한 운용을 효율적으로 하기 위한 방안을 검토하였으며, 配電系統은 변전소 인출에서 부터 말단까지 방사상 구조로 되어 있고, 타 변전소에서 인출된 선로와 만나는 지점이 차단기로 상시 개발되어 있는 점이 送電系統과 다른 점이다.

配電系統에서는 선로에 악천후나 설비의 고장등으

로 인하여 事故가 발생하면 전원측 보호기기가 동작한다. 따라서 보호기기의 부하측 선로는 停電이 되므로 停電 區域의 최소화를 위하여 事故구간을 찾고 그 구간이 확인되면 復舊작업시간 동안 事故구간을 제외한 건전선로를 인근 타선로로 切換하여 電力을 공급하여야 한다. 이러한 負荷切換은 복잡한 配電系統의 구성상태를 분석하고 切換방안을 면밀히 검토하여야 하는 데, 지금까지 이 系統운용을 운용자의 판단에 의존함으로써 비경제적인 운용과 오판으로 인한 개폐기의 오조작으로 불필요한 停電을 유발할 우려가 있다.

아울러 電力系統은 系統事故시에도 系統의 운용에 지장이 없도록 系統의 安全度를 유지하여야 한다. 특히 配電系統에서는 어떠한 事故가 발생하여도 事故구간을 제외한 전 건전구간을 負荷切換으로 送電이 가능하도록 선로를 구성함으로써 불필요한 停電을 방지하여야 한다. 따라서 安全度 監視 및 想定事故 (Contingency) 해석을 통하여 安全度를 사전에 평가하여야 하며, 系統이 불안정한 것으로 판단되면 系統의 보호기기 설정치를 변경하거나 系統의 재구성 (Reconfiguration)하는 예방적인 제어를 수행하여야 한다.

이러한 負荷切換 검토와 想定事故 해석은 수치적인 계산이나 알고리즘적인 문제보다는 系統의 구성을 파악하는 경험적인 능력과 系統事故의 형태와 종류에 따른 제한조건 검토 및 最適 負荷切換 방안제시 등 논리적인 해석이 요구된다. 이 문제에 접근하기 위하여 최근 인공지능의 한 분야인 專門家 시스템 적용에 관한 研究가 지금까지 국내외에서 활발히 진행되어 왔다. 특히 配電系統은 送電系統에 비하여 系統이 방대하고 복잡하며 系統의 변경이 수시로 이루어 지므로 系統변화 상황에 따라 쉽게 적용할 수 있어야 하는데, 專門家 시스템이 보유하고 있는 配電系統의 인식 능력을 통하여 이러한 문제를 용이하게 해결할 수 있다.

본 研究에서는 最適 負荷切換 방안을 효율적으로 도출하기 위하여 개폐기 模擬조작과 트리구조 해석 기법을 개발 적용하였으며, 專門家 시스템의 지식베이스에 의하여 最適 負荷切換 방안을 구하고 이 방법을 응용하여 想定事故에 대한 安全度 평가를 수행하는 專門家 시스템을 제안하였다.

2. 專門家 시스템 開發

專門家 시스템이 국내에 소개되어 학계를 중심으로 관심이 보이기 시작하는 專門家 시스템 研究 초창기인 1987년 말에 配電系統에 專門家 시스템의 적용에 관하여 검토를 시작하였다. 이 시기에 국내에서는 이에 관련된 研究가 거의 없었으며, 일본에서도 配電系統의 事故復舊에 관한 專門家 시스템 研究가 처음으로 시도되어 개발중에 있었다.

1988년초에 본 研究를 착수하여 우선 Demonstration-Prototype인 “配電系統의 선로상태 파악을 위한 專門家 시스템”을 개발하였다. 여기서 개발한 專門家 시스템은 配電系統의 負荷切換을 해석하는 데 필수적인 개폐기 조작에 따른 선로의 사활상태 파악을 專門家 시스템의 규칙에 의하여 가능하게 함으로써, 인간이 系統圖를 보고 상태를 판단하는 기능을 컴퓨터에게 부여하였다. 개발환경으로 컴퓨터는 IBM-PC XT로 하였으며, 인공지능 언어인 TURBO-PROLOG를 사용하였다.

1989년에는 선로상태 파악 研究를 통하여 개발 가능성을 확인함에 따라 본 研究를 본격적으로 착수하여 Research-Prototype인 “配電系統에서의 最適 운용을 위한 專門家 시스템”을 2차로 걸쳐 1991년 말까지 3년 동안 개발하였다. 이 研究에서는 선로事故 및 停電작업시 專門家 시스템이 선로를 추적하면서 다양한 제한조건을 종합적으로 검토하여 最適의 負荷切換 방안을 제시함으로써, 配電系統의 효율적인 운용과 아울러 선로損失을 감소하여 에너지를節約할 수 있도록 구성하였다.

1990년 중순에 완료된 1차 研究에서는 간단한 모델 配電系統을 대상으로 하였으며, 개발을 위하여 컴퓨터는 IBM-PC AT로 하였고, 사용언어로 負荷切換 논리부분은 TURBO-PROLOG 사용자를 위한 그래픽 인터페이스는 TURBO-C로 하였다. 이 研究의 특징은 2가지 상이한 언어간의 데이터를 연계하여 구성하였으며, 그래픽 인터페이스에서는 Menu-Driven 방식을 채택하였다.

1991년말에 완료된 2차 研究에서는 IBM-PC DOS의 640KB Memory 한계로 인하여 규모가 방대한 실제 配電系統에 專門家 시스템 적용이 불가능함에 따

라 운영체제를 UNIX로 전환하였다. 본 研究에서 컴퓨터는 IBM-PC 386으로 하였으며, 언어로 負荷切換 논리부문은 PROLOG언어를 専門家 시스템 개발이 용이하게 변형한 IF-PROLOG를 사용하였고, 그래픽 사용자 인터페이스는 그래픽통합 윈도우 시스템인 X-WINDOW를 사용하였다. 대상 모델系統으로는 서울 은평구 및 서대문구를 관할하는 한전 성서지점에서 실제 운용하는 系統으로 하였으며, 3개의 변전소와 1,500개의 선로 및 수백개의 차단기로 구성되어 있다. 또한 그래픽 인터페이스에서 마우스에 의한 Event-Driven 프로그래밍과 풀 다운 메뉴 그리고 오버랩 윈도우 기능을 도입함으로써 사용자에게 편리성을 제공하도록 하였다.

1992년에는 지금까지 개발한 専門家 시스템을 실제 系統에 적용하는 데 필요한 다양한 기능을 제공하기 위하여 Field-Prototype인 “그래픽 통합환경을 갖춘 配電系統 운용 専門家 시스템”을 개발하였다. 이 研究에서는 컴퓨터를 SUN SPARC Workstation을 사용하였으며, 언어로는 위와 동일한 IF-PROLOG와 X-WINDOW를 채택하였고, 보다 편리하게 윈도우 기능을 사용할 수 있도록 MOTIF Widget을 추가하였다. 대상 모델系統으로 위의 성서지점보다 3배이상 규모가 크고 系統구성이 다양한 서부지점으로 하였으며, 1993년 중반부터 실제 이 専門家 시스템을 현장에 설치하여 실증시험 중에 있다. 본 내용의 특징으로 실 系統 운용에서 필요한 事故復舊 및 停電계획 외에도 系統조작 일지 등 다양한 기능을 보유하고 있으며, 메뉴를 줄이고 직접 系統圖 화면에서 마우스로 모든 일을 처리할 수 있는 최신 기법과 다단 ZOOM 기능 등을 도입하였다.

