

## AR Model and LSQ Based Compensation Method for the Saturated Secondary Current of a Current Transformer

張 洙 榮<sup>†</sup> · 李 東 圭<sup>\*</sup> · 姜 相 熙<sup>\*\*</sup>

(Soo-Young Chang · Dong-Gyu Lee · Sang-Hee Kang)

**Abstract** - The current flowing through a power line is measured by a current transformer (CT). Since a CT is a kind of transformer, saturation of magnetic flux in the core may occur when a large primary current flows. This saturation makes the secondary current of a CT distorted and causes problems in the protection point of view. Because of the current distortion, a protection relay cannot collect the correct information showing how the primary power system changed. Consequently, the current distortion may cause the mal-operation or operation time delay of protective relay. In this paper, an algorithm based on AR model and LSQ is proposed to compensate the saturated CT secondary currents. Various test results indicate that the proposed algorithm can accurately compensate a severely distorted secondary current and is not affected by remanence.

**Key Words** : CT Saturation, Compensation, AR Model, Least Square Method

### 1. 서 론

전력계통에서 보호계전기는 보호 대상의 정보 즉, 계통의 전류, 전압 등을 필요로 한다. 계통의 전류는 변류기를 통해서 입력으로 받아 보호 작업을 수행하게 되는데, 이러한 관점에서 변류기는 계통이 정상상태뿐 아니라 고장 상태인 경우에도 계통에 흐르는 1차 전류를 변류비에 맞는 2차 전류로 변류하여 계전기에 공급해야만 한다. 변류된 2차 전류에는 항상 어느 정도의 오차가 포함되어 있으나, 이러한 오차는 정상시에는 무시할 수 있을 정도로 작다. 그러나 일반적으로 사용되는 철심 변류기의 자성적 특성 때문에 포화 현상을 피할 수 없고, 변류기가 포화되면 변류비 오차가 증가하여 2차 전류가 왜곡 되어 계통의 1차측 정보를 정확하게 얻을 수 없게 된다. 따라서, 변류기 포화는 각종 계전기의 오동작/부동작을 유발시킬 수 있고, 계전기의 감도 저하와 계전기 동작 시간을 증가시키는 요인이 되므로 이에 따른 별도의 대책이 마련되어야 한다.

위와 같은 이유로 변류기 포화 복원에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 최근 들어 연구된 방법들은 변류기 제작자로부터 공급되는 자화곡선을 사용하여 2차 전류를 추정하는 방법[1]과 웨이브렛 변환을 이용하여 변류기 포화를 판단하고 최소자승법을 이용하여 2차 전류를 추정하는 방법[2], [3]

이 있다. 그러나 전자의 경우 자화곡선 데이터가 필요하다는 단점이 있고, 후자의 경우 실시간 복원이 불가능하다는 단점이 있다. 한편, AR 모델을 이용하여 2차 전류를 추정하는 방법[4]은 포화 이전 데이터 수가 적을 경우 포화복원이 불가능해 질 수 있다.

본 논문에서는 전력계통에 설치된 변류기가 포화되어 왜곡된 전류가 보호계전기에 입력될 경우, 차분을 이용하여 포화 시작점을 판단하고 AR 모델을 이용하여 포화 이전 구간 2차 전류의 일부를 보정하여 사용할 수 있는 데이터 수를 늘린 후 AR 모델로 직류 성분, 최소자승법으로 사인파 성분을 추정하여 왜곡된 구간의 변류기 2차 전류를 복원하는 방법을 제안하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 포화 검출

본 논문에서는 차분[5]을 이용한 포화 검출 방법을 사용하였다.

