

배전계통에서의 최적 부하절체를 위한 전문가 시스템

An Expert System for Optimal Load Transfer in Distribution Systems

文 永 鉉* · 崔 炳 允** · 金 世 鎬***
(Young-Hyun Moon · Byoung-Young Choi · Se-Ho Kim)

요 약

전력계통에서는 계통의 사고나 정전 작업시에 광범위한 정전구역이 발생하면 사고구간을 제외한 건전구간을 주위의 타 FEEDER로 부하를 절체하여 정전구역을 최소화 하도록 운영하고 있으며 이러한 문제는 과통의 구성상태 인식과 전압강하를 포함한 여러 제약 조건이 수반된다. 본 연구에서는 사고 복구시 뿐만아니라 정전작업시에도 부하 절체 방안을 제시하는 전문가 시스템을 제안하였으며 부하절체에 수반되는 제한조건으로 선로의 허용전류, 보호기기의 TRIP 전류, 변압기 용량, 전압강하 및 선로손실을 고려하였고, 전문가 시스템이 계통을 추적하면서 이러한 제한조건을 필요에 따라 계산 또는 판단함으로써 최적 부하 절체 방안을 제시할 수 있도록 구성하였다.

Abstract- When load areas on a feeder are deenergized due to faults and scheduled outage, operators need to identify neighboring feeders, try to restore customers and minimize out-of-service areas. These cases include knowledge of system states and various constraints such as voltage drop. This paper concerns the load transfer in fault restoration and scheduled outage. Also, the operating constraints such as line current capacity, relay trip current, transformer capacity, voltage drop and line loss are considered. This expert system can propose the optimal load transfer method by analyzing the system state and considering the constraints.

1. 서 론

최근 전력계통 분야에서 인공지능의 한 분야인 전문가 시스템 적용 연구가 활발히 진행되고 있으

며, 주로 계통의 계획, 진단, 경보시스템 및 운영 분야에서 전문가 시스템의 적용이 주목을 이루어 왔다. [1, 2, 5]

일반적으로 전력계통에서는 계통 사고나 정전 작업시에 광범위한 정전구역이 발생되면 사고구간이나 작업구간을 제외한 건전구간을 주위의 타 FEEDER로 부하를 절체하여 정전구역을 최소화하도록 운영하고 있는 데, 이러한 문제는 계통의 구

*正 會 員 : 延世大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博
**正 會 員 : 韓國電力技術研究院 研究員
***正 會 員 : 延世大 大學院 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 1990年 3月 7日
1次修正 : 1990年 7月 25日

정상상태와 전압강하 등을 포함한 여러 제약조건이 수반된다. [3] 그러나 운전원이 계통운영을 효율적으로 처리하기에는 배전계통의 구성이 복잡하고 제약조건 검토에 상당한 시간이 요구되며, 기존의 수치적인 방법으로 처리하기에는 부적합한 논리적인 해석이 요구된다. 전문가 시스템은 배전 계통의 일반 지식과 인간의 경험지식을 규칙베이스로 구성함으로써 이러한 논리적인 문제를 빠른 시간 내에 해결할 수 있는 우수한 시스템으로 알려져 왔다.

지금까지 연구되어온 전력계통의 부하절체에 관련된 전문가 시스템 연구로는 Liu가 1987년에 송전계통에서의 사고구간을 고립시키기 위한 부하절체 전문가 시스템을 제안하였고 1988년에는 배전계통에서의 사고복구 및 손실 감소를 위한 운전 지원 전문가 시스템을 개발하였다. [1, 2]

본 연구에서는 사고복구시 뿐만 아니라 정전작업시에도 수행이 가능한 전문가 시스템을 제안하였다. 정전작업시의 부하절체는 다중 정전구간에 따른 상호 관계를 고려해야 하는 관계로 부하절체 방안을 제시하는 새로운 형태의 규칙베이스를 개발하였으며, 부하절체에 수반되는 제한조건으로 선로의 허용전류, 보호기기의 TRIP 전류, 변압기 용량, 전압강하 및 선로 손실을 고려하였고, 전문가 시스템이 계통을 추적하면서 이러한 제한조건을 필요에 따라 계산 또는 판단함으로써 최적 부하절체 방안을 제시할 수 있도록 구성하였다.

또한 배전계통은 송전계통과는 달리 계통의 구성이 복잡하고 선로와 개폐기 상태가 수시로 변경되므로 부하절체의 경우 이러한 문제에 적응하면서 계통을 해석하여야 하는데, 본 연구에서는 인간이 계통도를 보면서 흐름을 인식하는 방법을 규칙베이스로 구성함으로써 컴퓨터가 스스로 계통상태의 변화에도 적응하면서 판단할 수 있도록 하였다.

