

교육용 디지털 릴레이 시뮬레이터 개발에 관한 연구

김인수, 김형진, 안상필, 이종포, 여상민, 강윤식, 안상민, 김철환  
성균관대학교

A Study on the Development of the Digital Relay Simulator for Education

I.S. Kim, H.J. Kim, S.P. Ahn, J.P. Lee, S.M. Yeo, Y.S. Kang, S.M. Ahn, C.H. Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 디지털 릴레이 알고리즘을 교육시키는 것은 전력계통의 관심사중의 하나이었다. 그러나, 전력계통의 보호계전 알고리즘의 비공개성 때문에, 디지털 릴레이 시뮬레이터에 의한 전력계통의 디지털 릴레이 알고리즘을 교육/훈련시키는 데 어려움이 있었다. 그러므로, 송전선로의 디지털 계전 알고리즘을 시뮬레이션 할 수 있는 새로운 디지털 릴레이 시뮬레이터가 필요하다. 본 연구는 이러한 요구조건에 맞는 교육/훈련용 디지털 릴레이 시뮬레이터를 소프트웨어(프로그래밍 언어)에 의해 디지털 릴레이의 물리적, 이론적 메커니즘을 바탕으로 개발하는 것이 목적이다.

1. 서론

송전선로에 고장 발생시 고장구간을 정확히 추정하여 빠른 시간내에 차단할 수 있어야 하며, 이는 신뢰성의 향상이라는 측면에서 볼 때 상당히 중요한 부분을 차지한다. 이와 같은 이유로 오래 전부터 송전선로의 고장구간을 추정, 차단하기 위한 여러 가지 계전기법이 개발되어 왔으며 이를 구현하기 위한 보호알고리즘 또한 계속적으로 발전해왔다[1-3].

그러나, 이들 대부분의 보호알고리즘들은 실제에 적용되기 전에 그 성능을 검증하거나 개선하기 위해 시뮬레이션 과정을 거쳐야만 한다. 컴퓨터상에서의 시뮬레이션 과정은, 일반적으로 EMTP(electromagnetic transient program)를 통해 고장 데이터를 얻은 후 다시 이 데이터를 적절히 처리하여 C나 PASCAL 등의 고급언어로 구현된 계전 알고리즘에 적용시켜서 최종의 결과를 얻게된다[4]. 따라서, 필연적으로 이 시뮬레이션 방법은 데이터를 획득하기 위한 절차와 이들 데이터를 처리하고 모의하기 위한 2개 이상의 절차로 나뉘어지게 된다. 그러므로 이러한 2개 이상의 절차를 하나로 통합할 수만 있다면 보호계전 알고리즘의 시뮬레이션에 소요되는 시간과 노력을 상당히 줄일 수 있을 것이다. 또한, 종래의 EMTP에서는 거리계전기법을 구현하는데 있어서 시뮬레이션을 통한 고장 데이터만을 제공할 뿐 다른 과정을 수행할 수 없었다. 그러나 FORTRAN 기능을 사용할 수 있을 뿐 아니라, 다른 고급언어로 작성된 보호알고리즘과 전력시스템의 인터페이스를 가능하게 해주는, EMTP에 새로이 추가된 MODELS는 전력시스템과 보호시스템과의 상호작용에 관한 연구를 가능하게 하며 이러한 EMTP MODELS방식은 EMTP방식 시뮬레이션보다는 개선되었으나, 이 방식을 적용하기 위해 사용

자는 여러 가지 내용을 학습할 필요가 있다. 다시 말하면, 학생 및 엔지니어에게 디지털 릴레이 알고리즘을 교육/학습시키기 위해서는 디지털 릴레이, EMTP, 프로그래밍 언어, MODELS 문법 및 사용법에 대한 교육이 요구된다(5-7).

교육 및 훈련의 필요성은 첫째, 전력계통, 전력기기의 특성, 보호, 제어 시스템의 기능, 정정 및 운용규칙, 기상 등의 광범위한 지식의 보유가 필요하며, 특히 작업정지 등에 직면할 때 기본 규칙을 확실하게 알고 있을 필요성이 있다. 둘째, 계통 사고 시에는 많은 정보의 취사 선택이나 심리적으로 긴박한 상황에서 냉정하고 적절한 판단하에 복구 방침을 입안하여 실행할 수 있는 능력, 즉 기능면에서의 원숙도가 요구되기 때문이다. 이같은 이유로 본 연구에서는 디지털 릴레이 시뮬레이터를 개발하고자 한다.