차분의 경우 1차( $del1[n]$ )와, 2차( $del2[n]$ ) 차분의 경우와 달리 3차( $del3[n]$ ) 차분은 포화 개시 및 포화 종료의 순간을 제외한 구간에는 작은 값을 가지므로 포화 판단이 용이해지는 장점이 있다. 그러므로 포화 순간을 보다 정확하게 판단하기 위해  $del3[n]$ 을 이용하는 것이 효과적이다. 따라서 본 논문에서는 2차 전류가 일정 값 이상일 때,  $del3[n]$ 이 임계값( $Th$ ) 보다 크면 그 순간을 포화 개시/종료 시점으로 판단하였다.

$$|del3[n]| > Th \quad (1)$$

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 明知大學 電氣工學科 碩士課程  
E-mail : sychang@mju.ac.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 明知大學 電氣工學科 博士課程

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 明知大學 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2006年 1月 13日

最終完了 : 2006年 5月 9日

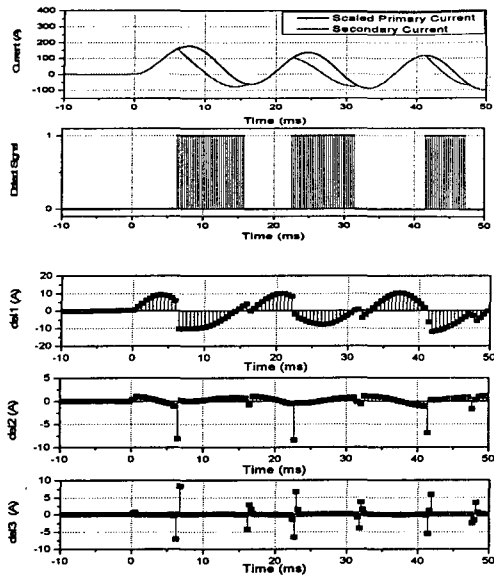


그림 1. 3차 차분을 이용한 포화 검출 결과  
Fig. 1 Detecting the saturated section using the 3rd difference function

그림 1은 3차 차분을 이용한 변류기 포화 검출 결과를 보인 것으로 포화 시작점 및 종료점을 정확하게 검출하였다.

2.2 포화판단 시점 이전 변류기 2차 전류 보정

지금까지 연구된 포화 변류기 2차 전류 복원 방법들은 포화점을 얼마만큼 정확하게 검출하고 포화점 이후 2차 전류를 얼마만큼 정확하게 복원하는가에 집중적인 연구가 수행되었다. 본 논문에서는 포화 변류기 2차 전류 복원 결과가 포화점 이전 2차 전류의 신뢰도와 깊은 상관관계가 있음을 착안하여 포화점 이전 데이터를 보정하고, 보정된 2차 전류를 사용하여 포화점 이후 2차 전류를 보정하는 방법을 제안하였다.

현재까지 연구된 바에 의하면 포화점 정의가 각 표준에 따라 다르고 포화점 이전에 이미 자화곡선은 비선형 구간에 진입하여 포화판단 이전에 이미 포화가 시작된다. 그러므로 포화판단 이전의 전류값들을 이용하여 2차 전류를 복원하는 것은 이미 포화된 상태의 값들을 어느 정도 이용하는 것으로 그 오차를 그대로 포함하게 된다. 따라서 본 논문에서는 포화 복원에 사용될 포화 판단 이전 일부 구간의 2차 전류를 AR 모델로 보정하여 포화복원에 사용하는 방법을 제안하였다.

전력 계통의 고장 시 발생하는 전류 신호는 지수 감쇄하는 직류 성분과 사인파 성분의 조합으로 가정할 수 있으므로 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$i(t) = x_0(t) + \sum_{n=1}^m x_n(t) = C_0 \exp^{-t/\tau} + \sum_{n=1}^m C_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (2)$$

여기서  $\tau$ 와  $C_0$ 는 dc 성분의 시정수 및 크기,  $C_n$ 과  $\phi_n$ 은  $n$ 조파 사인성분의 크기 및 위상각,  $m$ 은 고조파 성분의 최고 차수이며  $\omega$ 는 시스템의 기본 주파수이다.

