

# MATLAB을 이용한 송전선로의 아크사고 검출 및 고장거리 추정 소프트웨어 개발에 관한 연구

論 文
51A-4-1

## A Study on the Detection of Arcing Faults in Transmission Lines and Development of Fault Distance Estimation Software using MATLAB

金秉泉\* · 朴南沃\*\* · 金東秀\*\*\* · 金喆煥§  
(Byung-Chun Kim · Nam-Ok Park · Dong-Su Kim · Chul-Hwan Kim)

**Abstract** - This paper present a new very efficient numerical algorithm for arcing faults detection and fault distance estimation in transmission line. It is based on the fundamental differential equations describing the transients on a transmission line before, during and after the fault occurrence, and on the application of the "Least Error Squares Technique" for the unknown model parameter estimation. If the arc voltage estimated is a near zero, the fault is without arc, in other words the fault is permanent fault. If the arc voltage estimated has any high value, the fault is identified as an arcing fault, or the transient fault. In permanent faults case, fault distance estimation is necessary. This paper uses the model of the arcing fault in transmission line using ZnO arrester and resistance to be implemented within EMTP.

One purpose of this study is to build a structure for modeling of arcing fault detection and fault distance estimation algorithm using Matlab programming. In this paper, This algorithm has been designed in Graphic user interface(GUI).

**Key Words** : Transient fault, Permanent fault, Arcing fault detection, Fault distance estimation

### 1. 서 론

오늘날의 전력시스템은 고도로 복잡하게 되어, 기존의 보호 방법보다 신뢰성이 높은 새로운 보호 방법의 개발이 필요하다. 이러한 전력시스템에서 고장이 발생할 경우, 고장이 발생한 지점뿐만 아니라 고장지점에 연결된 모든 선로에도 고장 효과가 파급되어 심각한 결과를 초래할 수가 있다. 따라서, 전력계통의 안정도 측면에서 고장이 발생한 지점을 정확히 파악하여 고장 파급을 차단하는 것이 중요하다. 또한 전력 공급의 신뢰성 측면에서는 일시고장이 발생한 경우, 고장이 제거된 후 재폐로를 수행하여 전력 공급의 신뢰성을 유지시켜주는 것이 중요하다. 그러나 영구고장 시에 재폐로를 수행할 경우, 전력계통과 전력 장비들에 치명적인 영향을 가중시킬 수 있다[1]. 따라서 송전선로에서 발생하는 사고 중 일시고장과 영구고장을 판별하는 것은 중요하며, 그 방법 중 하나로 아크사고를 검출하여 판별하는 방법이 있다. 이러한 아크사고의 검출은 첫째로 일시고장과 영구고장을 판별함으로써 재폐로의 수행 여부를 효율적으로 결정하도록 해주며, 둘째로 영구고장으로 판별된 경우 고장점을 추정하여 고장선로를 선별적으로 차단시킬 수 있도록 해준다[2-6].

실제 아크사고 현장모의 실험이나 재폐로 실험의 경제적, 현실적인 어려움으로 인해, EMTP가 널리 사용되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 EMTP 시뮬레이션을 통하여 고장모의화하였으며, Matlab을 사용하여 최소 자승 오차법(Least Square Error Method)으로 DSP 분석을 수행하여 아크전압의 크기를 구해 송전선에서 발생한 사고를 판별하였다. 영구고장의 발생시 고장구간을 추정하기 위해 선로의 전압, 전류를 고조파 제거와 DC-offset 제거, 기본파 성분 추출과 같은 전처리 과정을 거친 후, 고장발생 지점까지의 임피던스를 계산하였다.

본 논문에서는 위와 같은 여러 가지의 알고리즘을 GUI 환경으로 작성하여 수행하였다. 아크전압 판별과 고장거리 추정에 의하여 사용되어지는 여러 가지 과정을 pull-down menu와 pop-up menu 등을 사용한 GUI 환경으로 보여줌으로써 알고리즘의 수행과정을 보다 쉽게 이해하고, 사용할 수 있도록 하였다[7,8].