2. 최적 부하절체 전문가 시스템 구성

지금까지의 배전계통의 운용은 주로 운전원이 계통도를 보며 필요한 수치적인 계산하에 경험적 판단으로 이루어져 왔다. 이러한 운용 가운데 부하절체가 수반되는 상황은 다음과 같다.

- (1) 계통 사고시 보호기기가 자동 차단되는 데 사고구간이 확인되면 고장수리동안 사고구간을 제외한 구간을 인근 타 FEEDER로 부하절체
- (2) 정전작업이나 사고예방을 위한 보수작업시

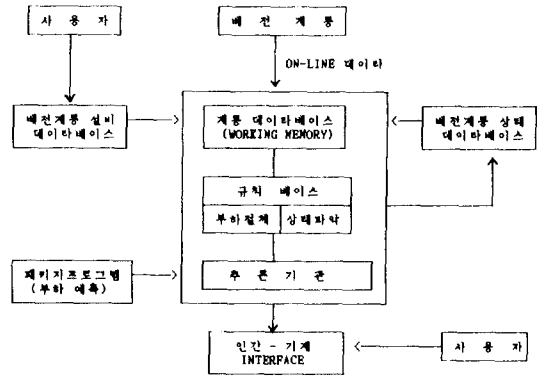


그림 1 전문가 시스템 기본 구성도
Fig. 1 Expert System Configuration

작업구간을 제외한 구간을 인근 타FEEDER로 부하절체

(3) 각 변압기 용량이나 FEEDER 용량이 부적절하게 배분되어 부하 절분점을 재구성(RECON-FIGURATION)하기 위한 부하절체

이러한 부하절체는 수치적인 문제보다는 계통의 구성을 판단하여 부하절체 방안을 제시하는 논리적인 사고가 더욱 요구되며 또한 운전원이 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 소프트웨어가 필요하다. 따라서 전문가 시스템은 이러한 문제를 해결하는데 상당히 유리한 특성을 지니고 있다.

전문가 시스템은 인공 지능의 한 분야로 구성에 필요한 기본 요소로는 계통 데이터 베이스와 문제를 해결하는 데 필요하며 IF-THEN 구조로 되어 있는 지식베이스 그리고 규칙들을 효율적으로 사용하여 결론에 도달하도록 하는 추론 엔진이 있다. 여기서 문제를 해결하기 위하여 사용된 지식은 공학적 판단에 근거를 둔 물리적 법칙이나 경험적 규칙에서 나온 FACT로 구성된다.

그림 1은 본 연구에서 제시하는 최적 부하절체를 위한 전문가 시스템의 기본 구성도이다.

본 연구에서는 각 변전소의 FEEDER 전류와 전압은 ON-LINE 데이터로 보선사령실에 전송되어 컴퓨터에 연결되며, 사고복구시 사고구간은 이미 확인되었다고 가정한다.

3. 지식베이스 구성

3.1 데이터 베이스 구조

배전계통을 구성하는 기본요소인 데이터베이스

는 계통을 구성하는 기본 단위를 분기 지점 및 개폐기로 구분하였고, 구간선로의 명칭은 양단 개폐기나 분기의 LIST로 선로의 연결상태를 포함하여 구성하였다. 또한 구간선로의 상태 정보는 선로의 전원측과 부하측을 구분하며 공급 FEEDER명을 포함하도록 하였으며, 이 정보는 자동적으로 계통 상태 파악 규칙에 의하여 데이터가 입력되도록 구성하였다.

데이터 베이스의 종류는 Substation, Main Transformer, Substation Bus, Substation Breaker, Power Line, Power Breaker의 6가지로 구분하였으며 그 중 대표적인 Power Line과 Power Breaker의 2가지를 예를 들면 다음과 같다.

(1) 구간 선로(Power Line)

pow-line ([양단 개폐기명], 선종, 중성선선종, 상수, 완급규격, 공장, 구간부하 설비 합계, 부하의 중요도, 정상상태 정보, 고장여부, 현상태, 현상태 정보, 구간전류, 구간 변압기 TAP 위치)

정상(또는 현) 상태정보: [선로 좌측 FEEDER 정보, 선로우측 FEEDER 정보]

ex) [{"EG10"}, {"EG5"}, [{"EG_D/L"}]]
: 선로 [{"EG5"}, {"EG10"}]은 개폐기 EG5방향으로 부터 전원을 공급받고 있으며 공급 D/L은 "EG_D/L"이다.

