

지역급전 제어소의 무인변전소와 송전망 통합진단 시스템에 관한 연구

이 홍 재, 임 찬 호,
광운 대학교

최 기 훈*
서울시 지하철 공사

A Study on the Integrated Diagnosis System for Unmanned Substation and Transmission Network in Local Control Center

Heung-Jae Lee, Chan-Ho Lim,
Kwang Woon University

Gi-Hoon Choi
Seoul Subway Co.

ABSTRACT

This paper presents an integrated fault diagnosis expert system for power systems. The proposed system diagnoses various faults occurred in both substations and transmission lines even in the case that substation fault is spreaded over the network. To cope with this problem, A meta-inference method is proposed. This scheme shares same the data structure with the pre-developed intelligent operational aid expert system installed in a practical sub-control center, without modification. This advanced integrated diagnosis system is developed using a low cost personal computer owing to the special modular programming technique. Case studies show a promising possibility of the proposed method.

1. 서 론

대형화 인로에 있는 전력계통 운영의 효율화를 위하여 현재 국내외적으로 적용하고 있는 전력계통 운영체제는 EMS - SCADA - M-SCADA의 분산적 계층구조이다. Minor SCADA는 계통운영 체계에서 가장 하위에 있는 제어소인 지역 급전분소(LCC:Local Control Center)에 설치되어 10 - 20 여개의 154kV 무인화 변전소와 154kV급 송전선을 관리하고 있다.

현재 국내외적으로 전력계통 운영에 있어서 자동화를 지향하는 추세에 있으며 그에 대한 기초연구가 활발히 수행되고 있다. 사고시의 고장진단과 정전구역에 대한 고장복구 조치는 계통운영 자동화에 있어서 반드시 해결해야 하는 문제이며 이러한 문제에 대한 해결방안으로써 인공지능 기법을 도입한 전문가 시스템에 관한 연구가 현재 진행 중에 있다.

현재까지 발표된 고장진단 전문가 시스템은 C. Fukui의 연구를 시작으로 하여 주로 EMS, SCADA 시스템을 대상으로 운전자 지원을 위한 송전망의 고장진단 전문가 시스템이 발표된 바 있다.[1-2] 또한 계통운영의 자동화에 있어서 필연적인 단위 무인변전소에 대한 고장진단 전문가 시스템이 개발되고 있는 상황이다.[3-4] 송전선과 변전소 소내설비에 적용하고 있는 보호시스템 체계가 서로 상이하므로 송전선 고장진단과 단위 무인변전소 고장진단 전문가 시스템이 각각 별도로 개발되고 있는 상황이며, 그에 대한 통합 고장진단 시스템의 구조는 현재까지 제시된 바 없다.

본 논문에서는 전체 시스템을 송전선 고장진단 전문가 시스템과 단위 무인변전소 고장진단 전문가 시스템으로 각각 분할하는 계층기법을 사용하였으며, 메타 추론기법을 사용하여 각각의 전문가 시스템을 효과적으로 결합시킨 통합 고장진단 전문가 시스템을 개발하였다.

본 논문에서는 실제 상황에서의 이러한 시스템을 향후의 실용화에 대비하여 PC상에서 구현하였으며, 진단결과가 수 초 이내로서 충분한 적용 가능성을 확인하였다.

2. 전체 시스템의 구조

지역급전 분소는 현재 계통운영에 채택되어 있는 분산적 계층운영 체계에서 가장하위의 제어소로서 중앙급전이나 지역급전의 지령으로 계통조작을 하거나 운영중인 154kV 변전소에 대한 감시와 제어를 수행하는 제어소이다.

고장진단 전문가 시스템을 지역급전 분소에서 운영할 경우에는 송전선과 변전소에 대한 고장진단을 수행해야 한다. 그러나 송전선과 변전소를 동시에 진단하는 전문가 시스템을 구축하는데는 여러 가지 제약이 있으므로 다음 그림 1과 같은 구조의 전문가 시스템을 제시한다.