또한 配電系統에서 専門家 시스템의 응용범위를 확장하기 위하여 1990년부터 1993년 초까지 事故를 미리 가정하여 安全度を 평가하는 “配電系統에서의 想定事故 해석을 위한 専門家 시스템”을 개발하였다. 본 내용에서 전 系統에 대하여 事故時 負荷切換 가능성을 미리 도출하는 専門家 시스템을 개발함으로써 系統事故시를 대비하여 사전에 문제점을 해결할 수 있도록 하였다. 1994년도에는 이 개발된 알고리즘을 한전 서부지점에서 실증시험중인 専門家 시스템에 연결하여 운용할 예정이다.

3. 専門家 시스템 特徵

3.1 Critical Success Factor

본 専門家 시스템에서 적용 대상이 되는 配電系統의 운용을 방대하고 복잡한 配電系統을 대상으로 선로를 계속 추적하면서 제한조건을 검토하여 상태를 판단하는 과정이 수없이 반복되고 있다. 지금까지 인간 운전원이 수행하여 왔던 이 系統추적 및 상태판단 기능은 専門家 시스템의 규칙에 의하여 해결하였으며, 수많은 系統추적과 신속한 상태판단을 위하여 본 専門家 시스템에서는 系統 Search를 효율적으로 수행할 수 있도록 구성하였다.

3.2 시스템의 特性과 機能

일반적으로 配電系統은 送電系統과는 달리 선로의 변경이 수시로 이루어 지는 특성을 지니고 있는데, 본 研究에서는 系統이 변경된 상황에도 별도의 프로그램 변경 없이 쉽게 상태를 판단할 수 있도록 각 개폐기 및 선로 단위별로 독립적으로 구성하였다.

또한 개폐기 조작에 따른 系統상태 변화를 専門家 시스템의 규칙에 의하여 판단함과 동시에, 系統 그래픽 화면을 통하여 칼라의 변화로 확인이 가능하도록 구성한 점이 특징이다. 따라서 운전원이 系統운용을 系統 그래픽 화면을 통하여 수행할 수 있도록 하였으며, 개폐기 등 각종 기기의 정보도 직접 그래픽 화면에서 해당 기기를 마우스로 Click함으로써 별도의 윈도우를 통하여 얻을 수 있다.

본 専門家 시스템에서 가장 중요한 2가지 기능을 살펴보면 다음과 같다. 우선 선로事故와 停電계획시에 最適의 負荷切換 방안을 제시함으로써 系統 오작 방지와 선로 損失을 줄일 수 있으며, 想定事故를 해석하여 配電系統의 安全度を 평가함으로써 事故시에 대비하여 미리 대책을 수립할 수 있다.

부수적인 기능으로 系統의 損失 및 電壓降下를 쉽게 파악할 수 있으며, 부하전류가 系統의 허용치를 초과하면 경보를 보낼 수 있다. 아울러 系統조작 일지 작성과 停電需用家の 파악 및 통보 기능도 보유하고 있으며, 초보 운용자의 훈련용 시뮬레이터로도

활용이 가능하다.

3.3 개발언어 및 TOOL

본 專門家 시스템은 지식베이스의 구성 뿐만 아니라 系統을 추적하면서 판단하는 기능이 필요함에 따라 기존에 개발된 Knowledge-Engineering 언어인 專門家 시스템용 TOOL 이용의 어려움이 있어 Symbol-Manipulation 언어인 PROLOG를 사용하였다. 따라서 專門家 시스템 개발에 상당한 노력이 필요하였으나, 시스템 변화에 대한 유연성을 가지고 配電系統의 특성을 최대한 고려함으로써 專門家 시스템의 품질을 향상시킬 수 있었다.

또한 MMI(Man-Machine Interface)구성에서 방대한 配電系統圖를 컴퓨터 화면에 표현하고 운전원이 편리하게 專門家 시스템을 사용하게 하기 위하여 UNIX 환경에서 X-WINDOW를 사용하였으며, 보다 편리하게 윈도우를 사용할 수 있도록 MOTIF Widget을 도입하였다.

3.4 開發 및 使用環境

본 專門家 시스템은 초기에는 모델系統을 대상으로 하여 IBM-PC DOS로 개발하였으나, DOS의 640KB Memory 한계로 화면에 방대한 실제의 配電系統圖를 처리할 수 없어 최종으로 SUN SPARC Workstation UNIX O/S의 환경에서 개발하였다.

프로그램으로 專門家 시스템의 논리부문은 PROLOG에서 專門家 시스템 개발이 용이하도록 개발된 UNIX용 IF-PROLOG를 사용하였고, MMI 부문은 X-WINDOW에서 MOTIF Widget를 적용하였다.

3.5 현재의 Status/Effectiveness

현재의 專門家 시스템은 Field-Prototype으로 적용 대상 系統을 한전의 서부지점 관할 지역으로 하였으며, 1993년 중반부터 실제 이 專門家 시스템을 현장에 설치하여 실증 시험 중에 있다. 개발한 專門家 시스템을 1993년 말까지 현장에서 검증을 완료한 후 1994년부터 본격적인 활용에 들어갈 예정이다.

3.6 Knowledge Maintenance의 방법

현재는 우선 현장의 配電系統 변경에 따른 데이터베이스 및 그래픽 화면 수정 작업을 수행하고 있으며, 앞으로 지식베이스 부문은 본 시스템을 운용하면서 발생하는 문제점과 필요한 지식을 파악하여 보완 또는 추가할 예정이다.

3.7 Technology Transfer의 方法

현장의 系統운영자가 專門家 시스템 사용이 익숙치 않으므로 우선 6개월간 개발요원이 현장에 파견되어 기술을 전수하며, 개발한 專門家 시스템의 문제점도 파악 보완할 예정이다.

3.8 시스템을 사용한 후 사용자의 反應

본 專門家 시스템은 개발자가 과거에 系統 운영자로 근무한 경험을 토대로 개발함에 따라 실제 운용에는 큰 문제가 없으며, 사용자도 본 시스템의 필요성과 효용성을 충분히 이해하고 있고 반응이 좋은 편이다.

3.9 시스템 開發 관련機關

본 專門家 시스템은 초기에는 한국電力공사기술研究院 주관하에 대학과 공동으로 개발하였으며, 1992년 초부터는 한전에서 독자적으로 專門家 시스템의 성능을 향상시키기 위한 研究를 계속하고 있다.

3.10 시스템이 성공한 이유

본 專門家 시스템이 성공한 이유는 본 시스템을 개발한 System Engineer가 配電系統 운용현장에서 근무한 경험을 가지고 있어 지식의 전달 및 확보가 용이하였고, 현장에서 필요한 機能을 대부분 포함함으로써 사용자에게 새로운 시스템에 대한 거부감을 줄일 수 있었다.

4. 專門家 시스템 構成

인공지능이 여러 분야 가운데 지능을 프로그램화 하는 고전 AI문제에 있어서 가장 성공적인 해결 방안을 제시하는 분야로 專門家 시스템이 있다.

專門家 시스템은 “어떠한 문제를 해결하는 데 있어서 가치있는 인간의 전문의견을 필요로 할 만큼 어려운 문제를 해결하기 위하여 지식과 推論과정을 사용하는 지능적인 컴퓨터 프로그램”으로 정의할 수 있다.

專門家 시스템은 70년대에 처음으로 개발되었으며, 이 당시에는 “專門家 지식” 그 자체 만을 고려하였다. 그러나 지금은 시스템 언어, 프로그램, 專門家 시스템의 개발과 수행에 관련된 지원 하드웨어를 포함하는 專門家 시스템 기술이 專門家 시스템 영역에 포함되며, 이 專門家 시스템은 의료 진단과 치료에 사용되는 MYCIN을 포함한 많은 응용분야에서 성공적으로 개발하였다.

專門家 시스템 구성에 필요한 기본 요소로는 우선 일반 데이터베이스 문제를 해결하는 데 필요한 사실베이스(Factbase)와 IF-THEN 구조로 되어 있는 지식베이스(Knowledgebase) 그리고 推論을 위하여 규칙베이스로 연결된 推論機關(Inference engine)이 있다. 또한 사용자가 專門家 시스템을 보다 편리하게 접근할 수 있도록 하는 인간·기계 연락장치가 있다.

