

객체지향 송전계통보호계전 그래픽 동작 시뮬레이터

민병운\* 이승재\* 최면송\* 김국진\* 김호표\*\* 이운희\*\*  
 \*명지대학교 전기공학과 \*\*한국전력공사

An Object Based Graphical Simulator for Power System Protection

B.U. Min\* S.J. Lee\* M.S. Choi\* K.J. Kim\* H.P. Kim\*\* W.H. Lee\*\*  
 \*Myongji Univ. \*\*KEPCO

**Abstract** - When the faults occur in power systems, the protective relay plays a roles of protecting power systems. It is important that the protective relay have high selectivity and sencitivity performance in power system by correct setting the relays. This paper proposed a testing methods if the reliability of digital realy as simulating the response of relay at faults in the real power system operation environment.

1. 서 론

전력송전에 신뢰성있고 안정된 공급을 위하여 계통에서 고장시에 고장설비를 분리할 수 있는 보호 계전기의 역할이 중요하다. 이를 위하여 현재 한전 전력계통에는 여러나라에서 개발된 많은 종류의 보호 계전기가 사용되고 있다. 이들이 정확하게 동작할 수 있도록 각 보호계전기의 정정작업은 각 제작사마다 그 나름대로의 정정방식이 있으므로 각 계전기 특성을 정확하게 파악하고 있는 소수의 전문 엔지니어에 의하여 수행되며, 비록 전문 엔지니어라도 모든 종류의 계전기를 정정하는데는 어려움이 있으며 정정과정에서 오류가 생길 가능성이 크다. [1]

그러나, 이와 같이 계전기가 정정작업이 완료되어 송전 계통에 설치되었다고 과연 고장시에 정확하게 동작할지는 고장이 일어나야 알 수 있으므로 정상상태에서는 각 계전기가 정확하게 정정되었는지 검증은 현재 이루어지지 않고 있으며 계전기의 올바른 동작여부를 판단하기 위하여 직접적인 테스트는 운영여건상 거의 불가능하다. 그러나 계전기가 고장시에 오동작을 일으키면 그에 따른 피해는 막심하므로 계전기의 정정작업후 검증과정은 필수적이다. 그러므로 본 논문에서는 송전계통에 설치되어지는 계전기가 송전계통상의 고장 발생시에 정상적으로 동작하여 효과적인 보호가 이루어지는지의 여부를 사용자가 쉽게 볼 수 있도록 그래픽 화면상에 보여주어 보호계전기의 정정값을 검증할 수 있도록 데이터베이스를 이용하여 현재 한전의 실제통을 구현하고 객체지향프로그램의 장점과 Windows의 GUI환경의 편리성을 이용하여 송전계통의 보호용 계전기의 실제통 동작시뮬레이터를 개발하였다. [2]

2. 본 론

2.1 계통보호계전기 동작시뮬레이터 구성

보호계전기 동작시뮬레이터의 구성은 그래픽 사용자 인터페이스와 각 계전기들의 동작모델과 대응량의 실제통 데이터를 처리하여 실제통을 모의할 데이터베이스, 그리고, 실제통에서 고장모의를 수행할 수 있는 전력계통 고장계산 시뮬레이션 프로그램 모듈로 그림 1과 같이 구성된다. 각 모듈 프로그램은 데이터베이스를 중심으로 사용자 인터페이스에서 명령을 받아 연산결과를 데

이터베이스에 저장하여 데이터를 전달하도록 되어있다.