$n$ 조파 사인성분의 2차 미분은 다음과 같고,

$$x_n(t) = C_n \sin(n\omega t + \phi_n) \\ x_n''(t) = -(n\omega)^2 C_n \sin(n\omega t + \phi_n) = -(n\omega)^2 x_n(t) \quad (3)$$

2차 도함수에 대한 중간차분근사식(Central Difference Approximation Formula)은

$$f''(t) \approx \frac{f(t+\Delta t) - 2f(t) + f(t-\Delta t)}{\Delta t^2} \quad (4)$$

여기서,  $\Delta t$ 는 샘플링 간격

이므로, 식(4)를 이용하여 식(3)을 정리하면 다음과 같다.

$$x_n(t + \Delta t) = (2 - (n\omega\Delta t)^2)x_n(t) - x_n(t - \Delta t) \quad (5)$$

시간  $t = k\Delta t$ 로 재표현 할 수 있으므로 식(5)를 정리하면  $n$ 조파 사인 성분 식(6)과 같은 AR 모델로 표현 가능하다.

$$x_n[k+1] = (2 - (n\omega\Delta t)^2)x_n[k] - x_n[k-1] \quad (6)$$

이를 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$x_n^{k+1} = a_n x_n^k \quad (n \neq 0) \quad (7)$$

$$\text{여기서, } x_n^{k+1} = \begin{bmatrix} x_n[k+1] \\ x_n[k] \end{bmatrix}, \quad x_n^k = \begin{bmatrix} x_n[k] \\ x_n[k-1] \end{bmatrix}, \quad a_n = \begin{bmatrix} 2 - (n\omega\Delta t)^2 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

비슷한 방법으로 dc 성분  $x_0(t)$ 를 AR 모델로 표현하면 식(8)과 같은 AR 모델을 얻을 수 있으며,

$$x_0(t) = C_0 \exp^{-t/\tau} \\ x_0[k+1] = (1 - \Delta t/\tau)x_0[k] \quad (8)$$

이를 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$x_0^{k+1} = a_0 x_0^k \quad (9)$$

시간  $t = k\Delta t$ 로 가정하는 경우 전류  $i(t)$ 의 이산 시간 형태는 식(10)과 같다.

$$i[k] = x_0[k] + \sum_{n=1}^m x_n[k] = C_0 \exp^{-k\Delta t/\tau} + \sum_{n=1}^m C_n \sin\left(\frac{2\pi n}{N}k + \phi_n\right) \quad (10)$$

여기서,  $N$ 은 주기당 샘플링 수

$i[k]$ 를  $m$ 조파까지 고려하는 경우 식(7)과 식(9)를 사용하면 각 신호 성분의 행렬을 다음과 같이 재표현 할 수 있다.

$$X^k = AX^{k-1} \quad (11)$$

$$\text{여기서, } X^k = [x_1^k \ x_2^k \ \dots \ x_m^k \ x_0^k]$$

$$X^{k-1} = [x_1^{k-1} \ x_2^{k-1} \ \dots \ x_m^{k-1} \ x_0^{k-1}]$$

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & a_n & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & a_0 \end{bmatrix}$$

식(11)을 이용하면  $i[k]$ 는

$$i[k] = \sum_{n=0}^m x_n[k] = UX^k \quad (12)$$

여기서,  $U = [u_j], u_{j, odd} = 1, u_{j, even} = 0, j = 1, 2, \dots, 2m + 1$

이므로, 식(12)에 식(11)을 대입하고  $k-2m$ 부터  $k$  까지의 전류 샘플들을  $X^{k-2m}$ 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i[k] &= UX^k = UA^{2m}X^{k-2m} \\ i[k-1] &= UX^{k-1} = UA^{2m-1}X^{k-2m} \\ &\vdots \\ i[k-2m] &= UX^{k-2m} = UA^0X^{k-2m} \end{aligned} \quad (13)$$

이를 행렬로 표현하면

$$\begin{aligned} \phi(k) &= \Psi X^{k-2m} \\ \text{여기서, } \phi(k) &= [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-2m]] \\ \Psi &= U[A^{2m} \ A^{2m-1} \ \dots \ A^0] \end{aligned} \quad (14)$$

이므로, 식(15)와 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$X^{k-2m} = \Psi^{-1}\phi(k) \quad (15)$$

식(15)를 이용하면 신호  $i[k+1]$ 를 AR 모델로써 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} i[k+1] &= \sum_{n=0}^m x_n[k+1] = UX^{k+1} = UA^{2m+1}X^{k-2m} = UA^{2m+1}\Psi^{-1}\phi(k) \\ &= \phi^T(k)\theta \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,  $\theta = [UA^{2m+1}\Psi^{-1}]^T$