일반적으로 配電系統은 系統의 구성이 복잡하고 개폐기의 조작이 수시로 이루어지므로 系統구성 변화가 심한 상태에서 기존 알고리즘 해석방법으로

처리하기에는 많은 어려움이 있다. 또한 이러한 系統 해석이 필요로 하는 분야 가운데 事故復舊 및 停電 계획 그리고 想定事故 해석에 필수적인 負荷切換은 다음의 2가지 분명한 특징을 지니고 있다.

- 모든 系統조작 결정은 어떠한 개폐기 조작패턴으로 부터 유한개의 논리적인 조작 Sequence를 발생하는 연역적 推論에 근거를 두고 있다.
- 인간 운전원의 경험에 系統조작 결정에 중요한 역할을 한다.

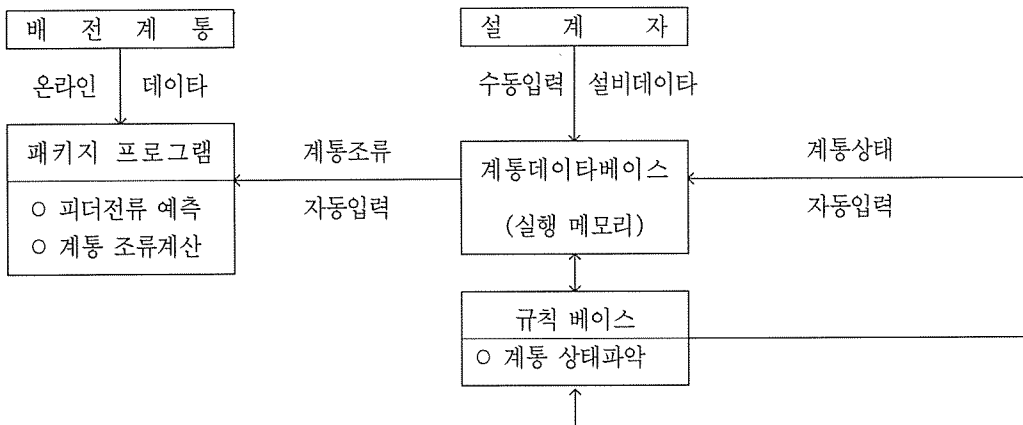
專門家 시스템은 위의 논리적인 문제를 지식베이스를 사용하여 효율적으로 해결할 수 있는 능력을 지니고 있기 때문에 본 研究에서는 配電系統의 最適 負荷切換 및 想定事故 해석에 관한 분야를 專門家 시스템으로 구성하였다.

그림 1은 본 研究에서 개발한 想定事故 해석을 위한 專門家 시스템의 구성도이며, 그 내용을 간략히 요약하면 다음과 같다.

각 변전소에서는 系統운용 상황실로 선로전류를 온라인으로 전송하며 별도의 데이터베이스에 이 데이터를 저장하였다. 부하예측 패키지 프로그램은 最適 負荷切換시 필요한 최대 및 평균 피더 부하를 위의 온라인 계측 데이터를 사용하여 예측할 수 있다.

본 研究에 핵심인 想定事故 해석을 위한 규칙베이스를 개발하였으며, 推論 機關은 이러한 모든 데이터베이스와 지식베이스를 효율적으로 推論할 수 있도록 구성하였다.

마지막으로 사용자가 편리하게 專門家 시스템을 사용할 수 있도록 하기 위하여 專門家 시스템은 인간·기계 연락장치를 통하여 문답식으로 정보를 입수하고 표현할 수 있도록 구성하였다.



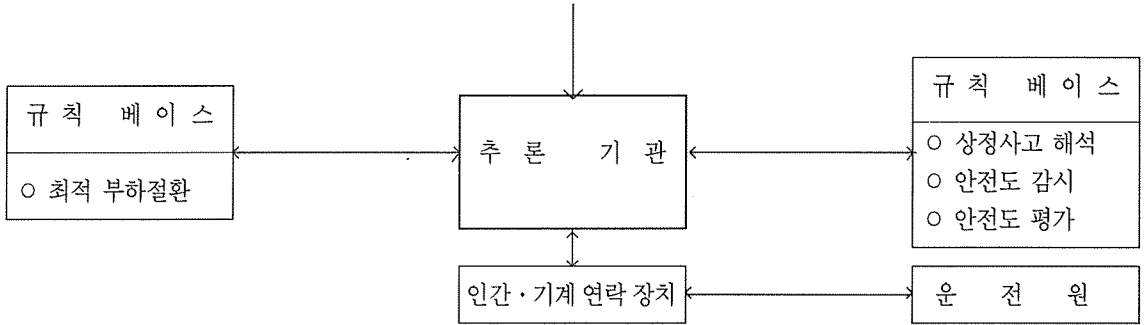


그림 1. 상정사고 해석을 위한 전문가 시스템 구성도

4.1 配電系統 데이터베이스

配電系統의 기본요소인 系統 구성상의 데이터베이스와 기타 필요한 정보데이터 베이스는 효율적으로 구성되어야 한다. 그 이유는 專門家 시스템이 系統 변화 상태에 적응하면서 규모가 크고 복잡한 配電系統을 추적함에 따라 각종 모뮬수행과 系統 추적에 걸리는 시간이 상당히 소요되기 때문이다. 특히 事故復舊시와 같은 긴급상황에는 신속하게 切換방안이 제시되어야 系統운용에 지장이 없다.

본 研究에서는 推論 機關에 의하여 필요에 따라 기존 데이터베이스를 수시로 수정하고 데이터베이스 파일을 생성, 수정하는 동적 데이터베이스를 구축하였다. 따라서 필요한 정보를 미리 데이터베이스에 저장함으로써 프로그램의 중복수행을 피할 수 있으며 필요한 정보를 신속 정확하게 얻을 수 있어 專門家 시스템의 효율성을 높일 수 있다.

상태 정보와 구간부하를 포함하는 系統 데이터베이스의 종류는 변전소, 주 변압기, 변전소 모선, 변전소 개폐기, 구간선로, 선로 개폐기의 6가지로 구분하였으며, 각 데이터베이스의 구성요소는 아래와 같다. 여기서 규정 상태란 상시 운전시에 유지되어야 하는 기존 상태이다.

(1) 변전소

substation(변전소명, [T/L명],[D/L명])

(2) 주 변압기

sub-mtr(변전소명, 변압기명, 변압기종류, [연결 개폐기명], 1차전압, 2차전압, 변압기 용량, 규정 사활상태, 고장상태, 현 사활상태)

(3) 변전소 모선

sub-bus(변전소명, 모선명, 모선종류,[연결개폐기명], 전압, 규정 사활상태, 고장상태, 현 사활상태)

(4) 변전소 개폐기

sub-brk(변전소명, 개폐기명, 특성, 종류, 차단용량, 상 트립 전류, 접지트립전류, 규정 조작 상태, 고장 상태, 현 조작상태, 피더사활상태, 피더전류, 피더전압)

(5) 구간선로

pow-line([양단 개폐기명], 선종, 중성선, 선종, 상수, 완금규격, 고장, 구간 부하, 설비 합계, 설비부하율 계수, 부하의 중요도, 규정사활상태, 규정사활 상태정보, 고장상태, 현 사활 상태, 현 사활 상태정보, 구간전류)

(6) 개폐기 또는 분기 및 전주

pow-brk(개폐기명, 특성, 종류, 형식, 차단용량, 상 트립전류, 접지 트립전류, 개폐기 전류, 자동상태, 규정 조작상태, 고장상태, 현 조작상태)

4.2 最適 負荷切換 지식베이스

配電系統의 事故復舊나 停電계획시에 事故 구간이나 작업구간이 확인되면 그 구간만을 전기적으로 고립시키기 위한 負荷切換이 수반된다. 따라서 負荷切換 방안을 도출하기 위해서는 系統의 흐름을 정확히 인식하여야 하며, 원하는 停電區域이 정해지면 系統상의 負荷切換 가능한 개폐기를 系統圖에서 찾아서 제한조건을 검토하여 切換시에 발생하는 문제점을 검토하여야 한다.