(2) 개폐기 또는 분기 및 말단 전주(Power Breaker)

pow_brk (개폐기명, 특성, 종류, 형식, 차단용량, PHASE TRIP 전류, GROUNDTRIP 전류, 자동동작 여부, 정상상태, 고장여부, 현상태)

3.2 선로 상태 추적 지식베이스

배전계통은 일반적으로 방사상(Radial)구조로 되어 있으며, 고장점을 쉽게 탐지할수 있도록 구간 스위치가 개방되어 있다. 따라서 각 부하점은 정상상태에서 1대의 변압기에서만 전력을 공급받게 된다. 부하점 공급 변압기가 2개소 이상인 LOOP 운전이 수행되는 경우가 가끔 있는데 이 경우는 부하절체를 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 배전계통을 기존 프로그램 방식으로 구성하면 계통 데이터베이스 규모에 비례하여 주 프로그램의 규모가 커지고 계통이나 개폐기가 변동될 때마다 주프로그램을 수정해야 하므로 비실용적이다.

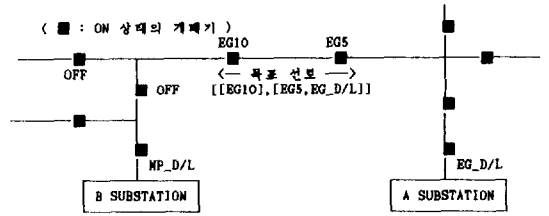


그림 2 선로 상태 파악 예시를 위한 모델 계통도
Fig. 2 Model System for Line State Decision

본 연구에서는 인간이 계통도를 보고 계통 상태를 파악하는 과정에 대한 지식을 규칙베이스로 구성하여 계통의 변동에 관계없이 계통 추적 규칙에 따라 계통상태를 자동적으로 파악할 수 있도록 구성하였다.

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

그림 2는 선로의 상태를 파악하는 추적 예이며 계통상태를 파악하는 규칙은 다음과 같다.

(RULE1) 변전소 내부의 변압기 가압여부와 구내 OCB 등 개폐기 조작상태를 추적하여 각 FEEDER가 가압되어 있는지를 판단하고 데이터베이스에 입력한다.

(RULE2) 목표선로 좌, 우를 개폐기와 선로의 연결상태 정보에 따라 전 선로를 추적한다.

(RULE3) 다음과 같은 조건을 만나면 추적을 중단하고 상태 정보를 저장한다.

- OFF 상태의 개폐기를 만날 때
- 선로의 말단을 만날 때
- 가압된 변전소의 주 변압기 부하측 OCB를 만날 때

(RULE4) 추적동안 생성된 상태정보 데이터 베이스를 검토하여 선로의 상태를 판정한다.

- 어느 1지점 만이 가압된 FEEDER를 만나면 선로는 HOT 상태이다.
- 2개소 이상의 가압된 FEEDER를 만나면 선로는 LOOP 상태이다.
- 1지점도 가압된 FEEDER를 만나지 않으면 선로는 DEAD 상태이다.

3.3 부하절체를 위한 지식베이스

전문가 시스템을 성공적으로 수행하기 위한 가장 중요한 요소 중의 하나는 지식베이스의 양과 질을 높이는 것이다. 따라서 지식베이스를 어떠한 부하절체 상황에도 수행에 문제가 없도록 면밀히 검토하여 구성하여야 하며, 구성된 지식베이스를 적절하게 사실 및 추론엔진과 상호 연결하여야 효율적인 전문가 시스템을 구축할 수 있다.

본 연구에서는 지식베이스를 각 선로의 전압, 전류, 전압강하 계산 등 특성에 따라 MODULE 별로 구성하였으며 각 MODULE은 별도로 자신의 RULEBASE를 가지고 수행된다. 이에 따라 본 시스템은 사용자가 계통 상황을 감시하거나 운용하는 다양한 기능을 이 MODULE로 부터 활용할 수 있는 장점을 지니고 있다.

다음은 각 MODULE 별로 구성된 지식을 RULEBASE로 구성한 예를 나타내고 있다.

(RULE 1) 개폐기 조작에 따른 선로 상태 변화 규칙

배전계통에서 개폐기가 조작되면 선로의 상태 (HOT, LOOP, DEAD)가 변화한다.

(1) 현재 선로의 상태가 HOT(DEAD)이고 조작된 개폐기의 상태가 ON→OFF(OFF→ON)로 변화하면 조작된 개폐기와 부하측 사이의 모든 선로는 DEAD(HOT)상태이다.