따라서, 전류신호  $i(t)$ 를 식(2)와 같이 지수 감쇄하는 dc 옵셋 성분과 기본파 및 m조파 사인성분까지의 합으로 고려하면, 다음과 같은  $2m+1$ 차의 AR 모델로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} i[k+1] &= \phi^T(k)\theta \\ \text{여기서, } \phi(k) &= [i[k] \ i[k-1] \ \dots \ i[k-2m]] \\ \theta &= [\theta_1 \ \theta_2 \ \dots \ \theta_{2m+1}] \end{aligned} \quad (17)$$

본 논문에서는 AR 모델의 계수를 구하기 위한 전류신호의 시정수를 전원단 시정수로 가정하고, 전류신호가 직류 성분과 기본파로만 구성되었다고 가정하여  $\Psi$ 를 구하고 식(16)으로부터  $\theta$ 를 구하여, 현재 신호를 과거 3개의 전류 신호 샘플로 추정하였다. AR 모델로 보정할 데이터의 시작 위치는, 포화판단 이전 4~5개 샘플에서부터 포화가 일어나는 현상을 감안하고 AR 모델에 의한 보정에 필요한 데이터 원

도우 3개의 샘플을 고려하여, 보정 오차가 0.5% 미만으로 유지할 수 있게 하였다.

AR 모델을 이용하여 포화점까지 2차 전류를 보정한 결과 변류기 2차 전류와 1차 전류의 오차가 최대 오차 0.9%에서 0.4% 미만으로 줄어들게 되었다.

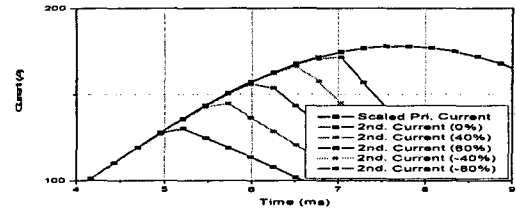


그림 2. 포화된 CT 2차측 전류의 왜곡현상  
Fig. 2 Distortion of the saturated secondary currents

그림 2는 변류기 1차측 전류와 잔류자속에 따른 포화된 변류기 2차측 전류를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 포화점 이전에 이미 2차 전류는 변류비에 맞지 않게 왜곡되고 있음을 볼 수 있다.

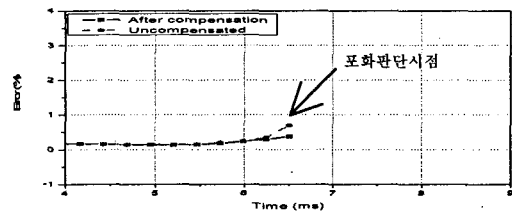


그림 3. 2차 전류 보정 오차(잔류자속0%)  
Fig. 3 Effect of current amendment near the saturation point (remanent flux 0%)

그림 3은 잔류자속 0%시 AR 모델에 의한 보정 오차를 보여주고, 표 1은 잔류자속에 따른 최대 보정 오차이다.

표 1. 포화점 이전 2차 전류 보정 오차

Table. 1 Maximum transient error of after current amendment

	잔류자속(고장거리 0.02pu)				
	-80%	-40%	0%	40%	80%
최대 오차	0.27%	0.17%	0.37%	0.31%	0.19%

### 2.3 변류기 2차 전류 복원 알고리즘

본 논문에서는 포화 변류기 2차 전류를 복원하기 위해 직류 옵셋 성분과 사인파 성분을 각각 별도로 추정하는 방법을 제안하였다. 이는 최소자승법을 이용하여 직류 옵셋 성분과 사인파 성분을 동시에 추정하는 방법보다 복원 성능이 우수하였다. 직류 성분 추정 방법으로는 자기회귀(AR) 모델을, 사인 성분 추정 방법으로는 최소자승법(LSQ)을 사용하였다.