본 研究에서는 개폐기 模擬 조작을 통하여 負荷切換 방안을 찾는 새로운 형태의 기법을 제안하였다. 이 방법은 다중 停電區域이 발생하여도 선로상호간 미치는 系統 흐름상의 영향을 고려하여 다각적인 負

荷切換 방안을 제시할 수 있는 장점이 있다.

또한 2회 이상의 荷切換시 트리 구조의 切換방안을 종합적으로 검토하여 最適의 切換방안을 제시할 수 있는 荷切換 트리 해석기법을 제안하였다. 이 기법은 荷切換에 수반되는 荷切換 해석의 복잡성과 다양성 문제를 쉽고 편리하게 해결할 수 있는 장점을 지니고 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

配電系統의 事故復舊 및 停電作業 그리고 想定事故 해석에서 가장 핵심적인 부분이 荷切換이다. 配電系統은 피더의 상호관계가 切換상대 개폐기를 통하여 서로 트리형태로 맞물려 있어 상호간 부하교환이 트리를 통하여 이루어지는 특징이 있다. 따라서 본 研究에서는 荷切換를 이리한 트리해석 방법을 통하여 합리적이고 효율적으로 수행할 수 있도록 구성하였다.

예를 들면 停電區域의 부하측 목표 개폐기는 그림 2에서와 같이 트리형태의 연속적인 荷切換 방안을 가지고 있다.

이 그림에서 보면 切換하고자 하는 구간에서 부하측으로 처음 만나는 切換 개폐기를 1차 切換안으로 트리를 생성하고, 각 切換 개폐기를 통한 상대 피더가 가지고 있는 荷切換 방안을 검토할 수 있다. 다음은 切換 횟수와 조작의 용이성에 따라 분류한 荷切換 방법이다.

- 1회 切換방안 : 荷切換이 가장 용이한 우선적인 방법이다(FO-F12).

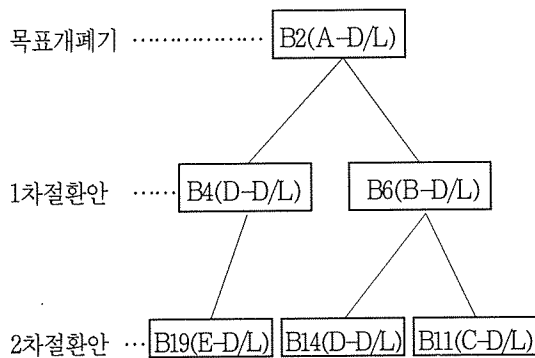


그림 2 荷切換 트리 구조도

- 2회 切換방안 : 1회 切換이 불가능한 경우 적용한다.

－ 切換부하 분할법 : 切換 대상부하를 분할하여

切換한다(FO-F11, FO-F12).

－ 切換부하 전이법 : 切換상대 피더의 부하일부를 다른 피더로 切換한 후 切換 대상부하를 切換한다(F11-F21, FO-F11).

－ 切換경로 변경법 : 切換 상대 피더를 부하절환으로 경로를 변경한 후 제2의 피더로 切換 대상부하를 切換한다.(F11-F22, FO-F22)

- 3회 切換방안 : 2회 절차가 불가능할 때 적용하며, 가장 유리한 1회 切換 방안을 선택한 후 2회 切換 방안을 고려한다.

- 4회 이상 切換방안 : 3회와 동일한 방법으로 切換한다.

荷切換의 제한조건 검토항목은 5가지가 있으며 중요성에 따라 필수조건과 선택조건 1, 2의 3가지로 분류하였다. 여기서 荷切換 검토시 필수조건을 반드시 만족하여야 하고, 만족하는 방안 가운데 切換 횟수가 적고 선택조건이 유리한 방안을 선택하여야 한다. 제한 조건은 미리 구한 피더 정보 데이터베이스에 切換되는 전류량을 합산하여 검토함으로써 별도의 切換에 따른 제한검토를 통한 系統 추적이 불필요하다. 따라서 最適 荷切換 검토에 따른 시간을 節約할 수 있다. 다음은 荷切換에 따른 제한조건 검토내용이다.

- 필수조건 : 주 변압기 용량 검토, 선로의 허용전류 검토
- 선택조건 1 : 보호기기의 트립전류 검토
- 선택조건 2 : 최대 電壓降下 검토, 損失검토

다음은 最適 荷切換 방안을 결정하기 위한 지식베이스의 예이다.

- (규칙 1) 만일 1회 切換이 불가능하면 2회 切換방안을 검토한다.
- (규칙 2) 모든 荷切換는 반드시 필수조건을 만족하여야 한다.
- (규칙 3) 만일 切換 횟수가 동일하고 필수조건을 만족하면 선택조건 1을 만족하는 切換방안을 선택한다.
- (규칙 4) 만일 切換 횟수가 동일하고 필수조건과 선택조건 1을 전부 만족하면 선택조건 2가 적은 切換방안을 선택한다.

4.3 想定事故 해석 지식베이스

電力系統은 신뢰성 있는 電力 공급을 위하여 想定事故 즉 동작기기가 예측할 수 있는 事故가 발생하여도 정상적인 系統 운영이 가능하여야 한다. 따라서 운전원은 安全度 유지를 위한 조치가 필요한 시점을 결정하여야 하며, 어떤 행위를 하여야 하는지를 결정하기 위한 충분한 정보를 준비해야 하고, 또한 예방적인 행위를 취하여야 한다. 이러한 과정을 安全度 제어라 부르며 다음의 2종류로 분류된다.

그중 한가지가 安全度 평가인데 이것은 온라인 安全度 監視와 想定事故 해석을 통한 系統의 강건성을 시험하는 내용을 포함하고 있다. 또한 安全度 평가를 통하여 도출된 結果를 가지고 事故에 대비한 예방과 제어와 事故후의 復舊제어를 수행하여야 하는 데 이것을 安全度 제어라 부른다.

이러한 安全度 제어는 지금까지 주로 送電系統에서 조류 계산과 과도 안정도 해석을 통한 전압 安全度 제어에 관한 내용이 주종을 이루어 왔다.

그러나 본 研究에서는 이러한 安全度 제어에 관한 개념이 送電系統 뿐만 아니라 配電系統에도 필요하며, 적용이 가능하다는 것을 발견하였다. 다만 配電系統에서는 상시에 구간 개폐기가 개발되어 운전된다는 점이 送電系統과는 달라서 새로운 安全度 제어 해석이 필요하다는 특징이 있다.

配電系統에서는 상시에 주 변압기 용량, 선로허용 전류, 보호기기 트립 전류 및 전압 강하가 한계치를 위반하는지를 監視하고, 한계치를 초과하면 경보를 보내며 아울러 필요한 조치를 취하여야 한다. 또한 系統 事故가 발생할 경우 負荷切換를 통하여 事故구간을 제외한 지역에 電力을 공급하여야 하며, 이에 따른 切換 가능성등을 미리 점검하여 事故에 대비하여야 한다.

따라서 配電系統에 대한 想定事故 해석의 핵심은 負荷切換 가능성 검토이다. 想定事故시 負荷切換 방안을 찾아서 각 방안에 대한 제한 조건위반 여부를 검토하여 系統事故에 대한 강건성을 시험하고, 만일 切換방안에 문제가 있는 경우에는 사전에 예방적인 조치를 취할 수 있도록 제안하여야 한다.

