

보호계전기 정정값 진단 전문가 시스템 개발

김국진* 이승재* 최면송* 강상희* 김호표** 이윤희** 최홍석**
 *명지대학교 전기공학과 **한국전력공사

A Development of Diagnosis Expert System for Power System Protective Relay Settings

K.J.Kim* S.J.Lee* M.S.Choi* S.H.Kang* H.P.Kim** W.H.Lee** H.S.Choi**
 *Myongji Univ. **KEPCO

Abstract -It is important the protective relay should have high selectivity and sensitivity performance and it is achieved by correct setting of the relay parameters. The verification of accurate setting for the protective relay is very difficult before a actual fault occurs. This paper reports a diagnosis expert system to verify the correctness of the relay setting by using the operation results in the power system fault simulation.

1. 서 론

송전계통에서 신뢰성 있고 안정된 전력을 공급하기 위해서는 계통에서 고장발생시 고장설비를 신속하게 분리할 수 있는 보호계전기의 역할이 중요하다. 이러한 보호계전기들이 정확하고 올바르게 동작하기 위해서는 각 계통의 상황에 적합한 정정작업이 필요하다. 그런데, 이러한 정정작업은 방대한 데이터와 복잡한 계산 과정, 전문 지식이 필요하므로 오류가 발생할 가능성이 높으며, 이러한 오류는 계통의 안정도에 심각한 영향을 미치게 되므로 정정 작업에 대한 검토가 필요하지만 현재 거의 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 전문가의 지식을 바탕으로 구성된 계전기 정정 결과 검토 Rule에 의한 시뮬레이션과 추론으로 보호계전기가 정확하게 정정되었는지를 판단하는 보호계전기 정정값 진단 전문가 시스템을 개발하였으며 이를 사용하여 정정작업의 신뢰도를 향상시킬 수 있음을 보였다.

2. 본 론

2.1 보호계전기 정정값 진단 알고리즘

전력계통상의 보호계전기 정정의 정확성 여부를 진단하기 위하여 본 논문에서는 송전계통보호계전 동작 시뮬레이터(2)를 이용하였다. 이를 이용하여 사용자가 시뮬레이션하고자 하는 지역을 먼저 선택하면 데이터베이스 저장정보로부터 자동적으로 그림 1과 같은 계통도를 화면에 그려준다.

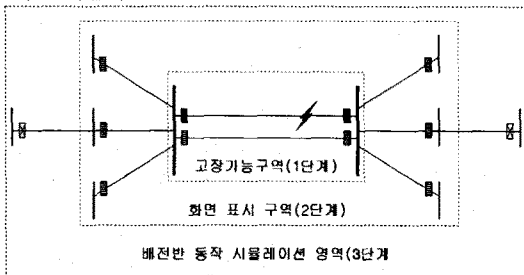


그림1 배전반 동작영역 계통도

화면에서 사용자가 시뮬레이션 하려는 고장종류와 고장위치를 선택하면 송전계통보호계전 동작 시뮬레이터

(2)는 데이터베이스의 실계통 데이터와 전력계통 고장 해석 프로그램: PSS/E를 이용하여 고장해석을 수행하고 동작 시뮬레이션 영역 내에 설치되어 있는 모든 계전기의 모든 계전요소의 동작결과를 출력하며 이를 데이터베이스에 저장한다. 본 논문은 이렇게 데이터베이스에 저장되어 있는 계전기의 동작결과를 정정값 진단 Rule과 비교하여 각 계전요소의 동작이 올바른 동작인지를 검토, 진단하는 시스템을 개발하였다.

본 논문에서 사용한 정정값 진단 Rule은 계전요소의 기본적인 동작책무와 정정 Rule을 바탕으로 계전요소의 오·부동작과 관계된 Rule로 구성하였다. 한 예로 Phase_Zone2 요소의 정정 진단 알고리즘은 그림 2와 같다.

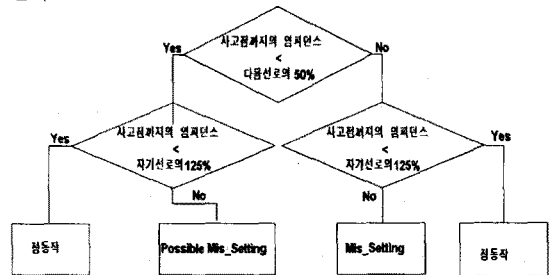


그림2 Phase_Zone2 진단 알고리즘

그림2는 'Phase_Zone2 계전요소가 동작을 했다'는 가정하에 계전요소의 정·오동작을 판단하기 위한 과정이다. Phase_Zone2의 동작책무는 다음단의 50%지점 내의 사고에 대한 감지이며, 조건: 사고점까지의 임피던스 < 자기선로의125% 은 Phase_Zone2의 책무를 보다 확실하게 판단하기 위해 진단 알고리즘에 포함하였다. 그리고 그림2에서 '정동작'으로 진단된 부분은 위의 가정 'Phase_Zone2 계전요소가 동작을 했다'와 반대로 'Phase_Zone2 계전요소가 동작을 안했다'고 가정을 하였을 때에 'MIS_SETTING'이라는 결론이 나오게 된다. 따라서 Phase_Zone2의 오·부동작 진단 Rule은 다음과 같이 4가지가 된다.