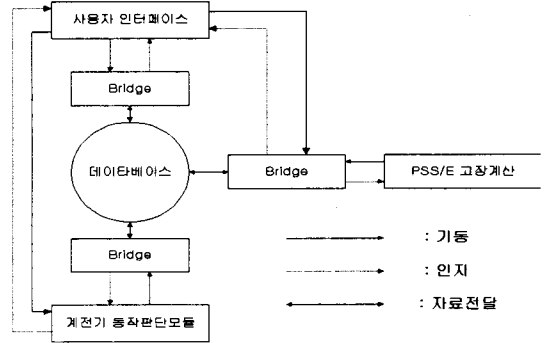


그림 1. 시뮬레이터 전체 구성도

2.2. 보호 계전기의 동작 원리

송전계통보호에 사용되는 방식으로는 대표적으로 거리계전방식과 전류차동방식이 있다. 거리계전방식 계전기는 먼저 고장전류와 고장전압을 측정하여 고장위치를 판단하고 계전기에 저장된 정정값으로부터 임피던스 다이어그램상에서 계산된 고장위치가 자기 동작영역이면 차단기에 트립신호를 주도록 되어있다. 그림 2는 거리계전방식의 계전기에서 주보호 영역과 후비보호영역, 그리고 이에 따른 임피던스 다이어그램을 표시하였다. 전류차동방식 계전기는 두 개가 한조를 이루어 보호대상선로 양단에 유입되는 전류와 유출되는 전류의 차를 비교하여 전류차가 생기면 보호구간내에서 고장이 일어났다고 판단하여 고장선로를 분리하도록 협조를 이룬다. 그림 3은 전류차동방식 계전기의 동작원리를 나타내었다. [3]

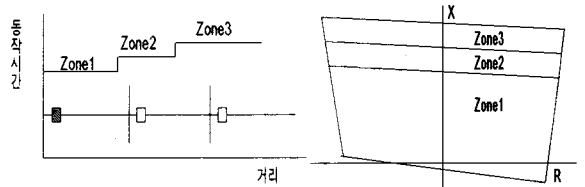


그림 2. 거리계전기의 동작영역과 임피던스 다이어그램

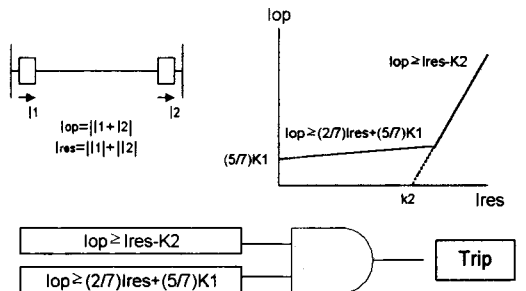


그림 3. 전류차동방식 계전기의 동작원리

## 2.2. 보호 계전기의 동작모듈 구현

송전선로용 보호계전기의 동작모듈은 각보호배전반의 정정 방법에 대한 분석을 통하여 C++을 이용한 객체 지향 프로그램 구조 (OOP: Object Orient Programming)를 갖도록 구현하였다. 객체 지향적 디자인에서 가장 중요한 추상화 과정을 통해 모든 배전반 요소들을 시간과 공간에 관계없이 변하지 않는 일반적인 모델을 만들었으며, 또한 객체 지향적 방법에서 가장 중요한 재사용성의 장점을 갖도록 디자인하였다. [4] 그림 4는 객체지향 디자인의 한 과정으로 DistanceR class의 OOP 다이어그램이다. DistanceR class는 상위 에 Relay class와 상속관계를 가지고 있으며, 하위에는 Zone1R class, Zone2R class, Zone3R class, Zone4R class가 있다. 또한 Zone1R class의 하위에는 MXL1EZ1R class, MDTA2Z1R class, MDARZ1R class, DLPZ1R class가 있다. 이와 같은 과정을 거쳐 한전계통의 송전선로보호용 모든 배전반의 객체지향 동작 모듈을 개발하였다. [5]

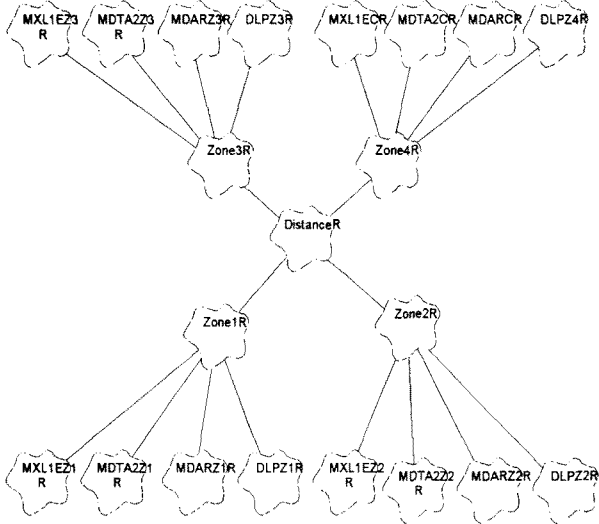


그림 4. DistanceR class의 OOP 다이어그램

## 2.3 계통보호 데이터베이스 구현

계통보호 데이터베이스는 항상 변화하는 방대한 양의 실제 데이터 여러 보호관련 응용프로그램에서 편리하게 이용할 수 있도록 요구되는 각 데이터의 특성을 분석하고 공통 데이터 요소를 연계하여 필요한 데이터를 효율적으로 구조화하도록 구현하였다. [6]