### 2. 아크 특성과 고장거리 추정

#### 2.1 아크 특성

일반적인 아크는 매우 복잡한 구조를 가지며 다른 형태의 방전 현상보다 더 큰 전류값과 더 작은 전압값을 갖는다. 아크의 전압-전류 특성은 전류가 증가함에 따라서 아크 양단의 전압이 감소하는 부특성을 갖는다[2,4].

송전선로에서 일어나는 사고의 종류를 일시고장과 영구고장으로 구별할 수 있다[4,9].

\* 正 會 員 : 光 明 電 機 技 術 研 究 所 研 究 員  
\*\* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 電 氣 試 驗 研 究 所 검 수 시 험 실 장  
\*\*\* 準 會 員 : 成 均 館 人 情 報 通 信 工 學 部 碩 士 課 程  
§ 正 會 員 : 成 均 館 人 情 報 通 信 工 學 部 教 授 · 工 博  
接 受 H 字 : 2001 年 5 月 15 H  
最 終 完 了 : 2002 年 2 月 14 H

## 2.2 고장거리 추정

거리계전방식은 계전점으로부터 얻어진 전압과 전류를 이용하여 임피던스를 구해내고 이의 수렴여부를 판정하여 가공선로 상의 고장점까지의 거리를 추정하여 고장구간을 차단하는 방법으로, 계통신호의 기본파 성분을 이용하는 방법이 가장 널리 연구되어지고 있으며, 본 논문에서 고장거리 추정을 위해 거리계전방식을 사용하였다. 일반적으로 사고시 과도 상태의 전압, 전류파형은 고조파 성분과 직류성분(DC-offset)을 포함하는 왜곡된 신호로 이루어져 있다. 따라서 이들 왜곡된 신호로부터 전압, 전류의 기본파 성분을 추출하여 고장거리를 추정하기 위해서는 여러 가지의 디지털 필터링 기법이 이용된다[1,4-5,10-12].

## 3. Matlab을 이용한 GUI 구성

GUI는 순전한 텍스트보다는 그래픽을 사용해 사용자와 컴퓨터간 인터페이스를 구현하는 것이다. 이를 통하여 사용자가 보다 쉽게 프로그램을 사용할 수 있도록 한다. 다음 그림 1은 기존의 TUI(Text User Interface)와 GUI(Graphic User Interface)를 도시한 것이다.

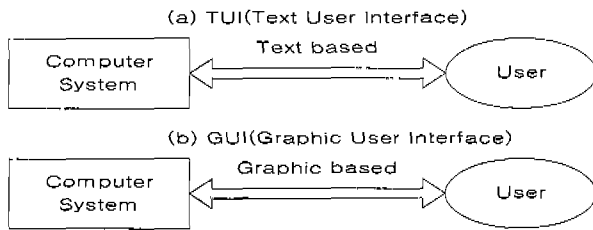


그림 1 GUI와 TUI의 비교  
Fig. 1 GUI in comparison with TUI

GUI의 요소들은 윈도우, 풀다운 메뉴, 단추들, 스크롤바, 아이콘 이미지, 워저드, 마우스 같은 것들을 포함하며, 아직 발명되지 않은 많은 것들까지도 포함한다.

본 논문에서는 아크사고 검출과 고장거리 추정을 위한 알고리즘의 수행을 효율적으로 하기 위하여 GUI를 이용하여 시뮬레이션 할 수 있도록 나타내었고, 그림 2는 본 논문에서 사용되어진 GUI 전체 메뉴를 나타낸다.

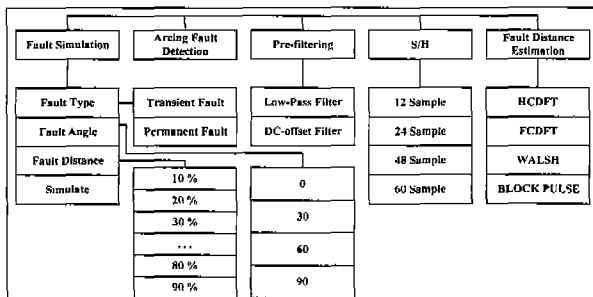


그림 2 GUI로 작성되어진 소프트웨어의 메뉴  
Fig. 2 Menu of software using GUI

GUI를 이용하면 여러 개의 알고리즘을 하나의 화면에서 pull-down menu와 pop-up menu로서 표현이 가능하기 때문에 알고리즘 과정을 쉽게 실행할 수 있는 장점이 있다.

