

## 진행파 기법을 이용한 새로운 초고속 거리계전 방식

### A New Ultra High Speed Distance Relaying Method Using Travelling Wave Technique

姜 相 熙\* · 朴 鍾 根\*\*  
(Sang-Hee Kang · Jong-Keun Park)

**Abstract** - This paper proposes a new distance relaying method based on fault initiated travelling waves for transmission line protection. The characteristics of this method are ultra high speed and excellent sensitivity. Travelling wave technique which is one of the distance relaying methods uses the discrete cross correlation function for the estimation of the fault distance. But, in this correlation method, the ability of discrimination between internal and external fault is remarkably reduced in case of a close-up fault and an inception angle near or equal to zero fault. To cope with this problem, a new fast algorithm which uses backward wave summation method with fixed window is presented. The proposed method has been tested by numerical simulations using the EMTP.

#### 1. 서 론

전력 수요의 증가로 인한 전력 계통의 대 용량화 및 그 구성의 복잡화에 따라 계통사고시 사고의 초고속 제거는 계통 안정도의 측면에서 절실히 요구되는 사항이다. 1970년대에 접어들면서 기존의 기계식 및 정지형 계전기의 한계를 극복하기 위해 마이크로 프로세서를 이용한 디지털 계전기에 관한 연구가 시작되었다. 디지털 계전기의 장점으로는 신뢰성, 다기능성, 저가격, 통신·제어 장비와의 연계성을 들 수 있다.

한편, 계전기 성능을 좌우하는 요소로는 계전신

호의 최소 변화분으로 사고를 감지할 수 있는 민감도, 사고가 담당 구간 내부인지 아닌지를 구분하는 판별력, 최단시간에 사고를 감지하여 사고 구간을 분리시킬 수 있는 속도를 들 수 있다[1].

계전기는 이용 정보의 취득 위치에 따라 1) 자기단의 정보만 이용하는 것(예: 거리 계전기), 2) 자기단과 상대단의 정보를 함께 이용하는 것(예: 차동 계전기, 방향 비교 계전기)으로 대별 되고, 상대단의 정보까지 이용하는 계전기류는 구간 판별력에서는 우수할 수 있으나 별도의 통신 수단을 구비해야 하므로, 이에 따른 계전 시스템의 복잡화 및 필연적인 시지연이 수반된다.

거리 계전기는 전류, 전압 변환기로 부터의 신호중 어떤 주파수 대역을 사용하느냐에 따라서 1) 기본파 성분만 사용하는 것(예: 미분 방정식법, 퓨리에 변환 방식), 2) DC-offset을 포함한 특정

\*正 會 員 : 서울대 大 學 院 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

\*\*正 會 員 : 서울대 大 學 院 電 氣 工 學 科 副 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 1991年 6月 29日

1 次 修 正 : 1991年 11月 18日

주파수까지 사용하는 것(예: 수정 미분 방식[2], 최소자승 방식[1]), 3) 입력 신호를 그대로 사용하는 것(예: 진행파 방식)으로 구분지을 수 있다. 그러나 마지막 방식을 제외하고는 필터 혹은 그에 대체되는 알고리즘의 성능에 따라 좌우되는 구조

$s$ : 중첩 성분을 나타낸다.

결국 계전 신호로 사용되는 중첩 성분은

$$\begin{aligned} i_s &= i_{po} - i_{pr} \\ U_s &= U_{po} - U_{pr} \end{aligned} \quad (2)$$

진행파를 이용한 거리 계전 방식으로는 지금까지 correlation기법을 사용한 것[3]이있으나 이 방식의 심각한 단점은 계전기 설치점에 근접한 사고와 전압 위상각 영도근처에서의 사고를 감지하지 못한다는 것이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 correlator출력의 실효값을 사용하는 방식[4]이 제안되었으나 근접 사고 및 위상각 영도 근처의 사고는 전·후진파가 기본적으로 전력 주파수(60Hz) 성분과 같은 형태를 가지므로 correlation에 필요한 전후진파의 피크(peak)부분이 두드러지지 않아 거리 판별이 역시 어렵고, correlator의 출력을 이용하므로 correlation에 따른 계산부담이 상존하며, 피크를 찾는 correlation의 결과와 correlator의 실효값을 어떻게 병용할 것인가가 문제로 남게된다.

