

## 22.9KV 배전설계 보호협조를 위한 전문가 시스템

### An Expert System for Protection Coordination in 22.9KV Distribution System Design

金 毫 溶\* · 高 鈺 錫\*\* · 孫 守 國\*\* · 南 基 榮\*\*  
(Ho-Yong Kim · Yun-Seok Ko · Soo-Kook Shon · Kee-Yeong Nam)

#### 요 약

배전선로 고장은 송전선에 비해 고장 파급효과는 적으나 수용가에 직접 연결되어 감전사고등을 일으킬 수 있기 때문에 보호협조 설계는 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 선로구성과 공급경로, 부하 특성, 고장전류, 부하전류 그리고 경제성등을 종합적으로 고려해서 숙련된 전문가의 경험적 지식과 설계 절차에 근거하여 보호협조를 설계하는 전문가 시스템을 개발한다. 제시된 전문가 시스템은 보호협조 타입, 보호기기 설치 위치, 보호기기 타입 보호기기의 정격(동작전류, 동작 순서) 등을 결정한다. 보호기기의 이설이나 변경은 기 구축된 데이터베이스를 이용한다. 그리고 보호기기의 신설을 위해 세로이 데이터 베이스가 설계되며, 상호협조 설계를 위해 필요한 보호기기의 시동작전류 곡선(Time-Current curve)가 지식베이스내에 저장된다. 전문가 시스템은 32Bit PC를 이용하여 개발된다. 그리고 사용된 언어는 프로로그(PROLOG)이며 배전 지적도면관리 시스템(Geographic Map Management System)을 위해 AutoCAD, 그리고 고장전류나 조류계산을 위해 포트란 프로그램이 사용된다.

**Abstract-** To design protection coordination for an electric power distribution system, an expert system is developed, using both the veteran expert's heuristics and the guide book for the distribution facility operation considering feeder configuration, service route, load characteristics, fault current and load current. The expert system developed in this paper determines the type of protective device (clearing current and sequence). The location and rating change of protective device in the old feeder is realized by using old database. Especially, for new feeder protection coordination design, new database is designed. Time-Current (T-C) curves of various kinds of protective devices are stored in Knowledge Base (KB). The expert system is developed on a 32 bit personal computer using PROLOG, AutoCAD, dBASEIIIPLUS and FORTRAN. To compute the fault current and loadflow, FORTRAN is used.

### 1. 서 론

컴퓨터 공학자들은 지난 수십년동안 컴퓨터로 하여금 보다 인간처럼 기능하게 하려는 새로운 기법 개발에 주력하여 왔다. 그 연구 결과로 인간 행동 심리를 묘사한 인공지능 기법들이 출현하였으며, 새로운 연구 영역으로 큰 관심을 받게 되었다. 인공지능에 대한 응용분야는 자연 언어 처리, 로버틱스 그리고 전문가 시스템을 들 수 있으며 이중 한 응용분야인 전문가 시스템은 정책결정 (decision-making)을 위해 그 분야의 전문가의 경험적 지식 (heuristics)외에 기존 수치 계산 접근을 이용하는 컴퓨터 프로그램이라 할 수 있다. 무엇보다도 이러한 전문가 시스템이 포트란, 베이직, C언어들로 쓰여진 응용 프로그램을 수행하는 기존의 처리 컴퓨터 (numeric processing computer)에 의해서 수행될 수 있다는 장점때문에 여러분야 [1-2]에서의 AI적용 연구가 시도되었으며 일부 연구는 실용화 단계에 이르고 있다.

최근, 전력계통 엔지니어들은 전력계통 고장 진단, 복구, 전압제어, 전압예측, 경보 (alarm)처리, 부하관리, 부하예측, 경제 급전과 같은 분야에 [3~10] 인공지능 기법을 적용하여 전력계통 운전자를 돕는 전문가 시스템을 개발하고있다. 특히, 극히 최근에, 배전 계통을 효율적으로 운전하고 계획하기 위해 제기되는 복잡한 문제를 해결하는데 있어서 배전계통 조작자에게 고도의 전문적인 지식정보를 제공하여 숙련된 전문가의 시각에서 문제를 해결케하는 전문가 시스템의 개발이 시도되고 있다 [11-12].

배전계통은 규모가 작아 전력계통에 비해서 고장 파급효과가 적다. 그러나 배전계통은 설비가 노출된 비율이 높고 구조가 복잡하며, 그 공급경로가 여러 시설물을 경유하여 통과하기 때문에 고장빈도가 높다. 특히, 배전계통은 수용가에 직접 연결되기 때문에 수용가에 신뢰성이 높은 양질의 전기를 공급하는데 있어서 중요한 역할을 한다. 따라서 배전설계자는 선로 고장시 고장 파급효과를 최소화할 수 있는 배전선 보호 협조 시스템을 설계해야 한다.

그러나 이러한 보호협조 시스템은 선로 구성과 공급 경로, 부하 특성 그리고 경제성등 여러가지 조건을 종합적으로 고려해서 설계해야 한다. 또

한, 보호협조설계는 배전선로의 부하 증가등으로 인하여 선로 구성 변경이 자주 발생되기 때문에 신설선로와 가설선로에 대한 보호협조 설계가 필요하다. 특히, 보호 협조 타일, 보호기기의 타일, 보호기기의 설치위치, 보호기기의 정격등을 결정하는 문제는 배전선로 사고의 파급효과를 줄이는데 상당한 영향을 미치기 때문에 보호협조 기본 원칙 -

- 전위 보호기기는 부하측의 고장발생시 후비 보호기기가 동작하기 전에 고장을 제거해야 한다.
- 계통의 정전구간이 최소한으로 제한되어야 한다.

— 하에서 전문가의 경험적 지식을 이용하여 해결해야만 한다.

따라서 본 연구에서는 선로구성과 공급경로, 부하특성, 고장전류 그리고 경제성등을 고려하여 숙련된 전문가의 경험적 지식에 근거하여 배전선 보호협조 시스템 (배전선 보호협조 타일, 보호기기의 타일, 보호기기의 설치위치, 보호기기의 정격)을 설계하는 전문가 시스템을 개발한다. 전문가 시스템은 마이크로 컴퓨터를 이용하여 개발되며 지식 베이스내의 지식들은 전력지사내의 설계 전문가들로부터 얻어진다. 사용된 언어는 AutoCAD, 프롤로그 그리고 포트란 이다. AutoCAD는 배전선로 구성을 디스플레이하며, 설계된 결과를 그 위에 보인다. 전문가 시스템은 프롤로그 언어를 이용하여 구현된다. 그리고 부하전류나 고장전류 계산은 수치계산에 편리한 포트란으로 수행된다.