#### 2.3.1 직류 옵셋 성분 추정

고장전류를 직류 옵셋 성분( $x_0$ ) 및 기본파 성분( $x_1$ )만으로 가정하였을 경우 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 i(t-\Delta t) &= x_0(t-\Delta t) + x_1(t-\Delta t) \\
 i(t) &= x_0(t) + x_1(t) \\
 i(t+\Delta t) &= x_0(t+\Delta t) + x_1(t+\Delta t)
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

기본과 사인과 성분은 식(6)으로부터 식(19)와 같은 2차 AR 모델로 표현 가능하다.

$$x_1(t+\Delta t) = (2 - (\omega\Delta t)^2)x_1(t) - x_1(t-\Delta t) \tag{19}$$

식(19)와 같이 표현된 AR 모델로 직류 성분을 추정하기 위해서는 각 전류 신호 성분에 포함된 정현파 성분을 추출하여야 한다.

식(18)과 식(19)를 이용하여 식(18)의 세 번째 식을 기본과 성분( $x_1$ )을 제거한 직류 성분( $x_0$ )만의 식으로 정리하면 식(20)과 같다.

$$\begin{aligned}
 i(t+\Delta t) &= x_0(t+\Delta t) + x_1(t+\Delta t) \\
 &= x_0(t+\Delta t) + (2 - (\omega\Delta t)^2)x_1(t) - x_1(t-\Delta t) \\
 &= x_0(t+\Delta t) + (2 - (\omega\Delta t)^2)(i(t) - x_0(t)) - (i(t-\Delta t) - x_0(t-\Delta t)) \\
 i(t+\Delta t) - (2 - (\omega\Delta t)^2)i(t) + i(t-\Delta t) \\
 &= x_0(t+\Delta t) - (2 - (\omega\Delta t)^2)x_0(t) + x_0(t-\Delta t) \\
 &= K1(t)
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

식(20)은 전류신호 샘플 값으로 구해진 직류 성분으로 전류 신호 3개의 샘플값과 AR 모델 계수만 있으면 직류 성분 추정을 할 수 있음을 보여준다.

AR 모델로 추정된 성분으로부터  $K1(t)/K1(t-\Delta t)$ 과 같은 방법으로  $e^{-\Delta t/\tau}$ 를 구하고 자연로그를 취해 시정수를 추정하였다. 그리고 안정된 시정수의 추정을 위하여 추정된 시정수의 평균값을 구하고, 추정된 시정수를 이용하여  $C_0e^{-k\Delta t/\tau}$ 를 구하여, 크기  $C_0$ 를 구하였다. 직류 성분 크기  $C_0$ 도 평균값을 취하였다. 이때, 각 평균값은 5샘플에서의 평균값으로 하였다.

그림 4는 변류기 1, 2차측 전류와 AR 모델에 의해 추정된 직류 성분이다.

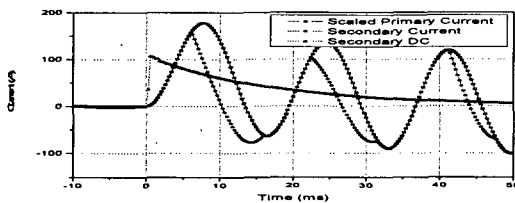


그림 4. 추정된 직류 성분(잔류자속0%)  
Fig. 4 Estimated DC component (remnant flux 0%)

### 2.3.2 사인 성분 추정

본 논문에서는 변류기 2차 전류의 사인과 성분을 추정하기 위해 최소 자승법을 다음과 같이 적용하였다.

먼저 위에서 구한 직류 성분을 전류신호(기본파+직류 성분)에서 빼주면 전류 신호  $i(t)$ 는 기본파 성분만 존재하게 된다. 그러므로 기본파 성분의 사인과 신호를 최소자승법으로 추정하기 위해 전류 신호를 정현파 성분만으로 가정

하면 식(21)과 같이 표현 가능하다.

$$i(t) = C_1 \sin(\omega t + \phi_1) \tag{21}$$

여기서  $C_1$ 과  $\phi_1$ 은 기본파 사인성분의 크기 및 위상각이며,  $\omega$ 는 시스템의 기본 주파수이다. 식(21)은 다음과 같이 표현된다.

