

# 配電系統의 停電減少를 위한 專門家 시스템 適用方案

韓國電力公社 內資處 鄭 來 昊  
電力經濟研究室(工博) 姜 遠 求  
配電研究室(工博) 崔 炳 允

### 3. 배전계통 지식 베이스

전문가 시스템에 의하여 사용되는 지식은 통상 전문적 지식과 경험적 지식(Heuristics)으로 크게 분류된다. 여기서 전문적 지식이란 일반적으로 널리 알려진 지식을 나타내며 배전계통에서 사용하는 전기공학 지식이나 계통 구성상의 회로망에 관련된 지식이 여기에 속한다. 한편 경험적 지식은 해당분야의 전문가가 장시간의 체험에 의하여 얻는 지식으로 전문가 시스템의 문제 해결 능력을 높이는 데 상당히 주요한 역할을 한다. 정전지역을 축소하기 위하여 최적 부하절체 방안을 신속하게 구하기 위한 경험 규칙 등이 여기에 속한다.

한편 지식은 단순지식을 기술하는 사실과 조건부와 결론부를 갖는 판단규칙으로 나눌 수 있고 전문가 시스템의 지식 베이스는 이러한 사실과 판단규칙으로 이루어져 전문가 시스템의 핵심을 이루고 있으며 표현형태는 일반적으로 다음과 같다.

#### ○사실(Facts)

“-은 -이다”의 꼴로서 단순지식을 표현한

다.

#### ○판단규칙(Rules)

“만일 -이면 -이다(또는 -하라)”의 형태로서 조건부와 행동부 또는 결론부를 갖는 규칙을 표현한다.

본 방안에서는 계통구성 및 데이터 수정 프로그램을 인공지능언어를 사용함으로써 계통의 복잡성에 관계없이 아주 간단한 주프로그램으로 수행이 가능하도록 하였으며, 계통이 수시로 변경 프로그램의 변경없이 데이터 처리가 가능하도록 구성하였다.

또한 인공지능 프로그램과 기존 프로그램의 일반적인 차이는 표 3·1과 같다.

#### 3·1 데이터 베이스 구조

배전계통의 기본요소인 계통 구성상의 데이터 베이스와 기타 필요한 정보 데이터 베이스는 효율적으로 구성되어야 한다. 그 이유는 전문가 시스템이 계통변화 상태에 적응하면서 규모가 크고 복잡한 배전계통을 추적함에 따라 각종 모듈 수행과 계통 추적에 걸리는 시간이 상당히 소요되기 때문이다. 특히 사고 복구시와 같은

〈표 3·1〉 인공지능 프로그램과 기존 프로그램의 차이점

| 인공지능프로그램   | 기존 프로그램                  |
|--|--------------------------|
| · 주로 기호를 사용하여 처리 한다.                               | · 주로 숫자를 다룬다.            |
| · 경험적 (Heuristic) 탐색으로 해결과정이 불투명하다.                | · 논리적 처리로서 해결과정이 명확하다.   |
| · 지식과 제어가 보통 분리 된다.                                | · 정보와 제어가 함께 모여 있다.      |
| · 변경, 갱신, 확충이 용이하다.                                | · 변경이 어렵다.               |
| · 항상 정확한 결과를 요구하지는 않는다. 즉, 어떤 범위 내의 결과로서 족할 때가 많다. | · 항상 정확하고, 가장 좋은 해를 찾는다. |

긴급상황에서 신속하게 절체 방안이 제시되어야 정전지역을 축소시킬 수 있고 계통운용에 지장이 없다.

계통 데이터베이스의 종류는 변전소, 주 변압기, 변전소모선, 변전소개폐기, 구간선로, 선로개폐기의 6 가지로 구분하였으며, 각 데이터베이스의 구성요소는 아래와 같다. 여기서 규정상태란 상시 운전시에 유지되어야 하는 기준상태이다.

(1) 변전소 (Substation)

변전소명, [T/L명], [D/L명]

(2) 주 변압기 (Main Transformer)

변전소명, 변압기명, 변압기종류, [연결개폐기명], 1차전압, 2차전압, 변압기 용량, 규정 사활상태, 고장상태, 현 사활상태

(3) 변전소 모선 (Substation Bus)

발전소명, 모선명, 모선종류, [연결개폐기명], 전압, 규정 사활상태, 고장상태, 현 사활상태

(4) 변전소 개폐기 (Substation Breaker)

변전소명, 개폐기명, 특성, 종류, 차단 용량, 상 트립 전류, 접지 트립 종류, 규정 조작 상태, 고장 상태, 현 조작상태, 피더 사활 상태, 피더 전류, 피더 전압

(5) 구간 선로 (Power Line)

[양단 개폐기명], 선종, 종성선선종, 상수, 완금규격, 공장, 구간부하 설비 합계, 부하의 중요도, 정상상태 정보, 고장여부, 현상태, 현상태 정보, 구간전류, 구간 변압기 TAP 위치