- 이 GUI 메뉴로 해석 가능한 것은 다음과 같다.
- (1) 사고 모의(Fault Simulation)
  - (2) 아크전압 검출 (Arcing Fault Detecction)
  - (3) 전처리 과정 (Pre-Filtering)
  - (4) 샘플 홀더(Sample & Holder)
  - (5) 고장거리 추정 (Fault Distance Estimation)

## 4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

### 4.1 시뮬레이션에 사용될 모델 계통

본 논문에서 사용되어지는 모델 계통은 송전선로에서 발생하는 사고가 일시고장인지 영구고장인지를 판별하여 영구고장인 경우 거리계전을 통한 보호 알고리즘을 수행하게 된다. 따라서, 일시고장과 영구고장을 판별하기 위하여 산화아연(ZnO) 피뢰기 모델을 사용하여 아크 전압과 유사한 파형을 만들어 입력으로 사용하고 이를 토대로 아크 사고를 검출하게 된다. 모델계통은 선로의 양단에 240MVA와 180MVA의 두 전원을 포함하는 26km의 선로이다[10].

알고리즘의 타당성을 위하여 모의된 고장 형태는 1선지락사고와 1선아크사고이고, 고장거리는 전체 거리 26km를 10% 간격으로 고장을 발생시켰으며, 고장발생각은 0°, 30°, 60°, 90° 이다. 또한 그림 2의 GUI 메뉴에서 확인할 수 있듯이 240[samples/cycle]로 EMTP에서 계통을 모의 한 후, 12, 24, 48, 60[samples/cycle]로 다운 샘플링 하여 이후의 모든 알고리즘에 적용하였다.

이 고장형태와 고장조건 중 아크사고 검출을 위해서는 1선지락사고와 1선아크사고의 경우가 모두 사용되게 되지만, 고장거리 추정 알고리즘은 송전선에 1선지락사고와 같은 영구고장이 발생하였다고 가정하기 때문에 1선지락사고의 경우만 모의하였다.[11]

### 4.2 아크사고 검출을 위한 알고리즘 결과

아크사고 검출을 위한 알고리즘을 1선지락사고와 1선아크사고 두 가지 경우를 고장발생거리와 고장발생각을 변화시켜 수행하였다.

다음 그림 3과 그림 4는 고장발생각과 고장거리가 각각 0°, 30%(7.8km)로 같은 조건에서 고장의 종류만을 다르게 하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 각 그림에서 위쪽의 파형은 최소 자승 오차법에 의한 전체 샘플에서의 수렴특성을 나타낸다. 그리고 아래쪽의 파형은 그래프가 결과적으로 수렴하는 값으로 마지막 10샘플의 값으로 보여준다.

그림 3의 경우, 아크전압의 크기가 약  $4 \times 10^4 V$  정도의 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있고, 그림 4의 경우, 아크전압의 크기는 약 50 V 이하의 값으로 수렴하는 것을 알 수 있다. 따라서, 1선아크사고로 모의된 일시고장의 경우와 1선지락사고로 모의된 영구사고의 경우, 아크전압의 크기가 매우 큰 차이를 가지는 것을 알 수 있다.