$$i(t) = C_1 \sin \omega_0 t \cos \phi_1 + C_1 \cos \omega_0 t \sin \phi_1 \tag{22}$$

식(22)는  $t=t_1$ 의 임의의 시간에서 아래와 같이 기지값( $u_{ij}$ )과 미지수( $v_j$ )로 분리 가능하므로

$$i(t_1) = u_{11}v_1 + u_{12}v_2 \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
 \text{여기서, } u_{11} &= \sin \omega_0 t_1, u_{12} = \cos \omega_0 t_1 \\
 v_1 &= C_1 \cos \phi_1, v_2 = C_1 \sin \phi_1
 \end{aligned}$$

포화 이전에 취득된 m개의 전류 샘플을 이용하여 연립방정식을 세운 후 행렬식으로 정리하면 식(24)를 얻을 수 있다.

$$Y = U \cdot V \tag{24}$$

$$\text{여기서, } Y = \begin{bmatrix} i(t_1) \\ i(t_2) \\ \vdots \\ i(t_m) \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}, U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} \\ u_{21} & u_{22} \\ \dots & \dots \\ u_{m1} & u_{m2} \end{bmatrix}$$

기본과 성분을 추정하기 위해 필요한 행렬  $V$ 는 식(25)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\hat{V} = (U^T U)^{-1} U^T Y \tag{25}$$

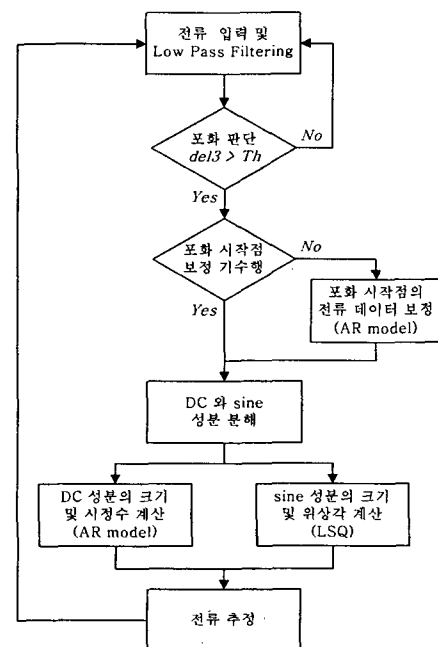


그림 5. 알고리즘 순서도  
Fig. 5 Flow chart of the proposed algorithm

2.4 사례 연구

본 논문에서 제시한 알고리즘을 검증하기 위하여, EMTP를 사용하여 그림 6과 같이 100[km] 송전선으로의 2모선 초고압 계통을 모델링 하였다.[6] 모델 계통의 전압은 345[kV]이고, 주파수는 60[Hz], 샘플링은 주기당 64 샘플로 하였다.

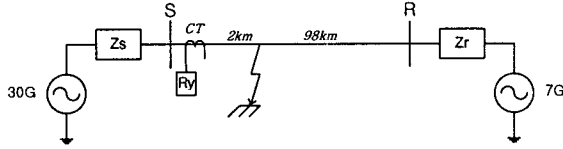


그림 6. 모델 계통  
Fig. 6 Model system

모의한 고장은 S단으로부터 일정한 지점에서의 A상 지락 고장이며, S단의 계전점(relaying point)에 변류기를 연결하여 1, 2차 전류를 얻었다. 알고리즘에 적용된 필터는 샘플링 주파수의 절반인 1920[Hz]를 차단 주파수로 한 버터워스 2차 저역통과 필터를 사용하였다.

추정된 변류기 2차 전류의 정확도를 판단하기 위한 오차 계산식은 다음과 같다.

$$\text{과도오차}(\%) = \frac{K_n \cdot i_2(t) - i_1(t)}{\sqrt{2} \cdot I_{pec}} \times 100(\%)$$

여기서,  $I_{pec}$ : 1차측 정격 단락전류,  $K_n$ : 변류기의 권선비

$i_1(t), i_2(t)$ : 변류기 1차측 및 2차측 전류

2.4.1 변류기 2차 전류 복원

본 논문에서는 포화 변류기의 2차 전류 복원을 위해 직류 옵셋 성분을 AR 모델로 추정하는 방법과 사인파 성분을 최소자승법으로 추정하는 방법의 조합으로 변류기 2차 전류를 복원하였다.

