

전력계통의 고장점 판별에 대한

전문가 시스템 연구

°姜東求·金廷河·朴圭弘·鄭在吉·

* 中央大學 · ** 大林專門大

A Study on The Expert System for Finding Fault Section of Power System

°Dong-Ku Kang · Jeong-Ha Kim · Kyu-Hong Park · Jai-Kil Chung ·

* Chung-Ang University · ** Dae-Lim Jr. College

Abstract

Since power systems tend to be more large and complex, expert system substituted for the decision-making achieved by the power system operation expert is required.

So far, expert system has been used for fault diagnosis and voltage-reactive power control and so on.

In the expert system developed using 'C' language, the faulted element is estimated using the AND operation of lists which are acquired from the information on operated relays.

It is also considered to identify the misoperation of protective devices using CF(Certainty Factor), and operation failure of those using the data base of parameter group list.

The developed expert system is applied to a 6-bus sample system and through the case studies, It is shown that the expert system is very useful.

1. 서론

전력계통의 고장 발생시, 보호기기들의 동작 정보를 받아 즉각적으로 고장 구간을 찾아 차단 및 복구를 시켜주어야 한다. 이때, 보호기기들이 모두 정동작할 경우엔 고장부분만 선택, 차단하게 되어 아무런 문제가 없으나 보호기기들이 오동작 또는 부동작을 할 경우에는 차단구간이 점차 확대되어 큰 문제를 발생할 수 있다. 그러므로 사고구간을 신속, 정확히 판정하여 보호기기의 오, 부동작에 의하여 차단된 구역은 복구조치를 취하여야 한다.[1] 전력계통 대형화, 복잡화되고 있으므로 운용의 신속성과 정확성을 높이기 위해 전력계통 운용 전문가의 판단을 일부 대신할 수 있는 전문가 시스템이 필요하게 된다.

지금까지, 고장진단 및 진압-무효전력제어 등의 전문가 시스템이 개발되어 왔으나 전문가 시스템을 위와 같은 분야에 적용시, 신뢰도를 고려하면 여러가지 복잡한 문제들이 발생하기 때문에 신뢰도가 효과적으로 표현되지 못했다.

본 연구에서는 계통의 선로, 보선, 부하, 전원과 같은 계통의 구성요소를 일반적인 표현방법으로 고찰하고, 위의 구성요소와 연결된 보호계전기 및 차단기의 정보를 AND 결합하여 고장구간을 추정하였고, 고장구간 추정후 매개변수 구조의 데이터를 이용하여 그 구간에서 동작하지 않은 보호기기를 부동작으로 처리했으며, 오동작은 전문가 시스템에서 표현하는 신뢰도(CF)를 이용하여 오동작을 판단해 보았다.

2. 전문가 시스템의 구성

2.1 전체 전문가 시스템의 구성

전문가 시스템은 추론기관이 지식베이스와 사실만으로 된 자료를 가지고 추론해낸 전문가적인 지식을 전문가가 아닌 사용자가 쉽게 얻을 수 있는 시스템이다.

본 연구에서는 지식베이스를 구축할 수 있는 편집기(editor)를 갖추고 있고 결론에 도달한 과정 또는 이유를 설명하기 위해 'How' 기능이 있다. 이것은 결론이 나오기까지의 '사실 목록(Fact List)'을 보여줌으로써 결론 도출을 설명할 수 있다.

2.2 전문가 시스템 구성의 자료 구조

전문가 시스템을 구성하기 위해 아래와 같은 세 가지 자료구조를 설정하였다.

2.2.1 규칙구조

```
typedef struct rulebase{  
    char rule_id[10];  
    IF *if_part;  
    THEN *then_part;  
}RB;  
여기서 IF 부분과 THEN 부분은 단일방향 연결고리(Single Linked-list)를 사용해서 정의하였다.  
typedef struct premise{  
    char attrib[10];  
    char parm[15];  
    char value[10];  
    struct premise *next;  
}IP;  
typedef struct result{  
    char parm[15];  
    char value[10];  
    char cf[10];  
    struct result *next;  
}TR;
```

이하에서는 위와 같은 형태를 'rule'상의 'if part'와 'then part'로 정의하였다.

2.2.2 매개변수 구조

```
typedef struct parm_group{  
    char parm[15];  
    char trans[80];  
    char neg_trans[80];  
    char typeval[20];  
    char oper_check[20];  
}PG;
```

계통요소를 표현하는 구조이다.

