

배전계통 선로상태 파악을 위한
전문가 시스템

김 운동 최 병운
한전 기술연구원

문 영현 송 경빈
연세대학교

Expert System for Line State Recognition of Distribution System

Yoon-dong Kim Byoung-youm Choi
Reserch Center KEPCO

Young-hyun Mun Kyung-bin Song
Yonsei University

ABSTRACT - With the increase of size and complicity of power systems, distribution system need to operate effectively for high reliability.

In order to achieve this purpose, the study which apply expert system to operating plan, restoration on fault and distribution system operating, has developing actively. The essential element of the study is system line state which make a system observe. The development of expert system on power system operation make a system be able to judge state of loading and looping system line, related current direction, substation, and distribution line, atomatically by breaker operation.

Finally, this paper developed expert system which decides itself atomatically by rules for deciding system line state.

1. 서론

최근 배전계통의 설비는 대응량화 다양화되고 복잡화되어가고 있는 추세인 바 신뢰성 높은 전력을 공급하기 위해서는 배전계통의 합리적 운전이 요구되고 있다. 이에 따라 계통 운전계획, 사고복구 등 배전계통 운용에 관한 전문가 시스템의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 전문가 시스템 개발에 있어서 필수적인 요소는 계통 선로상태의 확인이다. 즉 계통 선로의 가압 및 LOOP 여부, 전류 방향, 공급변전소와 공급배전선불 개폐기 조작에 따라 자동적으로 판단할 수 있어야 계통 운용에 관한 전문가 시스템의 개발이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 계통선로의 상태를 규칙에 의하여 자동적으로 판단하는 전문가 시스템을 개발하였다.

2. 본 본

< 계통을 구성하는 데이터 베이스 >

일반적으로 배전계통은 SCADA나 급전계통과는 달리 선로의 규모가 방대 하고 선로의 변경이 빈번하다. 또한 계통의 운전 조건은 주위 상황변화에 의하여 수시로 변동된다.

만일 이러한 계통의 데이터 베이스를 기존 프로그램으로 구성하면 이 데이터베이스를 이용한 주 프로그램의 규모가 데이터량에 비례하여 커지고, 계통의 변경이 이루어 질 때마다 데이터베이스의 수정 뿐만아니라 주 프로그램도 수정해야 하기 때문에 시간과 인력의 낭비가 크다.

따라서 본 연구에서는 인공지능 언어 (PROLOG) 를 이용하여 계통의 복잡 성에 관계없이 간단한 주 프로그램으로 수행이 가능하고, 계통이 변경하여도 주 프로그램의 수정이 불필요하도록 구성하였다.

또한 데이터베이스 구성 방법에 있어서 각 설비 데이터를 독립적인 데이터로 간주하고 각 설비의 연결 상태를 고려하여 전체의 배전계통을 구성하였다. 이 방법을 사용함으로써 사용자가 계통 구성과 계통 변경시의 데이터베이스 수정작업을 편리하게 할 수 있도록 하였다.

다음은 배전계통의 데이터베이스를 구성하기 위한 설비의 입력 내용이다.

- 변전소 : 변전소명, 수전단 개폐기명, 송전단 개폐기명
- 변전소 주 변압기 : 변압기명, 변압기 1차측 전압, 변압기 2차측 전압, 연결된 개폐기명
- 선로 : 연결된 개폐기명 (선로명), 선로 종류 (LINE, BUS), 선로 전압 (22.9KV, 6.6KV), 선로 고장여부 (NORMAL, ABNORMAL)
- 개폐기 : 개폐기명, 개폐기 종류 (M.Tr-S-OCB, D/L-OCB, I/S, R/S, O/S 등), 개폐기 고장여부

(NORMAL, ABNORMAL), 개폐기 상태(ON, OFF)

위의 데이터 베이스를 기초로 하여 개폐기 조작에 따른 선로 상태 확인 프로그램을 통하여 나타나는 결과는 다음과 같으며 이 출력도 자동적으로 데이터 베이스로 만들어 저장된다.

- 선로 상태 : 연결 개폐기명 (선로명), 공급 변전소, 공급 D/L, 선로상태 (LOOP, HOT, DEAD)

< 계통 상태를 판단하는 규칙 베이스 >

일반적으로 선로의 가압여부 및 전류방향은 배전계통의 구성방법과 개폐기 조작 등에 의하여 결정된다. 따라서 이러한 데이터는 자동적으로 RULE 과 FACT 에 의하여 선로를 추적하여 판단하도록 하는것이 바람직하다.