(2) 현재 선로의 상태가 LOOP(HOT)이고 조작된 개폐기의 상태가 ON→OFF(OFF→ON)로 변화하면 조작된 개폐기와 부하측 사이의 모든 선로는 HOT(LOOP)상태이다.

(3) 현재 선로의 상태가 HOT이고 변전소의 OCB가 차단되면 해당 FEEDER에서 공급하는 모든 선로는 DEAD상태이다.

(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 ON-LINE으로 데이터를 처리하기에는 소요 비용이 상당히 커서 경제성이 없으므로 본 연구에서는 변전소의 각 FEEDER 전류와 전압을 ON-LINE으로 처리하고 매시간마다 FEEDER 전류를 각 구간별 설비 데이터를 기준으로 비례 배분하여 할당하였으며 그 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 : FEEDER의 공급전류[A]

L_{sum} : 해당 FEEDER에 연결된 구간선로의 설비부하 총계[KVA]

L_1 : 구간선로의 설비부하 총계[KVA]

F : 해당 FEEDER에서 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 RULE2에서 구한 추정부하전류[A]

FL : 해당 개폐기에서 동일 FEEDER로 공급하는 부하측 선로

(RULE 4) 선로의 전압을 파악하는 규칙

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

$$V_{BRK} = V_F - \sum V_{DROP} \quad V_{DROP} = K_1 \times I_{avr} \times Z \times L_{eng}$$

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[Ω/Km] ($Z=R+jX$)

I_{avr} : 구간선로의 평균전류[A]

L_{eng} : 선로 공장[Km]

FS : 해당 개폐기에서 동일 FEEDER로 공급하는 전원측 선로

(RULE 5) FEEDER의 전압강하 및 손실을 파악하는 규칙

부하절체시 평가 지표의 기준이 되는 FEEDER의 전압강하 및 손실은 각 선로의 전압강하와 손실을 누계하여 구한다. 여기서 각 선로의 전압강하는 FEEDER와 해당선로 간의 전압강하 누계이며 손실은 해당선로만을 고려한다.

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

$$V_{FLOSS} = \sum (K_2 \times I_{avr} \times Z \times L_{eng})$$

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

- V_{LOSS} : FEEDER에서 공급하는 전 구간 선로의 손실 누계[VA]
- K2 : 손실계산에서 배전 방식에 의해 결정되는 상수
 $K2=2$ (단상 2선식)
 $K2=3$ (3상 4선식)

4. 최적 부하절체 규칙 베이스 구성

4.1 1회 부하절체 방안 추적 규칙

배전계통의 부하절체 방안을 도출하기 위해서는 계통의 흐름을 정확히 인식하여야 하며, 원하는 정전구역이 정해지면 계통상의 부하절체가 가능한 개폐기를 계통도에서 전부 찾아서 절체시에 발생하는 모든 문제점을 검토하여야 한다.

본 연구에서는 추적 규칙을 통하여 부하절체 방안을 찾는 새로운 형태의 규칙베이스를 개발하였으며, 이 방법은 다중 정전구역이 발생하여도 선로 상호간 미치는 계통 흐름상의 영향을 고려하여 다각적인 부하절체 방안을 제시할 수 있는 장점을 지니고 있다.

다음은 부하절체 방안을 도출하는 추적 규칙베이스의 예이다.

- (RULE1) 원하는 정전구역의 종단 개폐기(정전구역을 표시하는 개폐기)를 모두 차단한다.
- (RULE2) 정전구역의 개폐기 중 전원측에 연결되어 있는 개폐기를 찾는다.(이 개폐기방향은 전원측에 연결되어 있으므로 부하절체가 불필요하다)
- (RULE3) 전원측 정전구역 개폐기를 투입하여 부하측 정전구역 개폐기를 찾고 정전구역 부하측 개폐기별로 부하절체 방안을 검토한다.
- (RULE4) 부하측 정전구역 개폐기를 투입하고 그 방향으로 선로를 추적하여 HOT 상태의 다른 FEEDER와 연결된 OFF 상태의 개폐기를 찾는다.(이 개폐기가 그방향으로 부하절체가 가능한 절체 개폐기이다)
- (RULE5) 정전구역의 부하측 개폐기로 부터 정전구역의 부하측 개폐기마다 절체할 부하량을 계산하여 별도의 데이터베이스에 저장한다.
- (RULE6) 각 절체 개폐기마다 그 방향으로의 절체전과 후의 전압강하 및 손실 차이를 계산하여 별도의 데이터 베이스에 저장한다.
- (RULE7) 각 절체 개폐기마다 절체할 FEEDER 방향으로 추적하여 선로의 보호기기와 해당 FEEDER의 OCB를 찾아내고, 해당 보호기기의

TRIP전류와 절체후 최대 부하전류를 별도의 데이터 베이스에 저장한다.