위에서 언급된 문제점들을 해결할 수 있는 본 논문의 특징은 다음과 같다.

첫째, correlation을 하지 않는 단순한 합산법을 사용하므로 계산 부담이 대폭 준다.

둘째, 거의 모든 디지털 계전 방식에서 사용하는 이동(moving) window를 사용하지 않고 고정 window를 사용하므로 사고 판별 속도가 자연 최소화되었다.

이 된다.

한편, 실제 구현시에는 사고 판별이 한주기 이내에 가능하므로 사고후 값은 현재의 입력값을, 그리고 사고전 값은 한주기 전에 입력된 값을 한주기 시지연시킨 후 사용하면 된다.

### 2.2 진행파의 개념

송전 선로에서 사고 발생으로 생기는 과도 현상은 전신(telegraph) 방정식으로 알려진 편미분 방정식으로 표현될 수 있다. [6]

본 논문에서는 계통을 주파수에 의존하지 않는 무손실 분포정수 회로로 취급하여 2차편미분 방정식으로 표시되는 파동 방정식을 사용하였다. d' Alembert해로 널리 알려진 이 파동 방정식의 해는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} v(x, t) &= Z_0[f_1(t-x/u) - f_2(t+x/u)] \\ i(x, t) &= f_1(t-x/u) + f_2(t+x/u) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $u$ 는 전파 속도,  $Z_0$ 는 선로의 특성 임피던스이다.

따라서 계전기 설치점에서의 전진파  $f_1$ 과 후진파  $f_2$ 는 다음 식으로 표시된다[7].

## 2. 중첩 성분을 이용한 선로사고 모델링

### 2.1 중첩 성분의 추출

선로에서의 사고발생은 사고지점에 사고 순간의 정상상태 전압과 크기가 같고 부호가 반대인 전압원을 인가하는 것과 같다[5]. 따라서 사고후의 전압, 전류 성분은 사고 이전의 정상 상태 성분과 사고로 부터 인가된 중첩 성분의 합으로 볼 수 있다. 이것을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i_{po} &= i_{pr} + i_s \\ U_{po} &= U_{pr} + U_s \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 각 첨자는  $p_o$ : 사고후 값  
 $p_r$ : 사고전 값

$$\begin{aligned} 2Z_0f_1(t) &= Z_0i(t) + v(t) = S_1(t) \\ 2Z_0f_2(t) &= Z_0i(t) - v(t) = S_2(t) \end{aligned} \quad (4)$$

본 논문에서는 식(4)의  $S_1(t)$ 와  $S_2(t)$ 가 계전 신호로 사용된다.

### 2.3 Modal 변환

3상 송전선에서 진행파 정보를 포함하는 선로 전압, 전류는 몇 개의 mode로 구성되어 있다. 각 mode는 각기 다른 전파속도와 감쇠정수 및 특성 임피던스를 가지므로 3상 정압, 전류에서 각 mode신호를 분리해야 한다. 이러한 목적의 modal변환에는 여러가지가 있으나 3상 연가선로를 다룬다는 가정하에 행렬의 요소가 실수인 다음과 같은 Wedepohl행렬을 사용했다.

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 3/2 & 0 & -3/2 \\ 1/2 & -1 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이 변환을 통하여 얻어지는 3가지 mode중 ground mode로 불리는 첫번째 mode는 주파수 의존적이고 감쇄가 심하며 속도가 느린 특성을 갖고 있어 본 논문에는 적합하지 않다. areal mode로 불리는 나머지 둘중 하나는 두번째 요소가 0에서 b상 지락사고에 대응할 수가 없어 마지막 mode를 사용했다.

### 3. 계전 신호의 특성

#### 3.1 진행파와 선로사고 종류와의 상관관계

식(4)로 표시되는 전, 후진파에는 사고 형태 및 장소의 정보가 포함되어 있다. 따라서 후진파에 포함된 사고 거리 정보를 추출하는 것이 목표가 된다. 한편, 계전 신호로 이용되는, 식(2)로 표시되는 중첩 성분은 전원 및 선로 리액턴스 그리고 사고시전압 위상각에 따라 변동한다. 계통 구성이 일정하다면 사고위상각에 의존하게 되는데 그 효과는 다음과 같다.

