

송전계통 선로보호 계전기 동작 진단 시스템

김국진* 이승재* 최면송* 강상희* 김호표** 이운희** 최홍석**
 * 영지대학교 전기공학과 **한국전력공사

A Development of Protective Relay Operating-Diagnosis System for Power System

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

In the point of view protective relay, the selectivity and sensitivity is very important in its performance. The correct setting of the relay parameter is required. The verification of accurate setting for the protective relay is very difficult before a actual fault occurs. In this paper, we proposed the diagnosis expert system as a method to verify the correctness of the relay setting. The developed system proved effectiveness through the tests on the real systems.

1. 서 론

계통을 보호하기 위한 보호계전기는 높은 감도와 각각의 동작책무에 대한 적절한 수행능력을 가지고 있어야 한다. 이러한 역할을 수행하기 위해서 가장 우선시 되는 것은 보호계전기의 올바른 정정이다.

현재 실계통에는 여러 종류의 보호계전기들이 사용되고 있다. 이 보호계전기들은 각각 정정 값들을 계산하기 위한 고유의 정정 방법을 가지고 있으며 방대한 데이터를 필요로 한다. 이러한 정정 과정의 복잡성으로 인하여 정정 작업은 오류가 발생할 여지가 많으며, 또한 이러한 오류는 계통의 안정도에 심각한 영향을 미치게 되므로 정정 작업에 대한 검토가 요구되어진다.

본 논문에서는 보호배전반 정정의 신뢰성을 판단하기 위한 방법으로 송전계통 보호계전기 정정값 진단 전문가 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 계통에 설치된 배전반의 동작책무 수행 여부를 판단하기 위한 고장지점을 스스로 선정하며, 그리고 그 지점의 사고모의 Simulation 결과를 이용하여 계전기 오·부동작 Rule에 의해 보호계전기의 동작을 검토, 진단하는 시스템이다.

2. 본 론

2.1 동작 진단 Rule

계통에서 배전반의 계전기가 올바르게 동작하는지의 여부를 진단하는 보호배전반 동작 진단 Rule은 배전반의 계전요소(Phase_Zone1, Phase_Zone2, etc) 각각의 동작책무와 정정 Rule을 바탕으로 구성하였으며, Rule의 중복을 피하기 위하여 계전요소의 오·부동작에 관련된 Rule만을 추출하여 RuleBase를 구성하였다. 그림1은 본 시스템에서 사용하는 진단 Rule이다.(1)

2.2 System 구조

본 송전선로 보호배전반 동작 진단 시스템은 그림2와 같이 4개의 모듈로 구성되어 있다. 그 구성 요소는 다음과 같다.

- 고장해석 모듈 : 사고모의를 위한 모듈로 고장해석 Tool인 PSS/E를 사용하고 있다.

```

IF 'DZR':'PHASE_ZONE1':'LINE':'FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 85%':'RELAY OPERATED'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE1':'LINE':'FAULT_LOCATION WITHIN SELF_LINE 85%':'RELAYNOT_OPERATED':'NOT_LINE_END'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE2':'LINE':'FAULT_LOCATION OVER NEXT_LINE 50%':'FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 125%':'RELAY OPERATED'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE2':'LINE':'FAULT_LOCATION WITHIN NEXT_LINE 50%':'FAULT_LOCATION WITHIN SELF_LINE 125%':'NOT_LINE_END':'RELAY NOT_OPERATED'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE2':'LINE':'FAULT_LOCATION OVER NEXT_LINE 50%':'FAULT_LOCATION WITHIN SELF_LINE 125%':'NOT_LINE_END':'RELAY NOT_OPERATED'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE1':'LINE':'FAULT IS IN THE BACKWARD DIRECTION':'RELAY OPERATED'
    THEN 'MIS_OPERATION'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE2':'LINE':'FAULT IS IN THE BACKWARD DIRECTION':'RELAY OPERATED'
    THEN 'MIS_OPERATION'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE1':'LINE':'FAULT_LOCATION IS SELF_LINE 80%':'RELAY NOT_OPERATED':'NOT_END_RELAY'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE1':'LINE':'FAULT_LOCATION IS SELF_LINE 100%':'RELAY OPERATED':'NOT_END_RELAY'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE2':'LINE':'FAULT_LOCATION IS SELF_LINE 100%':'RELAY NOT_OPERATED':'NOT_END_RELAY'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE2':'LINE':'FAULT_LOCATION IS NEXT_LINE 80%':'RELAY OPERATED'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE3':'LINE':'FAULT_LOCATION IS NEXT_NEXT_LINE 100%':'RELAY NOT_OPERATED':'NOT_END_RELAY'
    THEN 'MIS_SETTING'
IF 'DZR':'PHASE_ZONE3':'LINE':'FAULT_LOCATION IS NEXT_NEXT_LINE 80%':'RELAY OPERATED'
    THEN 'MIS_SETTING'
    
```