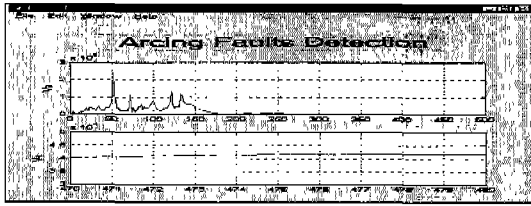


그림 3 고장발생각 0°, 고장거리 30%에서의 일시고장  
Fig. 3 Transient fault ( 0°, 30%)

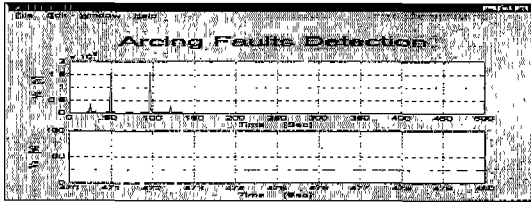


그림 4 고장발생각 0°, 고장거리 30%에서의 영구고장  
Fig. 4 Permanent fault ( 0°, 30%)

4.3 기본파 추출을 위한 전처리 과정

기본파를 추출하기 위한 전처리 과정으로 전압 성분은 주로 포함되어 있는 고주파를 제거하기 위한 anti-aliasing low-pass filter는 2차의 Butterworth 저역통과필터를 사용하였으며, 다음 그림 5와 같다[12].

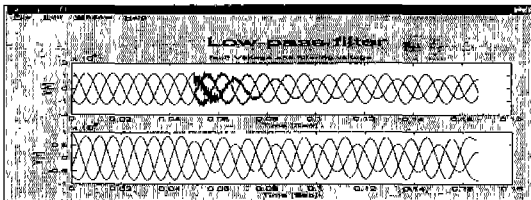


그림 5 사고 전압과 고주파 제거 후의 전압 파형  
Fig. 5 Fault voltage waveform and filtered fault voltage waveform

다음 그림 6은 고장거리 50%(13km) 지점에서의 사고 전류와 DC-offset 제거 필터의 모의 결과이다.

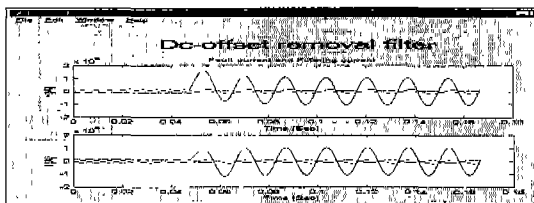


그림 6 사고 전류와 DC-offset 제거 후의 전류 파형  
Fig. 6 Fault current waveform and filtered fault current waveform

4.4 기본파 추출 알고리즘의 비교

전처리 과정을 거친 전압과 전류 데이터를 이용하여 기본파 추출과 임피던스의 계산을 수행하였다. 기본파를 추출하기 위한 방법으로는 그림 7~9에서의 같이 FCDFT(Full Cycle Discrete Fourier Transform), HCDFT(Half Cycle Discrete Fourier Transform), Walsh 함수와 블록펄스 함수를 이용하였다.

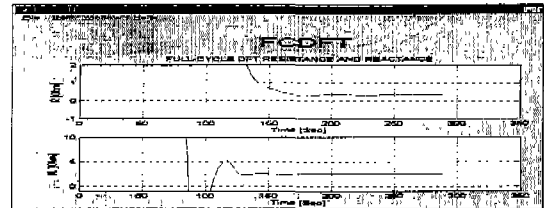


그림 7 FCDFT를 이용한 고장 거리 추정 결과  
Fig. 7 Fault distance estimation using FCDFT

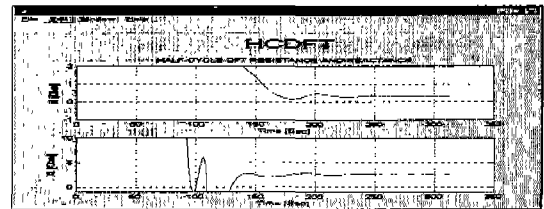


그림 8 HCDFT를 이용한 고장 거리 추정 결과  
Fig. 8 Fault distance estimation using HCDFT

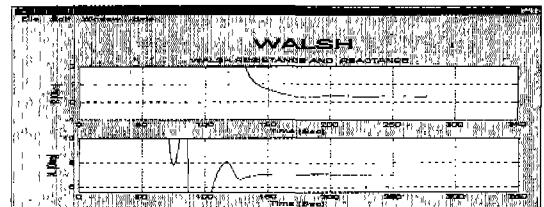


그림 9 Walsh를 이용한 고장거리 추정 결과  
Fig. 9 Fault distance estimation using Walsh function