중첩 성분중 전압 성분은 전압 최대 사고에서 최대가 되고 전압 0사고에서 최소가 된다. 한편 중첩 성분중 전류 성분은 DC off-set에 비례하는데 이 off-set성분은 전압 최대 사고에서 최소가 되고 전압 0사고에서 최대가 된다[8]. 그리고 전압 0 또는 그 근처의 사고시 중첩성분에 의한 진행파는 level이 낮고 변화도 느리다. 한편 후진파에 피크가 두드러지게 하는 것은 고조파 성분인데 이 고조파 성분은 전압 최대에서 가장 크고 전압 0에서 가장 작다. 따라서 서론에서 언급했듯이 사고 위상각 0도에서는 피크 부분이 두드러지지 않게 된다.

또한 사고후 일정한 시각까지를 window로 설정하면 사고거리가 먼곳에 있을수록 후진파의 도달 시간이 길어져 window안에 존재하는 후진파의 갯수가 적어지고 반대로 사고거리가 가까와질수록 도달 시간이 짧아져 window안에 존재하는 후진파의 갯수가 많아진다. 이와같은 이유때문에 서론에서 언급했듯이 사고거리가 짧아질수록 후진파의 중복으로 피크 부분이 두드러지지 않게 된다. 또한 근접 사고시 전압 붕괴가 크고 신속히 이루어짐에 따라 중첩성분에 의한 후진파의 level은 높아

지고 변화가 빠르다.

위에서 설명한 것을 요약하면, 특히 사고 초기에, 원거리 전압 0사고시 후진파의 크기가 가장 작으며 근거리 전압 최대 사고시 후진파의 크기가 가장 크다. 이와 같은 사실은 5절의 사례연구에서 확인된다.

#### 3.2 Window문제

사고초기 후진파의 크기에 관심이 있으므로 후진파가 설정한 기준값을 넘으면 일정한 시간까지의 고정 window를 사용하여 합산에 들어가고 그렇지 않으면 사고판별 루틴(routine)으로 가지않는다. 그리고 시간 고정 window를 사용하므로 한번만 이루어지는 후진파 합산 결과로 사고 유무를 판별할 수 있다.

한편, window를 크게 잡으면 반사파가 여러번 나타나므로 반사계수의 영향이 커지고 어디서 반사한 것인지 불분명해지며 사고판단 시간 또한 길어지게 된다. 반대로 window를 작게 잡으면 surge의 지속시간을 충분히 반영하지 못해 사고에 의한 것인지 다른 noise에 의한 것인지 구별하기 힘들어진다. 따라서 적절한 window를 설정해야 되는데 여기서는 상대단으로부터의 후진파가 한번만 반영되도록 2T로 설정하였다. 여기서 T는 진행파의 보호구간 전파 시간이다.

#### 3.3 noise배제 방안

4절에서 언급할 기준값(threshold)을 적절히 설정하여 신호의 크기가 작거나, 지속시간이 짧아 전체적인 후진파가 작은 noise를 배제할 수 있으나, 송전선 보호 계전기 앞쪽에 차단기가 존재할 때 개폐 surge에 의한 오동작은 완전히 배제하기 어렵다. 이때에는 보호 계전기 뒤쪽에 차단기가 있도록 계전시스템 구조를 바꿈으로 해결할 수 있다.

### 4. 후진파 합산법

후진파의 정보만을 이용하여 보호 구간 내부사고 인지를 감지하려면 3절에서 언급한 사실을 토대로 다음과 같은 후진파 합산법을 제안할 수 있다.

$$K = \sum_{i=1}^{27} |S_A(t)| \quad (6)$$

여기서,  $T$ 는 진행파의 보호구간 전파시간

이때 연산 시작점은 후진파의 크기가 일정한 기준값(threshold)을 넘었을 때이며  $K$  값이 3.1에서 설명한 것 처럼 구간내 사고중 가장 작은 값을 갖는 원거리 전압 0사고시의 값을 초과하면 내부사고로 판단할 수 있다.

그러나, 구간 외부사고중 식(6)에 의한 값이 내부사고 판정기준으로 선택한 원거리 전압 0도 사고시의 값보다 큰 경우(예, 사고 위상각 90도인 상대단 근처의 외부사고)가 있을 수 있으므로 다음과 같은 사고위상 보상이 필요하다.