본 연구에서는 인공지능 언어 (PROLOG) 를 이용하여

- 계통을 구성하는 RULE
- 계통을 추적하는 RULE
- 선로 상태를 파악하는 RULE 의 3 단계로 구성하였다.

(1) 계통을 구성하는 RULE

계통을 구성하는 RULE은 데이터베이스로 부터 입력된 데이터를 근거로 계통을 구성하도록 되어 있으며 그 예는 다음과 같다.

- 변전소 전원측 BUS는 송전단측 OCB와 주 변압기 전원측 OCB와 연결된다.

```
powline([마포S/S-T/L-L-OCB, 마포S/S-P.Tr#1-S-OCB], S-BUS, 6.6KV, NOM)
```

```
breaker(마포S/S-T/I-L-OCB, T/I-L-OCB, NOM, ON)
```

```
breaker(마포S/S-P.Tr#1-S-OCB, P.Tr#1-S-OCB, NOM, ON)
```

- 배전선 양단은 개폐기와 연결된다.

```
powline([마포간13호, 마포간27호], CABLE, 6.6KV, NOM)
```

```
breaker(마포간13호, O/S, NOM, ON)
```

```
breaker(마포간27호, O/S, NOM, OFF)
```

(2). 계통을 추적하는 RULE

계통을 추적하는 RULE은 처음에는 배전계통 전 선로의 상태를 파악하고 그 결과를 데이터베이스로 만들어야 하므로 모든 선로는 각각 연결되는 모든 계통을 추적한다. 일단 상태 데이터베이스가 만들어진 후에는 필요한 선로구간만을 추출하여 추적하면 된다. 선로의 추적방법은 PROLOG의 LIST 와 MEMBER기능 그리고 PROLOG 자체에 포함되어 있는 TRACE 기능을 이용하였다.

여기서 변전소 내부 계통과 일부 송전계통도 포함해서 추적하였으며 앞으로 부하절계 연구를 고려하여 추적하였다.

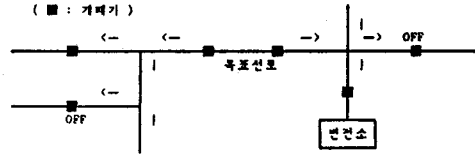


그림 1 계통 추적도

위의 그림1 예시와 같이 상태를 알기 원하는 구간의 선로를 정하고 그 양단을 전부 추적하는 데 어느 조건에 의하여 추적은 중단된다. 이 중단되는 조건은 RULE에 의하여 제시하며 중단되는 지점의 명칭이 데이터베이스로 저장된다. 이 새로운 데이터베이스가 선로상태를 결정하는 중요한 데이터이다.

추적을 중단시키는 조건은 다음과 같다.

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

(3). 선로상태를 파악하는 RULE

선로 상태를 파악하는 일은 위에서 구한 데이터를 이용하는 데 관련 RULE은 다음과 같다.

- 추적이 중단되는 지점이 전부 OFF 상태의 개폐기나 선로 말단이면 목표선로는 " DEAD 상태 " 즉 선로가 가압되지 않은 상태이다.

○ 어느 1 지점만이 가압된 변전소의 주 변압기 부하측 OCB를 만나고 나머지가 OFF 상태의 개폐기나 선로 말단이면 목표선로는 " HOT 상태 " 즉 1 D/L 에서만 전력이 공급되는 정상 운전되는 선로이다.

○ 2 지점 이상이 가압된 변전소의 주 변압기 부하측 OCB를 만나고 나머지는 위와 동일하면 목표선로는 " LOOP 상태 " 즉 2 D/L 이상 전력이 공급되는 비정상 상태로 운전되는 선로이다.

이러한 RULE에 의하여 각 선로의 상태와 해당 변전소 및 D/L 명이 새로운 데이터베이스로 만들어 지며 이것이 최종 결과이다.