- IF FAULT_LOCATION OVER NEXT_LINE 50% AND FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 125% AND RELAY OPERATED THEN MIS_SETTING
- IF FAULT_LOCATION WITHIN NEXT_LINE 50% AND FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 125% AND RELAY OPERATED THEN POSSIBLE MIS_SETTING
- IF FAULT_LOCATION WITHIN NEXT_LINE 50% AND FAULT_LOCATION WITHIN SELF_LINE 125% AND RELAY NOT_OPERATED THEN MIS_SETTING
- IF FAULT_LOCATION OVER NEXT_LINE 50% AND FAULT_LOCATION WITHIN SELF_LINE 125% AND RELAY NOT_OPERATED THEN MIS_SETTING

Phase_Zone1 요소의 진단 Rule 역시 비슷한 방식으로 구성된다. 그리고 계전기의 방향성을 검토하기 위하

여 고장점의 위치와 배전반이 설치된 선로와 고장선로의 연결상황을 고려하여 판단하게 되면 진단 Rule은 다음과 같다.

· IF FAULT IS IN THE BACKWARD DIRECTION AND RELAY OPERATED THEN MIS_OPERATION

진단 결과로는 'MIS_SETTING', 'POSSIBLE MIS_SETTING', 'MIS_OPERATION' 등이 있으며, 이는 모두 계전요소의 오동작과 관계가 있다. 그리고 계전요소의 동작을 검토하기 위한 조건으로도 명확하게 판단하기 어려운 경우에는 'POSSIBLE MIS_SETTING' 이란 결론으로 처리하였다.

2.2 보호계전기 정정값 진단 전문가 시스템

보호계전기 정정값도 시스템은 Rule Base, 추론기, 계산모듈, 데이터베이스, 사용자 인터페이스의 5개의 모듈로 구성되었다.

RuleBase는 각 계전요소들의 동작을 진단하기 위한 조건을 정형화하여 진단 Rule로 구성한 모듈이며, 추론기는 Rule의 선택 및 선택된 Rule에 의해 진단을 하는 모듈이다. 또한 계산모듈은 진단에 필요한 수치계산을 위한 부분이고, 데이터베이스는 진단에 필요한 각종 데이터를 저장한 모듈이다. 마지막으로 사용자 인터페이스는 진단과정과 결과를 Display하는 모듈이다.

2.2.1 RuleBase

각 계전요소들의 동작상황을 진단하기 위한 Rule은 IF_THEN 구조를 적용하여 전문가의 지식을 정형화시켰으며, Rule의 조건부는 Relay, Function, Protected Device로 구성되어 있으며, 결론부에는 오·부동작 판단결과가 표현된다.

- Relay : DZR, DZGR, OCR, etc.
- Function : Phase_Zone1, Phase_Zone2, etc.
- Protected Device : 피보호기기

· IF 'DZR','PHASE_ZONE1','LINE'
'IF FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 85%
AND RELAY OPERATED'
THEN 'MIS_SETTING'
· IF 'DZR','PHASE_ZONE2','LINE'
'IF FAULT_LOCATION OVER NEXT_LINE 50%
AND FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 125%
AND RELAY OPERATED'
THEN 'MIS_SETTING'
· IF 'DZR','PHASE_ZONE1','LINE'
'IF FAULT IS IN THE BACKWARD DIRECTION
AND RELAY OPERATED'
THEN 'MIS_OPERATION'

RuleBase 에서는 진단 Rule을 데이터 형태로 관리하여 Rule의 추가와 삭제가 용이하므로 높은 확장성을 갖게 하였다.

2.2.2 추론기

추론기는 그림3과 같이 일반화된 형태로 설계되었다. 우선 Rule Base에서 진단 Rule을 채택하여 조건부를 비교한 후에 순차적으로 조건부 (CONDITION_{Kn})가 만족되면 결론(CONCLUSION_K)을 도출하여 진단 결론을 내리게 되며, 조건부를 만족시키지 못할 경우에는 다시 진단 Rule의 도출 작업을 반복하게 된다.