사고시 사고 위상각을 감지하여 90도 사고는 후진파 합산값을 그대로 사용하고, 0도에 가까운 사고일수록 후진파 합산값을 크게하여 외부사고시의 후진파 합산값이 세전기 설치점에서 본 상대단 근처의 위상각 0도인 내부사고시의 후진파 합산값(사고판정기준값)보다 커지지 않게 하여야 한다. 따라서, 다음과 같은 보상함수를 식(6)에 곱하여야 한다.

$$1 + C1(1 - |\sin\theta|)^{C2} \quad (7)$$

여기서,  $C1, C2$ 는 대상 계통에 따른 적절한 상수  $\theta$ 는 사고 위상각

이때,  $C1$ 은 상대단 근처의 구간내 사고중 사고위상 0도인 사고의 후진파 합산값이 사고위상 90도인 경우의 후진파 합산값과 같아지도록 정하고,  $C2$ 는 같은 사고지점(상대단 근처 내부사고)의 기타의 사고위상에서 후진파 합산값이 사고위상 90도인 경우와 같아지게 정한다. 결국, 원거리 사고(상대단 근처의 내부사고)시의 후진파 합산값이 사고위상에 관계 없이 90도 사고시의 값과 같아지게 된다. 본 논문에서 사용한 모델 계통에서 1선 지락시  $C1$ 이 3.2이고  $C2$ 가 3이 된다. 따라서, 보상함수의 상수를 결정하기 위해서는 계전기가 설치될 계통을 EMTP로 모의하여 상대단 근처의 구간 내부사고를 사고종류 및 사고위상에 따라 시뮬레이션하여 후진파 합산값을 구할 필요가 있다.

보상함수가 식(7)로 주어지는 이유는, 그림7에서 보여지듯 사고위상이 0도부터 커짐에 따라 후진파 합산값이 처음에는 크게 증가하다가 사고위상이 90도에 가까워지면서 서서히 증가하고 나머지 구간에서는 대칭이므로, 보상함수는 반대로 처음에는 크게 감소하고 나중에는 서서히 감소하는 특성을 가지며 대칭이어야 하기 때문이다.

한편, 전압 변환기에서 입력되는 전압 신호에서 0-crossing시점을 감지하여 counter를 동작시키고, 이어지는 0-crossing이 나타나면 counter를 reset시켜 다시 동작시키고, 사고에 의한 후진파가 도착하였을 때 counter를 정지시켜 사고위상각을 구할 수 있다.

#### 4.1 기존 방법과의 계산량 비교

진행파를 이용한 거리계전방식 중 가장 최근에 발표된 참고문헌 [4]의 방식과 계산량을 비교하면 다음의 표1과 같다.

[4]에서는 식(8)의 correlation을 먼저 수행하여 사고거리를 판단하거나 원거리 사고이거나 사고위상각 0도 혹은 그 근처의 사고시에는 식(9)로 표시되는 correlator출력의 실효값으로 사고 유무를 판단한다. 그러나 식(8)과 식(9)를 어떻게 구분하여 사용한다는 언급은 없다. 따라서 두 식이 동시에 사용되리라 생각된다.

한편, 식(7)의 삼각함수는 계산 부담을 줄이기 위해 1도 단위의 함수값을 look-up table로 처리한다. (주기당 128개의 샘플을 취하므로 위상 분해능은 2.8도 이다.)

표1에서 알 수 있듯이 correlation window를  $N$ , 후진파 합산 및 correlator출력의 rms window를  $n$ 으로 했을 때 계산량이 곱셈  $N+n$ 회, 덧셈  $N+n$ 회, 나눗셈 2회에서 곱셈 5회(식(7)의  $C2$ 가 3일때)와 덧셈  $n+2$ 번 하는 것으로 대폭 줄어든다.

$$\Phi(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N S_2(k\Delta t + \tau) \cdot S_1(k\Delta t) \quad (8)$$

표 1 계산량 비교

Table 1 The comparison of computation burdens

	사용된 식	곱셈	덧셈	나눗셈
본 논문	식(6)	0	$n$	0
	식(7)	5	2	0
참고문헌[4]	식(8)	$N$	$N$	1
	식(9)	$n$	$n$	1

$$rms = \sqrt{\left[ \int_0^{2T} (\Phi^2(\tau)/2T) d\tau \right]} \quad (9)$$

### 5. 사례연구

앞에서 제시한 과정 window를 사용한 후진파 합산법의 타당성을 입증하기 위하여 다음과 같은 모의 계통에서 EMTP를 수행하여 얻은 데이터를 이용하여 simulation을 하였다. simulation시 sampling주파수는 7.68KHz(전력 주파수가 60Hz 일때 주기당 128sample)이다.