### 2. 전문가 시스템 운용환경

배전선로의 보호협조 설계에는 시설피더의 구조 변경으로 인한 보호 협조문제와 신설 피더에 대한 보호협조 문제가 있다. 전자의 경우 배전지적도면

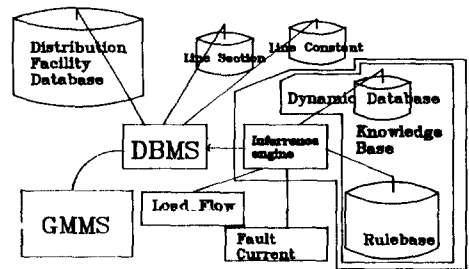


그림 1 엑스퍼트 시스템의 운용환경  
 Fig. 1 Environment in operation of the expert system

\*正 會 員 : 韓國電氣研究所 責任研究員 · 工博

\*\*正 會 員 : 韓國電氣研究所 研究員

接受日字 : 1989年 6月 3日

1次修正 : 1989年 11月 28日

관리시스템(Geographic Map Management system) [11]에 저장된 데이터를 이용하여 부하전류와 고장전류를 계산함으로써 보호협조를 결정할 수 있다. 그러나 후자의 경우는 부하 데이터가 입력되지 않은 경우이므로 본 연구에서는 간이적으로 GMMS를 통하여 선로구성을 디지털화하거나 DBMS를 통해서 선로 데이터를 입력함으로써 조류계산이나 고장전류 계산을 실행할 수 있도록 하여 보호기기의 정격을 결정하는데 필요한 정보를 전문가 시스템에 제공하도록 한다. 그림1은 전문가 시스템의 운용환경을 설명하는 그림이다. 그림 1에 보인 각 소프트웨어의 기능은 다음과 같다.

**2.1 기설피더 보호협조**

기설피더의 경우 그 피더에 관계된 모든 설비 및 수용가 데이터가 배전 설비데이터베이스에 저장되어 있다. 그리고 이 설비데이터베이스는 GMMS에 의해서 관리된다. GMMS는 보호협조 설계시 설계대상, 선로의 변전소명과 D/L명을 설계자로부터 제공받아 데이터 베이스 관리시스템을 통하여 선로맵을 디스플레이시키며, 수용가 정보를 검색하여 선로구간 부하 데이터를 응용프로그램에 제공한다. GMMS의 DB는 선로구간 데이터베이스, 변압기 데이터베이스, 수용가 데이터베이스, 설비데이터베이스로 구성된다. 변압기 데이터베이스는 수용가 데이터베이스와 1:n 관계를 유지한다. DBMS는 해당 변전소와 D/L 그리고 선로구

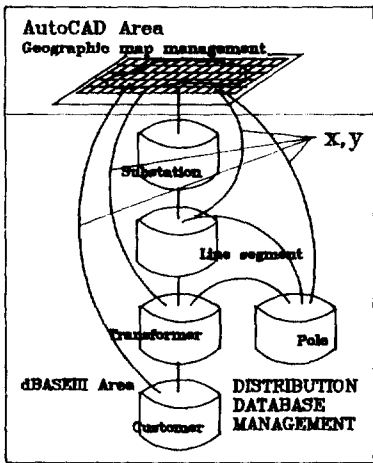


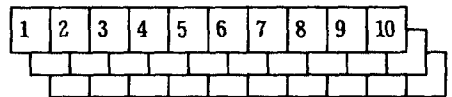
그림 2 배전 지적관리 시스템 구조  
Fig. 2 Overall structure of geographic map management system

간 인덱스를 이용하여 각 선로구간에 부속되는 변압기를 구간별로 검색하고 다시 수용가 데이터베이스를 검색하여 구간별 부하정보를 응용 프로그램에 제공한다. 그림2는 GMMS에 의해서 관리되는 배전 설비관리 시스템의 구성관계를 보인다. 그리고 이 시스템은 AutoCAD로 개발되었다. AutoCAD의 기본 모듈은 AutoLISP에 의해서 AutoCAD의 내부 모듈과 함께 조합되어 배전응용 및 보호협조 설계에 필요한 그래픽 데이터를 처리하고 응용 프로그램을 실행시킨다.

**2.2 신설피더 보호협조**

신설피더의 보호협조 설계는 신설 선로에 대한 선로 및 부하 데이터가 배전 설비관리 시스템에 입력되지 않은 상태에서 이루어지는 경우가 많다. 따라서 배전 설계자는 신설선로의 선로구성과 선로구간 부하를 GMMS나 DBMS를 이용하여 입력해야 한다. 그림3은 신설 선로의 선로구성과 구간 부하를 저장하기 위해 별도로 설계한 선로구간 데이터베이스다.

그림3에서 From Bus는 선로구간을 확인하고 그



- 여기서 1 - 2 : 변전소 명, 배전선로 명
- 3 - 4 : From Bus, To Bus
- 5 : 공급 전압(KV)
- 6 - 8 : 전선의 종별, 굵기, 길이
- 9 -10 : 보호기기 고유명, Margin

그림 3 선로 구간 데이터베이스  
Fig. 3 Line section database

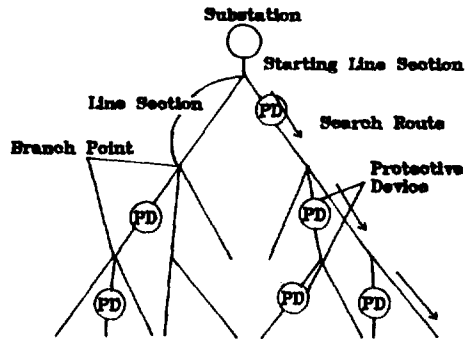


그림 4 보호기기의 공급 경로 검색 흐름  
Fig. 4 Search flow of service routine for the protective device

해당선로에 대한 보호기기 정보를 제공한다. 그리고 전선도체의 타입, 굵기, 길이를 연계형 색인필드(concatenated index field)로 하여 선로정수를 확인한다. 그리고 To Bus필드를 키 필드로 하여 선로구간 정보를 검색한다. 만일 설계자가 그림3과 같은 데이터베이스를 설계한 경우 DBMS는 AutoLisp을 이용하여 변전소 심볼을 화면상에 나타내고 그 입력점을 근거로하여 각각 선로구간을 표시한다. Margin필드는 선로구간의 From Bus로부터 보호기기 설치점까지의 거리로서 이거리에 근거하여 보호기기가 화면상에 그려진다.

DBMS는 조류·고장전류 계산에 필요한 정보를 선로구간, 부하, 선로정수 데이터를 동일필드(common field)의 관계에 의해서 검색하여 각 응용프로그램에 제공한다. 그림4는 dBASEIII를 이용하여 보호기기까지의 공급 경로를 추적하여 보호기기 설치점까지의 공급거리를 계산하는 검색 절차이다.

### 2.3 GMMS를 이용한 보호기기 위치 및

#### 타입 결정

설계자는 GMMS상에서 다음 경험적 지식에 의하여 설치 위치를 정하고 그 설치 보호기기에 대한 타입을 결정한다.

1) 2Km이하인 공단선로에 대해선 중요부하에 ASS(Auto Section Switch)를 설치한다.

2) 농공단지 선로로서 특별한 부하가 없는 경우 선로공장 2Km 또는 전체 부하의 40%지점의 간선에 대해 리클로우저를 설치한다.

3) 2)의 경우에서 설치가능 영역 부근에 중요 부하가 있는 경우 설치 위치를 부하 전위로 변경한다.

4) 농공선로로서 면소재지나 대 부하를 구간으로 하여 리클로우저를 설치한다.

5) 분기선은 리클로우저나 퓨즈설치를 원칙으로 하나 특히, 후비 부하가 중요부하이므로 고장 가능성이 많은 지역은 리클로우저를 설치한다.

6) 간선의 말단으로서 중요부하는 아니나 고장 가능성이 높은 지역은 섹셔널라이저를 설치한다.

