

A Design Method of Iron-cored CTs To Prevent Saturation

李柱勳* 姜相熙* 李承宰* 姜龍澈** 裴周千*** 安俊基*** 李清學*** 李晶澤***
(J.H. Lee, S.H. Kang, S.J. Lee, Y.C. Kang, J.C. Bae, J.K. Ahn, C.H. Lee, J.T. Lee)

Abstract - Current transformer (CT) saturation may cause a variety of protective relays to malfunction. The conventional CT is designed that it can carry up to 20 times the rated current without exceeding 10 % ratio error. However, the possibility of CT saturation still remains if the fault current contains substantial amounts of ac and/or dc components. This paper presents a design method of iron-cored CTs for use with protective relays to prevent CT saturation. The proposed design method determines the core cross section of the CT; it employs the transient dimensioning factor to consider relay's operating time (duty cycle) and dc component as well as ac components contained in the fault current, and symmetrical short-circuit current factor to consider the biggest fault current. The method designs the cross section of CTs in cases of reclosure and no reclosure.

Key Words : Iron cored CT, Saturation, Core cross section, Symmetrical short -circuit current factor, Transient dimensioning factor

1. 서 론

변류기는 전력 계통에 흐르는 전류의 크기를 축소하여 보호 계전기에 입력하기 위하여 사용되는데, 1차, 2차 권선의 쇠교 자속을 최대로 하기 위하여 자료가 철인 철심 변류기(iron-cored CT)가 주로 사용되고 있다. 그런데, 철심 변류기는 철심 내의 자속이 어느 값 이상이 되면, 전류가 많이 증가하더라도 철심 자속이 많이 증가하지 않는 자기 포화 특성이 있다. 변류기 포화는 계전기의 오동작 또는 오부동작을 유발하거나, 계전기의 동작을 지연시킨다.

현재 우리 나라에서 포화를 방지하기 위한 변류기 설계 방식으로는 정격 전류의 20배가 흐르는 경우에 변류비 오차가 10 [%]가 넘지 않도록 단면적을 증가하여 결정하는 방식이 사용되고 있다. 이 때, 20을 과전류 정수라 한다. 그런데, 사고 전류에 직류 성분 성분이 많이 포함되어 있거나, 시스템의 시정수가 커서 그 성분이 오래 남아있는 경우에는, 사고 전류 크기가 정격 전류의 20배가 넘지 않아도 변류기가

포화될 가능성이 높다.

특히, 요즘의 우리 나라 전력 계통은 단락용량이 커서 사고 전류의 크기가 매우 크고, 또한, 송전 전압이 고압으로 올라갈수록 시정수가 커져, 사고 전류에 포함되어 있는 직류 성분 성분에 의한 변류기 포화의 가능성이 매우 높아 졌다. 따라서, 보호용 변류기가 포화되지 않도록 설계하기 위해서는, 우리 나라 계통 상황을 고려해 볼 때 과전류 정수를 20 배 이상으로 증가하여야 하며, 과전류 정수를 정량적으로 결정하는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 계통 보호용으로 사용되는 철심 변류기가 포화되지 않도록 하기 위한 변류기의 단면적을 결정하는 방법을 제시한다. 먼저, 사고 전류에 포함되어 있는 직류 성분 성분이 포화에 미치는 영향과 계전기 동작시간을 고려하기 위하여 과도 단면적 계수를 정의 하였고, 사고 발생 시 요구되는 과도 오차를 만족하도록 하는 과도 단면적 계수를 구하는 방법을 제시하였다. 또한, 설치하고자 하는 지점의 최대 사고 전류와 정격 전류의 비인 대칭분 단락 전류 계수를 사용하였다. 과도 기간에 요구되는 정확도를 만족하기 위한 단면적을 과도 단면적 계수와 대칭분 단락 전류 계수를 고려하여 정하였다. 또한, 본 논문에서 제시한 방식을 재폐로를 고려하지 않은 경우뿐만 아니라, 재폐로를 고려한 경우에도 적용하였다. 또한 345 [kV] 계통에서 정격으로 사용하고 있는 C800 변류기와 제시한 방식으로 설계한 변류기를 EMTP를 이용하여 비교하였다.