정상 (또는 현) 상태정보: [선로 좌측 피더 정보, 선로 우측 피더 정보]

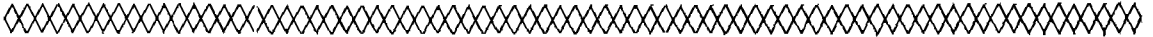
(6) 개폐기 또는 분기 및 말단 전주 (Power Breaker)

개폐기명, 특성, 종류, 형식, 차단용량, 페이스트립 전류, 그라운드트립 전류, 자동동작 여부, 정상상태, 고장여부, 현상태

3·2 선로상태 추적 지식 베이스

배전계통은 일반적으로 방사상 구조로 되어 있으며, 고장점을 쉽게 탐지할 수 있도록 구간 스위치가 개방되어 있다. 따라서 각 부하점은 정상 상태에서 1대의 주 변압기에서만 전력을 공급받게 된다. 부하점 공급 변압기가 2개소 이상인 루프 운전이 수행되는 경우가 가끔 있는데 이 경우는 부하 절체를 위한 개폐기 조작시 일시 정전을 피하기 위하여 사용된다.

또한 배전계통은 송전계통과는 달리 선로의 구성이 복잡하고 선로 및 개폐기 상태가 수시로 변경되어 계통 해석에 어려움을 지니고 있다. 이러한 배전 계통을 기존 프로그램 방식으로 구성하면 계통 데이터베이스 규모에 비례하여 주 프로그램의 규모가 커지고 계통이나 개폐기가 변동될 때마다 주 프로그램을 수정해야 하므로 비실



용적이다.

본 연구에서는 인간이 계통도를 보고 계통 상태를 파악하는 과정에 대한 지식을 규칙 베이스로 구성하여 계통의 변동에 관계없이 계통추적규칙에 따라 계통상태를 자동적으로 파악할 수 있도록 구성하였다.

구성의 특징은 각 설비데이터를 개폐기단위의 독립적인 데이터베이스로 구성하고 선로와 개폐기의 연결상태를 추적하여 선로의 가압여부 및 공급전원을 찾아 별도의 데이터베이스로 구성하였으며, 변전소 내부의 계통구성도 고려함으로써 변전소 사고나 정전작업시의 부하절체에도 적용할 수 있는 장점을 지니고 있다.

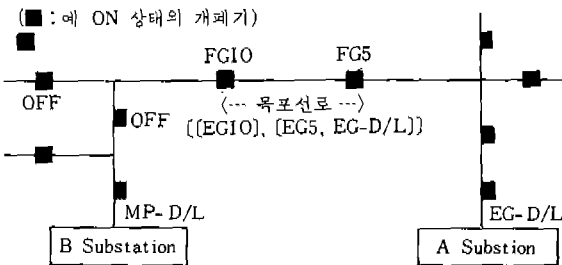
그림 3·1은 선로의 상태를 파악하는 추적 예이며 계통상태를 파악하는 규칙은 다음과 같다.

**Rule 1** : 변전소 내부의 변압기 가압여부와 구내 유입차단기 등 개폐기 조작상태를 추적하여 각 피더가 가압되어 있는지를 판단하고 데이터베이스에 입력한다.

**Rule 2** : 목표선로 좌, 우를 개폐기와 선로의 연결상태 정보에 따라 전 선로를 추적한다.

**Rule 3** : 다음과 같은 조건을 만나면 추적을 중단하고 상태 정보를 저장한다.

- 오프 상태의 개폐기를 만날 때
- 선로의 말단을 만날 때



〈그림 3·1〉 모델계통

- 가압된 변전소의 주 변압기 부하측 유입차단기를 만날 때

**Rule 4** : 추적하는 동안 생성된 상태정보 데이터베이스를 검토하여 선로의 상태를 판정한다.

- 어느 1지점만이 가압된 피더를 만나면 선로는 핫(Hot) 상태이다.
- 2개소 이상의 가압된 피더를 만나면 선로는 루프(Loop) 상태이다.
- 1지점도 가압된 피더를 만나지 않으면 선로는 데드(Dead) 상태이다.

### 3·3 부하절체를 위한 지식 베이스

지금까지의 배전계통의 운용은 주로 운전원이 계통도를 보며 필요한 수치적인 계산하에 경험적 판단으로 이루어져 왔으며 이러한 부하절체는 수치적인 문제보다는 계통의 구성을 판단하여 부하절체방안을 제시하는 논리적인 사고가 더욱 요구되며, 또한 운전원이 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 인간-기계 연락장치가 필요하다. 따라서 전문가 시스템은 이러한 문제를 해결하는데 상당히 유리한 특성을 지니고 있다.