< 개발된 전문가 시스템 프로그램 >

(1). 프로그램 내역

- 사용언어 : PROLOG , IBM-PC 용 TURBO-PROLOG 에서 수행

o 입력 : 계통구성 데이터베이스 FILE
Screen (Keyboard)

o 출력 : 계통상태 #1 데이터베이스 FILE
계통상태 #2 데이터베이스 FILE
Screen

o 데이터베이스 : 입력 : 총 4 종
출력 : 총 3 종

o Predicates : 총 37 종
o RULE 및 FACT 의 수 : 총 63 개

(2). 프로그램 구성

o 비전계통 구성 FILE 입력 및 출력 FILE 자동 형성

```
- db_file:-write( "Data Input File Name ? "
),read(Datafile).
```

o 개폐기 조작

```
- op_brk:-write( "The Breaker Name to operate
? "),readln(Brk),
```

```
write("The current State of ",Brk,
```

```
" : ",State1),nl,
```

```
write("The next State ( ON,OFF ) ?
```

```
"),readln(State2),
```

```
write("The changed State of ",Brk,"
```

```
: ",State3),nl,
```

```
write("Do you want to operate
```

```
another breaker (y,n) ? " ),
```

```
readln(Answer).
```

o 전 선로 상태 파악 지시

```
- find_cur : 프로그램 RUN 지시 Predicate
```

o 출력 데이터베이스 3 종 자동 형성

```
- db_current1(lineidlist,linech,brkid,symbol)
```

: 모든 선로가 계통 추적이 중단되는 지점의
개폐기 데이터 저장

```
- db_current2(brkid,brkch,brkid,symbol)
```

: 변전소 내의 모든 개폐기가 계통 추적이
중단되는 지점의 개폐기 데이터 저장

```
- line_current(lineidlist,brkidlist,brkidlist
,symbol)
```

: 모든 선로의 계통상태와 공급 변압기,
공급 D/L 데이터 저장

o 임의의 선로 상태 파악 및 분석 (예시)

```
- line_current(Lineidlist,Brkidlist,Brkidlist,
```

```
"DEAD") : 선로가 DEAD 상태인 데이터를
```

Screen 에 Display 하시오

< 모델 계통예의 적용 예 >

(1). 모델 계통 구성

본 프로그램의 적용을 위하여 한전 서부지점의
계통 일부를 발취해서 모델 계통을 구성하였으며
여기에 변전소 내부 계통도 포함하였다.

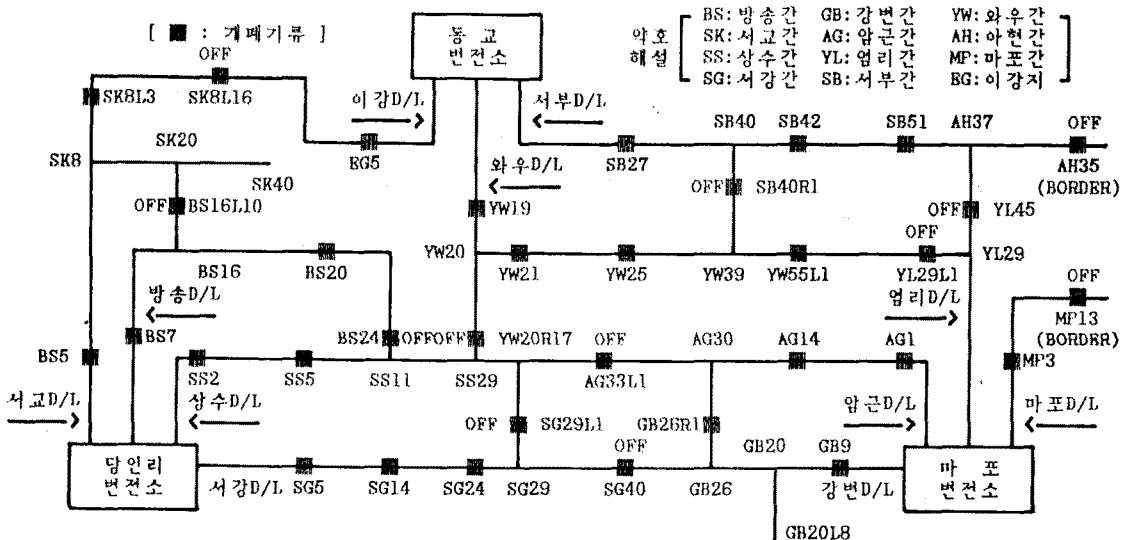


그림 2 모델 배전 계통도 (한전 서부지점)