이 방법은 과거 3개의 샘플로 현재 샘플을 추정하는 AR 모델로 포화점 이전 2차 전류를 보정하고, 직류 옵셋 성분을 추정하기 위한 AR 모델을 사용하여 직류 옵셋 성분을 추정한다. 다음, 최소자승법으로 1조파 사인 성분을 추정하여 포화된 2차 전류를 복원하는 방법이다.

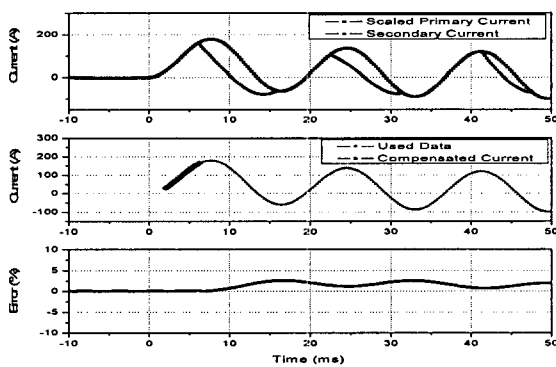


그림 7. 포화 복원 결과(잔류 자속0%)  
Fig. 7 Compensation results (remnant flux 0%)

그림 7은 잔류 자속 0%시의 모의 결과로 첫 번째 그림은 1차 전류와 2차 전류 신호이고 두 번째 그림은 포화 복원 시 사용된 데이터와 복원된 전류 파형이며, 세 번째 그림은 과도오차이다. 표 2는 AR 모델과 최소자승법을 이용하여 포화복원 알고리즘을 구성한 결과 잔류자속에 따른 최대 과도오차와 페이지 크기 오차를 나타낸 것이다.

표 2. 2차 전류 복원 최대 과도 오차

Table. 2 Maximum errors with the remanent flux

	잔류자속(고장거리 0.02pu)				
	-80%	-40%	0%	40%	80%
최대 과도오차	1.23%	2.19%	2.88%	1.56%	5.30%
페이지 오차	0.75%	1.23%	1.29%	0.69%	1.75%

2.4.2 샘플링 주파수와 잔류자속에 따른 오차

본 논문에서는 복원 알고리즘을 주기당 64 샘플링과 128 샘플링의 두 가지 경우로 모의 하였고 그 결과는 표 3과 같다. 표에서 보는 바와 같이 포화가 빨리 일어나는 잔류 자속 80% 일 때가 포화 복원 오차가 가장 크고 1주기 당 샘플수가 많은 경우 복원 오차가 작은 것을 볼 수 있다.

표 3 샘플링 주파수에 따른 2차 전류 복원 최대 과도 오차

Table. 3 Maximum transient errors with the sampling frequency

	잔류자속(고장거리 0.02pu)				
	-80%	-40%	0%	40%	80%
64샘플	1.23%	2.19%	2.88%	1.56%	5.30%
128샘플	0.32%	0.71%	0.64%	1.07%	2.48%

2.4.3 다양한 고장조건에 따른 테스트 결과

제안된 알고리즘의 검증을 위해 보다 다양한 고장조건에 따른 알고리즘 테스트를 실시하였다. 고장 조건은 포화가 가장 빠르게 일어나는 잔류자속 80%의 경우를 상정하고, 표 4는 고장 거리에 따른, 표 5는 전원단의 시정수 변화에 따른 알고리즘 테스트 결과이다. 최대 과도오차가 다소 크게 나타나는 경우에도 페이지 오차는 2% 이내를 유지하였다. 이는 페이지 계산은 한주기 평균의 개념이므로 순시치 오차가 한 두 샘플에서 비교적 크게 나타나도 그 영향이 작아지는 이유 때문이다.