### 3. 전문가 시스템 개발

엑스퍼트 시스템은 경험적 지식이나 기존의 수치 계산 접근에 의해 만들어진 사실이나(fact) 규칙(rule)들에 의해서 문제를 해결하는 컴퓨터 언어이다. 본 연구에서 개발된 전문가 시스템은 프롤로그 언어로 구현된 규칙베이스 전문가 시스템

이다. 이 전문가 시스템은 배전 선로 보호협조 설계를 위해 필요한 지식베이스와 추론기관, 그리고 보호기기 설치점의 고장 전류와 부하 전류를 계산하기 위한 고장전류 계산프로그램과 조류계산 프로그램으로 구성된다. 지식베이스는 배전 네트워크 시동작 전류 곡선등의 정보와 보호협조 설계를 위한 규칙들을 저장하는 규칙 베이스와 시스템의 외부로부터 제공되는 선로구성과 보호기기 데이터 그리고 추론중간과정에서 필요한 데이터를 일시적으로 저장하는 다이내믹 데이터베이스 구성된다. 추론기관은 본 연구에서 정해진 절차에 따라 워킹 메모리(다이내믹 데이터베이스)의 사실들과 규칙 베이스내의 규칙들을 비교하여 보호기기 설계문제에 대한 해를 확인하고 필요에 따라 포트란으로 쓰여진 고장구간 해석 프로그램을 실행하여 그 해를 제공하는 규칙 해석기(rule interpreter)이다. 그림2에서 블록으로 둘러싸인 부분은 전문가 시스템의 구성을 보인다.

### 3.1 지식베이스

전문가 시스템의 지식베이스는 다이내믹 데이터 베이스와 규칙베이스로 구성된다. 본 연구에서 제시된 엑스퍼트 시스템은 프롤로그 언어로 표시된다. 프롤로그 언어는 사실과 규칙들로서 구성되며 그 표현형식은 각각 식(1)과 (2)와 같다.

Pattern1 : relation(object1, ..., objectn) (1)

식(1)은 하나의 fact를 표시하는 술어(predicate)이다. 대상(object)들은 하나의 지식본질(entity)을 충분히 표시하는데 필요한 요소들이며 관계(relation)는 각 대상들 사이의 관계를 나타낸다. 특히 식(1)은 이미 정해지거나 알려진 사실들을 지식으로 표현하는 것이기 때문에 각 대상들은 소문자의 심볼로 표시된다.

Pattern2 : action part ⇒

relation(Var1, ..., Varn)if

condition part ⇒

relation(Var1, ..., Varn) (2)

식(2)는 규칙을 표시하는 패턴으로서 실행부와 조건부로 구성된다. 조건부는 기존의 정의된 사실들이 조건에 만족하는지의 여부를 확인하기 위해 이용된다. 따라서 같은 술어로 표시된 모든 사실들을 프롤로그의 패턴 비교 매카니즘에 의해 비교하기 위해서 비교 대상들이 변수(대문자)로 표시된다. 추론 기관은 먼저 수행 할 규칙을 찾기위해 비교 매카니즘에 의해 동일한 술어 실행부를 탐사하고 그 다음 해당 규칙의 조건부를 외부로부터 제공된 사실이나 지식베이스에 저장된 사실을 비

교하여 만족할 경우 그 비교 과정에서 얻어진 값들을 실행부의 변수에 할당하거나 새로운 규칙을 수행한다. 그러나 이러한 비교 매카니즘은 심볼처리에는 편리하나 식(3)과 같이 표시된 수치연산의 경우

$$\text{Counter} = \text{Counter} + 1 \quad (3)$$

좌변항과 우변항을 비교함으로써 반복 연산이 실행되지 못한다. 따라서 전력계통의 응용에 있어서는 기존의 프로시절 언어를 프롤로그 언어와 조합하여 사용하는 것이 바람직하다. 프롤로그 언어에서 편리한 기능은 리스트 프로세싱이다. 식(4)는 임의의 한 계전기가 선로 계전기인가를 확인하는 규칙술어이다.

$$\text{member}(\text{relay}, \text{feeder relay list}) \quad (4)$$

### 3.1.1 다이나믹 데이터베이스

본 연구에서 제시된 엑스퍼트 시스템은, 외부로부터 배전선로 구성 정보와 보호기기에 의해서 보호되는 선로구간의 부하전류, 고장전류등을 제공받아 다이나믹 데이터베이스에 저장한다.

#### 1) 배전 네트워크 구성

배전선로의 보호협조 설계는 설계되는 보호기기의 선로구성 정보에 의해 전위 보호기기와 후비 보호기기를 확인해야 한다. 또한 배전 선로가 수지(tree)구조로서 여러개의 분기선으로 구성되기 때문에 각 분기선의 연결 관계를 나타내는 전기적 연결성을 고려해야 한다. 즉, 배전선로는 1개의 선로구간이 수개의 선로구간으로 연결되는 전기적 연결성을 갖기 때문에 각 선로구간을 변전소에 가까운 쪽을 From Bus로, 먼쪽을 to bus로 표시할 때 to bus는 설계 보호기기의 전·후위 보호기기 확인을 위한 유일한 키 대상이 될 수 있다. 식(5)는 보호기기 확인을 위한 배전선로 구성을 나타내는 rule이다.

$$\text{network}(\langle \text{Branch} \rangle, \langle \text{FromBus} \rangle, \langle \text{ToBus} \rangle, \langle \text{ProDvice} \rangle) \quad (5)$$

여기서 ProDvice는 FromBus와 ToBus로 표시되는 선로구간에 설치되는 보호기기이다. 보호기기는 각자의 유일한 확인자를 갖으며 Branch키에 의해 간선과 분기선으로 분류·확인된다. 그리고 선로구간은 시작점에서 다음 분기가 일어나는 지점 또는 설계자가 정하는 점에 의한 구간을 말한다.

#### 2) 고장 전류계산

배전선로 사고는 1선 지락 고장이나 선간 단락 사고가 많기 때문에 대부분 고장회로는 비대칭회로이다. 그러므로 그러한 비대칭회로에 대해 키르

히호프의 법칙이나 테브난의 정리를 이용하여 고장전류를 계산하는 것은 번거로운 일이다. 따라서 제시된 엑스퍼트 시스템에서는 배전 지사 설계자들이 일반적으로 사용하고 있는 대칭 좌표 기법을 이용하여 각 고장 전류를 계산한다. 1선 지락 고장과 2선지락 고장, 3상 단락 고장, 선간 단락 고장들의 고장전류를 계산하며 이를 이용하여 보호기기의 설치점의 최대 고장전류와 최소 고장전류를 계산한다.

1선지락 고장 전류 계산식은 식(6)과 같다.

$$I_g = \frac{3 \times I_{base}}{(2R_{11} + R_{10} + 3R_f)^2 + 2(\bar{X}_{S1} + 3\bar{X}_{T1} + 2\bar{X}_{11} + \bar{X}_{10})^2} \times 100 \quad (6)$$

3상 단락 고장 전류계산식은 식(7)과 같다.

$$I_s = \frac{I_{base}}{R_{11}^2 + (\bar{X}_{S1} + \bar{X}_{T1} + \bar{X}_{11})^2} \times 100 \quad (7)$$

최대 고장 전류는 3상 단락 고장 전류와 지락 저항  $Z_{gg} = 0(\Omega)$ 일때 지락전류중 최대치를 말하며 최소전류는  $Z_{gg} = 30(\Omega)$ 일때의 지락 전류를 말한다. 현재, 배전 전압은 22.9KV로 규격화 되어 있으나 선의 굵기는 부하 분포에 따라 구간별로 다르기 때문에 선로정수도 다르다.