배전계통 선로상태 파악을 위한 전문가 시스템

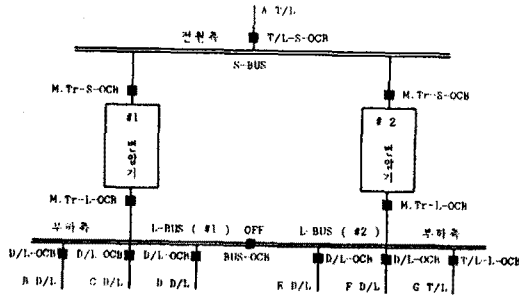


그림 3 변전 계통 예시

(2). 적용 결과

그림 2와 3의 계통을 적용하여 개폐기 조작과 계통 변경을 다양하게 시도한 결과 계통상태가 실제 상황과 같게 출력이 Display 되었다. 표1 은 그림 2의 계통도에서 서강간 24호 O/S를 OPEN 하고 와우간 20R17호 O/S를 CLOSE 하였을 때 나타나는 출력의 일부분이다.

3. 결론

본 연구에서는 계통 상태를 파악하는 전문가 시스템을 개발하였으며 그 개발 내용은 다음과 같다.

- 배전계통의 선로를 추적하는 방법 개발
- 배전계통의 선로 상태를 파악하는 방법 개발 또한 개발된 전문가 시스템의 장점은 다음과 같다.
- 인공지능 언어를 사용함으로써 방대한 비전설비데이터의 규모에 관계없이 주 프로그램의 구성이 가능하며 프로그램도 간단하다.
- 계통 설비 데이터의 수정시 주 프로그램의 수정이 불필요하여 시간과 인력이 절약된다.
- 계통 데이터의 입력 및 수정이 간단하다.

개발된 전문가 시스템은 휴전이나 사고 정전시 개폐기 조작 현황에 따른 정전구간을 자동적으로 파악할 수 있어 정전정보에 활용이 가능하고, 운전원이 계통운전에 따른 선로 현황을 정확히 파악할 수 있어 운전원의 계통운용의 지원에도 활용될 수 있다.

또한 개발된 전문가 시스템이 계통 운용을 위한 전문가 시스템 개발에 있어서 필수적으로 해결되어야 하는 문제인 만큼 그 결과를 활용하여 앞으로 계통 운용 연구에 크게 기여할 것으로 기대된다.

선로 병	공급 M.Tr	공급D/L	상태
서강D/L OCB-서강간 5호	당인리 변전소 M.Tr#1-L-OCB	서강D/L	HOT
서강간 5호-서강간14호	"	"	HOT
서강간14호-서강간24호	"	"	HOT
서강간24호-서강간29호	-	-	DEAD
서강간29호-서강간40호	-	-	DEAD
서강간40호-강변간26호	마포 변전소 M.Tr#1-L-OCB	강변D/L	HOT
와우간11호-와우간20호	동교 당인리 변전소	와우D/L 상수D/L	LOOP
와우간20호-와우간20R17호	동교 당인리 변전소	와우D/L 상수D/L	LOOP
상수간 5호-상수간11호	동교 당인리 변전소	와우D/L 상수D/L	LOOP
상수간11호-상수간29호	동교 당인리 변전소	와우D/L 상수D/L	LOOP
이 하 생략			

표 1. 출력

4. 참고 문헌

- (1). Borland, " Turbo Prolog ", Borland International INC., 1986
- (2). Bruce F. Wollenberg, Toshiaki Sakaguchi, " Artificial Intelligence in Power System Operations ", Proceedings of the IERE, Vol 75, Dec 1987
- (3). David I-Ho Sun, " Distribution System Loss Analysis and Optimal Planing ", The University of Texas at Arlington, May 1980
- (4). Donalds A Waterman and Douglas B. Lenat, " Building Expert System ", 1983
- (5). Donalds A Waterman, " A Guide to Expert Systems ", Addison- Wesley Publishing Company, 1985
- (6). Kelvin Tomsovik, Paul Ackerman, Ateve Pope, " An Expert System as a Dispatcher's Aid for the Isolation of Line Section Faults ", IERE Transaction on Power Delivery, Vol.PWRD-2, No3, July 1987
- (7). Show-Kang Chang, " Distribution Load Flow Automation ", The University of Texax at Arlington, May 1982