2.2.3 문구 구조

```
typedef struct text_group{  
    char text_id[10];  
    char text[300];  
}TG;
```

2.3 주론 기관

2.3.1 주론방법

주론 방식은 후진 연쇄 방법(The Backward-Chaining Method)을 사용하여 'rule'를 조사하게 하였다. 'rule'조사시, 'Try_rule'이라는 함수를 이용하여 신뢰도값을 둘러받아 그 'rule'의 성립여부를 결정하게 하였다.

2.3.2 신뢰도

본 연구에서 신뢰도를 구하는 방법은 다음과 같다.
'rule'상에서, 'if part'에서는 신뢰도가 가장 작은 값을 택했으며 'then part'에서는 가장 큰 값을 택하였고 후진 연쇄 방법으로 추론시 'test_if'라는 함수를 썼는데 여기에서는 ' $A+B-A*B$ '의 형태를 사용하여 신뢰도를 구하였다. 'rule'의 최종 신뢰도값은 'if part'의 값과 'then part'의 값의 곱으로 구하였다.

2.3.3 신뢰도의 적용

보호기기의 동작을 판단하기 위해 전문가 시스템에서 제공하는 신뢰도를 이용하였다. 고장 발생에 대하여, 주보호계전기 동작에는 '90', Z1계전기의 동작에는 '50' Z2계전기의 동작에는 '40'이라는 수치로 정하였다.

계전기 및 차단기 동작에서 신뢰도가 어느 수치 미만(본 연구에서는 '45')이면 이것을 동작으로 판정하였다. 여기에서 '45'라는 수치는 Z2계전기 하나만 동작하였을 때의 신뢰도가 '39'라는 것과 Z1계전기 하나만 동작하였을 때의 신뢰도가 '44'라는 것을 고려하여 Z1계전기 또는 Z2계전기 하나만 동작하면 오동작일 가능성이 높다고 판단하여 그보다 큰 수치인 '45'로 하였다.

3. 고장점 추정 방법

3.1 보호기기 동작의 정의

- 1) 정동작: 보호구간에서 고장 발생시 동작하여야 할 기기가 정상적으로 동작하였을 경우
- 2) 부동작: 보호구간에서 고장 발생시 동작하여야 할 기기가 동작하지 않았을 경우
- 3) 오동작: 보호구간에서 고장이 발생하지 않았는데 동작하지 않아야 하는 기기가 동작하였을 경우 [1]

3.2 보호기기 정의 및 보호구간

전력계통에서 보호 시스템을 구성하는 기기들은 사고발생시 계통을 보호하기 위하여 한개의 차단기에 여러개의 계전기 'OR 결합' 또는 'NAND 결합' 형태로 설치되어 다중보호망을 형성하고 있다.

본 연구의 주된 목적은 사고구간을 추정하는 것으로 각 계전기의 특성은 고려하지 않았고 사용되는 계전기를 다음과 같이 분류하였다.

- 1) 주보호계전기: 일차 보호용 계전기이다.
- 2) 후비보호 계전기: 거리 계전기 중 다음과 같은 2가지만 고려하였다.
- a.Z-1 계전기: 통상 선로의 85% 구간을 보호하고 1차 주보호 계전기로도 사용되며 대략 2cycle 만에 동작한다.
- b.Z-2 계전기: 대개 120~150% 정도의 동작치를 설정하여 Z-1 계전기와는 20cycle 정도의 시차를 둔다.
- 3) 지락보호 계전기: 지락사고 판별에 사용한다.
- 4) 단락보호 계전기: 단락사고 판별에 사용한다. [2]

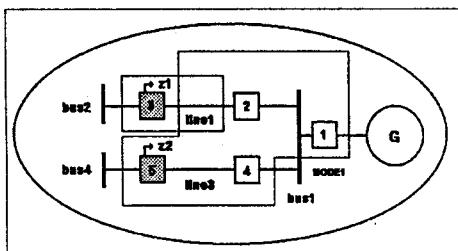


그림 1. 모의 계통도 #1
Fig 1. Sample network #1

그림1은 보호기기들의 보호범위를 나타내고 있다.

3번 차단기의 Z1계전기가 동작하면 그 보호구간은 1번 선로이고 동작정보는 다음과 같다. (CB3_Z1, G) 여기에서 'CB3_Z1'은 3번 차단기의 Z1계전기가 동작하였음을 뜻하고 'G'는 지락보호 계전기가 동작하였음을 나타낸다.

5번 차단기의 Z2계전기가 동작하면 그 보호구간은 1번, 3번 선로와 1번 모선 그리고 1번 노드이고 동작정보는 다음과 같다. (CB5_Z2, S) 여기에서 'CB5_Z2'는 5번 차단기의 Z2계전기가 동작하였음을 나타내고 'S'는 단락보호 계전기가 동작하였음을 나타낸다.