계통보호 데이터베이스의 설계과정에서 개념적 설계는 데이터의 요구사항등을 분석하여 파악한 데이터의 내용과 이들간의 연관성을 명확하게 제시하고 이의 결과를 바탕으로 각 데이터 객체의 속성으로 구성되는 개체(entity)들의 관계를 E-R(Entity-Relationship) Diagram과 같은 표현기법으로 기술하여 데이터 요소를 전체적으로 일관성있게 표현한다. [7]

논리적 설계는 개념적 설계 결과를 대상으로 특정 데이터베이스 관리시스템이 제공하는 데이터모델을 이용하여 데이터를 조직화한다. 본 논문에서는 현재 가장 일반적으로 쓰여지는 관계형 데이터베이스 시스템인 oracle을 사용하였다.

물리적 설계는 데이터의 응용특성에 맞는 저장구조와 액세스 방법등을 결정함으로써 데이터베이스가 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 한다

구축된 계통보호 데이터베이스는 1998년 한전 실제용 데이터로서 다음과 같은 보호관련 데이터를 저장하고 있다. [8][9]

- 배전반데이터: 배전반이름, 제작사, 타입, 설치위

치, 상대단, 구성계전기요소, CT 비, PT 비

- 계전기데이터: 계전기이름, 제작사, 형식, 탭 범위, 정정요소 및 정정값
- 계통데이터: 전압, 모선-선로 연결, 모선형태, 선로 임피던스, 변압기정보, 발전기정보, 부하정보 등
- 고장데이터: 고장종류, 고장모션, 회선번호, 자모션에서 상대모션으로 고장전류, 고장모션전압

## 2.4 전력계통 고장계산 모듈 구현

전력계통 고장계산 모듈은 고장시에 실제계의 고장상황을 정확하게 묘사하는 모듈로서 데이터베이스로부터 실제계의 데이터를 다운받아 고장계산을 수행한다. 대용량의 한전 송전계통의 고장을 모의하기 위하여 본 논문에서는 신뢰성을 인정받아 한전에서 일반적으로 사용되는 PSS/E 프로그램을 사용하였다. PSS/E 프로그램은 입력파일로서 실제계 데이터를 입력받으며, 시뮬레이션한 고장에 대하여 방대한 양의 결과파일을 생성한다. 그러므로 본 연구에서는 PSS/E 프로그램과 같은 독립적인 외부프로그램을 계전기 동작 시뮬레이터의 종합환경에 연결할 수 있도록 Bridge라는 매개체 모듈을 개발하였다. Bridge모듈은 데이터베이스로부터 실제계 자료를 입력파일로 만들어주고 결과파일에서 필요한 자료만을 추출하여 데이터베이스 저장하여 데이터베이스와 PSS/E 프로그램을 연결함으로써 완벽한 인터페이스가 가능하게 하였다. 그림 5는 PSS/E와 데이터베이스와의 연결관계를 간략하게 표현한 것이다.