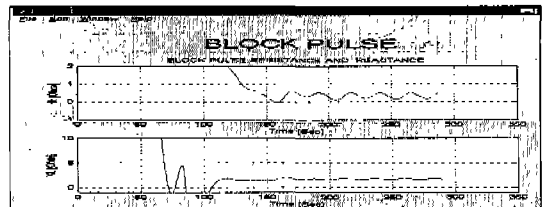


그림 10 블록펄스를 이용한 고장 거리 추정 결과  
Fig. 10 Fault distance estimation using lock-pulse function

4.5 영구고장시 고장거리 추정 시뮬레이션 결과

다음의 그림 11~14는 고장발생각, 고장거리, 기본파 추출 방법에 따른 저항과 리액턴스 성분의 수렴특성을 나타낸 것이며, 샘플링 주파수는 240 [Samples/Period] 이다.

다음 그림 11~12는 고장발생각 0° 에서의 고장거리에 따른 저항과 리액턴스 성분의 수렴특성을 나타낸 것이다.

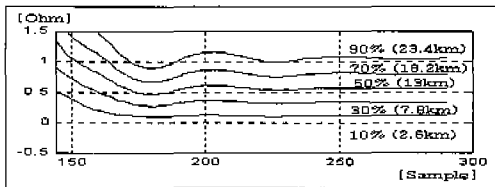


그림 11 고장발생각 0° 에서의 저항 성분의 수렴 특성 (FCDFT)

Fig. 11 Convergence characteristic of resistance component (0°, FCDFT)

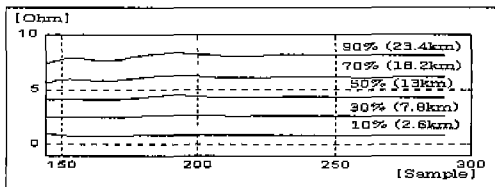


그림 12 고장발생각 0° 에서의 리액턴스 성분 수렴 특성 (FCDFT)

Fig. 12 Convergence characteristic of reactance component (0°, FCDFT)

HCDFT의 경우는 FCDFT의 반주기만을 사용하기 때문에 상대적으로 수렴하는 속도가 빠르지만, 수렴점에서 조금 더 크게 진동한다. 이것은 사용하는 데이터의 양이 적기 때문에 발생하는 결과이며, 다음 그림 24와 그림 25는 HCDFT와 FCDFT를 고장발생각 60°, 고장거리 40%에서의 저항과 리액턴스의 수렴특성을 비교한 것이다.

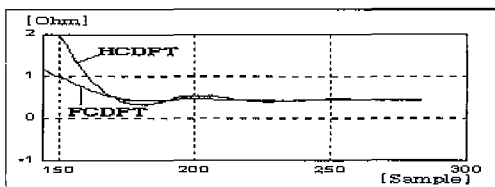


그림 13 HCDFT와 FCDFT의 저항 성분의 수렴 특성

Fig. 13 Convergence characteristic of resistance component (HCDFT, FCDFT)

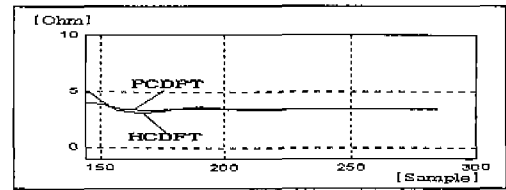


그림 14 HCDFT와 FCDFT의 리액턴스 성분의 수렴 특성

Fig. 14 Convergence characteristic of reactance component (HCDFT, FCDFT)

다음 표 3은 고장발생각과 고장거리를 달리한 경우에서 계통의 저항과 리액턴스 값을 HCDFT와 FCDFT로 추출되어진 저항과 리액턴스 성분과 비교한 것으로, 저항성분과 리액턴스 성분의 값이 수렴한 후에 측정된 것이다.