본 방안에서는 다음과 같은 가정하에서 전문가 시스템을 구성하였다.

○ 각 변전소의 피더 전류와 전압은 온라인 데이터로 상황실에 전송되어 일정한 시간마다 부하 데이터베이스에 저장한다.

○ 사고복구시 사고구간은 이미 확인되었다고 가정하고 전전구간을 복구하는 부하절체를 수행한다.

전문가 시스템을 성공적으로 수행하기 위한 가장 중요한 요소 중의 하나는 지식 베이스의 양과 질을 높이는 것이다. 따라서 지식 베이스를 어떠한 부하절체 상황에도 수행에 문제점이 없도록 면밀히 검토하여 구성하여야 하며, 구성된 지식 베이스를 적절하게 사실 및 추론엔진과 상



호 연결하여야 효율적인 전문가 시스템을 구축할 수 있다.

본 방안에서는 지식 베이스를 각 선로의 전압, 전류, 전압강하 계산 등 특성에 따라 모듈(Module) 별로 구성하였으며 각 모듈은 별도로 자신의 룰베이스(Rule Base)를 가지고 수행된다. 이에 따라 본 시스템은 사용자가 계통 상황을 감시하거나 운용하는 다양한 기능을 이 모듈로부터 활용할 수 있는 장점을 지니고 있다.

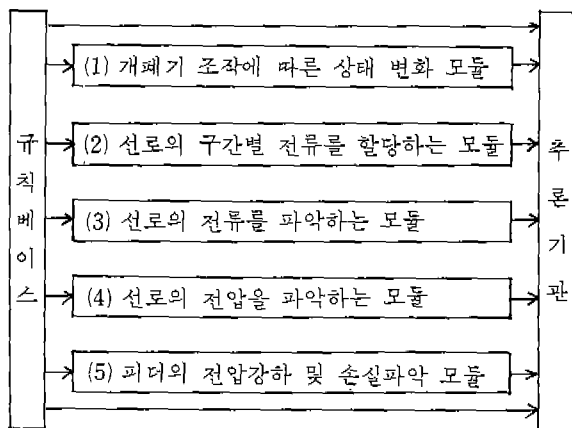
다음은 각 모듈별로 구성된 지식 베이스로 구성된 예를 나타내고 있으며 구성도는 그림 3·2와 같다.

Rule 1 : 개폐기 조작에 따른 선로 상태(Hot, Loop, Dead)가 변화한다.

(1) 현재 선로의 상태가 핫(데드)이고 조작된 개폐기의 상태가 온→오프(오프→온)로 변화하면 조작된 개폐기와 부하측 사이의 모든 선로는

데드(핫) 상태이다.

(2) 현재 선로의 상태가 루프(핫)이고 조작된 개폐기의 상태가 온→오프(오프→온)로 변화하

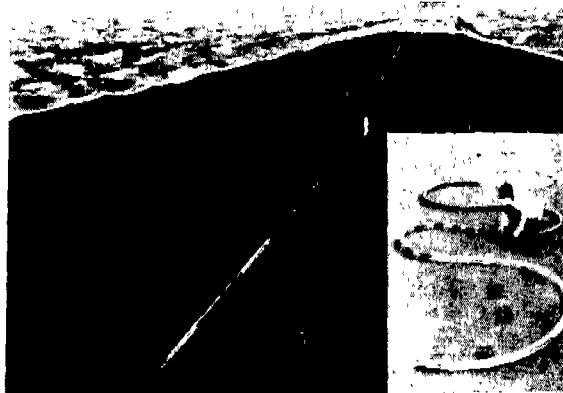


〈그림 3·2〉 최적 부하절체를 위한 모듈 구성도

海 外 技 術
● 자동차 騒音 감소장비 ●
■ 英國産業뉴스 제공 ■

자동차 구매자들의 요구조건이 날로 까다로워지고 있다. 소음이 적은 차를 선호하며, 운전석의 편안함뿐만 아니라, 환경오염방지도 점차 염려를 하는 의식개선이 두드러지고 있다. 운전자의 피로감 원인에 소음, 진동, 유연성 부족이 가장 큰 역할을 한다. 최근에는 고속과 연료절감에는 성공했으나, 보다 조용한 자동차의 수요가 증가하고 있는데, 소형자동차가 소음이 대형보다 많고, 4기통이 6~8기통차보다 훨씬 더 많은 소음, 진동을 일으키고, 배기가스를 많이 낸다.