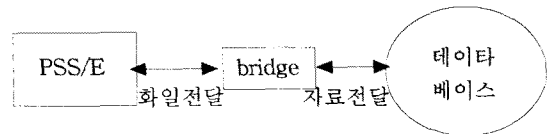


그림 5. PSS/E와 데이터베이스의 연결

## 2.5 그래픽 사용자 인터페이스 모듈 구현

사용자 인터페이스는 Windows의 그래픽 환경 잊점을 최대한 살려 모든 명령을 그래픽화면상에서 마우스의 클릭으로만 모든 명령이 수행될 수 있도록 구성하여 키보드의 입력을 최소한으로 줄이고 명령의 체계를 단순화시키는 방법으로 편리한 사용자 환경을 구축하였다. 사용자는 데이터베이스에서 검색된 고장을 모의할 버스의 위치를 마우스로 선택하면 본 프로그램은 자동적으로 계통도를 그리고 여기에 이중버스가 있으면 이중버스 또한 자동적으로 그려지도록 만들었다. 여기에 데이터베이스로부터 배전반의 정보를 읽어들이어 배전반을 계통도에 나타 내었으며 사용자가 버스정보나 배전반의 정보를 보기 위하여 마우스를 버스나 배전반의 위치에 놓으면 자동적으로 색깔이 변하면서 간략한 정보가 나타나도록 하였다. 그리고 보다 상세한 정보를 원한다면 마우스의 클릭과 함께 자세한 정보를 데이터베이스를 검색하여 화면에 나타낼 수 있도록 하였다. 또한 사용자가 마우스를 이용하여 고장종류와 고장거리등 고장에 필요한 값을 입력하고 고장모의를 수행하면 PSS/E가 데이터베이스로부터 실제계 데이터를 다운받아 자동으로 고장계산을 수행한다. 고장모의가 끝나면 출력된 파일을 분석하여 계전기 동작 시뮬레이션에 필요한 고장 결과값이 데이터베이스에 구축된다. 그러면 사용자가 배전반 동작모의를 실행시켜 배전반의 동작여부를 화면에서 볼 수 있도록 하였다. 사용자가 배전반의 각 계전요소의 동작과정을 세세하게 알기 원한다면 배전반위에 마우스를 위치시킨 후 클릭하면 동작과정을 상세히 리포트된다.

그림 6은 계전기 동작 시뮬레이터의 사용자 인터페이스의 기본화면을 나타낸다.

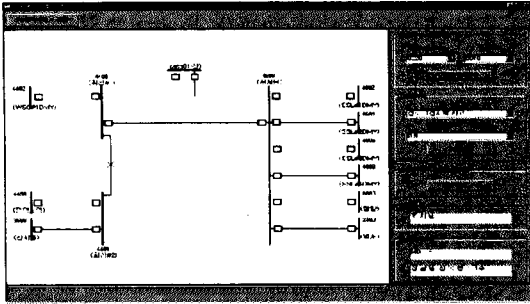


그림 6. 사용자 인터페이스의 기본화면

### 2.5 사례연구

사례연구로서 화성과 서서울을 연결하는 지역에서 다음과 같은 3상 단락사고시 계전기들이 어떻게 동작하는지 알아보았다.

- 모선번호 : 4400(화성 #1), 4600(서서울)
- 고장지점 : 모선 4400과 4600사이의 84%지점
- 고장종류 : 선로 3상단락 사고

표 1은 PSS/E를 수행하여 배전반동작여부 판단에 필요하여 데이터베이스에 구축된 계통정보와 고장결과와 데이터의 일부를 나타내고 있다.

표 1 배전반동작여부를 판단하는데 사용되는 값

화성#1에서 본 서서울 선로의 고장결과							
고장전압Re		고장전압Im		고장전류Re		고장전류Im	
0.3055		-0.0055		2.6042		-65.4976	
X1S	X2S	X3S	R1S	R4S	X1SB		
0.74	1.3	10.97	3.66	4.86	1.5		
서서울에서 본 화성#1선로의 고장결과							
고장전압Re		고장전압Im		고장전류Re		고장전류Im	
0.1474		0.0004		10.0215		-165.7153	
X1S	X2S	X3S	R1S	R4S	X1SB		
0.74	2.57	9.32	3.66	4.86	1.5		

계전기 동작 시뮬레이터의 최종결과 화면을 그림 7에 나타내었다. 여기서 Zone1은 85%, Zone2는 125%, Zone3는 225%지점내의 고장을 판단하도록 정정률에 의하여 모든계전기가 정확하게 정정되어있음을 보여주고 있다. 그리고 표2는 각계전기의 동작사항을 자세히 리포트하고 있다. 이 시뮬레이션으로부터 화성#1과 서서울 사이 계통에서 모든 계전기는 신뢰성있게 동작하리라는 것을 기대할 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서 실제 사용되는 보호계전기의 신뢰도 평가에 있어서 필수적인 보호계전기 동작시뮬레이터를 개발하였다. 먼저 한전의 실제 계통 데이터베이스를 구축하고 객체지향프로그래밍의 장점과 Windows의 GUI환경의 편리성을 이용하여 송전계통의 보호용 계전기의 실제 동작시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 현재 송전계통에 설치되어지는 계전기가 송전계통상의 고장 발생시에 정상적으로 동작하여 효과적인 보호가 이루어지는지의 여부를 사용자가 쉽게 볼 수 있도록 그래픽 화면상에 보여주기 보호계전기의 정정값을 검증할 수 있도록 하였다. 그리고 나아가서 보호계전기 동작시뮬레이터를 현재 한전계통의 모든계전기에 대한 정보를 데이터베이스로 구축하여 적용한다면 종래에는 사고 이전에는 찾을 수 없던 보호계전기의 오부동작 가능성을 찾아낼 수 있게하여 전력계통의 보다 안정하고 신뢰도가 높은 운용을 보장할 수 있는 가능성을 보였다.