표 3 실제값과 HCDFT, FCDFT를 통한 R, L 값의 비교

Table 3 Real R, L in comparison with calculated values using HCDFT, FCDFT

		10% (2.6km)		30% (7.8km)		50% (13km)		70% (18.2km)	
		R	L	R	L	R	L	R	L
0°	실제값	0.10894	0.86216	0.32682	2.58648	0.5447	4.3108	0.76258	6.03512
	HCDFT	0.1075	0.8530	0.328	2.5655	0.555	4.3056	0.7982	6.111
	FCDFT	0.1705	0.8532	0.3273	2.568	0.5562	4.307	0.796	6.115
30°	HCDFT	0.1075	0.8532	0.3268	2.5686	0.552	4.306	0.778	6.115
	FCDFT	0.1073	0.8532	0.3288	2.5678	0.5560	4.3074	0.794	6.1154
90°	HCDFT	0.119	0.8584	0.3278	2.5701	0.5553	4.3295	0.7982	6.1529
	FCDFT	0.1075	0.8583	0.3278	2.5701	0.555	4.3295	0.796	6.1529

표 3에서 보면 실제값과 FCDFT, HCDFT를 통하여 구해진 R, L 값이 약간의 차이를 보이지만 이것은 기본파를 추출하기 위한 전처리 과정 중의 오차와 샘플링 주파수에 따른 것이라 할 수 있다. 또한, 실제값과 비교하여 볼 때, 최대 로 나타나는 오차는 저항값이 약 0.0356[Ohm], 리액턴스 값은 약 0.12[Ohm] 정도의 오차를 보인다. 이는 전체 송전 선로의 길이에서 매우 작은 값이라고 할 수 있어서 허용 가능한 오차라 할 수 있다.

다음 그림 15~16은 Walsh 함수를 이용하여 고장발생각이 0° 인 경우에 기본파를 추출한 경우이다.

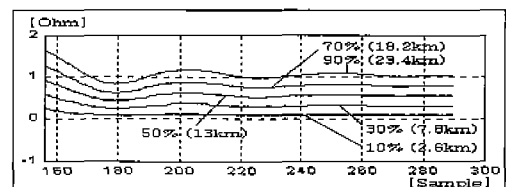


그림 15 저항 성분의 수렴특성(Walsh)

Fig. 15 Convergence characteristic of resistance component (Walsh)

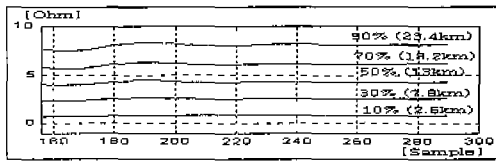


그림 16 리액턴스 성분의 수렴특성 (Walsh)  
Fig. 16 Convergence characteristic of reactance component (Walsh)

위 그림 15~16에서 보는 바와 같이 Walsh 함수를 사용하여 기본파를 추출하는 것은 FCDFT를 사용하는 경우와 유사한 결과를 나타낸다. 또한, Walsh 함수를 사용하는 경우, FCDFT보다는 연산시간이 줄어든다.

다음 표 4는 실제값과 FCDFT와 Walsh 함수를 사용하여 추출한 저항과 리액턴스 값이 수렴한 후에 측정된 것이다.

결과를 비교하여 볼 때, Walsh 함수를 사용하는 경우에서 각 고장거리와 고장발생각 등의 고장조건에 따른 저항값과 리액턴스의 값은 실제값과 FCDFT와 비교하여 거의 오차가 없는 것을 알 수 있다.