먼저 진행파의 특징을 보면 그림 2, 그림 3에서와 같은 근접 사고이거나 전압 위상각 0도 사고일 때는 진행파가 두드러진 피크 부분 없이 전력 주파수 성분(60Hz)과 같은 형태를 가지며, 원거리 전압 위상각 90도에서의 사고는 그림 4에서와 같이 계통의 capacitance성분에 축적되었던 에너지

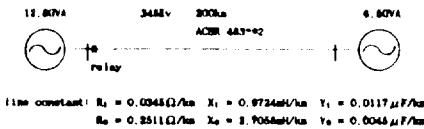


그림 1 모델 계통도  
Fig. 1 Schematic diagram of model system

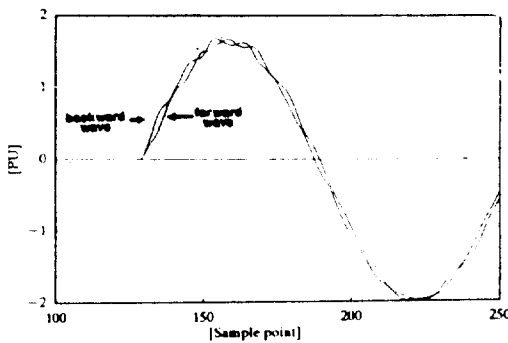


그림 2 사고 위상각 90도, 10km a상 지락사고시의 진행파  
Fig. 2 Travelling wave for a phase a-ground fault at inception angle 90 degree, 10km from the relay

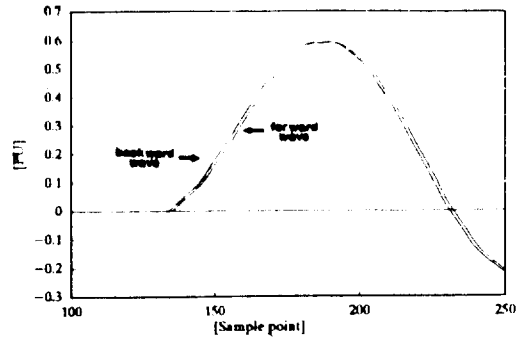


그림 3 사고위상각 0도, 180km a상 지락사고시의 진행파  
Fig. 3 Travelling wave for a phase a-ground fault at inception angle 0 degree, 180km from the relay

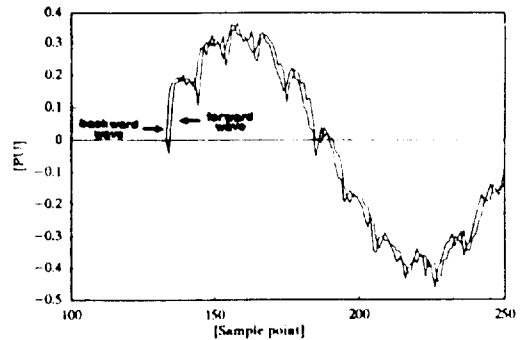


그림 4 사고위상각 90도, 180km a상 지락사고시의 진행파  
Fig. 4 Travelling wave for a phase a-ground fault at inception angle 90 degree, 180km from the relay

의 방출로 인한 고조파 분이 많이 포함되어 피크가 뚜렷한 형태를 갖는다. 그리고, 사고 위상각 0도일 때는 계통의 inductance성분에 축적되었던 에너지의 방출에 의한 DC off-set이 진행파에 포함되었음을 그림 3에서 알 수 있다. 또한 그림 3과 그림 4를 비교하면 앞의 3.1에서 언급한 대로 전압 최대 사고시의 진행파가 사고 초기에 크고 빠르게 변화한다는 것을 확인할 수 있다.

그림 2~그림 4에서 사고 시점은 129point이고 따라서 사고에 의한 후진파가 도달하기 전까지는 식(2)에 의한 중첩 성분이 없음을 확인할 수 있

다.