2. 포화되지 않는 철심 변류기 설계 방법

변류기 철심의 자속 밀도가 어느 값 이상이 되면, 전류가 증가하여도 자속이 미미하게 증가하는 자기 포화 특성

* 準 會 員 : 明知大 工大 電氣工學科 碩士課程
* 正 會 員 : 明知大 工大 電氣工學科 教授
* 正 會 員 : 明知大 工大 電氣工學科 教授
** 正 會 員 : 基礎電力工學共同研究所 研究員
*** 正 會 員 : 韓國電力公私 部將
*** 正 會 員 : 韓國電力公私 部將
*** 正 會 員 : 韓國電力公私 科將
*** 正 會 員 : 韓國電力公私 部將
接受日字 : 1998年 11月 17日
最終完了 : 1998年 12月 28日

때문에, 철심을 설정한 자속 밀도 이하의 영역에서 사용해야 한다. 이를 위해서는, 설치하고자 하는 지점에서 최대 사고 전류에 의해 발생한 자속이 설정한 자속 밀도를 넘지 않도록 철심은 충분히 큰 단면적을 가지고 있어야 한다. 그러므로 단면적을 결정하는 것은 포화되지 않는 변류기를 설계하는 데 있어서 매우 중요한 요소이다.

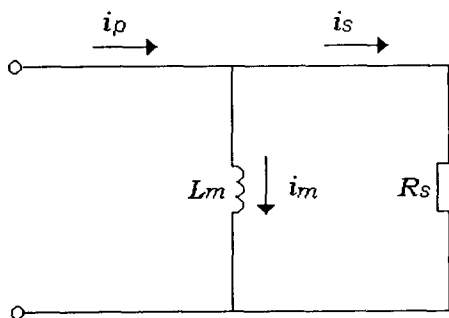
본 논문에서는 포화되지 않는 변류기 설계를 위해 사고 전류에 포함되어 있는 직류 성분, 계전기의 동작 시간, 그리고 설치 지점의 최대 단락 사고 전류를 고려하였다. 먼저, 계전기 동작시간과, 설정한 과도 오차를 만족하도록 하는 2차 시정수로부터 과도 단면적 계수를 구한다. 그 다음으로, 설치할 지점의 대칭 단락 전류 계수를 설정한다. 최종적으로 정격 전류에 과도 단면적 계수와 대칭 단락 전류 계수를 곱한 전류가 흐르는 경우에 포화되지 않는 단면적을 결정한다.

2.1 과도 단면적 계수

사고 전류에 포함되어 있는 직류 성분은 변류기 포화에 많은 영향을 줌으로, 포화 되지 않는 철심의 단면적을 설계하기 위해서는 이를 반드시 고려하여야 한다. 이를 정량적으로 고려하기 위하여, 사고 시 자화전류로부터 과도 오차를 정의하였고, 사고 후의 과도 기간에 요구되는 과도 오차를 만족하기 위한 2차 시정수와 계전기 동작 시간 등을 고려하여 과도 단면적 계수를 결정하였다.

2.1.1 자화 전류

간략화된 변류기 등가회로를 그림 1에 나타내었다.[1]



R_s : 2차 저항 (= $R_2 + R_b$ (2차부담))

L_m : 자화 인덕턴스

i_p : 변류비로 나눈 1차 전류

i_s : 2차 전류이고

i_m : 자화 전류

그림 1. 간략화된 변류기의 등가회로
Fig.1. A simplified equivalent circuit of a CT

$t = 0$ 에서 사고가 발생했다고 가정하면, $t > 0$ 인 순간의 $i_p(t)$ 가 식 (1)과 같이 주어진다.[1] 식 (1)에서 θ 는 사고 개시각을 의미하며, 이 값에 따라 $i_p(t)$ 에 포함되어 있는 직류 성분 크기의 크기가 달라진다.

$$i_p(t) = \sqrt{2}I_{psc} [e^{-\frac{t}{T_p}} \cos \theta - \cos(\omega t + \theta)] \quad (1)$$