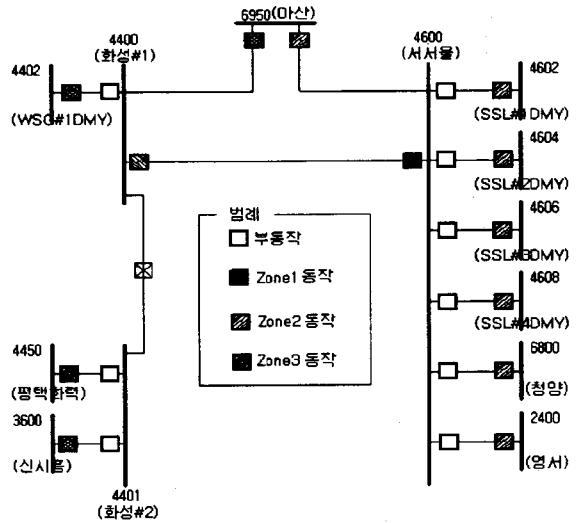


그림 7 배전반의 동작결과화면

표 2. 최종결과 STEP REPORT 일부

```

MXLIE from 화성#1(4600) to 서서울(4600)
1. Zone-1 Simulation 결과
(1)정정값
  Z1L = 5.61Ω, Z1r = 0.74Ω
(2)고장결과 계산값
  Vpu = 0.3055 - j0.0055 = 0.3055 ∠ -1.0314° pu
  Ipu = 2.6042 - j65.4976 = 65.5494 ∠ -87.7231° pu
  ∴ Zpu = Vpu / Ipu = (0.3055 ∠ -1.0314°) / (65.5494 ∠ -87.7231°)
  = 0.0047 ∠ 86.6917° pu
  ∴ Zactual = Zpu × Zbase = (0.0047 ∠ 86.6917°) × 1190.25
  = 5.5482 ∠ 86.6917° Ω
  ∴ Zretry = 5.5482 × (2000/5) / (345000/115) = 0.7398 ∠ 86.6917° Ω
  = 0.0427 + j0.7385 Ω
(3)결론 : Zone-1 동작
  Z1r = 0.74Ω > Zretry = 0.7385Ω
2. Zone-2 Simulation 결과
(1)정정값
  Z2L = 9.77Ω, Z2r = 1.3Ω
(2)고장결과 계산값
  ∴ Zretry = 5.5482 × (2000/5) / (345000/115) = 0.7398 ∠ 86.6917° Ω
  = 0.0427 + j0.7385 Ω
(3)결론 : Zone-2 부동작(Zone-1 동작)
  Z2r = 1.3Ω > Z1r = 0.74Ω > Zretry = 0.7385Ω
  
```

#### [참고 문헌]

- [1] 한국전력공사 계통운영처, 계통보호 전산종합 프로그램 개발, 1998
- [2] Mike Foley, Anjan Bose, William Mitchell, Antony Faustini, "An Object Based Graphical User Interface for Power Systems", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, NO. 1, February 1993
- [3] 中山敬造, 보호계전기시스템, 도서출판 세화, 1984, pp.13-148
- [4] S. Li, S.M. Shahidepour, "An Object Oriented Power System Graphics Package For Personal Computer Environment", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, NO. 3, August 1993
- [5] E. Z. Zhou, "Object-Oriented Programming, C++ and Power System Simulation", IEEE/PES 1995 Winter Meeting, (95WM210-5 PWRs) NEW York, NY, January, 1995
- [6] 이석호, 데이터베이스 시스템, 정익사, 1997, pp. 283-288
- [7] H.F. KORTH 외 1인, 데이터베이스 시스템 총론, 형설출판사, 1995, pp 170-214
- [8] 한국전력공사 기술연구원, 계통보호 데이터베이스 구축에 관한 연구, 1992
- [9] 김광호, "배전 자동화 시스템을 위한 데이터베이스 설계", 1997년도 하계학회대회 논문집, pp. 754-757, 1997. 7