그림 5와 그림 6이 보여 주는 전후진파의 correlation결과를 보면 원거리 전압 최대 사고시에는 그림 4에서 처럼 전후진파에 뚜렷한 피크 부분이 나타나므로 사고점에서 반사되어 오는 후진파를 쉽게 구분할 수 있으나, 근거리 사고이거나 전압 위상각 0도 사고에서는 그렇지 못하다. 계전기 설치점을 처음 통과한 전진파와 가장 유사한 후진파가 도착했을 때 correlation값이 가장 크게 나오므로, 180km전압 위상각 90도 사고는 그림 5에서 correlation의 최대값이 9point에서 나타나 사고거리(모의 계통에서의 areal mode의 전파 속도는 296.47km/msec 이고, sampling 주파수가 7.68KHz이므로 1point는 0.13msec에 해당하며 따라서 9point는 파의 왕복 거리가 346.9km임을 나타낸다.)가 173.4km로 계산되어 내부 사고로 판단되어 계전기가 동작한다. 그러나, 같은 그림에 있는 180km전압 위상각 0도 사고는 20point에서 correlation의 최대값이 나타나 사고거리가 385.4km로 계산되어 외부 사고로 판단되어 계전기는 오부동작하게 된다.

한편 근점사고인 경우도 전압 위상각 0도 사고는 그림 6에서 보여지듯이 거리 계산이 제대로 되지 않으며, 전압 위상각 90도인 사고는 10km사고가 57.8km로 오인된다. 근거리 사고시 거리 계산의 resolution을 높이기 위해 correlation에 사용되는 데이터의 window를 줄일 수 있으나 아주 가까운 사고의 경우는 그 효과가 별로 크지 못하다. (그림 6에서는 window 폭이 5point 인것과 3point

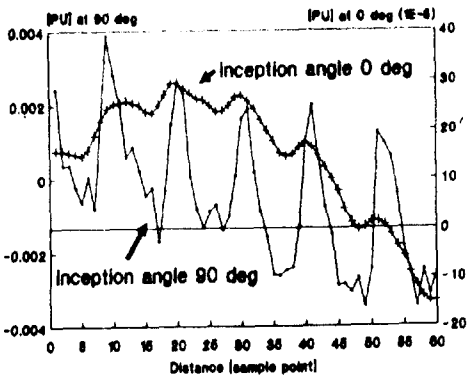


그림 5 180km a상 지락사고시의 correlation output  
 Fig. 5 The correlation outputs for a phase a-ground fault at 180km from the rely

인것이 같은 결과를 보인다. 본 simulation이 채택한 sampling주파수에서 구별 가능한 최소 거리는 19.3km이므로 그 이하의 사고 거리 판별은 사실상 불가능하다.) 그림 5에서 사용한 윈도우 폭은 5point이다.

이와 같이 근거리사고 및 전압위상각 0도 근처 사고시에는 correlation방식에 의한 정확한 거리계산은 거의 불가능하다. 따라서 사고거리 및 사고

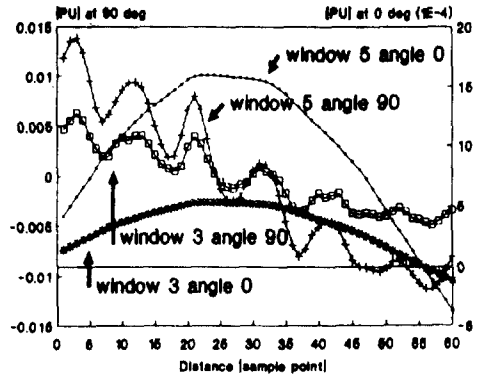


그림 6 10km a상 지락사고시의 correlation output  
 Fig. 6 The correlation outputs for a pahse a-ground fault at 10km from the relay

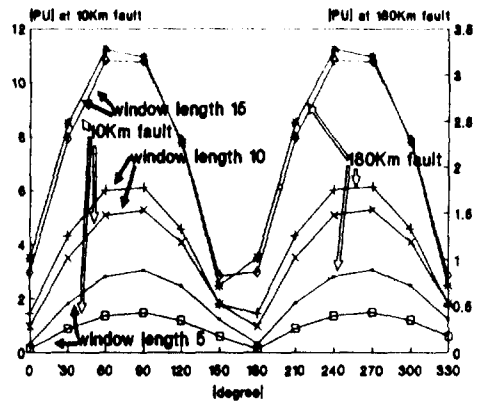


그림 7 180km 및 10km a상 지락사고시 사고 위상각에 따른 후진파 합산 결과의 변화  
 Fig. 7 The variation of the summation of backward wave for a phase a-ground fault at 180km and 10km from the relay with fault inception angle