여기서, I_{psc} 는 1차 단락 전류를 변류비로 나눈 값이다. $\theta = 0$ 인 경우에 직류 성분 크기가 최대가 되며, 이때의 $i_m(t)$ 는 식 (2)와 같다.

$$i_m(t) = \sqrt{2}I_{pscl} \left[\frac{T_p}{T_p - T_s} (e^{-\frac{t}{T_p}} - e^{-\frac{t}{T_s}}) - \frac{\sin(\omega t)}{\omega T_s} \right] \quad (2)$$

여기서, T_p, T_s : 1차, 2차 시정수

2.1.2 과도오차 및 이를 만족하는 2차 시정수

고압 및 초고압 계통에서 보호 계전기용으로 사용되는 변류기에 적용되는 과도 오차 (ϵ_{tr})는 식 (3)과 같이 정의된다.[2] 이는 $i_m(t)$ 를 I_{psc} 의 최대값으로 정규화한 값을 의미한다. 따라서, ϵ_{tr} 은 $i_m(t)$ 에 비례하게 되어, 매 순간 일정한 값을 갖지 않고 변하는 값을 갖게 된다.

$$\epsilon_{tr} = \frac{i_p(t) - i_s(t)}{\sqrt{2}I_{psc}} = \frac{i_m(t)}{\sqrt{2}I_{psc}} \quad (3)$$

또한, 식 (2)는 발생한 사고가 제거되지 않고 계속된다는 가정 하에 $t > 0$ 인 순간의 $i_m(t)$ 를 나타낸다. 그런데, 계전기가 사고를 감지하여 제거하는 경우에는, $i_m(t)$ (또는 ϵ_{tr})를 계전기의 동작 시간까지만 고려하면 된다. 따라서, 사고 발생 후 변류기가 요구되는 오차를 만족해야 하는 기간을 특정 과도 기간 (duty cycle)이라고 정의하였으며,[2] 다음 두 가지의 경우로 나누었다.

- 1) 재폐로를 고려하지 않는 경우 (C-O 특정 과도 기간):
C- t' -O
- 2) 재폐로를 고려하는 경우 (C-O-C-O 특정 과도 기간):
C- t' -O- t_{fr} -C- t'' -O

여기서,

t' : 사고 후 1차 전류가 차단될 때까지의 시간

t_{fr} : 1차 전류의 차단과 재폐로사이의 시간

t'' : 재폐로 후 다시 차단될 때까지의 시간

C, O: 투입(Close), 차단(Open)

계전기 동작 시간 등을 고려하여 재폐로를 고려하지 않은 경우의 $t = t'$ 에서의 자화전류와 재폐로를 고려한 경우의 $t = t''$ 에서의 자화 전류를 구하여 ϵ_{tr} 을 표현하면, 각각 식 (4)와 식 (5)와 같다.

$$\epsilon_{tr} = \left[\frac{T_p}{T_p - T_s} \left(e^{-\frac{t'}{T_p}} - e^{-\frac{t'}{T_s}} \right) - \frac{\sin(\omega t')}{\omega T_s} \right] \times 100 [\%]$$

$$\epsilon_{tr} = \left[\frac{T_p}{T_p - T_s} \left(e^{-\frac{t'}{T_s}} - e^{-\frac{t'}{T_p}} \right) - \frac{\sin(\omega t')}{\omega T_s} \right] e^{-\frac{(t_p+t')}{T_s}} + \left[\frac{T_p}{T_p - T_s} \left(e^{-\frac{t''}{T_s}} - e^{-\frac{t''}{T_p}} \right) - \frac{\sin(\omega t'')}{\omega T_s} \right] \times 100[\%] \quad (4)$$

(5)

식 (4), 식 (5)에서 ϵ_{tr} 은 T_p , T_s 와 t' , t_{fr} , t'' 에만 관계되는 값을 알 수 있다. 그런데, T_p 는 계통의 정보로부터 알 수 있는 값이고, t' , t_{fr} , t'' 은 설계자가 미리 결정하여 알 수 있는 값이 된다. 그러므로, 특정 과도 기간에 요구되는 ϵ_{tr} 가 정해지면, 식 (4)와 식 (5)로부터 ϵ_{tr} 을 만족하는 T_s 를 구할 수 있게 된다.