본 研究에서는 이러한 想定事故를 해석함에 있어 負荷切換 방안 검토에 사용되는 트리구조의 해석기

법을 적용하였다. 이 트리기법은 연속되는 負荷切換 방안을 효율적으로 해석할 수 있는 장점이 있다.

각 피더는 고유의 負荷切換 방안 트리를 가지고 있으며 그 트리는 피더의 想定事故시 가능한 모든 切換 방안을 포함하고 있다. 그리고 安全度 평가 트리는 피더의 想定事故 해석시 專門家 시스템의 규칙에 의하여 자동적으로 생성되고 수정된다. 그림 3은 想定事故 해석을 위한 트리 구조도이다.

피더 事故시의 負荷切換에 있어서 切換 조작에 따른 시간과 인력면에서 가장 우수한 1회 切換을 우선적으로 검토한다. 여기서 제한조건은 피더 정보데이터 베이스에서 구한 정보에 의하여 신속하게 검토할 수 있다. 1회 切換방안의 제한조건 검토에서 負荷切換의 성능에 따라 다음의 3가지로 분류하며 각 방안에 대하여 安全度 계수를 할당한다.

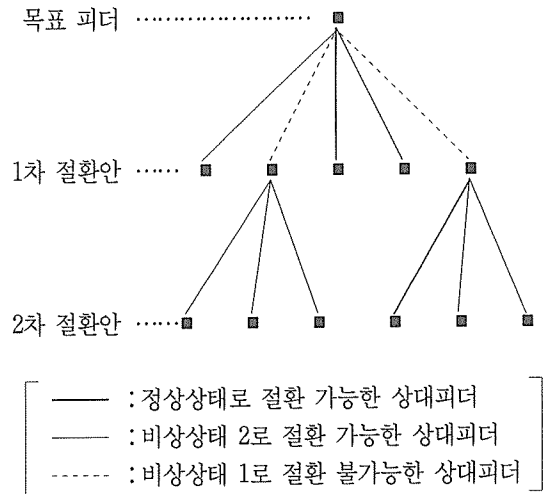


그림 3. 想定事故 해석을 위한 트리 구조도

- 비상상태 1: 切換후의 최대 부하가 변압기 용량과 선로 허용전류의 한계치를 초과할 때(안전도 계수 ≤ 5)
 - 비상상태 2: 切換후의 최대부하가 변전소OCR과 선로용 보호기기의 초소트립 전류치를 초과할 때(安全度 계수=8)
 - 정상상태: 위의 3가지를 위반하지 않을 때(安全度 계수=10)
- 1회 切換 방안 가운데 비상상태 1인 切換방안 모두에 대하여 2회 切換 방안을 고려하며, 2회

방안에서 切換부하 분할법, 切換부하 전이법 그리고 切換경로 변경법 순서에 의하여 검토를 진행한다. 여기서 각 방안에 대하여 아래와 같이 安全度 계수를 할당하되 총 누계가 5를 초과해서는 안된다.

- 2회 切換안 비상상태 1: 安全度 계수=0
- 2회 切換안 비상상태 2: 安全度 계수=1
- 2회 切換안 정상상태 : 安全度 계수=2

1호, 2회 방안 모두 切換이 불가능하면 1차방안에서 부하의 여유가 많은 한가지 방안을 선택하여 최대한 切換한 후 2회 切換방안을 다시 검토한다. 3회 이상의 切換방안 만이 가능한 경우는 安全도를 0으로 할당하고 필요한 조치를 취하여야 한다.

본 研究에서는 피더 事故시의 負荷切換 방안을 평가 지표로써 安全度 계수를 설정하였다. 이 安全度 계수는 위에서 언급한 切換방안 횟수에 따른 切換의 용이도와 제한조건 검토에서 도출된 성능 상태에 따라 결정된 평가계수의 누계에 의하여 할당하였다. 따라서 피더의 안전계수를 기준으로 피더의 강건성을 파악할 수 있을 뿐 아니라, 예방적인 제어의 필요성을 판단하는 기준으로 활용할 수 있다.

피더의 종합적인 安全度 계수는 2회 切換방안까지의 검토 結果 평가계수의 총 누계로 정하였으며, 이 피더의 안전 계수가 피더 想定事故시의 安全도를 평가하는 기준이 된다. 다음은 피더事故시 安全度 계수에 의한 安全度 평가규칙의 예이다.

- (규칙 1) 安全度 계수가 20이상이면 “안전”하다.
- (규칙 2) 安全度 계수가 10과 20사이이면 “불안전”하며 불안전 요소 제거를 위한 안전도 제어를 제안한다.
- (규칙 3) 安全度 계수가 10이하이면 “긴급상황”이며 필요한 安全度 제어를 제안한다.

4.4 推論機關 구성

推論 機關은 專門家 시스템의 심장부 역할을 담당하며, 특정 문제 또는 업무가 주어지면 지식베이스에 있는 규칙, 사실 또는 데이터를 사용하는 推論과정을 거쳐 해답을 탐색한다. 專門家 시스템을 구성할 때 專門家 시스템 TOOL을 사용하면 그 자체에 일반적인 推論機關을 내장하고 있어 편리하게 사용할 수 있으나, 어떤 특정분야에 적합한 형태를 갖추기 어려

운 단점이 있다. 따라서 본 研究에서는 PROLOG언어를 사용하여 配電系統의 最適 負荷切換 및 想定事故 해석에 적합한 推論機關을 별도로 구성하였다.

구성된 안정도 제어를 위한 推論機關에서는 Task Scheduler에 의하여 업무推論 구동 모듈이 선택되고 각 업무 推論 구동 모듈은 그 내부의 推論과정에 의하여 관련된 업무 모듈을 구동한다. 또한 각 업무 모듈은 각자가 목표를 달성하기 위하여 지식베이스로부터 데이터와 사실을 불러내고 필요한 규칙을 적용하여 새로운 사실을 생성하면서 推論을 수행한다.

본 研究에서는 配電系統의 想定事故 해석을 위한 推論機關을 구성하기 위하여 업무 모듈과 업무구동 모듈을 구성하였고, 각 모듈 내부와 모듈간의 推論과정을 推論규칙에 의하여 상호 연결하였다. 일반적으로 推論은 반복적인 유도 과정에 따라 전방 연결(Forward Chaining)방식과 후방연결(Backward Chaining)방식의 2가지로 크게 분류되며, 想定事故 해석 推論에서는 2가지를 다음과 같이 혼용하였다.

전방 연결 방식은 조건부의 사실이 확인되면 새로운 사실로 결론부를 유도해 내는 방식이며, 推論을 수행하면서 많은 추가 사실을 유도할 수 있는 것이 장점이다. 따라서 이 방식은 데이터구동(Data-Driven)推論이므로 계획, 監視 및 제어에 적합하며 본 研究에서는 업무 모듈 내부의 推論과정을 이 방식으로 구성하였다.

또한 후방 연결방식은 특정한 질문이 주어졌을 때 가설을 설정하여 결론부를 만족시킬 수 있는 사실 여부를 확인하여 가는 방식이며, 목적 지향적이므로 문제에 따라 해를 구하는 시간을 단축시킬 수 있다. 따라서 事故 진단이나 질병진단 등에 응용되며 配電系統의 安全度 평가 推論에서는 모듈간의 推論과정에 이 방식을 적용하였다.

그림 4는 구성된 전체적인 推論機關의 구조도이며, 推論되는 과정을 상세히 설명하기 위하여 다음과 같이 安全度 평가의 경우를 예를 들어 설명하고자 한다.