(RULE8) 각 절체 개폐기마다 공급되는 변전소의 공급 주 변압기를 찾아내어 해당 변압기의 허용전류와 절체후 최대부하전류를 별도의 데이터 베이스에 저장한다.

(RULE9) 정전구역의 모든 부하측 개폐기에 대해 (RULE4)-(RULE8)을 수행한다.

(RELE10) 만일 다중 정전구역으로 인하여 (RELE4)를 수행중 절체 개폐기가 다른 정전구역 개폐기로 확인되면 그 지점에서 (RULE3)부터 다시 수행한다.

4.2 제한조건 검토 규칙

배전계통에서 부하절체는 계통구성에서 가능한 부하절체 방안을 종합적으로 검토하여 최적의 부하절체 방안을 제시하는 것이 중요하다. 이러한 검토에 요구되는 항목은 크게 2가지로 분류된다. 그 한가지는 선로의 허용전류 등 반드시 만족하여야 하는 필수 조건과 전압강하 및 손실 등 비교 평가를 위한 기준인 선택조건이다.

본 연구에서는 필수조건으로 선로의 허용전류, 보호기기의 TRIP 전류, 변압기 용량을 고려하였고 선택조건으로는 전압강하와 손실을 포함하였다. 여러 절체방안에서 필수조건을 만족하는 방안 중에 선택조건을 비교 검토하여 최적의 부하절체 방안을 제시하였으며, 만일 1회 절체방안 전부가 필수조건을 만족하지 못하면 2회 절체방안을 검토하도록 구성하였다.

다음은 제한조건 검토 RULE 예시이다.

- (RULE1) 부하절체후 최대부하전류는 선로의 허용전류, 보호기기의 최소 TRIP 전류, 주변압기 허용전류의 80%를 초과하지 않아야 한다.
- (RULE2) 1회 절체방안 모두 필수조건을 만족하지 않으면 2회 절체방안을 검토한다.
- (RULE3) 여러 부하절체 방안 중 전압강하와 손실이 가장 적은 방안을 선택한다.

4.3 2회 이상 절체방안 추적 규칙

배전계통에서 1회 절체 방안이 필수조건을 만족하지 못하면 2회 이상 절체방안을 검토하여야 한다. 지금까지 제안된 방법은 임의의 한 절체 개폐기를 선정하여 가능한 부하량 만큼의 절체구간을 우선 넘겨주고 잔여 절체부하는 나머지 절체 개폐기가 감당하도록 구성하였으나, 이는 처음 기준이 되는 절체 개폐기 선정에 따라 평가지표가 달라지므로 최적의 부하절체 방안을 제시하는 데는 문제

점이 있어 왔다.

본 연구에서는 부하측 정전구간 개폐기와 각 절체 개폐기 사이의 모든 개폐기를 2회 절체 분기점으로 가정하여 각각의 모든 경우에 대하여 필수조건과 선택조건을 검토함으로써 최적의 부하절체 방안을 제시할 수 있도록 구성하였다.

다음은 2회이상 최적 절체 방안을 제시하는 규칙 예시이다.

(RULE1) 부하측 정전구역 개폐기에서 부터 부하측으로 계통을 추적하면서 각 개폐기를 2회 절체 분기점으로 하는 모든 절체 방안을 추출하여 별도의 데이터 베이스에 부하절체에 관련된 모든 정보를 입력한다.

(RULE2) 선로의 말단이나 OFF 상태의 개폐기를 만나면 추적을 중단한다.

(RULE3) 입력된 부하절체 정보를 기초로 필수조건과 선택조건을 검토하여 최적의 부하절체 방안을 제시한다.

(RULE4) 2회 절체 방안에도 필수조건이 만족되지 못하면 RULE1)으로 복귀하여 3회절체 방안을 동일한 방법으로 계속 수행한다.