그림1 진단 Rule

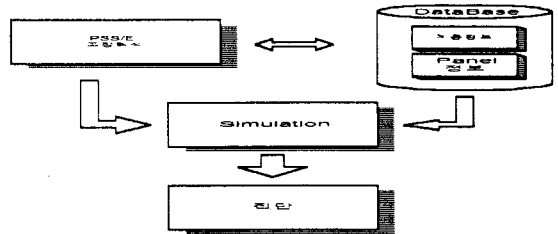


그림2 시스템 구조

- DataBase : 송전계통에 관련된 모든 데이터와 진단 Rule을 저장하고 있다.
- Simulation 모듈 : 계통에 사고를 모의하여 배전반의 동작결과를 확인하기 위한 모듈이다.
- 진단 모듈 : Simulation 결과를 종합하여 각 계전요소별 동작을 진단 Rule에 의해 검토, 진단하는 모듈이다.

2.3 Implementation

본 시스템은 Visual C, C++, ORACLE을 사용하여 설계되었으며 각각의 모듈은 OOP의 개념을 도입하여 독립적으로 구성하였다.

2.3.1 RuleBase

RuleBase 에서는 진단 Rule을 데이터 형태로 관리하

며 각 진단 Rule은 IF_THEN 구조로 그림3과 같이 조건부와 결론부로 구성되어 있다.

- 조건부
 - Relay : DZR, DZGR, OCR, etc.
 - Function : Phase_Zone1, Phase_Zone2, etc.
 - Protected Device : 피보호기기
- 결론부
 - 오·부동작 판단결과
 - : MIS_SETTING, MIS_OPERATION

```

IF 조건부 THEN 결론부
IF 'DZR','PHASE_ZONE2','LINE'
  ,'FAULT_LOCATION OVER NEXT_LINE 50%'
  AND FAULT_LOCATION OVER SELF_LINE 125%'
  AND RELAY OPERATED'
THEN 'MIS_SETTING'
  
```

그림3 진단 Rule의 예

2.3.2 추론엔진

추론엔진은 RuleBase에서 각 계전요소의 동작을 판단하기 위한 진단 Rule을 이용하여 배전반 계전요소의 동작에 대한 진단결과를 추정하는 역할을 한다. 추론방법은 Forward-Chaining 방식을 사용하였다.

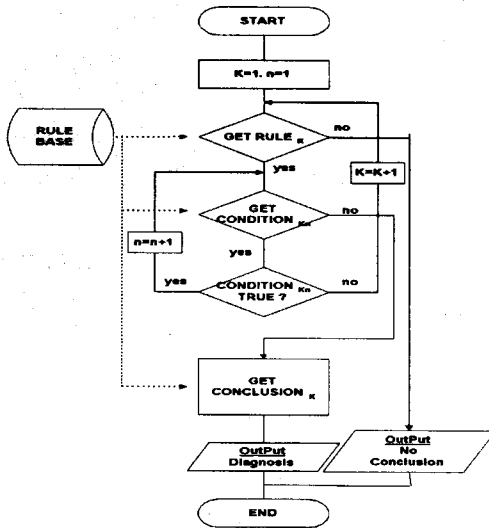


그림4 추론엔진 흐름도

우선 RuleBase에서 진단 Rule을 채택하고 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.

2.3.3 고장점 추출

진단을 하기위한 고장점 추출 작업은 시스템 내부의 고장점 추출 모듈에서 자동적으로 이루어진다. 추출 알고리즘은 그림5과 같으며 각각의 보호계전기 별로 5개 (F1 ~ F5)가 산정이 된다. 이 고장점은 정정 Rule과 계전요소들 사이의 협조를 고려하여 정해진다. 보호계전기 R1의 경우를 살펴보면 그림6과 같다.

2.3.4 고장계산

고장계산은 상용 Tool인 PSS/E를 사용하고 있다. PSS/E는 단일 프로그램으로서 다른 프로그램과의 연결이 불가능하므로 본 시스템에서는 PSS/E 고장모의 결과인 Text File을 고장계산 모듈에서 필요한 데이터만을 추출하여 DataBase에 저장하여 사용하고 있다.