그림 4에서 TD-M5는 安全度 평가를 위한 업무구동 모듈이며, 메뉴에서 사용자에게 의하여 이 모듈이 선택되면 Task Scheduler는 系統 조류계산(SLFC), 피더 정보파악(FIR), 負荷切換시 安全度 판정(SSD), 最適 負荷切換 제안(OLTTP) 그리고 安全度 판정(SD)의 5가지 모듈을 구동한다. 이 과정에서 후방연결 推論이 수행되며, PROLOG언어가 가지고 있는

기본 推論 기능과 推論 규칙에 의하여 최종 결론인 安全度 평가에 필요한 모듈과 모듈 수행과정이 선택

된다.

필요한 모듈이 구동되면 각 모듈의 목표를 달성하

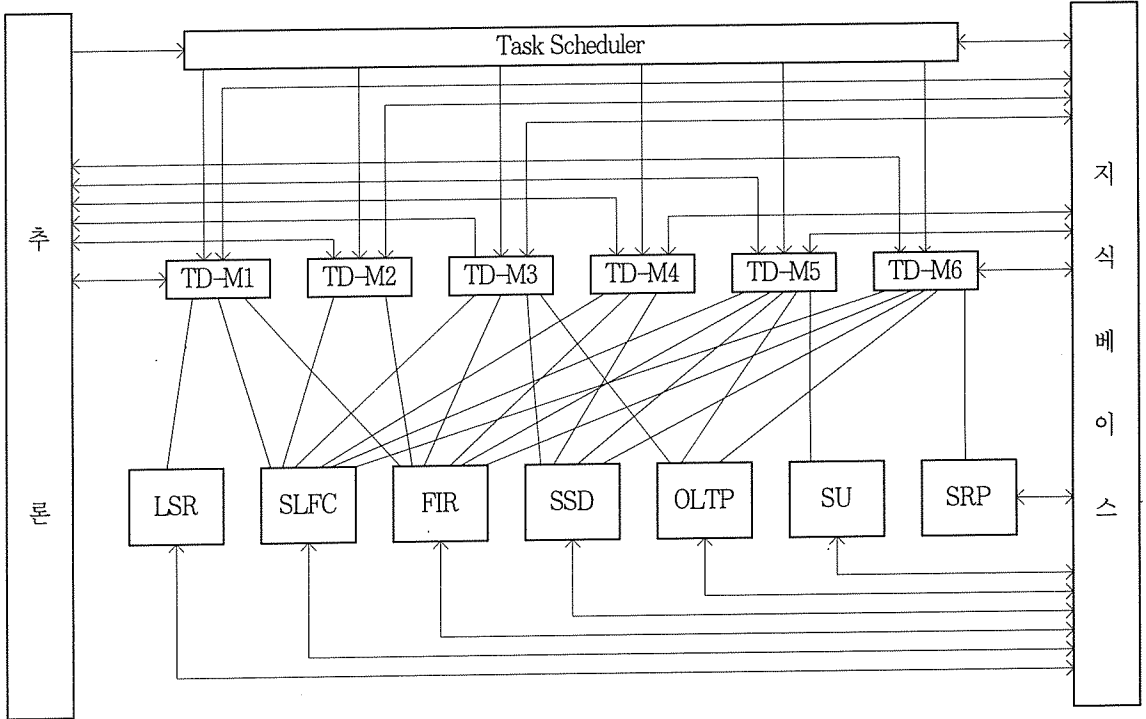


그림 4. 추론 기관의 구조도

기 위하여 업무모듈 내부 推論을 수행하며 전방 연결 방식에 의하여 수행된다. 여기서 推論에 필요한 사실과 규칙은 지식베이스에서 저장하면서 PRO-LOG가 가지고 있는 기본 推論기능과 推論규칙에 의하여 해당 모듈의 최종결론에 도달한다.

5. 그래픽 使用者 인터페이스

운전원이 專門家 시스템을 효과적으로 사용할 수 있기 위해서는 시각적으로 운전원이 편리하게 인식하고 조작할 수 있도록 그래픽 처리를 통한 다양한 화면구성 및 입출력 기능이 필요하다.

본 研究에서는 UNIX OS상에서 C언어와 X윈도우 시스템의 라이브러리 및 MOTIF를 이용하여 그래픽 사용자 인터페이스 기능들을 구현하였다. 이를 통해 專門家 시스템의 모든 오퍼레이션 수행 및 結果분석을 하나의 환경내에서 처리할 수 있는 그래픽 통합 환경이 구축된다.

5.1 그래픽 인터페이스 프로그램의 기능

그래픽 인터페이스는 配電系統 專門家 시스템이 事故復舊 방안의 제시와 停電작업 계획을 효율적으로 수행할 수 있도록 Man-Machine 인터페이스 수단으로서 편리하고 다양한 그래픽 처리기능을 제공한다.

여기에는 사용자가 專門家 시스템을 용이하게 사용할 수 있는 버튼방식의 메뉴선택 기능과 필요한 정보의 입출력을 자유롭게 나타낼 수 있는 팝업(Pop-up) 및 오버랩(Over lap)된 다중윈도우 처리기능, 그리고 편리한 작업수행을 위한 마우스 중심의 사용자 인터페이스 기능이 포함된다. 특히 변전소의 내부 결선도의 디스플레이와 선로 및 차단기의 상태정보를 참조할 수 있는 포인팅 기능을 비롯하여, 개폐기 조작, 事故復舊 및 停電작업 시뮬레이션을 마우스만의 이용으로 수행시킬 수 있다. 그리고 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 사용자는 현재환경에서 빠져나오지 않고 시스템의 분석 및 시뮬레이션을 편리하

게 수행할 수 있다.

5.2 Menu구성 및 부가기능

사용자를 위하여 1개 사업소 관할 전체 配電系統을 컴퓨터 그래픽으로 표현하고 다양한 기능을 부가함으로써 사용자가 專門家 시스템의 입출력 뿐만 아니라 系統 운용상에 필요한 업무를 컴퓨터를 통하여 편리하게 수행할 수 있도록 하였다. 각 기능은 크게 3가지로 분류될 수 있으며 그 내용은 다음과 같다.

우선 화면의 系統圖내에 있는 개폐기나 선로의 정보를 얻고 수정하는 데 있어서 종전과는 달리 메뉴를 선택하지 않고 직접 화면의 기기심볼에 마우스로 클릭하면 대화상자가 나타나며 이를 통하여 정보취득 및 데이터수정이 가능하도록 하였다. 따라서 메뉴를 선택하는 데 따른 불편을 해소할 수 있으며, 신속히 해당정보에 접근할 수 있는 장점이 있다.

이와 같이 직접 화면에 있는 해당기기를 마우스의 좌우를 선택하여 포인팅함으로써 대화상자를 통하여 화면표시 및 데이터수정 업무가 가능한 기능은 다음과 같다.

- 변전소 내부 系統圖 화면표시
- 변전소 정보 화면표시 및 데이터수정
- 선로 정보 화면표시 및 데이터수정
- 선로 需用家정보 화면표시 및 데이터수정
- 개폐기 정보 화면표시 및 데이터수정
- 피더 평균 및 최대 선로損失 화면표시
- 피더 최대 電壓降下 화면표시
- 피더 공급전류 데이터수정

또한 개폐기 조작이나 事故復舊와 같이 마우스 포인팅에 신중을 기할 필요가 있는 중요한 기능과 자주 사용되지 않는 기능은 버튼형태의 아이콘 메뉴로 구성하였으며, 이를 마우스로 선택함으로써 해당기능을 수행할 수 있다. 화면 상단에 있는 각 버튼 아이콘의 기능은 다음과 같다.

- 개폐기조작
- 事故復舊
- 경보상태
- 운용환경 전환
- 개폐기조작일지
- 停電 需用家 정보
- 그래픽 기호 설명

일반적으로 配電系統은 규모가 커서 화면 전체를 표현하기 어려우므로 Zoom 기능을 필수적으로 도입하여야 한다. 본 研究에서는 한 화면에 系統 전체를 표현할 수 있는 단계에서 실제 系統화면까지 10단계로 구분하여 구성함에 따라 사용자가 필요한 화면까지 이동하기 편리하다.