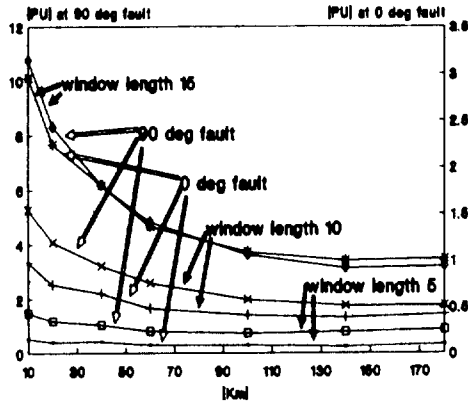


그림 8 사고 위상각 90도 및 0도 a상 지락사고시 사고거리에 따른 후진파 합산 결과의 변화  
 Fig. 8 The variation of the summation of backward wave for a phase a-ground fault at inception angle 90 deg and 0 deg with fault distance

위상에 영향받지 않는 보호계전 알고리즘이 필요하다. 한편, 3.1에서 언급한 후진파의 특성을 기초로, 4절에 제시된 후진파 합산법의 타당성은 그림 7과 그림 8에서 잘보여진다.

그림 7은 일정한 거리에서의 사고시 사고위상각에 따른 후진파 합산결과, 즉 식(6)의  $K$ 값을 나타낸다. 그림에서 좌측  $y$ 축은 10km사고시의 값이며 우측  $y$ 축은 180km사고시의 값을 나타낸다. 그리고 window길이는 식(6)에서의  $2T$ 를 나타낸다. (진행파의 전파속도가 296.47km/msec이고, 1 sample point는 0.13msec이며 보호구간의 길이가 200km이므로 3.2에서 언급한 대로면  $T$ 는 5 sample point에 해당) 3.1에서 설명한 사실을 상기하면 사고 위상각 0도 및 180도에서 후진파의 합산결과인  $K$ 값이 최소가 되고 사고위상각 90도 및 270도에서  $K$ 값이 최대가 되어야 한다. window가 5 및 10일때는 이 사실에 부합되지만, 15일때는 60도일 때가 90도일 때보다 크며 150도일 때가 180도일 때보다 작으므로 window 15는 적합하지 않다.

그림 8은 일정한 사고위상각에서 사고거리에 따른 후진파 합산결과를 나타낸다. 좌측  $y$ 축은 90도 사고일 때의 값이며 우측  $y$ 축은 0도 사고일 때의 값이다. window변화에 따른 세가지의 경우가 모두 비슷한 추세를 보이므로 window크기는 이 경우에는 큰 문제가 되지 않지만 지속시간이 짧은

진행파 기법을 이용한 새로운 초고속 거리계전 방식

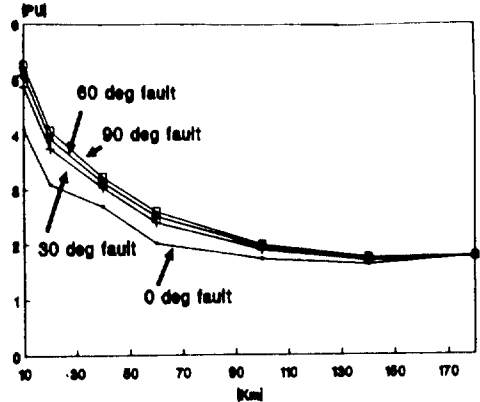


그림 9 사고위상 보상후의 사고거리에 따른 후진파 합산값의 변화  
 Fig. 9 The variation of the summation of backward wave with fault distance after the fault inception angle compensation

noise를 배제하기 위해서는 너무 작지 않아야 한다.

송전선의 50%(이 모델에서는 100km)이상의 지점에서 발생한 사고인 경우 후진파 합산값이 비슷한 이유를 window 10의 경우에서 설명하면 다음과 같다. 50%를 초과하지 않는 사고에서는  $2T$  시간안에 후진파가 3회이상 나타나지만 50%를 초과하여 100%미만까지는 2회 나타나므로 합산값들이 비슷한 값을 갖게된다. 그리고 사고 거리에 따른 후진파 합산 결과의 추이는 모든 사고 위상각에서 동일함을 알 수 있다.