5. 사례연구 및 결과고찰

전문가 시스템은 논리적인 문제를 적절히 수행하기에 편리한 언어를 사용하는 것이 중요한 문제

이다. 본 연구에서는 규칙 베이스 방식인 PROLOG 언어를 사용하여 개발하였다. 이 언어

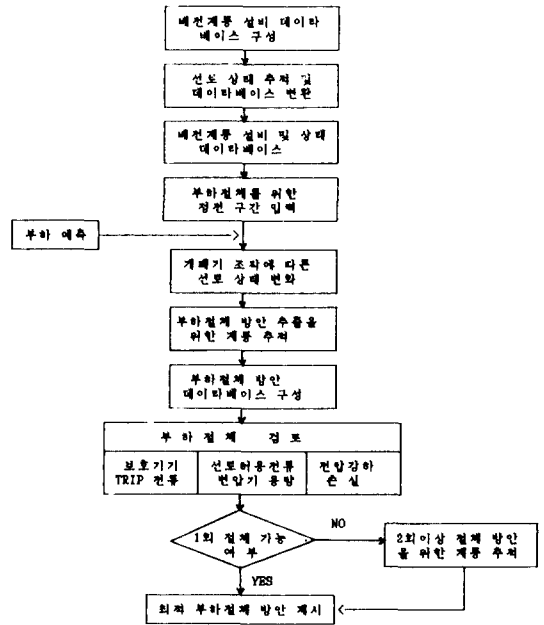


그림 3 최적 부하절체 전문가 시스템 흐름도
Fig. 3 Flow Chart of Expert System for Optimal Load Transfer

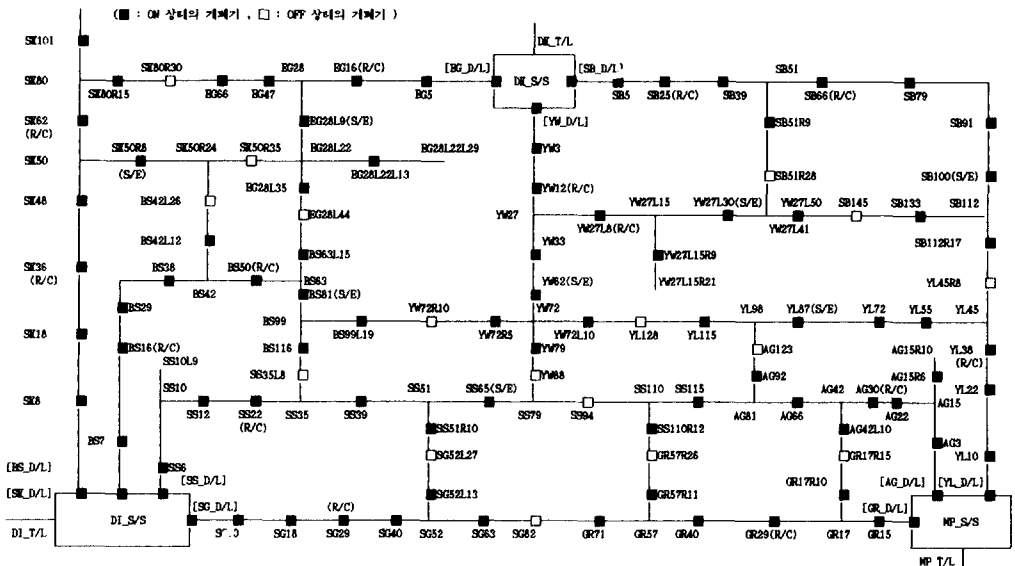


그림 4 모델 계통도
Fig. 4 Model System

는 계통 추적에 편리한 BACKWARD 방식의 추론 구조로 되어 있고, 변화하는 데이터량을 유연성을 가지고 운용할 수 있는 LIST 기능을 보유하고 있으며, DEPTH OF SEARCH 방식으로 구성되어 있다.

전문가 시스템 개발에 사용된 컴퓨터는 32 BIT의 IBM-PC를 사용하였고, PREDICATES는 약 50개이며 규칙 베이스는 약 200개 정도이다.

전문가 시스템은 사용자의 편리성을 충분히 고려하여 구성하여야 하므로 본 연구에서는 MAN-MACHINE INTERFACE를 구성하였다. 이 방식은 사용자가 메뉴를 통하여 원하는 부하절체 목적을 제시하면 컴퓨터는 수행 과정에 필요한 정보를 질문과 응답을 통하여 입수한다. 정보의 입력이 완료된 후 자동적으로 최적 부하 절체 방안을 검토 제시하게 된다.

그림 3은 부하절체 전문가 시스템이 수행되는 전체적인 흐름도이다.

본 연구에서 제안한 방법의 효용성을 입증하기 위해서 한전 서부지점 실계통을 기초로 모델계통을 구성하여 전문가 시스템을 적용하였다. 적용 사례는 사고복구 및 정전작업시에 관련된 3가지 경우를 고려하였으며, 각 경우마다 제시하는 부하 절체 방안을 우선순위 순서로 제시함으로써 운전원이 현장 여건을 고려하여 선택할 수 있도록 하였다. 그림 4는 사례연구를 위한 모델 계통도이다.