그림2와 같이 11번 차단기의 Z1계전기가 동작하고 2번 차단기의 Z2계전기가 동작하였을 경우, 동작정보로 나타내면, (CB2_Z2, G) 와 (CB11_Z1, G)이 되고 광통요소가 되는 2번 선로에서 지락 고장이 발생하였음을 알 수 있다.

이와 같은 경우의 'rule'의 구성은 다음과 같다.

IF ((EQ CB2_Z2 ON)(EQ CB11_Z1 ON)(EQ CB2_G ON)(EQ CB11_G ON)) THEN ((RECOM 1 55))

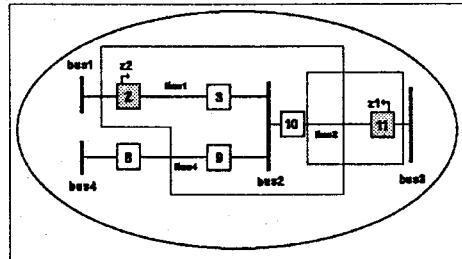


그림 2. 모의 계통도 #2
Fig 2. Sample Network #2

4. 사례연구

4.1 전체 모의 계통도

이상과 같이 구성된 전문가 시스템을 2기 6모선 7선로의 모의 계통에 적용하여 보았으며, 그림3은 전체계통도를 간략화 시킨 것이다.

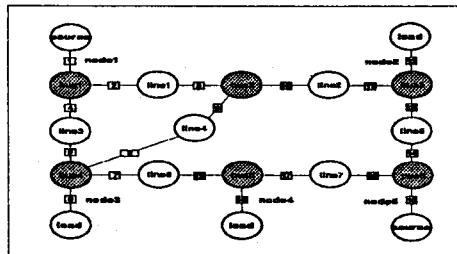


그림 3. 단순화된 전체 계통도
Fig 3. Simplified Diagram Of The System

4.2 사례연구 예1

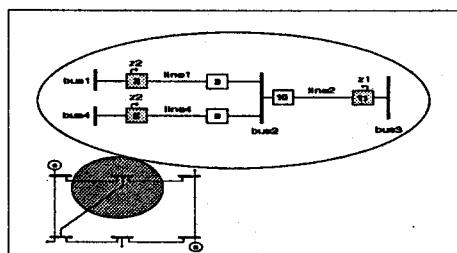


그림 4. 고장구간 추정의 사례연구 #1
Fig 4. Case Study #1 of Finding Fault Section

그림4는 2번 차단기와 8번 차단기의 Z2계전기가 동작하고 11번 8차단기의 Z1계전기가 동작하는 것을 나타내는 그림이다. 이것에 대한 동작정보는 각각에 대하여 다음과 같다.
(CB2_Z2, G), (CB8_Z2, G), (CB11_Z1, G)

Rule Name	Condition
RECOM 550	THE Z1 RELAY OF BREAKER 11 IS OPERATED
	THE Z2 RELAY OF BREAKER 2 IS OPERATED
	THE 21 RELAY OF BREAKER 8 IS OPERATED
	- A GROUND FAULT OCCURRED AT LINE 1
	- THE PRIMARY RELAY OF BREAKER 11 IS NOT OPERATED
	- THE PRIMARY RELAY OF BREAKER 8 IS NOT OPERATED
	- THE 21 RELAY OF BREAKER 11 IS NOT OPERATED
	THE 21 RELAY OF BREAKER 11 IS NOT OPERATED CERTAINLY
	Searching Counter.../V/10

그림 5. 사례연구1의 결과
Fig 5. Result of Case Study #1

그림5는 사례연구 1의 결과를 나타내고 있다.

이기에서 선로2번에서 지락 고장이 발생하였음을 알 수 있다.
선로 2번을 주보호 구간으로 가지고 있는 10번, 11번의 주보호
계전기와 10번의 후비보호 계전기가 동작하지 않았음을 알 수
있다.(부동작)

부동작 판단은, 선로 2번에서 고장이 발생했다는 정보를 얻으면
매개변수의 'data base'에 아래와 같은 정보가 있어 보호기기 동
작정보와 비교후, 아래 정보에 없는 매개변수는 부동작으로 처리
했다.

{CB10_P, CB10_Z1, CB10_Z2, CB11_P, CB11_Z1, CB11_Z2}

4.3 사례연구 예2

사례연구 2는 고장점을 찾을 수 없는 경우이다.