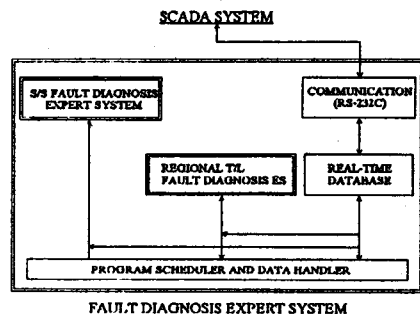


그림 1. 지능화 시스템의 구조

Fig. 1. Structure of the intelligent system

각각의 전문가 시스템은 자신의 추론기관을 가지고 있으며, 정적 데이터 베이스와 규칙 베이스를 포함하고 있다. 또한 순시 데이터는 실시간 데이터 베이스를 공유하게 했다.

프로그램 스케줄러(program scheduler)에는 메타 추론기법을 사용하였으며, 메타 추론기법으로 각각의 전문가 시스템의 데이터 베이스를 분할하고 부분적으로 공유하게 함으로서 전체

적인 추론의 효율성을 도모하였다.

3. 메타추론 기법

지역급전 분소는 다음 그림 2와 같이 154kV 무인 변전소들과 변전소들을 연결하는 송전선으로 구성되어 있다

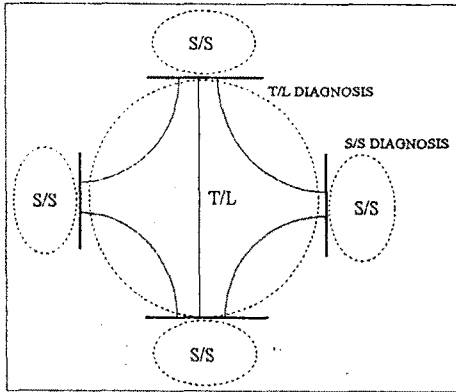


그림 2. 지역급전 분소의 계통구성
Fig. 2. Structure of network in a LCC

이와 같은 계통의 위상구조하에서 사고는 변전소 또는 송전선에서 발생할 수 있으며, 또한 변전소에서의 사고가 송전선으로 파급되어 사고지역의 범위에 대한 판별이 어려운 경우도 있다. 이러한 복잡한 사고의 유형을 진단하는 전문가 시스템의 구축에 있어서 보호체계가 서로 다른 송전선과 변전소에 대한 진단을 동시에 수행하도록 하는 것은 추론시간, 데이터 베이스의 크기 등을 고려할 때 바람직하지 않다.

본 논문에서는 변전소 고장진단과 송전선 고장진단을 수행하는 전문가 시스템을 각각 구축하였고 다음과 같은 메타 추론 기법을 이용하여 이들의 하이브리드형 연결관계를 형성하였다

```

START : INITIALIZE
LOOP  : If dynamic data is updated
        then goto UPDATE
        else if alarm data is received
            then invoke META_INFERENCE
            else goto UPDATE
UPDATE : Update dynamic database
        Goto LOOP
META_INFERENCE :
    If the alarms are attached to one substation
        then invoke SUBSTATION_DIAGNOSIS
    else if the alarms are attached to only TL networks
        then invoke TRANSMISSION_DIAGNOSIS
        else invoke HYBRID_DIAGNOSIS
    Call DISPLAY_MESSAGE
    Goto LOOP
    
```

4. 데이터 베이스 구성

본 논문에서 사용하는 데이터는 송전선과 변전소의 위상구조 데이터와 차단기, 단로기 등의 스위치의 개·폐 상태 데이터 그리고 사고시 동작하는 보호기기의 동작정보 데이터로

구분할 수 있고, 이들은 정적 데이터 베이스와 동적 데이터 베이스로 구분된다.

본 논문에서는 위의 4가지 종류의 정보를 다음 표 1과 같은 데이터 베이스로 분류하여 구축한다.