(사례 1) 계통 사고복구를 위한 부하절체

사고가 BS29과 BS38 사이에서 발생하여 BS16 RECLOSER가 차단되었을 때 사고복구동안 사고 구간을 제외한 DEAD 선로를 타 FEEDER로 절체하는 방안을 전문가 시스템은 다음과 같이 제시하

였다.

- 결과 1) BS16과 BS29 사이의 전원측 절체 방안은
 - BS29를 절분하고 BS16을 투입하여 BS-D/L로 절체
- 2) BS38 이후의 부하측 절체 방안은
 - BS38를 절분하고 BS24L26을 투입하여 SK_D/L로 절체 또는
 - BS38을 절분하고 EG28L44을 투입하여 EG_D/L로 절체 또는
 - BS38을 절분하고 YW72R10을 투입하여 YW_D/L로 절체 또는
 - BS38을 절분하고 SS35L8을 투입하여 SS_D/L로 절체

위의 결과 1)은 정전구간을 사고전에 공급하였던 동일한 FEEDER로 공급할 수 있으므로 제한 조건을 검토할 필요가 없이 반드시 수행하여야 하는 전원측 절체 방안이며, 결과 2)의 부하측 절체 방안은 위의 4가지 방안 가운데 제한 조건을 검토하여 최적절체방안을 제시하여야 한다. 표 1은 부하측 절체방안을 검토한 결과이며, 최적 부하절체 방안은 BS42L26 개폐기를 통하여 SK_D/L로 절체하는 방안이다. 여기서 SS35L8 개폐기를 통한 절체방안은 최대 부하전류가 SS22 RECLOSER의 TRIP 전류를 초과하므로 절체를 원하면 RECLOSER의 TRIP전류 SETTING치를 변경하여야 한다.

(사례 2) 정전작업시 다중 정전구간을 고려한 부하절체

사고예방이나 정전작업시에는 작업구간만을 정전시키기 위하여 부하절체를 수행하는데, 본 시뮬레이션에서는 작업구간이 분산되어 있는 경우를 고려하였다. 정전구간을 YW3과 YW12 사이의와

표 1 부하측 부하절체 제한조건 검토표
Table 1 Comparison Table of Load Transfer Constraint

우선순위	절체 방안 (절체FEEDER)	선로의 허용전류	보호기기 TRIP 전류	변압기 용량	전압강하 누계 [V]	손실누계 [KVA]
1	BS42L26 ON (SK_D/L)	PASS	PASS	PASS	2,521	26.79
2	EG28L44 ON (EG_D/L)	PASS	PASS	PASS	3,447	38.34
3	YW72R10 ON (YW_D/L)	PASS	PASS	PASS	7,660	77.70
4	SS35L8 ON (SS_D/L)	PASS	NONPASS	PASS	7,433	91.81

YW33과 YW62사이로 정하였을 때의 최적 부하 절체방안을 전문가 시스템은 다음과 같이 제시하였으며, 제한조건을 고려하여 최적 부하절체 방안을 제시하는 방법은 (사례 1)과 동일하므로 생략하였다.

- 결과 1) 전원측 개폐기인 YW3을 절분한다.
 2) YW12와 YW33사이 구간의 절체 방안은
 — YW12와 YW33을 절분하고 SB51R28을 투입하여 SB_D/L로 절체 또는
 — YW12와 YW33을 절분하고 SB145을 투입하여 SB_D/L로 절체
 3) YW62이후의 절체 방안은
 — YW62를 절분하고 YW72R10을 투입하여 BS_D/L로 절체 또는
 — YW62를 절분하고 YW88을 투입하여 SS_D/L로 절체
 — YW62를 절분하고 YL128을 투입하여 YL_D/L로 절체

(사례 3) 변전소 주변압기 사고나 보수시 부하절체

변전소 주변압기의 사고나 보수작업시 해당 변압기에서 공급하는 모든 FEEDER를 타 FEEDER로 부하절체 하여야 하는 경우가 발생된다. 이 경우는 절체하는 부하가 크고 한 FEEDER의 절체방안이 다른 FEEDER의 절체에 영향을 주므로 다양한 검토가 필요하다. 개발된 전문가 시스템은 이 경우에도 모든 조건을 검토하여 최적의 부하절체 방안을 제시할 수 있도록 구성되어 있다. 시뮬레이션을 위한 주변압기 사고는 DK 변전소 전체로 하였으며 다음은 전문가 시스템이 제시하는 절체 방안이다. 이 경우도 제한 조건을 검토하는 방법이 (사례 1)과 동일하므로 생략하였다.