2. 연구내용

2.1 디지털 거리계전 알고리즘

그림 1은 거리계전기법에서 사용하는 일반적인 흐름도를 나타낸 것이다.

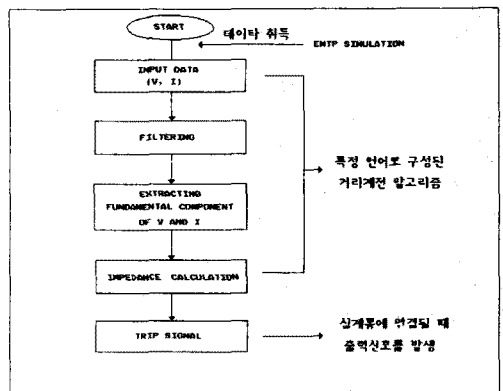


그림 1 일반적인 거리계전기법을 모의하기 위한 흐름도

위 그림에서 볼 수 있듯이 시뮬레이션에서 사용되는 고장 데이터는 EMTP 실행에서 얻어진 결과 파일에서 분리하여 적용된다. 이 데이터를 고조파와 직류성분을 제거하는 디지털 필터링 기법으로 필터

링 시켜 기본과 성분만을 추출하고, 이 기본과 성분의 전압, 전류로부터 고장 임피던스를 구한다. 만일 고장 임피던스가 고장설정 영역내로 수렴할 경우 계전기 트립신호를 발생시켜 고장구간을 분리함으로써, 건전구간을 고장구간으로부터 보호한다. 본 연구에서는 이러한 고장 데이터를 얻기 위해 계통 모델링을 소프트웨어로 작성할 것이며, 실제통과의 일치성 검증을 위해 다양한 EMTP 시뮬레이션 데이터와 비교 검토 및 수정작업을 병행할 것이다.

또한, 거리계전을 위한 여러 가지의 알고리즘들을 크게 다음과 같이 구분할 수 있다.

- (1) 선형 차분 방정식(linear differential equation)을 사용하는 방식
- (2) 계전기에서 처리하는 전압, 전류의 파형이 순수한 사인(sine) 파형이라 가정하여 R, X를 구하는 방식
- (3) 직교함수를 이용하여 사고 전압과 전류의 기본과 성분을 추출하여 R, X를 구하는 방법
- (4) 진행파를 이용하여 사고지점에서 생긴 반사파가 돌아오면 시간을 측정하고 거리를 계산하는 방식

표 1은 위의 디지털 거리계전 알고리즘의 동작 특성비교를 나타낸 것이다.

표 1 디지털 거리계전 알고리즘의 특성 비교

알고리즘 \ 특성	고조파 영향	계산량	동작 시간	판별력	신뢰도
선형 차분 방정식 이용	심함	중간	보통	중음	안정
푸리에해석 이용 (직교함수 이용)	거의 없음	많음	느림	중음	매우 안정
진행파 이용	전혀 없음	상당히 많음	빠름	사고거리만 계산	불안정

## 2.2 기본과 추출을 위한 디지털 필터

거리계전 알고리즘에서 고조파와 직류성분을 제거하기 위해 사용되는 디지털 필터링 기법은 ①DFT를 이용한 기본과 추출 필터링 기법, ②블록펄스 함수를 이용한 기본과 추출 필터링 기법, ③Walsh 함수를 이용한 기본과 추출 필터링 기법 등이 있으며, 이들 알고리즘의 특성은 적은 샘플들로부터 전압과 전류의 기본과 성분을 얼마나 정확하게 얻을 수 있는가에 의존한다.

## 3. 전체 시스템 구성

그림 2는 디지털 릴레이 시뮬레이터의 블록 다이어그램을 나타낸 것이다.

본 연구에서 개발될 시뮬레이터는 다음과 같은 특징을 가질 것이다.

- ① Simulator 개발
  - GUI 환경으로 개발.
  - Simulator /WS(교육용 릴레이 시뮬레이터 Server 탑재), 2대의 Simulator /PC(교육용 릴레이 시뮬레이터 Client 탑재)를 TCP/IP

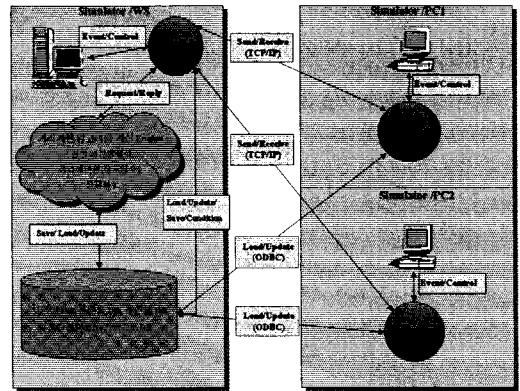


그림 2 디지털 릴레이 시뮬레이터

### 블록 다이어그램

에 따라 각각 Network Server와 Client로 작동되도록 설계.