식(8)은 고장 전류 계산을 위한 규칙을 표시한다. 추론기관은 고장의 타임을 인식하고 포트란 프로그램으로 짜여진 고장 전류계산 프로그램을 실행시켜 그 고장전류 데이터를 다이나믹 데이터베이스의 지식으로 저장한다. 이때 저장되는 지식들을 표시하는 술어는 식(9)와 같다.

$$\text{run fault if system}(\text{"Fault"}) \text{ and consult}(\text{"Fault.DAT"}) \quad (8)$$

$$\text{fault current}(\langle \text{ProDevice} \rangle, \langle \text{Ground1} \rangle, \langle \text{Ground2} \rangle, \langle \text{Short} \rangle) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} &\text{new knowledge if} \\ &\text{fault current}(\langle \text{ProDevice} \rangle, \langle \text{Ground1} \rangle, \langle \text{Ground2} \rangle, \langle \text{Short} \rangle) \\ &\text{and Short}(\langle \text{Ground2} \rangle) \\ &\text{and assertz}(\text{fault Ampare}(\langle \text{proDevice} \rangle, \langle \text{Ground1} \rangle, \langle \text{Short} \rangle)) \\ &\text{and fail.} \end{aligned} \quad (10)$$

식(10)은 식(8)~(9)에 의해서 저장된 보호기기 고장전류 사실데이터들에 대해서 1선지락전류와 3상 단락전류를 비교해서 큰 전류를 최대 고장전류로 하는 새로운 지식을 생성하여 작업(working) 메모리에 저장하는 규칙이다.

#### 3) 부하전류 계산

배전선로의 보호기기의 동작 전류를 결정하기 위해서는 보호구간의 최대부하전류를 계산해야 한다. 현재, 설계자는 보호기기 설치점의 부하전류를 현장 측정에 의존한다. 그러나 현장 측정 데이터는 측정시간에 따라 부하전류가 다르기 때문에 측정에 의한 데이터도 상당한 오차를 갖을 수 있다. 본 연구에서는 각 구간 계약전력을 입력하고 이용률을 이용하여 보호구간의 최대 부하 전류를 계산한다. 조류계산 프로그램은 backward substitution method를 이용하였다.

계약전력 데이터는 데이터베이스에 저장되어 있다. 그러나 신설인 경우 부하데이터를 입력하여야 한다.

```
run loadflow if system("LoadFlow"
and consult("Load.DAT") (11)
```

```
load current((ProDevice), (Current)) (12)
```

식(11)은 추론기에 의해 조류계산을 실행하여 작업 메모리에 저장하는 규칙이며 식(12)는 저장되는 데이터를 표시하는 규칙술어이다.

3.1.2 규칙 베이스

제시된 전문가 시스템의 규칙베이스는 보호기기의 설치위치와 보호기기의 타입, 보호기기의 정격 그리고 시동작 전류 곡선과 상호협조를 결정하는데 필요한 규칙들로 구성된다.

1) 시동작 전류 곡선

배전선 보호기기의 동작시간을 결정하기 위해서는 보호기기 설치점의 최대 부하전류와 최대·최소 고장 전류를 계산한 다음 그 계산데이터에 해당하는 동작시간을 확인하는 작업이 필요하다. 그러나 이러한 확인 작업은 보호기기의 제작사와 타입, 동작 순서별로 달리 확인되어야 하며 시각적으로 고장전류에 대한 동작시간의 교차점을 찾아야 하기 때문에 번거롭고 까다로운 일이다.

제시된 엑스퍼트 시스템에서는 제작사가 동작시간을 얻을 수 있도록 하였다. 특히, T-C곡선을 정확히 모의하기 위해서 전류범위에 따라 개별적으로 함수화 하였다. 표1은 E.S.V형 리클로우저의 지락제전기 T-C커브의 계수를 표시한다.

```
cycle time((Type), (Fault), (Sequ), (CR),
(Current), (Time)) if
curve((Type), (CR), (Mi), (Current),
(Mx), (Time)) and
greater than or equal to((Current),
(Mi)) and
less than((Cuttent), (Mx)). (13)
```

식(13)은 T-C곡선으로부터 동작시간을 결정하는 규칙이다. 예를들면, 리클로우저의 Type이 "ESV", Fault가 "Ground", Sequ가 "Delay" 그리고 Current가 "1733A"인 경우 T-C곡선으로부터 Time은 "18 cycle"이다.

2) 보호기기의 상호협조

보호기기의 정격을 결정하는 문제는 후비 보호기기와의 상호협조가 가능한 범위내에서 선택해야 한다. 선로상에 설치되는 보호기기는 리클로우저, 색서널 라이저, 퓨즈등이 있으며 이들은 최종 후비 보호기기인 선로보호용 계전기와 상호 협조가 검토되어야 한다.

a. 퓨즈와 퓨즈

퓨즈는 직렬로 2대까지 설치할 수 있으며 말단의 고장 발생시 전위 퓨즈가 먼저 용단되어야 한다. 따라서 이러한 협조가 가능하려면 전위 퓨즈의 최대고장제거 시간이 후비 퓨즈의 최소 용융 시간의 75%이하라야 한다. 이러한 상호협조 검토는 T-C 곡선에 의해서 이루어 진다. 식(14)-(15)는 T-C곡선을 이용하여 만들어졌으며, 협조가 가능한 후비 퓨즈를 선정하는 규칙이다.

```
prefus(ProDevice, type, Rating) if
```

표 1 T-C curve의 계수  
Table 1

전류	100 < C < 300	300 ≤ C < 1000	1000 ≤ C < 2000
계수	65.2739100-00	34.4936500E-00	0.6607314E-00
	-.4999007-00	-.1806139E-00	6.7264350E-03
	6.707916E-04	4.1110290E-04	-5.5416730E-06
	6.022216E-06	-3.1406680E-07	1.3059890E-09
	-1.947456E-08	-2.2399420E-10	
	-1.152500E-11	4.6876130E-13	
	1.320107E-13	-1.9248880E-16	
	-1.890357E-16		

load current(ProDevice, Value) and  
 fault current(ProDevice, Maximum,  
 Minimum) and  
 fuse(Type, Rating, LLimit) and  
 greater than(Value, LLimit) and  
 less than or equal to(Value, RLimit)  
 and  
 less than(Minimum, Fult). (14)  
 postfuse(ProDvice, Type, Rating, PRating)  
 if  
 load current(ProDevice, Value) and  
 fuault current(ProDevice, Maximum,  
 Mimimum) and  
 fafcoor(Type, PRating, Rating, LLimit,  
 RLimit, Fault) and  
 greater than(Value, LLimit) and  
 less than or equal to(Value, RLimit)  
 and  
 greater than(Fault, Maximum). (15)

여기서, ProDevice : 선로구간의 보호기기의 이  
 름

- Value : 보호구간의 부하전류
- Maximum : 보호구간의 최대 고장전류
- Minimum : 보호구간의 최소 고장전류
- Rating : 후비 퓨즈의 정격 전류
- RLimit : 후비 퓨즈의 용량 선정을  
 위한 상한 전류
- f-f coord : 퓨즈와 퓨즈의 상호협조 데  
 이타

예를들어, 식(14)에서 만약 Value "16(A)",  
 Minimum "440(A)"이면 전위 퓨즈의 정격은 20K  
 이다. 그리고 식(15)에서 전위 퓨즈의 정격이 20K  
 이고 Value "45(A)", Maximum "1800(A)"이면  
 상호협조가 가능한 후비 퓨즈의 정격은 65K이다.