- 결과 1) EG_D/L 전체의 부하절체 방안은
 — EG_D/L OCB를 절분하고 SK80R8을 투입하여 SK_D/L로 절체
 — EG_D/L OCB를 절분하고 SK50R35을 투입하여 SK_D/L로 절체 또는
 — EG_D/L OCB를 절분하고 EG28L44을 투입하여 BS_D/L로 절체 또는
 2) YW_D/L 전체의 부하절체 방안은
 — YW_D/L OCB를 절분하고 YW72R10을 투입하여 BS_D/L로 절체 (1항에서 BS_D/L로 절체가 되었으면 제외)
 — YW_D/L OCB를 절분하고 YW88을 투입하여 SS0D/L로 절체
 — YW_D/L OCB를 절분하고 YL128을

투입하여 BS_D/L로 절체 (1항에서 YL_D/L로 절체가 되었으면 제외)

- 3) SB_D/L 전체의 부하절체 방안은
 — SB_D/L OCB를 절분하고 YL45R8을 투입하여 YL_D/L로 절체

6. 결 론

본 연구에서는 배전계통의 운용에 있어서 계통 사고나 정전작업시에 필수적으로 수반되는 부하절체에 관한 전문가 시스템을 개발하였다. 이 전문가 시스템은 계통의 구성을 인식하는 방법을 규칙 베이스로 구성하여 계통의 변경이나 개폐기 조작시에도 적용할 수 있도록 하였으며, 부하절체 방안을 제시하는 새로운 규칙 베이스를 개발함으로써 다중 정전 작업시에도 복합적인 여러 상황을 판단하여 최적의 부하절체 방안을 제시할 수 있도록 하였다. 또한 여러가지의 절체 방안이 도출되면 각 안에 대한 필수조건인 선로의 허용전류와 보호기기의 TRIP 전류 그리고 변압기 용량을 검토하여 절체가 가능한지를 검토하고, 여기에 통과되면 전압강하와 손실을 계산하여 최적의 절체 방안을 선택 제시할 수 있어 계통 운용을 효율적으로 수행할 수 있도록 하였다.

개발된 시스템의 효용성을 입증하기 위하여 계통 사고 및 정전작업에 관한 3가지 사례를 가지고 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과 만족할 만한 최적 부하절체 방안이 제시되었다.

따라서 개발된 전문가 시스템을 적절히 활용함으로써 계통의 오조작으로 인한 불필요한 정전을 감소시키고, 정전 시간을 단축하며, 전압강하 및 전력손실을 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 개발된 전문가 시스템을 배전자동화에 연계하여 변전소 및 선로의 상태를 ON-LINE으로 취득할 수 있다면 부하절체 결과에 대한 신뢰도는 더욱 증진될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 주로 계통 사고나 정전작업시에 수행하는 부하절체를 고려하였으나 배전계통의 최적 운용을 위한 FEEDER 재구성에서 수행되는 부하절체도 개발된 전문가 시스템을 응용할 수 있는바, 지속적인 관련 연구를 추진할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Chen-Ching Liu, Seung Jse Lee, S.S. Venkata, "An Expert System Operational Aid for

- Restoration and Loss Reduction of Distribution System”, IEEE Trans. Power System, vol. 3, No. 2, May 1988.
- [2] Kevin Tomsovic, Chen-Ching Liu, Paul Ackerman and Steve Pope, “An Expert System as a Dispatcher’s Aid for the Isolation of Line Section Faults”, IEEE Trans. Power Delivery, vol. PWRD-2, No. 3, July 1987.
- [3] K.Aoki, T. Satoh, M. Itoh, H. Kuwabara, M. Kanexashi, “Voltage Drop Constrained Restoration of Supply by Switch Operation in Distribution System.”, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 3, No. 3, July 1988.
- [4] S.Civanlar, J.J. Grainger, Ho Yin, S.S.H. Lee, “Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction.”, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 3, No. 3, July 1988.
- [5] Chen-Ching Liu, Kevin Tomsovic, “An Expert System Decision-making of Reactive Power/Voltage Control.”, IEEE Trans. Power System, Vol. PWRS-1, No. 3, August 1986.
- [6] 김윤동, 최병윤, 문영현, 송경빈, “배전계통 선로상태 파악을 위한 전문가 시스템” 전기학회 추계학술대회, 1988