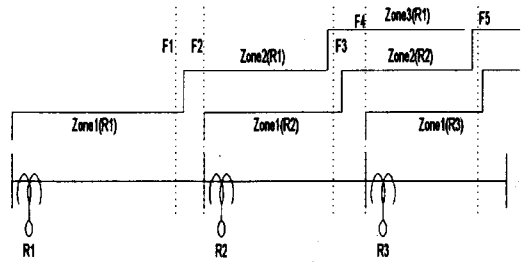


그림 5

- Zone1의 진단에 필요한 고장점 : F1, F2
- Zone2의 진단에 필요한 고장점 : F2, F3
- Zone3의 진단에 필요한 고장점 : F4, F5

그림 6

2.3.5 DataBase

본 진단 시스템은 현재 한국전력공사에서 계통 보호 종합 전산화 프로그램(PROSET2000)을 위하여 구축된 선로, 버스, 배전반, 고장, 시뮬레이션 결과 데이터등을 사용하고 있다.

- 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: 고장계산 모듈에서 모의한 고장에 대한 정보
 - 고장종류, 고장점위치, 고장 전류, 전압
- 시뮬레이션 결과 데이터: 시뮬레이션 모듈에서 모의한 보호배전반 계전 요소들의 동작 결과정보
 - Phase_Zone1, Phase_Zone2

2.3.6 Simulation 모듈

Simulation 모듈은 고장계산 모듈에서 계산된 고장데이터를 입력으로 사용하여 사고를 모의하여 배전반의 동작 여부를 확인하는 부분으로 본 시스템은 이미 개발된 보호 배전반 동작 시뮬레이터(2)에서 사용되고 있는 배전반 모듈을 이용하였다. 이 배전반 모듈은 OOP개념을 도입하여 독립적으로 설계되었고, 출력으로는 보호배전반 계전요소들의 동작 결과를 보여주며 그 값을 데이터 베이스에 넣어준다.

2.3.7 진단 시스템 동작

본 시스템은 그림 7과 같은 순서로 진행된다. 사용자가 진단하고자하는 배전반을 선택하면 시스템의 고장점 추출 모듈에서 진단에 필요한 고장점을 추출하고 고장해석 모듈을 통해 고장해석을 하게된다. 이 고장정보로 사고모의 Simulation을 통해 각각의 계전요소별의 동작상황을 파악하게된다. 이 계전요소들의 동작결과를 이용하여 오·부동작 진단틀에 의해 배전반 정정의 정확성과 신뢰성을 진단한다.

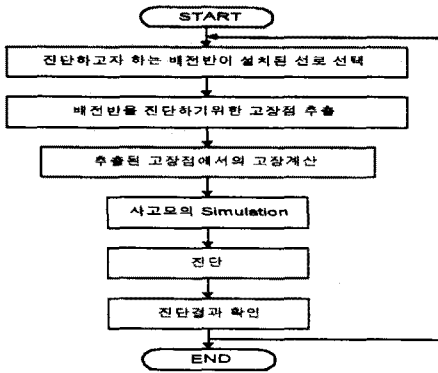


그림 7 진단시스템 동작 순서

2.4 사례연구

사례연구로서 양주(1400)와 의정부(1500)를 연결하는 선로에 설치된 보호배전반(1400150011)의 올바른 정정값과 비교 분석을 위해 변경된 정정값으로 시뮬레이션을 모의하여 각각을 진단하였다.

표1은 보호배전반 1400150011(Type : MXL1E.)의 정정값을 나타내고 있다. Phase_Zone1의 정정값 X1S과 Phase_Zone2의 정정값 X2S를 임의로 변경시켰다.

표2는 보호배전반 1400150011을 진단하기 위해 필요한 고장데이터와 시뮬레이션 결과를 보여준다.

- Fault LocationBus, Fault FarBus : 고장점이 있는 선로에 의해 연결되어 있는 버스를 나타낸다.
- Fault Position : 고장점의 위치를 나타내며 Fault LocationBus에서 Fault FarBus 방향으로 선로의 X%지점에 고장점이 위치한다는 것을 의미한다.
- Relay Function : 보호배전반의 계전요소를 의미한다.
- Relay State1 : 올바른 MXL1E 정정값을 사용하여 사고모의 시뮬레이션을 한 결과로 계전요소의 동작상태를 나타낸다. (1 : 동작, 0 : 부동작)
- Relay State2 : 변경된 정정값을 사용하여 사고모의 시뮬레이션을 한 결과이다.