- 데이터베이스 참조가 자유롭고 삽입, 삭제 가능하도록 설계
- ② DB 구축
  - 모의반 DB
  - 훈련용 DB
  - 훈련생 DB
  - 훈련결과 DB
  - 기타 교육용 DB

아래의 그림 3은 본 시뮬레이터에서 거리계전 알고리즘을 위해 사용되어질 메뉴들을 도식화하여 나타낸 것이다.

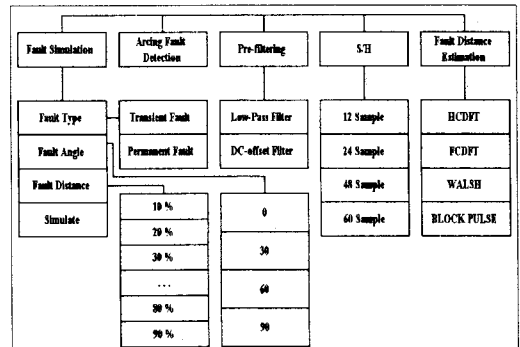


그림 3 GUI로 작성되어질

거리계전 알고리즘 메뉴

## 4. 연구개발 단계

다음의 표 2는 본 연구의 수행 연구단계를 표로 정리하여 나타내었다. 표2에서 알 수 있듯이 본 연구의 최종 연구목표는 개발 예정인 디지털 릴레이 시뮬레이터의 제품화이다. 성공적으로 연구가 완료되면 한국전력공사, 관련 산업체 및 대학교 등에 보급하여 교육/훈련 목적으로 사용될 것으로 기대된다.

표 3은 향후 데이터베이스를 구축할 때 거치는

작업들을 단계별로 나타낸 것이다.

표 2 본 연구의 연구개발 단계표

연구 단계	연구 내용
디지털 Distance 릴레이 모델 개발 단계	① 선로정수 모델 ② Fourier 변환 모델 ③ Block Pulse 변환 모델 ④ Haar 함수 모델 ⑤ 진행과 이론 모델
시뮬레이터 모델 개발단계	① 시뮬레이터 모델 설계 ② 시뮬레이터 검증 및 보완 ③ 시뮬레이터 모델 개발
데이터베이스 설계 및 개발단계	① DB 모델링 ② DB 설계 및 검증 ③ 객체지향형 시뮬레이터 DB 설계
시뮬레이터 모델 결합 및 보완단계	① 디지털 Distance 릴레이 모델, 시뮬레이터 모델 및 데이터베이스 모델의 결합 ② 시뮬레이터 모델의 검증, 평가 및 보완 ③ 디지털 Distance 릴레이 시뮬레이터 모델 구성 및 개발
시뮬레이션 데이터 모의 및 취득단계	① EMTP 모델링 데이터 ② 실제용 DFR 데이터 ③ S/W를 이용한 송전선도 모델 계통 ④ Comtrade File 형식 변환
디지털 릴레이 시뮬레이터 구성 및 개발단계	① 교육/훈련용 대화형 디지털 릴레이 시뮬레이터 소프트웨어 프로그램 개발 ② 다양한 입력 데이터에 의한 시뮬레이션 및 검증 ③ 시뮬레이터 보완 및 Test
디지털 릴레이 시뮬레이터 Test 및 Property 개발단계	① 완성된 시뮬레이터 소프트웨어 제품화 ② 실 사용자의 교육 및 훈련을 통한 검증 및 보완 ③ 미비점 보완 및 User Interface 최적화 설계