2.2.3 계산모듈

계산모듈은 추출된 Rule의 조건부(CONDITION_{Kn})를 판단하기 위한 계산부분을 수행하는 모듈이다. 이 계산모듈에서는 고장조건과 계전기 정보 선로의 연결정보와 임피던스를 사용한다.

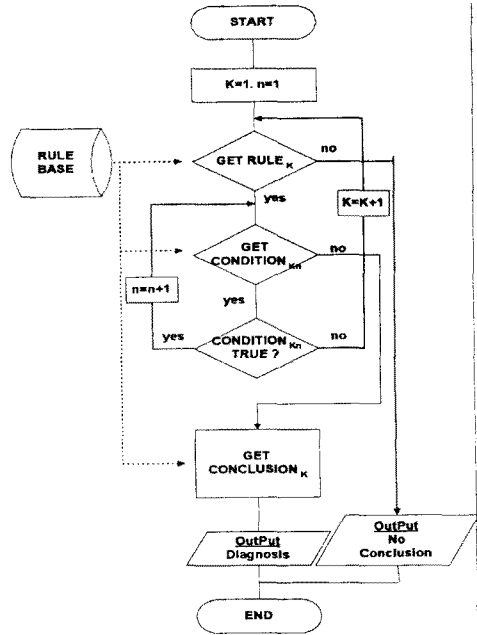


그림3 추론 알고리즘

2.2.4 데이터베이스

본 논문에서는 현재 한국전력에서 계통 보호 종합 전산화를 위하여 구축된 계통보호 데이터베이스를 사용하였다. 이 데이터베이스는 관계형 데이터베이스 시스템인 ORACLE을 사용하여 1998년 기준 한국전력 실제용 데이터베이스를 구축하였다. [1][3][4]

본 진단 시스템에서 사용한 데이터는 다음과 같다.

- 선로데이터: 선로에 대한 정보
 - FromBus, FarBus, CKT, 선로임피던스
- 버스데이터: 버스에 대한 정보
 - 버스 ID, 버스이름, Base전압
- 배전반데이터: 설치된 배전반에 대한 정보
 - 배전반이름, Type, 설치위치, 상대단,
- 고장데이터: 송전계통보호계전 동작 시뮬레이터에서 모의한 고장에 대한 정보
 - 고장종류, 고장점위치
- 시뮬레이션결과: 송전계통보호계전 동작 시뮬레이터에서 모의한 고장에 대해 고장점을 중심으로 좌우2단에 설치된 배전반의 각 계전요소 별 동작 결과
 - Phase_Zone1, Phase_Zone2

2.2.5 사용자 인터페이스

사용자 인터페이스는 Windows의 그래픽 환경의 잇점을 최대한 살려 모든 명령을 그래픽 화면 상에서 마우스 클릭만으로 수행할 수 있으며, 기본 화면은 그림4와 같다.

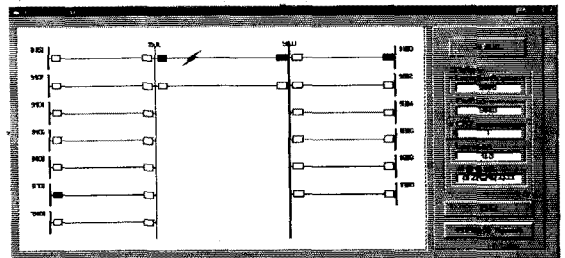


그림4 사용자 인터페이스의 기본화면

사용자가 계통도 버튼을 마우스로 클릭 하면 데이터베이스로부터 각기 필요한 정보를 읽어와 자동으로 계통도를 그리게 된다. 그리고 진단과 진단 Report 버튼을 차례로 클릭 하면 계통도상에 존재하는 모든 배전반들을 계전요소 별로 진단을 하게되며, 또한 진단 결과를 문서로 확인할 수 있게 설계되었다.

3. 사례연구

사례연구로서 송전계통보호계전 동작 시뮬레이터를 이용하여 북부산과 신울산을 연결하는 선로에 다음과 같이 사고를 발생시켜 설치된 배전반의 각 계전요소들의 오·부동작 여부를 진단하였다.

- 고장데이터
 - 모선번호 : 9500(북부산), 9800(신울산)
 - 고장위치 : CKT 1, 0.3
 - 고장종류 : A,B상 선간단락사고 ,
- 진단 대상 Panel : 10개

그림5는 송전계통보호계전 동작 시뮬레이터의 고장모의 후 결과를 그대로 사용한 진단결과로서 발견된 오류가 없으므로 설치된 모든 보호배전반이 정확하게 정정되었음을 확인 할 수 있다.