**b. 리클로우저와 퓨즈**

리클로우저와 퓨즈가 협조를 이루기 위해서는  
 순시 고장시 퓨즈가 용단 되기전에 리클로우저가  
 순시동작으로 고장이 제거될 수 있어야 하며 영구  
 고장시 리클로우저의 지연동작중에 퓨즈가 용단되  
 야 한다. 따라서 이러한 조건을 만족시키려면 리  
 클로우저가 순시와 지연 동작을 적어도 1회이상  
 해야 한다. 설계자가 순시조건을 만족하는 전류범  
 위를 구하기 위해서는 리클로우저의 재폐로 시간  
 과 순시동작회수에 따라 승율을 리클로우저의 순  
 시곡선에 곱해만든 기준곡선을 퓨즈의 최소용용  
 곡선과 비교하여 최대협조 가능전류를 구한다. 그  
 리고 지연조건을 만족하기 위해서는 지연곡선에

승율을 곱해서 만든 기준곡선을 퓨즈곡선과 비교  
 하여 최소협조 가능전류를 구해야 한다. 따라서  
 두 보호기기가 완전히 협조를 이루기 위해서는 보  
 호구간의 최대 고장전류가 최대협조 가능전류보다  
 적고 최소 고장전류 가 최소협조 가능전류보다 커  
 야 한다. 식(16)은 두 보호기기의 T-C곡선으로부  
 터 지식베이스에 만들어진 데이터베이스를 이용하  
 여 협조가능한 퓨즈를 결정하는 규칙이다.

prerecloser(ProDevice, Type, Prating, Grat-  
 ing) if  
 load current(ProDevice, Value) and  
 fault current(ProDevice, Maximum,  
 Minimum) and  
 recloser(Type, "Phase", Prating,  
 LLimit1, RLimit1, Close) and  
 recloser(Type, "ground", Grating,  
 LLimit2, RLimit2, RLimit2, Close)  
 and  
 greater than(Value, LLimit1) and  
 greater than or equal to(Value,  
 RLimit1) and  
 greater than(Minmum, LLimit2) and  
 greater than or equal to(Minimum,  
 RLimit2) and  
 greater than(Close, Maximum). (16)  
 prefuse(ProDevice, Type, CStype,  
 Rating, PRating) if  
 load current(ProDevice, Value) and  
 fault current(ProDevice, Maximum,  
 Minimum) and  
 rafcoor(Type, CStype, Rating, Max-  
 point, MinPoint) and  
 greater than(MaxPoint, Maximum)  
 and  
 greater than(MinPont, Minimum). (17)

- 여기서, ProDevice : 선로구간의 보호기기 이름  
 Rating : 후비 리클로우저의 phase  
 트립코일 용량  
 PRating : 후비 퓨즈의 정격 용량  
 Value : 보호구간의 부하전류  
 LLimit : 보호기기의 용량 선정을 위  
 한 하한 전류  
 r-f coord : 리클로우저와 퓨즈의 상호  
 협조 데이터  
 Close : 리클로우저의 차단전류  
 CStype : 보호기기의 커브 타입, 동

작순서 또는 타임  
 Maximum : 최대 협조 가능전류  
 Minimum : 최소 협조 가능전류

식(16)에서 추론기관은 리클로우저에 의해 보호되는 보호구간의 최대고장전류와 최소고장전류를 트립전류와 비교하여 상(Phase)과 지락 트립 정격을 정한다. 그리고 식(17)에서 전위 퓨즈의 최대고장전류와 최소 고장전류 그리고 정정지연 곡선에 따라 후비 리클로우저와 상호협조가 가능한 퓨즈의 정격을 결정한다.

**c. 리클로우저와 리클로우저**

리클로우저는 직렬로 3대까지 설치할 수 있으며, 후비 리클로우저는 전위 리클로우저 보다 먼저 순시나 영구 고장 동작을 하지말아야 한다. 이러한 리클로우저간의 상호협조는 3가지 원칙에 의해서 설계될 수 있으나 상호협조의 융통성을 높이기 위해서는 동작순서와 트립코일 용량을 달리하는 방법을 선택해야만 한다. 전위 및 후비리클로우저의 트립 코일 용량 선정은 규칙(17)에 의해서 결정된다. 그리고 전위 및 후비 리클로우저의 상전류와 지락전류에 대한 순시·지연 고장제거(clearing)시간은 규칙(18)에 의해서 결정된다.

preclearing(ProDevice, Type, CR, PI, PD, GI, GD) if  
 load current(ProDevice, Value) and  
 cycle time (Type, phase, inst, ckr, Maximum, PI) and  
 cycle time (Type, phase, delay, cr, Minimum, PD) and  
 cycle time(Type, ground, inst, cr, Maximum, GI) and  
 cycle time(Type, ground, delay, cr, Minmum, GD). (18)

여기서, PI : phase순시 동작 시간  
 PD : phase 지연 동작 시간  
 GI : ground 순시 동작 시간  
 GD : ground 지연 동작 시간

리클로우저간의 보호협조가 가능하기 위해 필요한 동작 시간차는 기기 타입별마다 다르다. 협조 기준 시간차는 3상 유압식인 경우 8cycle, E.S.V형 전자식 리클로우저 3.5cycle, V.W.V.E형 리클로우저 2.7cycle이다. 따라서 R-R-R보호협조 조직인 경우 각각 협조 기준 시간차 이상의 동작 시간차를 가져야 한다. 리클로우저의 상호협조는 동작순서를 달리함으로써 이루어 진다. 따라서 선로상의 보호 협조 조직에 따라 완전한 상호협조를 얻기 위해서는 표2에 따라 동작 순서를 결정한다.

**표 2 상호협조를 위한 동작 순서**  
**Table 2 Operation sequence for reciprocal coordination**

보호관계	동작순서 규칙	예
최전위R/C	2F2D를 원칙으로 한다.	2F2D
후 비R/C	순시회수를 1회씩 줄인다	1F3D
최후비R/C	순시회수를 동일하게 하고 S.C를 이용하거나 동작순서 협조 후비R/C에 준한다.	1F3D (S.C) (4D)

**d. 리클로우저와 섹셔널라이저**

섹셔널라이저는 주로 분기선의 인입구나 간선의 말단 부근에 설치되며 무전압 스위치이기 때문에 리클로우저와 협조하여 3개까지 직렬로 연결하여 사용 될 수 있다. 이때 완전한 상호협조를 이루기 위해서는 섹셔널라이저의 a) 최소 동작전류는 후비 보호기기의 최소 트립 전류의 80%이하 b) 정정회수는 후비 보호기기보다 1회 적게 c) 그리고 기억시간은 후비보호기기의 총 소요시간보다 커야 한다.

sectiondevice(Type, Sequ, PTimes, PRating, Times, Rating)if  
 sectionalizer(Type, Rating, LLimit, RLimit) and  
 total(Type, Sequ, TAT)  
 minus(PTimes, 1, Times) and  
 multiply(Rating, 0.8 MRating) and  
 greater than or equal to(MRting, LLimit) and  
 less than(MRating, RLimit) and  
 memory(Time, LTime, RTime) and  
 greater than(TAT, LTime and  
 greater than or equal to(TAT, RTime) and  
 fail,!. (19)

여기서, PTimes : 후비 보호기기의 동작회수  
 PRating : 후비 보호기기의 트립전류  
 TAT : 후비 보호기기의 기억시간  
 Sequ : 후비 보호기기의 동작순서  
 RATING : 전위 보호기기의 트립전류  
 LLimit : 보호기기의 용량선정을 위

한 하한 허용전류

식(19)는 후비 보호기기의 타입, 동작순서, 동작전류 그리고 동작시간에 대한 정보로부터 섹서



널라이저의 최소 동작전류, 메모리 시간을 구하는 규칙을 표시한다.