표 3 데이터베이스 구축 단계표

작업 단계	작업 내용	비고
모의반, 훈련생, 훈련결과, 기타 교육용 DB 설계 및 구성	· DB 구축대상 해석프로그램 및 DB 선정 · 해석프로그램 입력데이터 분석 · ER 다이어그램과 DB 테이블작성 : 프로그램별 데이터간의 상관관계 파악 및 관계형 DB 파라미터 추출 · DB 프로그램 작성 : 설계된 테이블을 기준으로 하여 SQL 스크립트 작성	DB 설계 단계 (ORACLE 관계형 DB 활용)
모의반, 훈련생, 훈련결과, 기타 교육용 DB 자료입력	· 모의반, 훈련생, 훈련결과, 기타 교육용 DB 시험자료 입력	자료입력 단계
모의반, 훈련생, 훈련결과, 기타 교육용 DB 시험 운용 및 수정보완	· DB의 Tuning 시험, 수정 및 보완작업 · DB의 시뮬레이터 연계운전	DB 시험 운용 및 보완 단계

## 5. 결론

본 연구에서는 여러 가지의 디지털 릴레이 알고리즘을 GUI 환경으로 작성하고자 한다. 고장발생 및 고장거리 추정에 의하여 사용되어지는 과정을 pull-down menu와 pop-up menu 등을 사용한 GUI 환경으로 구성함으로써 알고리즘의 수행과정을 보다 쉽게 이해하고, 사용할 수 있도록 하여 교육/훈련의 효과를 극대화하고자 한다. 개발예정인

시뮬레이터는 모의고장 발생(Fault Triggering) 기능, 모의고장 난이도별 임의(random) 발생 및 수동선택 발생, 모의고장 시나리오 편집기능, 모의고장 시나리오 입력, 수정, 삭제 기능, 디지털 릴레이 교육/훈련 기능, 훈련 결과 자동평가 및 훈련일지 작성 기능 등을 포함한다. 본 연구의 시뮬레이터로 교육을 받는 훈련생들은 다양한 정보를 단시간에 이해하는 능력, 긴박한 상태하에 있어서 단시간에 적절한 판단을 하는 능력, 조작을 원활하게 연계 동작하는 능력 등이 배양되어 질 것임을 기대하는 바이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2000-2-30200-003-3) 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] Arun G. Phadke, James S. Thorp, "Computer Relaying for Power Systems", Johns Wiley & Sons in c., pp.112-162
- [2] Adly A. Girgis, Christopher M. Fallon, "Fault Location Techniques for Radial and Loop Transmission Systems using Digital Fault Recorded Data", IEEE Tran. on Power Delivery, Vol. 7, No. 4, October, 1992, pp.1936-1945
- [3] 강상희, 김일동 외, "Block Pulse Function을 이용한 디지털 거리계전 알고리즘", 대한전기학회 논문지, Vol. 42, No. 1, Jan, 1993, pp.1-11
- [4] Robert E. Wilson, Jerry M. Nordstrom, "EMTP Transient Modeling of a Distance Relay and a Comparison with EMTP Laboratory Testing", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July, 1993, pp.984-992
- [5] J. N. Peterson, R. W. Wall, "Interactive Relay Controlled Power System Modeling", IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 6, No. 1, January, 1991, pp. 96-102
- [6] 김철환, "MODELS를 사용한 EMTP의 효율적 이용", 전기설비, Vol. 12, No. 2, 1995, pp.22-30
- [7] 이명희, "EMTP-MODELS를 이용한 디지털 거리계전기법의 구현에 관한 연구" 성균관대학교 석사학위논문, 1996, 2.
- [8] Djuric, M.B., Radojevic, Z.M. and Terzija, V.V., "Digital signal processing algorithm for arcing fault detection and fault distance calculation on transmission lines", Electric machines and power systems, Vol. 19, No. 3, 1997, pp. 165-170.
- [9] 변성현, "Wavelet 변환을 이용한 고저항 지락사고 검출 및 고장점 추정에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 논문, 1997.
- [10] 한국전력공사, "송전선 보호계전 시스템의 알고리즘 개발에 관한 연구", 1991년 3월, pp.65-108
- [11] J.Giri, "Operating training simulators in power system restoration", IEEE Committee Report, New Approaches in Power System Restoration, T-PWR S, November 1992
- [12] J.G.Waight, K.Nodehi, E.J.Dobrowski, "Capabilities of an operator training simulator to support restoration training", IEEE Committee Report, Bulk Power System Restoration Training Techniques, T-PWRS, February 1993.
- [13] 이철기, "실시간 모의제어시스템 (Simulator) 국산화 개발-발전소 운전원 훈련용을 중심으로", 정보과학회지, 제13권 제4호, pp.76-80, 1995
- [14] 이형민, 김용모, 윤종필, "능동장애지향 데이터베이스에서의 일관성 관리에 관한 연구", 정보처리학회논문지, 제5권, 2호, pp270-288, 1997.