자동차 소음은 dB(데시벨)로 측정되는데, 각국에서 소음수준은 다르다. 유럽에서는 77데시벨이고 앞으로 점차 낮아질 예정이다. 스위스의 소음규제기준은 75데시벨이다. 내부, 외부 소음을 줄이기 위해 자동차 제조업체에서는 NVH 전문인력과 기술에 많은 투자를 하고 있으며, 배기, 공기흡입, 엔진 및 트랜스미션 디자인의 재검토를 실시하고 있다. 환경오염 최소화 정책의 일환으로, 연료 소비절약, 배기가스 최소유출을 연구하는데, 미국에서는 2000년대에 가서, 갤론당 40마일 속도를 지정할 예정이다. 경량급 3~4기통의 소음공해를 줄인 자동차가 주류를 이룰 것이다.



잉글랜드 동부 노르위치 소재 로터스엔지니어링사는, 자동차 소음측정기인 세미-무반향실(無反響室) 설비에 200만파운드를 투자하고, 결들여 엔진공장도 착공했다. 반-무반향실은 NVH 엔지니어들이 엔진디자인을 더 빠른 속도에서 점검할 수 있고 더욱 정확도를 기할 수 있게 해준다.



면 조작된 개폐기와 부하측 사이의 모든 선로는 핫(루프) 상태이다.

(3) 현재 선로의 상태가 핫이고 변전소의 유입 차단기가 차단되면 해당 피더에서 공급하는 모든 선로는 데드 상태이다.

Rule 2 : 선로의 구간별 전류를 할당하는 규칙  
 배전계통을 적절히 해석하기 위해서는 선로의 어느 위치에서도 전류 및 전압을 파악하여야 하는데, 이를 위하여 각 위치에 센서를 설치하여 온라인으로 데이터를 처리하기에는 소요 비용이 상당히 커서 경제성이 없으므로 본 연구에서는 변전소의 각 피더 전류와 전압을 온라인으로 처리하고 매시간마다 피더전류를 구간별 설비 데이터를 기준으로 비례 분석하여 할당하도록 구성하였으며 식은 다음과 같다.

$$I_E = I_F \times \frac{L_1}{L_{SUM}} \quad L_{SUM} = \sum_F L_1$$

$I_E$  : 구간선로에서 부하에 공급하는 추정 전류[A]

$I_F$  : 피더의 공급전류[A]

$L_{SUM}$  : 해당 피더에 연결된 구간선로의 설비부하 총계 [kVA]

$L_1$  : 구간선로의 설비부하 총계 [kVA]

$F$  : 해당 피더에서 공급하는 구간선로

Rule 3 : 선로의 전류를 파악하는 규칙

임의의 개폐기에 흐르는 선로전류는 해당 개폐기의 부하측 선로를 모두 추적하여 위의 Rule 2에서 계산된 할당 전류를 합산한다.

$$I_{BRK} = \sum_{FL} I_{E1}$$

$I_{BRK}$  : 개폐기에 흐르는 전류[A]

$I_{E1}$  : 개폐기의 부하측에 있는 Rule 2에서 구한 추정부하전류[A]

$FL$  : 해당 개폐기에서 동일 피더로 공급하는 부하측 선로

Rule 4 : 선로의 전압을 파악하는 규칙

임의의 개폐기에 흐르는 측정전압은 해당 개폐기의 전원측 선로를 모두 추적하여 전압 강하를 누계한 값을 피더전압에서 제한한다.

$$V_{BRK} = V_F - \sum_{FS} V_{DROP}$$

$$V_{DROP} = K_1 \times I_{avr} \times Z \times Leng$$

$V_{BRK}$  : 해당 개폐기의 추정전압[V]

$V_F$  : Feeder의 공급전압[V]

$V_{DROP}$  : 구간선로의 전압강하[V]

$K_1$  : 배전방식에 따라 결정되는 상수

$K_1 = 2$  (단상 2선식)

$K_1 = 1$  (3상 4선식)

$Z$  : 장주별 임피던스[ /km] ( $Z = R + jX$ )

$I_{avr}$  : 구간선로의 평균전류[A]

$Leng$  : 선로 공장[km]

$F_S$  : 해당 개폐기에서 동일 피더로 공급하는 전원측 선로

Rule 5 : 피더의 전압강하 및 손실을 파악하는 규칙

부하절체시 평가 지표의 기준이 되는 피더의 각 전압강하와 손실을 누계하여 구한다. 여기서 각 선로의 전압강하는 피더와 해당선로 간의 전압 강하 누계이며 손실은 해당 선로만을 고려한다.

$$V_{FDROP} = \sum_F (K_1 \times I_{avr} \times Z \times Leng)$$

$$V_{FLOSS} = \sum_F (K_2 \times I_{avr} \times Z \times Leng)$$

$V_{FDROP}$  : 피더에서 공급하는 전 구간 선로의 전압 강하 누계 [VA]

$V_{FLOSS}$  : 피더에서 공급하는 전 구간 선로의 손실 누계 [VA]

$K_2$  : 손실계산에서 배전방식에 의해 결정되는 상수

$K_2 = 2$  (단상 2선식)

$K_2 = 3$  (3상 4선식)

(다음 호에 계속)