**e. 변전소 계전기와 리클로우저**

변전소 계전기는 과전류계전기(OCR)과 과전류지락 계전기(OCGR)가 있으며 각각 상 고장과 지락 고장으로부터 선로를 보호한다. 변전소 계전기가 동작하는 경우 전 피더에 정전이 발생하므로 전위 리클로우저와 상호협조를 이루어야 한다. 변전소 계전기와 리클로우저가 협조를 이루기 위해서는 변전소 계전기의 동작시간 이 리클로우저의 동작시간보다 10cycle이상 크면 가능한 것으로 한다.

relay (Type, Fault, Current, Sequ, Lever) if total (Type, Sequ, TAT) and cycle time (Type, Fault, Sequ, Lever, Current, Time) and minus (Time, TAT, NTAT) and greater than (NTAT, 10), fail,!. (20)

- 여기서, Fault : 고장 타입
- Current : 보호구간의 고장전류
- Sequ : 동작 순서
- Lever : 계전기의 정정 Lever

식(20)은 변전소 계전기의 타입별로 T-C키브를 인식하여 설치된 리클로우저의 동작 시간차가 10cycle이상되는 lever을 추론하여 해로 결정한다.

**4. 설계절차**

제시된 엑스퍼트 시스템의 설계는 배전지적도면 관리 시스템과 전문가 시스템의 연계운용을 통하여 네트워크 정보제공, 상호협조 설계, 그리고 시뮬레이션의 순서로 이루어 진다. 특히, 개발된 전문가 시스템은 배전계통의 수지상 구조를 효과적으로 처리하기 위한 검색 기법으로서 깊이 우선 탐색(depth-first)기법을 사용하였다. 보호협조 설계절차는 다음 스텝의 순서로 이루어 진다.

스텝 1) 설계자는 GMMS상에서 설계 대상선로가 신설 선로인가, 기설 선로인가를 결정한다. 만약 신설피더이면 디지털타이저를 이용하여 설계 땀을 입력하고 스텝 2로 같다. 그리고 기설이면 변전소, 피더 인덱스를 입력하고 대상 땀을 디스플레이 시킨다.

스텝 2) GMMS상에서 GMMS와의 반복대화를 통하여 설치위치를 찾는다. 그다음에 그 설치 위치에 적합한 보호기기의 타입을 결정한다.

스텝 3) 만약 신설피더이면 DBMS를 통하여 그리고 기설피더이면 그래픽 처리루틴을 통하여

고장 전류와 조류계산에 필요한 서브스키미와 네트워크 정보를 엑스퍼트 시스템에 제공한다.

스텝 4) 추론기는 보호기기의 신로구성관계를 표시하는 네트워크 정보, 보호기기가 보호하는 각 보호구간의 최대·최소 고장전류, 그리고 고 부하전류 정보를 다이나믹 데이터베이스에 정의된 술어의 패턴으로 저장한다. 이때 각 선로들의 구간 정보들은 부하단에서 전원단의 순으로 엑스퍼트 시스템에 제공된다.

스텝 5) 설계자는 최종 후비 보호기기인 변전소 계전기의 동작 시간에 관계 없이 lever를 변경한다는 가정, 규정된 한계 동작 lever하에서 또는 lever의 변경을 고려하지 않는다는 가정 하에서 보호협조의 문제를 검토할 것인지를 결정한다.

스텝 6) 피더 네트워크 데이터에 대해서, 추론기관은 간선이나 분기선에 관계없이 아직 검토되지 않은 선로에 대해 하나의 선로구간 데이터를 검색한다. 그 다음 다른 선로구간 데이터중에서, 검색된 선로구간의 From Bus와 같은 To Bkus를 갖는 다른 하나의 선로구간 데이터를 확인한다. 추론기관은 이 작업을 통해 같은 선로상의 2개의 연속된 보호기기를 확인한다.

스텝 7) 추론기관은 2개 보호기기가 이루는 보호협조 타입을 확인한다. 즉, 추론기관은 같은 선로상의 전위, 후비 보호기기의 상호 협조 타입 (FAF, RAF, RAS, SAS, RAR, RASS)을 검증한다.

스텝 8) 그 다음에 추론기관은 상호협조 규칙을 통해 상호협조를 가능케하는 두 보호기기의 정정치를 결정한다.

스텝 9) 추론기관은 스텝 7-9로부터 얻어진 임시 추론 데이터(conflict set)를 다이나믹 데이터베이스에 저장한다. 그 다음에 모든 라인에 대한 검토 작업이 끝났는지를 확인한다. 그래서 끝났으면 스텝 7로, 그렇지 않으면 스텝 11로간다.

스텝 10) 추론기관은 모든라인에 대해 얻어진 임시 추론 데이터로부터 최대 동작 시간을 갖는 리클로우저의 정정치를 최종해로 결정하고, 그 추론 데이터를 전문가 시스템에 제공한다.

스텝 11) 설계자의 선택에 따라 GMMS상의 고장 시뮬레이션 프로그램을 실행시키고, 임의의 위치에 고장심볼을 입력한다. GMMS는

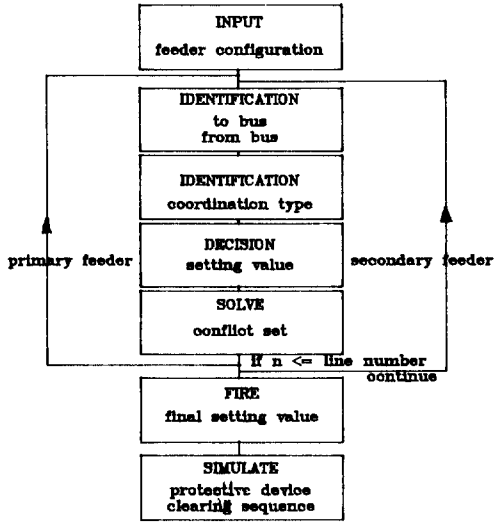


그림 5 배전선 보호협조를 위한 설계 흐름  
 Fig. 5 Design flow for the protection coordination of distribution line

고장 심볼을 인식하고 보호기기의 동작순서에 따라 고장효과를 디스플레이 한다. 만약 영구 고장이면 고장구간이 red 칼라로 표시된다. 그림 5는 배전선 보호협조 결정을 위한 설계 흐름도이다.

5. 적용 예

개발된 시스템은 각 배전지사의 숙련된 설계 전문가와 보호협조 運用지침[13-14]으로부터 지식을 획득하였다. 특히, 현장방문, 설문지 조사 그리고 설계 결과등을 종합 검토함으로써 설계 지식

의 정확성을 기하였다.