그리고 본 논문에서 개발된 진단시스템이 제대로 동작되는가를 보기위하여 일부 계전요소들의 정정값을 변경한 후 다시 시뮬레이션과 진단을 실시하였다. 그림6은 보호배전반 9700950011의 Phase_Zone1과 9150980011의 Phase_Zone2의 정정결과를 임의로 변경시켜 정정에 오류가 있게 한 후 다시 시뮬레이션과 진단을 수행하결과로서 배전반 9700950011의 Phase_Zone1과 배전반 9150980011의 Phase_Zone2의 정정에 오류가 있음 확인할 수 있었다.

```

◆ Diagnosis Report

0 고장점 Data
- LocationBus : 9500
- FarBus : 9800
- CKT : 1
- 고장점 위치 : 0.300
- 고장 종류 : A,B상 선간단락

0 설치된 Panel
- 9500980011
- 9500980021
- 9800950011
- 9800950021
- 9500935011
- 9350950011
- 9500970011
- 9700950011
- 9800915011
- 9150980011

0 동작한 Panel
- 9500980011 : PHASE_ZONE1 PHASE_ZONE2
- 9500950011 : PHASE_ZONE1 PHASE_ZONE2

0 Diagnosis 결과
- 발견된 오류 없음.
  
```

그림 5 진단결과

4. 결 론

본 논문에서는 실제 계통에 사용되는 보호계전기의 신뢰도 평가에 있어서 필수적인 보호계전기 정정값 진단 전문가 시스템을 개발하였다. 개발된 진단 시스템은 진단 Rule을 데이터 형태로 관리하여 Rule의 추가와 삭제가 용이하므로 높은 확장성을 보유하고 있으며, 사용

자 인터페이스에 Windows의 GUI환경을 적용하여 편의성을 도모하였다. 또한 송전계통보호계전 동작 시뮬레이터와는 다른 관점에서 정정 오류에 대해 검토, 진단함으로써 정정업무의 신뢰도 향상의 가능성을 보여주었다.

본 논문에서 개발된 보호계전기 정정값 진단 전문가 시스템을 이용하여 한국전력계통에서 사용하는 선로 보호배전반의 모든 계전요소에 확장시켜 적용한다면, 종래에 사고가 발생하기 전에는 발견 할 수 없었던 보호계전기 정정업무의 오류를 찾게 할 수 있으므로 계통의 보다 안정되고 신뢰도가 높은 운용을 보장할 수 있으리라 기대한다.

```

◆ Diagnosis Report

0 고장점 Data
- LocationBus : 9500
- FarBus : 9800
- CKT : 1
- 고장점 위치 : 0.300
- 고장 종류 : A,B상 선간단락

0 설치된 Panel
- 9500980011
- 9500980021
- 9800950011
- 9800950021
- 9500935011
- 9350950011
- 9500970011
- 9700950011
- 9800915011
- 9150980011

0 동작한 Panel
- 9500980011 : PHASE_ZONE1 PHASE_ZONE2
- 9800950011 : PHASE_ZONE1 PHASE_ZONE2
- 9700950011 : PHASE_ZONE1
- 9150980011 : PHASE_ZONE2

0 Diagnosis 결과
- Panel Name : 9700950011
  Panel Type : MXL1E
  LocationBus : 9700
  FarBus : 9500
  * Function : PHASE_ZONE1
  Relay State : OPERATED
  Rule : FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 85%
  RELAY OPERATED
  Diagnosis : MIS_SETTING

- Panel Name : 9150980011
  Panel Type : MXL1E
  LocationBus : 9150
  FarBus : 9800
  * Function : PHASE_ZONE2
  Relay State : OPERATED
  Rule : FAULT_LOCATION OVER NEXT_LINE 50%
  FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 125%
  RELAY OPERATED
  Diagnosis : MIS_SETTING
  
```

그림 6 정정값 변경후 진단결과

"본 연구는 정보통신 우수대학지원사업에 의하여 지원되었음"

[참 고 문 헌]

- (1) 안영태, "효율적인 계통보호 데이터베이스 디자인 방법에 대한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.905-907, 1998.7
- (2) 민병운, "객체지향 송전계통보호계전 그래픽 동작 시뮬레이터", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.902-904, 1998.7
- (3) 김영일, "송전계통 보호계전기 정정협조 종합프로그램", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.229-231, 1998.11
- (4) 한국전력공사 기술연구원, "계통보호 데이터베이스 구축에 관한 연구", 1992
- (5) Kevin Warwick, "Artificial Intelligence Techniques in Power System", pp.19-43
- (6) 한국전력공사, "보호계전기 정정 지침", pp12-35
- (7) 한국전력공사, "계통보호 종합전산 프로그램 개발", 중강 보고서, 1999.5