표 4 실제값과 FCDFT, Walsh를 통한 R, L 값의 비교  
Table 4 Real R, L in companson with calculated values using FCDFT, Walsh function

실제값	10% (2.6km)		30% (7.8km)		50% (13km)		70% (18.2km)	
	R	L	R	L	R	L	R	L
0°	0.10894	0.86216	0.32682	2.58648	0.5447	4.3108	0.76258	6.03512
WALSH	0.1070	0.8540	0.3268	2.5714	0.5542	4.3209	0.7936	6.1401
FCDFT	0.1075	0.8532	0.3273	2.568	0.5562	4.307	0.796	6.115
30°	0.1069	0.8541	0.3273	2.5714	0.5541	4.3209	0.6718	6.1402
FCDFT	0.1073	0.8532	0.3288	2.5678	0.5560	4.3074	0.794	6.1154
90°	0.1084	0.8565	0.3233	2.5598	0.5522	4.3101	0.7929	6.129
FCDFT	0.1075	0.8583	0.3278	2.5701	0.555	4.3295	0.796	6.1529

또한, 블록펄스를 이용한 기본파 추출 알고리즘이 있으나, 블록펄스를 사용한 경우에는 샘플수를 낮추어서 모델링하게 되면, 수렴값이 진동하는 결과를 나타냈다. 또한 샘플수를 높이기 위해서는 블록펄스 함수를 연산하기 위한 계수값이 늘어나게 되어 계산이 복잡하게 되는 단점이 있다.

이상의 모의 결과에서 살펴본 바와 같이 Matlab으로 작성되어진 고장거리 추정 알고리즘은 시뮬레이션에서 오차를 별로 갖지 않는 타당한 결과를 가졌다. 따라서, Matlab을 이용하여 새로운 알고리즘의 개발과 시험이 충분히 가능하다고 할 수 있다. 그리고, GUI를 이용하여 기본파 추출을 위한 알고리즘을 고장발생각과 고장거리를 다양하고 쉽게 시뮬레이션을 할 수 있었다. 또한 EMTP로부터 얻어진 입력 전압과 전류 데이터를 pl4mat을 이용하면 입력 데이터를 별도의 가공 없이도 Matlab의 입력으로 바로 사용할 수 있기 때문에 알고리즘을 쉽게 시뮬레이션을 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 Matlab을 이용하여 아크전압의 검출을 위한 알고리즘과 고장거리 추정을 위한 거리계전 알고리즘을 사용자 중심인 GUI 환경을 통하여 모의할 수 있는 방법을

제시하였다.

아크전압을 추정하는 알고리즘은 송전선로에서 발생하는 사고의 종류를 판별하여 영구고장의 경우에서 자동 재폐로가 수행되는 것을 방지하기 위한 방법으로, 본 논문에서는 그림 3~4에서 보인 바와 같이 최소자승 오차법을 이용하여 사고발생 후 약 1~2주기 이내에 아크사고 검출이 가능하였다. 따라서 최소 자승 오차법을 통한 아크전압의 검출은 타당하다는 결론을 내릴 수 있다. 아크전압 추정 알고리즘을 통해 사고의 종류를 판단한 후, 고장 판별이 가능한 경우 영구고장에 대하여 고장거리 검출을 위한 거리계전의 알고리즘을 수행하는데 기본파 추출을 통한 고장거리의 추정은 앞의 결과에서 본 바와 같이 다양한 기본파 추출 필터에서 타당한 것으로 나타났다.

위와 같은 알고리즘은 EMTP와 Matlab을 통하여 수행되어지는데 근래에는 EMTP에서 얻어지는 고장 데이터를 특별한 가공 없이 Matlab으로 작성된 알고리즘 입력으로 바로 사용할 수 있어 직접 처리가 가능하기 때문에 모의과정이 줄어들고 보호알고리즘의 개발이 더 쉬워진다는 장점을 가진다. 또한, GUI를 통하여 결과를 보여주기 때문에 다양한 상황에 대한 모의를 손쉽게 행할 수 있고, 알고리즘의 수행과정을 손쉽게 이해할 수 있다는 장점이 있다.

하지만, 본 논문에서 제시된 GUI의 경우 고장종류와 고장발생각, 그리고 고장거리를 가변 시키는 정도에서 작성된 것으로 작성되어진 알고리즘의 수행을 좀 더 사용자가 사용하기 편한 인터페이스를 가질 필요성이 있다. 또한, 고장데이터를 얻기 위해 EMTP를 사용하여 Matlab의 입력으로 사용하는 대신 Matlab으로 사고모델을 구성하여 시뮬레이션하는 것으로 고장데이터를 얻어 Matlab만으로 작성된, 보호 알고리즘의 모의도 가능할 것이다.