본 시스템은 GMMS상에서 AutoLisp으로 구현된 32개의 규칙들과 프로그로로 구현된 68개의 규칙등 약 100개 정도의 규칙들로 구성되며, 구축된 지식들의 정확성을 보이기 위해서 하나의 보호협조 응용 예를 보인다.

본 적용예에서는 배전선로상에서 있을 수 있는 각 보호기기의 상호협조를 검토하고 임의의 고장을 모의하여 그 협조 규칙에 의한 보호기기의 동작 순서를 화면상에서 보일 수 있도록 배전선로를 설계하였다. 이 설계에는 신설의 경우로서 E.S.V형 리클로우저, GVA-175형 섹셔널라이저, 퓨즈 링크가 보호기기로서 선택되었다. 다음 컴퓨터 출력물은 GMMS상에서 배전선로의 선로 구성과 각 입력을 표시하며 그림 6은 AutoLisp으로 구현된 지식들에 의해서 결정된 보호기기의 타알과 위치를 보인다.

GMMS) Which case of new feeder and existing feeder do you like to review?

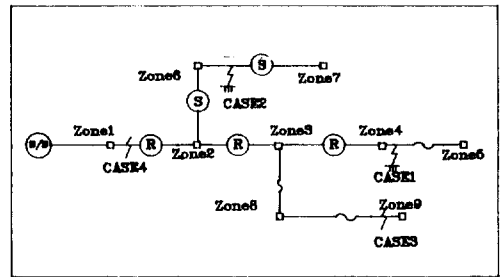


그림 6 시험설계를 위한 배전선로 구성  
 Fig. 6 Distribution feeder configuration for test design

표 3 조류계산을 서브키마  
 Table 3 Subschema for loadflow calculation

From Bus	To Bus	Z-Impedance		길이 이 (Length)	P-Q	
		R	X			
1	2	0.20242	0.38911	2.55000	0.85400	0.33800
2	3	0.20242	0.38911	3.45000	1.27500	0.48500
3	4	0.20242	0.38911	1.60000	1.87500	0.84200
4	5	0.20242	0.38911	3.75000	0.84200	0.42000
5	6	0.20242	0.38911	1.45000	0.51000	0.25100
3	7	0.20242	0.38911		0.75500	0.28500
7	8	0.20242	0.38911	3.45000	0.52500	0.20000
4	9	0.20242	0.38911	1.55000	1.25000	0.52000
4	10	0.20242	0.38911	3.45000	0.62500	0.32400

```

GMMS) New feeder
GMMS) Draw new feeder configuration map
using drawing menu of GMMS
MENU) SUBSTATION
    G-G) digitize installation point
MENU) PRIMARY FEEDER
G-A) input conductor size
    [ACSR-160mm2]
G-G) digitize START BUS point
G-A) input attribute
    [P: 854KW] [Q: 338KVAR]
    [CH: PUBLIC OFFICE]
G-G) digitize END BUS point
G-A) input load attributes
    [P: 1275KW] [Q: 485EVER]
    [CH: ELECTRO-MAKER]
G-G) digitize END BUS point
G-A) input load attributes
    [P: 1875KW] [Q: 842KVAR]
    [CH: HOSPITAL]
G-G) digitize END BUS point
G-A) input load attributes
    [P: 842KW] [Q: 420KVAR]
    [CH: WOOD-AREA]
G-G) digitize END BUS point
G-A) input load attributes
    [P: 510KW] [Q: 251KVAR]
    [CH: SMALL-MAKER]
MENU) QUIT
MUNU) SECONDARY FEEDER
G-A) input conductor attributes
    [ACSR-160mm2]
G-G) digitize START BUS point
G-G) digitize END BUS point
G-A) input load attributes
    [P: 525KW] [Q: 520KVAR]
    [CH: SMALL-MAKER]
MENU) QULT
MENU) SECONDARY FEEDER
G-A)input conductor attributes
    [ASCR-160mm2]
G-G) digitize START BUS point
G-G) digitize END BUS point
G-A) input load attributes
    [P: 1250KW] [Q: 520KVAR]
    [CH: SMALL-MARKER]
G-G) digitize END BUS point
G-A) input load attributes
    [P: 625KW] [Q: 324KVAR]
    [CH: SMALL-MARKER]
MENU) QUIT
MENU) TYPE AND LOCATION
MENU) DATA OUTPUT
MENU) SETTING VALUE
MENU) QUIT
GMMS) WOULD YOU LIKE TO VERIFY THE
RESULTS OF REVIEW? Y
    설계자는 GMMS상에서 그림 6을 입력하며
    
```

표 4 GMMS에서 다이내믹 데이터베이스에 제공된 데이터

Table 4 Data furnished in dybamic database from GMMS

네트워크			고장전류			부하전류	
고유키대상	기기 확인대상	기기 확인대상	30(Ω)지락	0(Ω)지락	3상 단락	기기 확인대상	부하전류
1, 1, 2	none						
1, 2, 3	rec1-2-1	rec1-2-1	1918.9	404.3	3273.4	rec1-2-1	124.5
1, 3, 4	rec1-2-2	rec1-2-2	1485.0	389.3	2538.8	rec1-2-2	90.2
1, 4, 5	rec1-2-3	rec1-2-3	1230.8	376.0	2062.0	rec1-2-3	38.3
1, 5, 6	fuse-1-1	fuse-1-1	11264.3	371.6	1759.1	fuse-1-1	14.4
2, 1, 2	sect-1-1	sect-1-1	1329.1	381.7	2467.8	sect-1-1	34.3
2, 2, 3	sect-1-2	sect-1-2	1226.7	375.8	1878.4	sect-1-2	14.5
3, 1, 2	fuse-1-2	fuse-1-2	1348.6	382.8	2007.94	fuse-1-2	51.9
3, 2, 3	fuse-1-3	fuse-1-3	1479.3	372.7	1901.8	fuse-1-3	18.2

표 5 추론 결과

Table 5 Inference results

규칙술어의 관계	보호기기티있과관계	단락트립용량	지락트립용량	회수	동작순서	메모리시간
solution recloser	rec1-2-1	400	140	4	3FID	—
solution recloser	rec1-2-2	280	140	3	2FID	—
solution recloser	rec1-2-3	140	140	2	1FID	—
solution sectionalizer	sect-1-1	224	112	3	—	120
solution sectionalizer	sect-1-2	160	80	2	—	120
solution fuse	fuse-1-1	80	—	—	—	—
solution fuse	fuse-1-2	65	—	—	—	—
solution fuse	fuse-1-3	20	—	—	—	—

표 6 각 고장 경우에 대한 보호협조 순서

Table 6 Protection coordination sequence for the each fault case

경우	고 장	동 작 순 서	고장효과
경우 1	단상 지락·순서	(RC1-RC2-RC3)	무
경우 2	단상 지락·영구	(RC1), (RC1-SE2) (RE1-SE1)	6, 7
경우 3	3상 단락·영구	(RC1), (RC1-FU2)	9
경우 4	3상 단락·영구	(S/S relay)	선로전체

DBMS는 선로구간 데이터베이스와 임피던스 데이터베이스를 이용하여 조류계산을 위한 서브스키마를 전문가 시스템에 제공한다. 그림 3은 조류계산을 위한 서브스키마를 보인다.