표 1. 데이터베이스의 기능

Table 1. Function of the databases

데이터베이스	기능
network.dba	송전선의 위상구조 표현 데이터 베이스 (정적 데이터 베이스)
system.dba	변전소의 위상구조 표현 데이터 베이스 (정적 데이터 베이스)
scada.dba	스위치의 상태표현 데이터 베이스 (동적 데이터 베이스)
alarm.dba	보호기기의 동작상황 표시 데이터 베이스 (동적 데이터 베이스)

5. 고장진단 규칙

규칙 베이스에 저장되어 있는 규칙에는 위상구조의 인식규칙, 보호기기의 동작규칙, 과거사고 분석을 통한 경험적 규칙, 사고구역 추정규칙, 오동작 부동작 기기의 판별규칙 등이 있다.

중요한 송전선과 변전시기별 고장진단 규칙을 예시하면 다음과 같다.

메타 추론규칙

규칙 : 동적데이터가 입력되면 동적 데이터베이스를 갱신한다.

규칙 : 정보가 입력되면 메타추론을 수행한다.

규칙 : 입력된 정보가 한 변전소에서 동작한 경우라면 해당 변전소에 대한 고장진단을 수행한다.

규칙 : 입력된 정보가 송전선과 관련된 경우라면 송전선 고장진단을 수행한다.

규칙 : 입력된 정보가 송전선과 변전소에 관련된 경우면 하이브리드 고장진단을 수행한다.

송전선 고장진단 규칙

규칙 : 후비보호 계전기가 동작하고 주보호 계전기가 동작하지 않으면 그 선로는 사고후보이다.

규칙 : 후비보호 계전기가 동작하고 그 전단의 주보호 및 후비보호 계전기가 동작하지 않으면 그 전단의 선로는 사고후보이다.

규칙 : 주보호 계전기가 동작했을 때 후비보호 계전기가 동작하면 그 후비보호 계전기는 오동작이다.

변전소 고장진단 규칙

규칙 : 변압기보호 비용차동 계전기가 동작하고 부호홀츠 계전기가 동작하면 그 변압기는 사고후보이다

규칙 : 변압기보호 비용차동 계전기가 동작하고 1차측 또는 2차측에서 과전류 계전기가 동작하면 그 변압기는 사고후보이다

규칙 : 변압기 저압측의 과전류 계전기가 동작하면 그 배전모선은 사고후보이다.

규칙 : 배전선 보호 과전류 계전기와 변압기 저압측의 과전류 계전기가 동작하면 배전선 보호용 변류기와 차단기 시가 사고후보이다.

6. 추론기관

본 논문에서는 계전기의 보호구역 정보로부터 고장구간을 추정하였으며 고장에 따른 보호기기의 동작패턴을 대응시키기 위하여 후방향 추론을 채택하였다.

패턴의 대응(pattern match)으로부터 보호기기의 동작상태와 고장요소가 추정되면 텍스트 윈도우(text window)로 추정된 고장의 종류, 고장구간의 위치 및 그에 따른 보호기기의 동작과정을 표시하며 고장에 대한 부동작과 오동작의 개수를 출력하게 하였다.

이상의 전체적인 추론과정은 다음 그림 3의 흐름도와 같으며 흐름도의 각 부분을 부목표(subgoal)로 지정함으로써 각각의 세부 추론과정과 전체적인 추론과정이 후방향 추론방식으로 행하였다.

이거시 PRF-SCANNING 불러온 사고와 관계없이 개폐기의 조작에 의한 상태변화를 인식하여 동적 데이터베이스를 갱신하는 불릿이다.

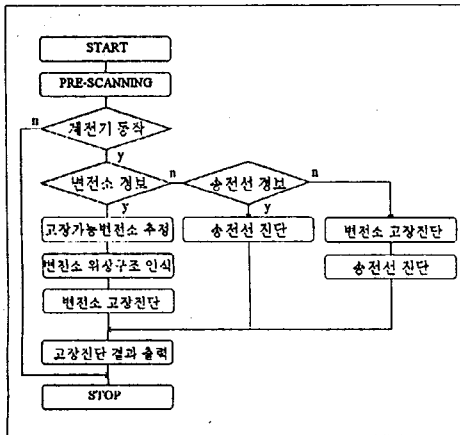


그림 3. 고장진단의 흐름도
Fig. 3. Flowchart of the fault diagnosis

본 논문에서는 결론에 도달할 때까지 종적으로 경로를 탐색하여 나가는 방법으로서 언제나 확실한 해를 구할 수 있는 깊이우선 탐색법을 채용하였다.