MXL1E Setting	X1S	X2S	X3S	R1S
올바른 정정값	1.13	1.87	3	2.6
변경 후	1.87	2.95	3	2.6

표1

Fault LocationBus	Fault FarBus	Fault Position	Relay Function	Relay State1	Relay State2
1400	1500	80%	Phase_Zone1	1	1
1400	1500	100%	Phase_Zone1	0	1
1400	1500	100%	Phase_Zone2	1	1
1500	1700	80%	Phase_Zone2	0	1
1500	1700	100%	Phase_Zone3	1	1
1700	2500	80%	Phase_Zone3	0	0
1700	81701	80%	Phase_Zone3	0	0
1700	81731	80%	Phase_Zone3	0	0
1700	81732	80%	Phase_Zone3	0	0

표2

그림8은 올바른 정정값을 데이터로 하여 진단을 위한 일련의 과정을 거친 결과로 오류를 발견할 수 없었다.

그림9는 변경된 정정값을 데이터로 이용한 진단 결과로 Phase_Zone1과 Phase_Zone2의 정정값에 오류가 있다는 것을 보여주고 있다

◆ Diagnosis Report	
0	진단하고자 하는 Panel - 1400150011
0	Diagnosis 결과 - 발견된 오류 없음

그림8 기존 정정값의 진단결과

◆ Diagnosis Report	
0	진단하고자 하는 Panel - 1400150011
0	Diagnosis 결과
-	Panel Name : 1400150011
-	Panel Type : MXL1E
-	LocationBus : 1400
-	FarBus : 1500
-	CKT : 1
-	Fault LocationBus : 1400
-	Fault FarBus : 1500
-	Fault CKT : 1
-	Fault position : 1.0
-	Fault Type : AB상 선간단락
-	* Function : PHASE_ZONE1
-	Relay State : OPERATED
-	Rule : FAULT_LOCATION IS SELF_LINE 100%
-	RELAY OPERATED
-	NOT_END_RELAY
-	Diagnosis : MIS_SETTING
-	Fault LocationBus : 1500
-	Fault FarBus : 1700
-	Fault CKT : 1
-	Fault position : 0.8
-	Fault Type : AB상 선간단락
-	* Function : PHASE_ZONE2
-	Relay State : OPERATED
-	Rule : FAULT_LOCATION IS NEXT_LINE 80%
-	RELAY OPERATED
-	Diagnosis : MIS_SETTING

그림 9 정정값 변경후 진단결과

3. 결 론

본 논문에서는 실제통에 사용되는 보호계전기의 신뢰도 평가에 있어서 필수적인 송전계통 보호계전기 동작 진단 시스템을 개발하였다. 개발된 진단 시스템은 진단 Rule을 데이터 형태로 관리하여 Rule의 추가와 삭제가 용이하므로 높은 확장성을 보유하고 있으며, 사용자 인터페이스에 windows GUI 환경을 적용하여 편의성을 도모하였다. 또한 송전계통 보호계전 동작 Simulator와는 다른 관점에서 정정 오류에 대해 검토, 진단함으로써 정정 업무의 신뢰도 향상의 가능성을 보여주었고, [1]의 논문과는 달리 배전반의 선택만으로 보다 합리적인 고장점을 찾아 모의한 결과로서 진단할 수 있도록 하였다.

본 시스템은 실제통에 대상으로 모의하여 그 성능을 검증 하였으며, 기존 계통에 사용되는 선로보호 배전반의 모든 계전요소에 진단 Rule을 확장시켜 적용한다면, 종래에 사고가 발생하기 전에는 발견 할 수 없었던 보호계전기 정정업무의 오류를 찾을 수 있으므로 계통의 보다 안정되고 신뢰도가 높은 운용을 보장할 수 있으리라 기대한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김국진, "보호계전기 정정값 진단 전문가 시스템", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.229-231, 1999.7
- [2] 민병운, "객체지향 송전계통보호계전 그래픽 동작 시뮬레이터", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.902-904, 1998.7
- [3] 안영태, "효율적인 계통보호 데이터베이스 디자인 방법에 대한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.905-907, 1998.7
- [4] 김영일, "송전계통 보호계전기 정정협조 종합프로그램", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp.229-231, 1998.11
- [5] Kevin Warwick, "Artificial Intelligence Techniques in Power Sysytem", pp.19-43