5.3 그래픽 프로그램의 수행 알고리즘

전체 그래픽 프로그램을 마우스와 키보드의 입력에 의한 사용자 이벤트를 처리하며, 프로그램 구조는 사용자가 요청한 이벤트를 처리하고, 윈도우 기능 및 Prolog와의 접속을 위해서, 이벤트 구동(Event-driven)방식을 취하며, 윈도우 관리와 IF/Prolog 인터페이스 루틴을 포함한다. 그래픽 프로그램 S/W의 전체 수행 알고리즘은 아래와 같다.

- ① Step 1: X윈도우 환경 초기화 및 Resource 설정
- ② Step 2: 그래픽 데이터베이스 Read
- ③ Step 3: C-IF/Prolog 인터페이스 Stepup
- ④ Step 4: Prolog 데이터베이스 Read
- ⑤ Step 5: 초기화면 디스플레이
- ⑥ Step 6: 사용자 Event Read
- ⑦ Step 7: Event Type을 조사(마우스, 키보드)
- ⑧ Step 8: Event 처리(If 종료 Event이면 GOTO Step 9, otherwise GOTO Step 6)
- ⑨ Step 9: X Source 및 인터페이스 디스크립터 반환, 윈도우 소멸

5.4 그래픽 수행 환경

본 내용에서는 개발된 專門家 시스템 DISPERT (Distribution Expert)의 구체적인 내용을 제시함으로써 유용성을 입증하고자 한다. 적용 대상은 6개 변전소, 75개 피더, 4,160개 개폐기 그리고 3,505개의 선로로 이루어진 한전의 서부지점 實系統으로 선정하였으며, 조류 데이터는 實系統에서 측정된 피더 전류 데이터를 기반으로 實系統에서 사용되는 데이터를 입력하였다.

(1) 전체 메뉴화면

DISPERT S/W를 실행시키면 인터페이스를 통하여 專門家 시스템으로부터 최근의 온라인 데이터를 받아 그래픽 데이터베이스 형태로 구성하고 초기화면

을 나타내게 된다.

초기화면은 사용자의 명령을 받을 수 있는 대기상태로서 配電系統圖가 그래픽화면으로 표현되며, 系統圖 내에서 개폐기가 ON상태이거나 선로가 HOT상태이면 흑색으로 개폐기가 OFF상태 이거나 선로가 DEAD이면 적색으로 표시된다. 또한 주 윈도우에서 버튼선택 명령이나, 화면 系統圖에서 마우스 포인팅을 위한 정보취득 및 수정기능, 그리고 Zoom기능을 수행할 수 있다. 그림 5는 초기화면으로 당인리변전소 부근의 配電系統圖를 나타내고 있다.

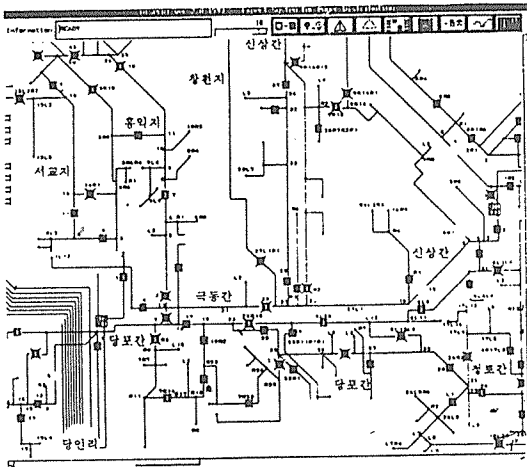


그림 5. 당인리변전소 부근의 配電系統圖 화면

직접 화면에 있는 系統圖 기기에 마우스를 포인팅함으로써 정보에 접근하는 기능 가운데 주요기능을 선정하여 제시하면 다음과 같다.

화면의 변전소에 마우스로 포인팅하면 해당 변전소 내부系統 및 정보가 부 윈도우에 표현되며, 화면에 있는 변전소내부 기기도 마우스로 포인팅하여 다양한 기능을 수행할 수 있다. 그림 6은 변전소 내부系統 및 정보를 표현한 화면이다.

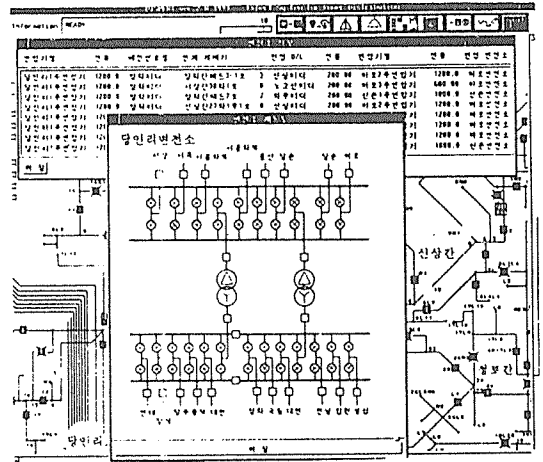


그림 6. 변전소 내부系統 및 관련정보 표시 화면

配電系統에 있는 각 선로정보(공급피더, 선종, 공장, 사활상태 등)와 각 개폐기의 정보(개폐기명, 개폐기종류, 보호기기 설치치, ON-OFF상태 등)를 파악하기 위하여 해당 개폐기 및 선로를 마우스로 포인팅하면 부 윈도우에 관련 정보가 표현된다. 여기서 기기교체 등 데이터 변경이 필요한 경우가 발생하면 부 윈도우를 통하여 기기의 내용을 수정할 수 있다. 또한 선로에서 공급하는 需用法관련 데이터의 경우도 동일한 방법으로 별도의 부 윈도우에 의하여 내용확인 및 추가 입력이 가능하다. 그림 7은 선로정보가 표현된 화면이다.

配電系統을 효율적으로 운용하는 데 필요한 선로損失과 電壓降下 값을 사용자가 해당 피더를 포인팅함으로써 얻을 수 있다. 즉 피더를 선택하면 專門家 시스템이 피더에 속한 선로를 추적하면서 損失과 電壓降下를 계산하고 부 윈도우를 통하여 값을 표시한다. 그림 8은 선로損失이 표시된 系統圖 화면이다.

각 선로에 흐르는 전류는 피더전류를 변압기용량별로 배분하여 계산하므로 피더전류 데이터입력이

상당히 중요한 데, 온 라인으로 데이터입력이 불가능한 경우에는 각 피더를 마우스로 포인팅하여 피더전류를 입력할 수 있다.

화면우측 상단에 위치한 버튼 아이콘 메뉴를 통하여 수행하는 주요 기능을 살펴보면 다음과 같다.

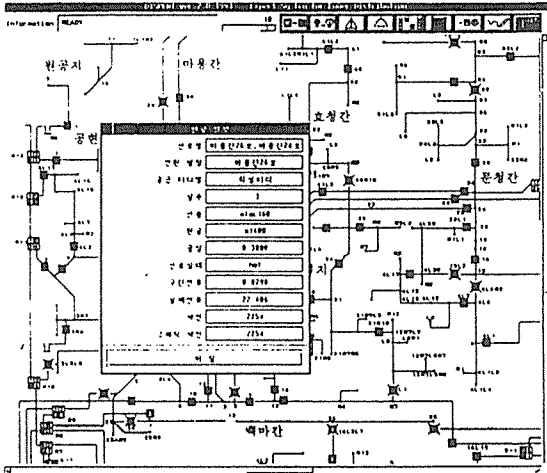


그림 7. 선로정보가 표시된 系統圖 화면

우선 화면에 있는 각 개폐기를 마우스로 포인팅함으로써 실제 개폐기를 조작한 것과 같은 상황을 표현할 수 있다. 현장에서 개폐기를 조작하면 선로 일부의 사활상태가 변경되는 데, 사용자가 “개폐기조작” 버튼 아이콘을 선택한 후 조작하고자 하는 개폐기를 마우스로 포인팅하면, 專門家 시스템은 선로를 추적하면서 선로의 사활을 판단하여 HOT상태의 선로는 흑색으로 DEAD상태는 적색으로 변경시키고 개폐기 자체도 상태에 따라 색이 변한다. 그림 9는 개폐기가 조작된 系統圖 화면이다.