7. 사례연구

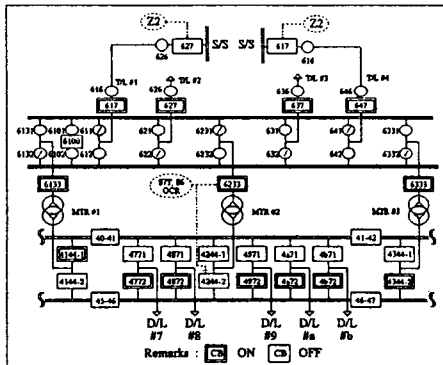


그림 4. 사례연구
Fig. 4. Case study

< 동작한 보호기기 >

alarm(tr_diff(C,2))
alarm(heavy86(C,2))
alarm(ocr(C,2,g))
alarm(line_relay(A,1,2))
alarm(line_relay(B,4,2))
alarm(cb(C,4244-2,off))
alarm(cb(A,627,off))
alarm(cb(B,617,off))

< 고장진단 결과 >

Possible solution No. 1
Fault occurred at TR #2
Non_operation : CB6233
Confidence : 0.95
Possible solution No. 2
Fault occurred at HBUS #2
Non_operation : BUS_DIFF(C,2)
Confidence : 0.90
Possible solution No. 3
Fault occurred at T/L #1
Non_operation : line_relay(C,1,1), line_relay(C,1,2),
line_relay(A,1,1)
Confidence : 0.73
Possible solution No. 4
Fault occurred at T/L #4
Non_operation : line_relay(C,1,1), line_relay(C,1,2),
line_relay(B,1,1)
Confidence : 0.73

8. 결론

본 논문에서는 지역 급전본소에서 관할 송전망과 변전소에서 사고 발생시 이를 통합적으로 진단할 수 있는 전문가 시스템을 제시하였다. 보호 시스템 체계가 서로 다른 송전선과 무인변전소에 대한 진단의 효율성을 높이기 위하여 전체 시스템을 송전선 고장진단 전문가 시스템과 단위 무인변전소 고장진단 전문가 시스템으로 각각 분할하는 계층기법을 사용하였으며, 메타추론 기법을 사용하여 각각의 전문가 시스템을 효과적으로 결합시킨 통합 고장진단 전문가 시스템을 개발하였다.

본 전문가 시스템을 시뮬레이션을 통한 검증결과 수행시간이 수 초 이내로서 실제공의 적용 가능성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Chihiro Fukui, Junzo Kawakami, "An expert system for fault section estimation using information from protective relays and circuit breakers", IEEE PWRD, Vol PWRD-1, No. 4, pp 83 - 90, Oct. 1986.
- [2] Kelvin Tomsovic, Chen Ching Liu, Paul Ackerman, Steve Pope, "An Expert System as a Dispatchers' Aid for the Isolation of Line Section Fault", IEEE PWRD Vol. 2, No. 3, pp. 736 - 743, July 1987.
- [3] Yoichi Fuzimoto, Koji Ibuki, Shoji Tada, "Operation of an On-line Substation Diagnosis System", IEEE PWRD, Vol. 3, No. 4, pp. 1628 - 1634 Oct. 1988.
- [4] C.A.Protopapas, K.P.Saltiras, A.V.Machias, "An Expert System for Substation Fault Diagnosis and Alarm Processing", IEEE Trans. on PWRD, Vol.6, No.2, pp. 648 - 655, April 1991.
- [5] Young Moon Park, Heung Jae Lee, "전력계통의 고장진단 전문가시스템에 관한 연구", 대한전기학회지, 1990. 3.