2.1.3 과도 단면적 계수

식 (2)의 $i_m(t)$ 는 지수적으로 감쇄하는 직류 윗셋 성분과 교류 성분의 합으로 이루어져 있고, 이들은 각각 철심에 직류 윗셋 성분과 교류 성분의 자속을 생성시킨다. 과 단면적 계수 (over dimensioning factor, K_{od})는 직류 윗셋 성분과 교류 성분이 동시에 존재하는 경우의 자속과 교류 성분만 존재 하는 경우의 자속과의 비로 정의 되며, 식 (6)으로 나타내어 진다.[2]

$$K_{od} = \frac{(\text{직류 윗셋 성분}) + (\text{교류 성분 최대값})}{(\text{교류 성분 최대값})} \quad (6)$$

$$= \frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} \left(e^{-\frac{t'}{T_s}} - e^{-\frac{t'}{T_p}} \right) + 1$$

식 (6)에서 교류 성분 최대값은 상수이고, 직류 윗셋 성분 이 시간에 따라 변하는 값이므로 K_{od} 는 상수가 아닌 시간에 따라 변하는 값을 갖게 되며, T_p , T_s 에 의존한다. 또, K_{od} 는

$$t_{\max} = \frac{T_p T_s}{T_p - T_s} \ln \frac{T_p}{T_s} \quad (7)$$

에서 최대값을 갖게 된다.

그런데, 일반적으로 t_{\max} 는 계전기 동작 시간보다 상당히 길어 t_{\max} 에서의 K_{od} 는 매우 큰 값을 갖게 되므로, 본 논문에서는 t_{\max} 까지의 시간을 고려하지 않고 계전기의 동작시간 및 재폐로 시간을 고려하여 설정하였다. 따라서, 2.1.2에서 정의한 특정 과도 기간 동안의 시간만을 고려하는 K_{od} 를 과도 단면적 계수 (K_{td} , transient dimensioning factor)라고 정의 한다. 재폐로를 고려하지 않은 경우의 $t=t'$ 에서의 K_{td} 와 재폐로를 고려한 경우의 $t=t+t_{fr}+t''$ 에서의 K_{td} 를 식 (8)과 식 (9)에 나타내었다.

$$K_{td} = \frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} \left(e^{-\frac{t'}{T_s}} - e^{-\frac{t'}{T_p}} \right) + 1 \quad (8)$$

$$K_{td} = \left[\frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} \left(e^{-\frac{t'}{T_s}} - e^{-\frac{t'}{T_p}} \right) + 1 \right] e^{-\frac{(t_p+t')}{T_s}} + \left[\frac{\omega T_p T_s}{T_p - T_s} \left(e^{-\frac{t''}{T_s}} - e^{-\frac{t''}{T_p}} \right) + 1 \right] \quad (9)$$

T_p 와 t' , t_{fr} , t'' 는 기지의 값이고, 과도 기간에 요구되는 ϵ_{tr} 를 만족하는 T_s 도 식 (4)와 식 (5)로부터 구하였으므로, 식 (8)과 식 (9)를 이용하면, 특정 과도 기간에 요구되는 ϵ_{tr} 를 만족하는 K_{td} 를 구할 수 있게 된다.

2.2 대칭 단락 전류 계수

포화되지 않는 변류기를 설계하기 위해서는 설치하고자 하는 지점의 가장 큰 사고 전류를 고려해야 한다. 따라서, 대칭 단락 전류 계수 (symmetrical short-circuit current factor, K_{ssc})는 설치하고자 하는 지점에 대칭 3상 단락 사고가 발생한 경우의 1차 전류 (I_{psc})와 1차 정격 전류 (I_{pm})의 비로 정의된다.[2]

$$K_{ssc} = \frac{I_{psc}}{I_{pm}} \quad (10)$$

그리고, K_{td} 와 K_{ssc} 의 곱을 과전류 정수라 정의한다.

$$n = K_{td} \cdot K_{ssc} \quad (11)$$

과전류 정수는 변류기가 포화되지 않도록 하기 위해서 변류기의 단면적을 증가시켜 주어야 하는 배수라 할 수 있으며, 이는 사고 전류에 포함되어 있는 직류 윗셋 성분의 비와 사고 전류의 크기에 따라 결정됨을 알 수 있다.