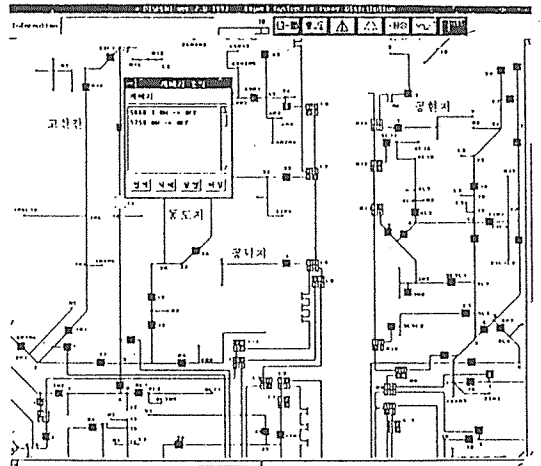


그림 9. 개폐기가 조작된 系統圖 화면

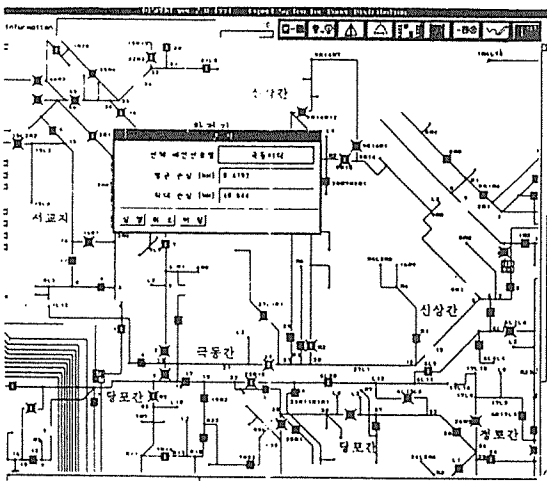


그림 8. 선로損失이 표시된 系統圖 화면

본 專門家 시스템의 주 기능인 事故復舊를 수행하기 위해서는 우선 화면상단에 있는 “事故復舊” 버튼 아이콘을 선택한 후 事故구간 양단에 있는 개폐기를 마우스로 포인팅하면 개폐기 확인을 위한 부 윈도우가 뜬다. 이 윈도우에서 실행버튼을 선택하면 專門家 시스템이 수행되고 結果인 事故復舊방안을 부 윈도우를 통하여 제시한다. 그림 10은 事故復舊 방안이 제시된 系統圖화면이다.

본 專門家 시스템은 상시에 系統을 監視하는 기능을 보유하고 있다. 즉 현재의 선로전류가 선로의 허용치를 초과하는 등 系統상태간 비정상상태이면 專門家 시스템이 상황을 판단하여 경보를 울리며, “경보상태”버튼을 선택하면 부 윈도우를 통하여 경보

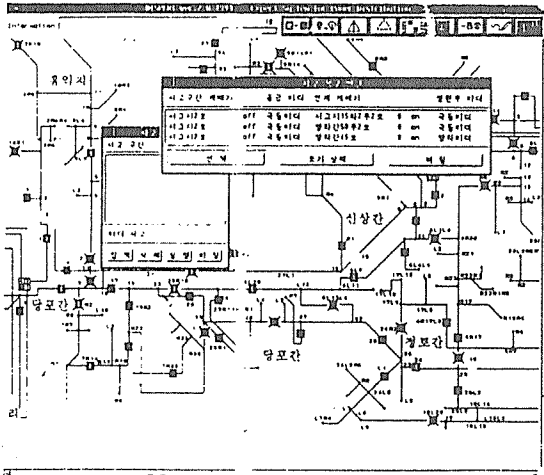


그림 10. 事故復舊 방안이 제시된 系統圖 화면

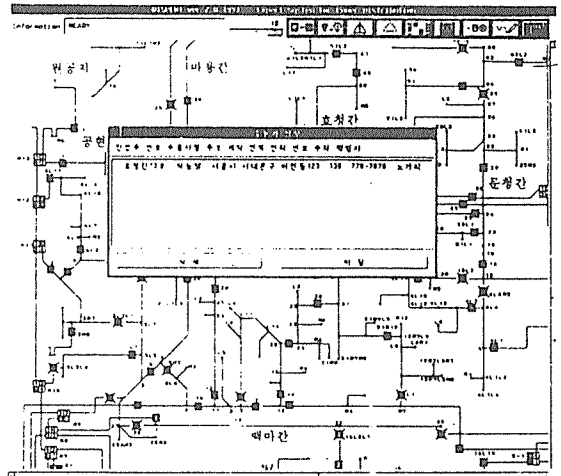


그림 11. 停電需用家が 표시된 系統圖 화면

관련 정보를 얻을 수 있다.

화면의 系統圖는 상시에 실제 현장의 系統상태를 표현하는 데, 만일 가상으로 系統을 변경하여 상황의 변화를 미리 검토하고 자 할 때는 “운용환경 전환” 버튼 아이콘을 선택한 후 메뉴에 있는 “가상환경”을 마우스로 포인팅하면 된다.

“개폐기조작 일지”버튼을 선택하면 자동적으로 기록된 과거 개폐기 조작상황 기록을 부 윈도우를 통하여 용이하게 얻을 수 있다. 이 정보는 실제 系統을 운용하는 데 유용하게 사용된다.

또한 “停電需用家 정보”버튼을 선택함으로써 현 系統에서 DEAD상태의 선로에서 공급하는 전체의 停電 需用家を 신속하고 용이하게 파악할 수 있으며, 이 데이터는 停電 需用家 통보에 유용하게 활용될 수 있다. 그림 11은 停電需用家が 표시된 系統圖 화면이다.

系統圖 그래픽내에 있는 기기관련 각종 기호의 기기명은 “그래픽 기호설명” 버튼을 통하여 얻을 수 있다.

마지막으로 규모가 큰 配電系統圖를 그래픽화면에서 용이하게 파악하기 위하여 10단으로 구성된 Zoom 기능을 화면상당 중앙에 있는 스크롤바를 통하여 구현할 수 있다. 여기서 가장 축소된 화면으로 系統圖 전체를 볼 수 있도록 하였으며, 그림 12는 2단으로 축소된 配電系統圖 화면이다.

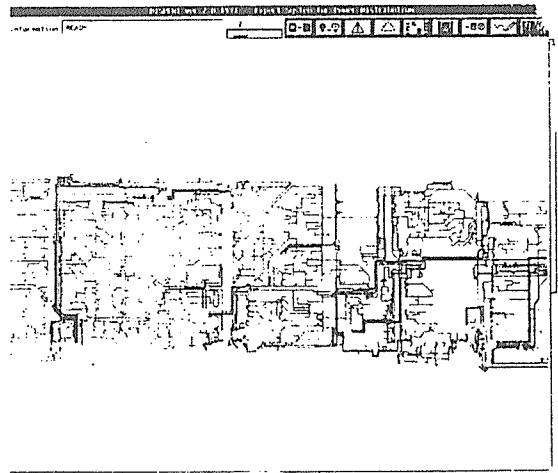


그림 12 2단으로 축소된 系統圖 화면

6. 結 論

본 논문에서는 配電系統의 운용에 있어서 事故復舊와 停電계획을 위한 最適 負荷切換 방안을 제안하며, 想定事故 해석을 통하여 系統의 安全度を 평가하