GMMS에서 전문가 시스템의 다이내믹 데이터베이스에 저장된 배전 네트워크, 부하전류 그리고 고장전류 정보는 다음과 같다. 고장계산에 사용된 기준전력은 100MVA이며 기준전압은 22.9KV 선로타입은 전압선 ACSR-160mm<sup>2</sup>, 중성선 ACSR-95mm<sup>2</sup>이다. 표 4는 그 정보 데이터를 보인다.

전문가 시스템이 다이내믹 데이터베이스에 저장된 정보와 규칙베이스에 저장된 규칙·사실들을 탐사하여 각 보호기기의 상호협조를 고려한 추론 결과는 표 5와 같다.

전문가 시스템이 각 보호기기의 정정치를 위와 같이 추론한 이유는 다음의 규칙에 따른다.

첫째, 리클로우저의 각 상과 지락 트립전류는 보호구간 상·접지 고장을 정확히 감지하여 보호구간을 전원에서부터 분리한다.

둘째, 동작 시퀀스는 변전소 계전기의 lever의 변경을 최소로 하도록 하며, 퓨즈와의 상호협조를 지원할 수 있도록 최소한 1F1D를 갖는다.

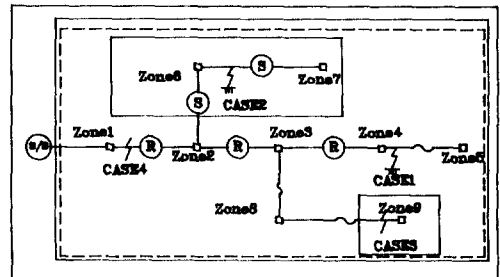


그림 7 각 고장 경우에 대한 고장 효과  
Fig. 7 Outage effect for the each fault case

셋째, 섹셔널라이저는 리클로우저와의 상호협조를 지원할 수 있는 기억시간과 동작회수를 갖는다.

네째, 퓨즈는 리클로우저와의 순시·지연 협조가 가능하도록 한다.

GMMS가 제공하는 고장 모의 루틴을 이용하여 그림 7에 보인바와 같이 4가지 경우에 대해서 고장 모의하였다. 각 고장에 대한 동작순서는 표 6와 같다.

각 고장 경우에 대한 시험 대상선로의 고장효과

는 그림 7에 보인바와 같다. 그림 7에서 점선으로 표시된 부분은 순시 고장으로 인해 피더 전체에 순간 정전이 발생함을 보인다.

### 6. 결 론

본 연구에서는 GMMS와 전문가 시스템을 연계 운용하여 보호협조를 설계하며, 필요한 네트워크와 보호기기 정보를 GMMS로부터 제공받도록 하였다. 따라서 설계자는 배전지적도면 관리 시스템을 이용하여 선로 정보를 입·출력 함으로써 시각적으로 보호협조 문제를 해결하도록 하였다. 보호기기의 설치 위치와 그 위치에서의 적절한 보호기기 타입 결정은 설계자와 GMMS와의 대화로 이루어진다.

보호기기의 상호협조 설계는 모든 선로(하나의 간선과 수개의 분기선)에 대해 별도로 설계하며, 이들로부터 얻어진 임시 추론데이터로부터 최대 동작시간을 갖는 데이터를 최종 해로 얻음으로서 전 선로에 대해 완전한 보호협조를 얻을 수 있도록 하였다. 또한 깊이 우선 탐색 기법을 사용하여 보호기기의 정보를 포함하고 있는 선로구간 데이터를 검색함으로써 배전계통 수직상 구조를 효과적으로 처리할 수 있도록 하였다.

세시된 전문가 시스템의 지식베이스내에는 각종 보호기기의 시동작 전류곡선이 저장되어 있다. 그러나 이 곡선은 많은 종류가 있으므로 일반적으로 가장 많이 사용되는 타입을 지식베이스화 하였다. 따라서 기설 보호협조를 검토하기 위해서는 각종 T-C커브 데이터를 입력해야 한다.

그리고 설계된 결과에 대해서 고장 모의 루틴을 실행하여 보호기기의 동작순서를 그래픽으로 표시함으로써 보호기기 설계 결과의 검증과 보호협조 원리에 대한 교육적 효과를 얻을 수 있다. 끝으로, 복잡한 업무로 지친 설계자에 전문가의 지식을 제공함으로써 숙련된 전문가의 시각에서 신속하고 정확하게 보호협조 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] E.H. Shortliffe, "Computer-Based Medical Consultation : MYCIN", Artificial Intelligence Series 2, Elsevier, 1976.
- [2] R.L. Mcore, L.B. Hawkinson, et al., "A Real Time Expert System for Process control", CH2107-1/84 pp. 569-575 1984 IEEE.
- [3] B.F. Wollenberg, "Feasibility Study for an Energy Management System Intelligent Alarm processor", IEEE trans. on Power Systems, Vol. PWRs-1, No. 2, pp. 241-247, May 1986.
- [4] S. Rahman, R. Bhatnagar, "An Expert System Based Algorithm for Short Term Load Forcastion", IEE/PES 1987 WM, New Orleans, Louisiana, Fed. 1987.
- [5] R. Fujiwara, T. Sakaguchi, et al., "An Intelligent Load Flow Engine for Power System Planning", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRs-1 No. 3, pp. 302-307, August 1986.
- [6] C. C. Liu, K. Tomsovic, "Expert System Assisting Decision-Making of Reactive Power/Voltage control", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRs-1, No. 3, pp. 195-201, August 1986.
- [7] T. Sakaguchi, K. Matsumoto, "Development of a Knowledge Based System Restoration", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 2, pp. 320-332, February 1983.
- [8] C.C. Liu, S.J. Lee and S., S. Venkata, "An Expert System Operational Aid for Restoration and Loss Reduction of Distribution systems", "Proceedings of Power Industry computer Application, PICA 1989, pp. 79-85.
- [9] E. Cardozo and S.N. Talukdar, "A Distributed Expert System for Fault Diagnosis", Proceedings of Power Industry Computer Application, PICA 1989, pp. 101-106.
- [10] K. Tomsovic, C.C. Liu, P. Ackerman, and s. Pope, "an Expert Sustum as a Dispatcher's aid for the isolation of Line Section Faults", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 3, pp. 736-743, July 1987.
- [11] Ho-Yong Kim, Yun-Seok Ko, Soo-Kook Shon, "Data Base for Distribution system Planning and Operation", Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 37, No. 8, pp. 513-520, August 1988.
- [12] Ho-Young Kim, Yun-Seok Ko, Soo-Kook Shon, "An Expert System for the Electric Power Distribution System Design", International Syposium on Power System and Power Plant Control, Seoul Korea, August

22-25, 1989.

- [13] Korea Electric Company, Distribution Facility Operation Standards I, II
  - [14] Korea Electric Corporation, Protective Device Training Book
  - [15] Borland, Turboprolog, Borland International INC., 1986. Ivan Bratko, Prolog Programming for Artificial Intelligence, Addison-Wseley INC., 1986.
  - [16] C. Townsend, D. Feucht, Designing and Programming Personal Expert Systems, TAB Books Inc., Blue Ridge Summit, PA 17214.
  - [17] AutoDeck Inc., AUtoCAD Drafting Package Reference Manual.
  - [18] Ashton-Tate, Lewarning and Using dBASEIII PLUS I,II
-