표 4. 고장 거리에 따른 알고리즘 테스트 결과

Table. 4 Maximum errors with the fault distance

	고장 거리(pu), (잔류자속 80%)			
	0.02	0.05	0.10	0.15
최대 과도오차	5.30%	1.65%	3.40%	1.42%
페이지 오차	1.75%	1.52%	0.66%	1.73%

표 5. 전원단 시정수 변화에 따른 알고리즘 테스트 결과  
Table. 5 Maximum errors with the local source time constant

	시정수 변화 (고장거리 0.02pu), (잔류자속 80%)				
	-20%	-10%	0%	10%	20%
최대 과도오차	7.71%	6.39%	5.30%	4.41%	3.63%
페이지 오차	1.98%	1.80%	1.75%	1.46%	1.33%

3. 결 론

본 논문에서는 포화된 변류기에 의해 왜곡된 2차 전류의 포화 복원 시 사용되는 2차 전류에 AR 모델을 적용하여 포화점 근처 전류 데이터를 보정하였다. 또한 직류 성분과 교류 성분의 보다 정확한 추정을 위해 직류 성분과 교류 성분을 분리하여 AR 모델을 적용하여 직류 성분 추정을 하고 최소 자승법으로 기본과 사인성분을 추정하였다. 제안된 방법은 변류기 철심에 잔류자속이 최대 80% 남아있고 시정수가 20% 변화되었을 경우 포화 발생 시 순시치 샘플값에서 최대 과도 오차 7.7%인 경우 페이지 오차는 2% 이내를 유지할 수 있었다.

본 논문의 결과를 보호 계전 알고리즘에 적용할 경우, 특히 디지털 전류차동 계전기를 사용하는 모선 보호, 변압기 보호, 송전선 보호 계전기에 적용 시 계전기 감도 향상 및 동작 속도를 개선하고, 기타 나머지 보호 계전기에 적용하여 성능 향상을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부 전력산업연구개발 사업 전력선행기술 연구과제(R-2004-B-211) 및 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업(차세대 전력기술연구센터)의 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] Yong Cheol Kang, Ui Jai Lim, Sang Hee Kang, Crossley, P.A., "Compensation of the distortion in the secondary current caused by saturation and remanence in a CT", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 19, No. 4, Oct. 2004 pp. 1642 - 1649,  
[2] F. Li, Y. Li, R.K. Aggarwal, "Combined Wavelet Transform and Regression Technique for Secondary Current Compensation of Current Transformers", IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol. 149, No. 4, July 2002, pp. 497-503  
[3] Xiao Li Yi, Sang Hee Kang, Dong Gyu Lee, Young Jin Kwon, "A Compensation Algorithm for current Transformer Saturation", Proceedings of The International Conference on Electrical Engineering (ICEE2004), Sapporo, July 2004, pp. 371-376

[4] Sang-Hee Kang, Dong-Gyu Lee, Seung-Ho Hyun, Yong-Chel Kang, Charles J, Kim, "A Current Compensation Algorithm for the Saturation of a CT", International Conference on Advanced Power System Automation and Protection(APAP2004), pp. 25-28, Jeju, Korea, October, 2004, pp. 376-380  
[5] Y. C. Kang, S. H. Ok, S. H. Kang, "A CT Saturation Detection Algorithm", IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 19, No. 1, Jan. 2004 pp. 78 - 85,  
[6] M. Kezunovic, L. Kojovic, A. Abur, C. W. Fromen, F. Phillips, "Experimental Evaluation of EMTP-Based Current Transformer Models for Protective Relay Transient Study", IEEE Trans. on PWRD, Vol. 9, No. 1, January 1994, pp. 405-413

저 자 소 개



장수영(張洙榮)

1977년 7월 15일생. 2004년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 정보전기 개발부 연구원  
Tel : 031-336-3280  
Fax : 031-330-6815  
E-mail : sychang@mju.ac.kr



이동규(李東圭)

1977년 10월 4일생. 2002년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 동 대학원 박사과정  
Tel : 031-336-3280  
Fax : 031-330-6815  
E-mail : mallow@mju.ac.kr



강상희(姜相熙)

1962년 생 8월 15일생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 명지대학교 공대 전기공학과 정교수. 차세대전력기술연구센터 연구원.  
Tel : 031-330-6364  
Fax : 031-330-6815  
E-mail : shkang@mju.ac.kr