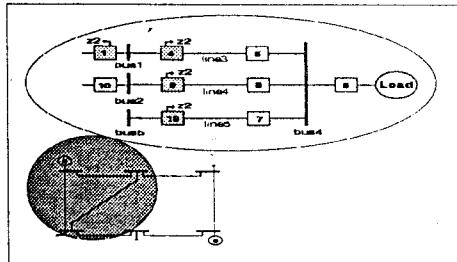


그림 6. 고장구간 추정의 사례연구 2

Fig. 6. Case Study Example #2 of Finding Fault Section

그림 6은 1,4,9,19번 차단기의 Z2계전기가 동작하였음을 나타내고
있다. 다음은 각각에 대한 동작 정보이다.

{CB1_Z2, S}, {CB4_Z2, S}, {CB9_Z2, S}, {CB19_Z2, S}

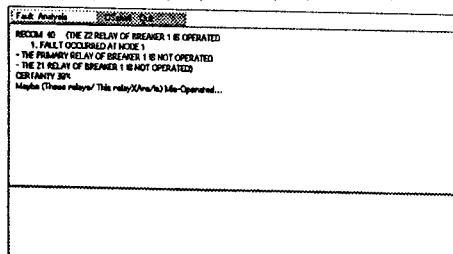


그림 7. 사례연구 2의 오동작 예1

Fig. 7. Mis-Operating Example #1 Of The Case Study #2

그림7은 1번 차단기의 Z2계전기가 동작하여 1번 NODE에서 고장
을 나타내지만 CF가 작아 오동작 임을 나타내고 있다.

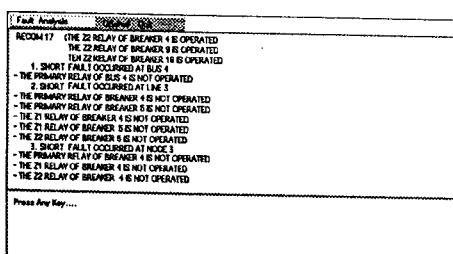


그림 8. 사례연구 2의 결과치 #1

Fig. 8. Result #1 of Case Study #2

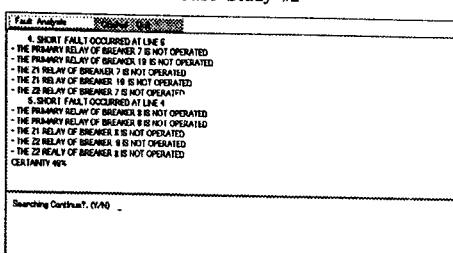


그림 9. 사례연구 2의 결과치 #2

Fig. 9. Result #2 of Case Study #2

그림8과 그림 9는 4, 9, 19번 차단기의 Z2계전기가 동작하여 4번
모선, 3번 노드, 4, 6번 선로가 단락 고장 가능성 있는 지역임을
나타내고 있다. 각각의 고장 가능성 있는 구간에 대해 동작하지
않은 보호기기를 나타내고 있다.(부동작)

다음은 'How'기능에서 위와 같은 결론을 도출하게 된 자료를 보
여주는 'Fact_List'이다.'Fact_List'의 데이터 형태는 'then part'의
형태와 같다.

표 1. 사례연구 2의 "Fact List"