**감사의 글**

본 연구는 2000년도 한국과학재단의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.  
(과제번호: R01-2000-00250)

참 고 문 헌

- [1] 신대승, "보호계전 시스템 기술", 기다리출판사, pp. 229-236, 1993.
- [2] M.B. Djuric, V.V. Terzija, "A New Approach to the Arcing Faults Detection for Autoreclosure in Transmission System", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 10, No. 4, pp. 1793-1798, 1995.
- [3] Ge. Y., Sui. F., Xiao. Y., "Prediction Methods for Preventing Single-phase Reclosing on a Permanent Fault", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 114-121, 1989.
- [4] M.B. Djuric, Z.M. Radojevic, V.V. Terzija, "Numerical Algorithm for Arcing Faults Detection and Fault Distance Calculation on Overhead Lines", Electric Machines and Power Systems, pp. 939-953,

1997.

- [5] M.B. Djuric, Z.M. Radojevic, V.V. Terzija, "Arcing Faults Detection on Transmission Lines using Least Square Technique", ETEP, Vol. 8, No. 6, pp. 437-443, Nov/Dec 1998.
- [6] Adly A. Girgis, Christopher M. Fallon, "Fault Location Techniques for Radial and Loop Transmission Systems using Digital Fault Recorded Data", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 4, pp. 1936-1945, October, 1992.
- [7] 임종수, "MATLAB 완벽가이드", 도서출판 아진, pp. 399-427, 1998.
- [8] 임종수, "MATLAB 완벽가이드 II", 도서출판 아진, pp. 302-328, 1999.
- [9] R.K. Aggarwal, A.T. Johns, Y.H. Song, "Neural-network based Adaptive Single-pole Autoreclosure Technique for EHV Transmission Systems" IEE Pro.-Generation Trans. Distr. 141 No. 2, pp. 155-160, 1994.
- [10] J.B. Lee, S.J. Lee, C.H. Kim, "A Study on the Development and Relaying Study under High Resistance Earth Fault on HV, EHV Line", Electrical Engineering & Science Research Institute, 1997.
- [11] C.H. Kim, S.P. Ahn, "A Study on the Arc Modeling in Transmission Lines using EMTP", International Power Engineering Conference, IPEC 99, Mandarin Hotel Singapore, pp. 52-57, May 1999.
- [12] 김병천, "MATLAB을 이용한 송전선로의 아크사고 검출 및 고장거리 추정 소프트웨어 개발에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 논문, 1999.
- [13] 변성현, "Wavelet 변환을 이용한 고저항 지락사고 검출 및 고장점 추정에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위 논문, 1997.
- [14] 이명희, "EMTP-MODELS를 이용한 디지털 거리계전기법의 구현에 관한 연구", 성균관대학교 석사학위논문, Feb. 1996.
- [15] 안두수, "제어시스템 해석을 위한 직교함수와 응용", 북두출판사, pp. 49-61, 1997.

## 저 자 소 개



### 김병천 (金秉泉)

1974년 7월 7일생. 1998년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 광명전기 기술연구소 연구원.

Tel : 031-494-0720 내선: 275

Fax : 031-494-1346

E-mail : ax1002@netsgo.com



### 박남욱 (朴南沃)

1956년 5월 3일생. 1980년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 한국전기연구원 전기시험연구소 검수시험실장.

Tel : 031-420-6004

Fax : 031-420-6029

E-mail : nopark@keri.re.kr



### 김동수 (金東秀)

1975년 8월 6일생. 2001년 성균관대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 정보통신공학부 석사과정.

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-290-7955

E-mail : dskim38@dscal.skku.ac.kr



### 김철환 (金喆煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수.

Tel : 031-290-7124

Fax : 031-290-7179

E-mail : chkim@speed.skku.ac.kr