그림 9는 외부사고시의 오동작 방지를 위하여 식(7)에 의한 위상보상을 한 후의 후진파 합산값을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 후진파 합산값은 각 사고위상에서 사고 거리에 따라 감소하다 사고판별 기준값이 되는 원거리 사고시의 값에 수렴한다.

결국, 발생될 수 있는 사고중 식(7)에 의해 보상된 식(6)의  $K$ 값이 가장작은 원거리(상대단 바로앞) 사고시의 값(위상에 관계 없음)보다 조금 작은 값을 threshold로 정하면, 대상 모델 계통 내부사고의 신속한 판별이 가능하다. 고정 window를  $2T$ (10sample point)로 하면 사고 판별은 기준값을 넘는 첫번째 후진파가 도달한 후 1.17msec(9 sample point)만에 가능하다. 즉, 원거리 사고일 수록 후진파 도달시간이 늦어지는데, 상대단 근처

의 사고(사고거리 200km)인 경우 사고후 0.67 msec후에 후진파가 도달하므로 차단기 트립신호 발생은 사고후 최대 1.84msec이내에 가능하다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 고속 거리계전기에 유용한 알고리즘을 제시하였다. 고속의 사고판별을 위해 1) 진행파 기법을 사용했고, 기존의 correlation기법의 계전기가 갖고있던 본질적인 문제였던 근접사고 및 전압위상각 0도 근처사고에서의 판별력 저하를 방지하기 위하여 후진파에 포함된 정보만을 주목하는 2) 후진파 합산법을 사용했고, 사고초기의 중첩 성분(superimposed component)의 특성으로부터 3) 고정 window를 사용함으로써 기존의 방법보다 정확하고 빠른 알고리즘을 개발하였다. 그리고 알고리즘의 타당성이 simulation을 통하여 검증되었다. 그러나, 실제통에 적용할 수 있는 범용의 알고리즘이 되기 위해서는 보다많은 연구 및 검증이 필요하리라 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Mustahsan Mir, Microcomputer-based Protection of Power System: New Methods and Performance Analysis, University Microfilms International, 1983, pp. 1~36.
- [2] T. Ohura, et al., "Digital Distance Relay with Impvrved Characteristics Against Distorted Transient Waveforms," IEEE/PES 1989 Winter Meeting, New York, Jan. 29~Feb. 3, 1989.
- [3] P.A. Crossley, P.G. McLaren, "Distance Protection Based on Travelling Waves," IEEE Trans. on PAS, Vol. 102, No. 9, pp. 2971~2983, September 1983.
- [4] E.H. Shehab-Eldin, P.G. McLaren, "Traveling Wavw Distance Protection-Problem Areas and Solutions," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 894~902, July 1988.
- [5] A.T. Johns, E.P. Walker, "Co-operative Research into the Engineering and Design of a New Digital Directional Comparison Scheme," IEE Proceedings, Vol. 135, Pt. C, No. 4, July 1988.
- [6] M. Vitins, "A Correlation Method for Transmission Line Protection," IEEE Trans. on PAS, Vol. 97, No. 5, pp. 1607~1616, Sept/Oct 1978.
- [7] S.S. Kim, S.H. Kang, J.K. Park, "Digital Differential Relay for Transmission Line Protection Using Correlation Method," IFAC 1989 Symposium on Powere Systems and Powere Plant Control, Seoul, Korea, pp. 469~474, 1989.
- [8] M. Vitins, "A Fundamental Concept for High Speed Relaying," IEEE Trans. on PAS, Vol. 100, No. 1, pp. 163~173, Jan. 1981.
- [9] G.W. Swift, "The Spectra of Fault-induced Transients," IEEE Trans. on PAS, Vol. 98, No. 3, pp. 940~947, May/June 1979.
- [10] S. Rajendra, P.G. McLaren, "Travelling-wave Techniques Applied to the Protection of Teed Circuits: Multi-Phase/Multi-Circuit System," IEEE Trans. on Pas, Vol. 104, No. 12, December 1985.

## 저 자 소 개

### 강상희(姜相熙)

1962년 8월 15일생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 서울대 대학원 전기공학과 박사과정.



### 박종근(朴鍾根)

1952년 10월 21일생. 1973년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1982년 일본 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 서울대 공대 전기공학과 부교수, 당학회 평의원.