Table1. Fact List Of Example #2

```

FACT BUSL_P OFF 100 FACT BUS2_P OFF 100 FACT BUS3_P OFF 100 FACT BUS4_P
OFF 100 FACT BUS5_P OFF 100 FACT BUS6_P OFF 100 FACT CBL_1_P OFF 100 FACT
CB1_Z2 ON 100 FACT CB2_Z1 OFF 100 FACT CB2_Z2 OFF 100 FACT CB3_Z1 OFF 100
FACT CB3_Z2 OFF 100 FACT CB4_Z1 OFF 100 FACT CB4_Z2 OFF 100 FACT CB5_Z1
OFF 100 FACT CB5_Z2 OFF 100 FACT CB6_Z1 OFF 100 FACT CB6_Z2 OFF 100 FACT
CB7_Z1 OFF 100 FACT CB7_Z2 OFF 100 FACT CB8_Z1 OFF 100 FACT CB8_Z2 OFF 100
FACT CB9_Z1 OFF 100 FACT CB9_Z2 ON 100 FACT CB10_Z1 OFF 100 FACT CB10_Z2
OFF 100 FACT CB11_Z1 OFF 100 FACT CB11_Z2 OFF 100 FACT CB12_Z1 OFF 100
FACT CB12_Z2 OFF 100 FACT CB13_Z1 OFF 100 FACT CB13_Z2 OFF 100 FACT
CB14_Z1 OFF 100 FACT CB14_Z2 OFF 100 FACT CB15_Z1 OFF 100 FACT CB15_Z2 OFF
100 FACT CB16_Z1 OFF 100 FACT CB16_Z2 OFF 100 FACT CB17_Z1 OFF 100 FACT
CB17_Z2 OFF 100 FACT CB18_Z1 OFF 100 FACT CB18_Z2 OFF 100 FACT CB19_Z1 OFF
100 FACT CB19_Z2 ON 100 FACT CBL_P OFF 100 FACT CB2_P OFF 100 FACT CB3_P
OFF 100 FACT CB4_P OFF 100 FACT CB5_P OFF 100 FACT CB6_P OFF 100 FACT
CB7_P OFF 100 FACT CB8_P OFF 100 FACT CB9_P OFF 100 FACT CB10_P OFF 100
FACT CB11_P OFF 100 FACT CB12_P OFF 100 FACT CB13_P OFF 100 FACT CB14_P
OFF 100 FACT CB15_P OFF 100 FACT CB16_P OFF 100 FACT CB17_P OFF 100 FACT
CB18_P OFF 100 FACT CB19_P OFF 100 FACT CB1_G OFF 100 FACT CB1_L ON 100
FACT CB2_G OFF 100 FACT CB2_S OFF 100 FACT CB3_G OFF 100 FACT CB3_S OFF
100 FACT CB4_G OFF 100 FACT CB4_S OFF 100 FACT CB5_G OFF 100 FACT CB5_S OFF
100 FACT CB6_G OFF 100 FACT CB6_S OFF 100 FACT CB7_G OFF 100 FACT
CB7_S OFF 100 FACT CB8_G OFF 100 FACT CB8_S OFF 100 FACT CB9_G OFF 100
FACT CB9_S ON 100 FACT CB10_G OFF 100 FACT CB10_S OFF 100 FACT CB11_G
OFF 100 FACT CB11_S OFF 100 FACT CB12_G OFF 100 FACT CB12_S OFF 100 FACT
CB13_G OFF 100 FACT CB13_S OFF 100 FACT CB14_G OFF 100 FACT CB14_S OFF
100 FACT CB15_G OFF 100 FACT CB15_S OFF 100 FACT CB16_G OFF 100 FACT
CB16_S OFF 100 FACT CB17_G OFF 100 FACT CB17_S OFF 100 FACT CB18_G OFF
100 FACT CB18_S OFF 100 FACT CB19_G OFF 100 FACT CB19_S ON 100 FACT CB1
ON 100 FACT CB2 ON 0 FACT CB3 ON 0 FACT CB4 ON 100 FACT CB5 ON 0 FACT
CB6 ON 0 FACT CB7 ON 0 FACT CB8 ON 100 FACT CB9 ON 0 FACT CB10 ON 0 FACT
CB11 ON 0 FACT CB12 ON 0 FACT CB13 ON 0 FACT CB14 ON 0 FACT CB15 ON 0 FACT
CB16 ON 0 FACT CB17 ON 0 FACT CB18 ON 0

```

5. 결론

계통에서 고장이 발생하면 그 고장구간을 신속히 판단하여 고
장구간을 차단, 복구시켜주어야 한다. 본 전문가 시스템은 고장
구간을 찾는 방법에 있어서 계전기와 차단기의 동작정보를 바탕
으로 사고구간을 추정하고 그 사고에 따른 보호기기의 동작을 설
명하도록 구성되었다.

실제의 경우, 계전기와 차단기의 실제 동작과 동작 정보 사이
에는 오차가 있을 수 있으므로 이 오차를 추정하는 방법이 추가
되어야 하며, 보호기기의 오동작 확률이 함께 고려되어야 하겠다.
본 연구에서는 기기의 오동작 판정에 있어서 신뢰도를 이용하여 판
단해 보았는데 보호기기의 오동작 확률을 포함한 보다 정확한 신
뢰도 값을 정하는 것이 앞으로의 연구과제라 생각한다.

참고문헌

- [1].이홍재,"전력계통의 고장진단에 대한 전문가시스템의 적용", 1990
- [2].박영문,김은배,이봉룡,임한성,정재길,백영식, "최신 송배전공학", 하산출판사, 1989
- [3].DAVID HU, "C/C++ for EXPERT SYSTEMS", 1989
- [4].R. Davis, D. B. Lenat, "Knowledge based systems in artificial intelligence", 1982, McGraw Hill