2.3 단면적

본 논문에서는 사고 발생 후 과도 기간에 요구되는 과도 오차를 만족하기 위한 단면적을, 단면적과 2차 권선 저항사이의 관계를 이용하여 구하였다.

2.3.1 단면적과 2차 권선저항 사이의 관계

철심을 감고 있는 권선의 길이 (l_{coil})와 2차 권선 저항 (R_2)사이의 관계식은 식 (12)와 같이 주어 진다.

$$R_2 = \frac{l_{coil}}{\gamma s} [\Omega] \quad (12)$$

식 (12)에서, γ 는 권선의 콘덕턴스를 나타내며, 본 논문에서는 변류기 권선으로 주로 사용하는 구리의 도전율인 $\gamma = 50$ [Sm/ mm^2]을 사용하였으며, s 는 권선의 단면적을 나타내며, 1 [A] 정격인 경우에는 0.6 [mm^2], 5 [A] 정격인 경우는 3 [mm^2]으로 하였다.

철심의 단면을 정사각형이라 하였을 때, 단면적 A 와 R_2 사이의 관계식을 식 (13)에 나타내었다.

$$A = r_c^2 = \left(\frac{l_{coil}}{4(sm)N} \right)^2 = \left[\frac{R_2 \gamma s}{4(sm)N} \right]^2 [m^2] \quad (13)$$

여기서, N 은 2차 권선수이고, sm (safety margin)은 변류기 철심에 권선을 감을 때 완전히 밀착하여 감을 수 없기 때문에 철심 단면적의 둘레보다 더 많은 권선이 필요하게 되는데, 이것을 고려하는 여유분으로 본 논문에서는 1.25로 하였다.

2.3.2 2차 권선 저항

정격 전류의 과전류 정수배가 흐르는 경우에 변류기 2차 유기 기전력 E_2 는 식 (14)와 같다.

$$E_2 = 4.44fNBA = n(R_2I_{sn} + V_{2N})[V] \quad (14)$$

여기서, f 는 주파수, B 는 설정한 자속밀도, I_{sn} 은 2차 정격 전류, V_{2N} 은 부단에 가해지는 2차 정격 전압이다. 식 (13)을 식 (14)에 대입하면

$$E_2 = 4.44fNB \left(\frac{R_2 \gamma_s}{4(sm)N} \right)^2 = n(R_2I_{sn} + V_{2N}) [V] \quad (15)$$

이 된다. 식 (15)는 R_2 에 관한 2차 방정식이 되므로, 이 식을 풀면

$$R_2 = \frac{nI_{sn} + \sqrt{(nI_{sn})^2 + 4nV_{2N}K}}{2K} \quad (16)$$

이 되고, 여기서 $K = \frac{4.44fNB(\gamma_s)^2}{[4(sm)M]^2}$ 이다.

그러므로, 식 (16)에서 구한 R_2 를 식 (13)에 대입하면, 정격 전류의 과전류 정수배의 전류가 흐르는 경우에, 과도 기간에 요구되는 과도 오차를 만족하는 단면적을 구할 수 있다.

3. 모델 계통

그림 2에 본 논문에서 제시한 철심 변류기 설계 방식을 검증하기 위하여 사용한 345 [kV] 모델 계통을 나타내었다. 전원 주파수는 60 [Hz]이다. 모선 3은 모선 4와 모선 5에 각각 2회선 40 [km]의 송전선으로 연결되어 있다.

모델 계통에서 EMTP를 이용하여 여러 가지 사고를 모의하였고, 모선 3과 모선4를 연결하는 두 개의 송전선의 양단에 변류기를 모델링하여 1차, 2차 전류를 얻었다.

또한, 변류기의 특성을 정확하게 모델링하기 위해서 철심의 포화특성 및 히스테리시스 특성까지도 표현할 수 있는 Type-96소자를 이용하였으며, 이 소자를 이용하기 위한 히스테리시스 데이터는 EMTP 내의 보조 프로그램인 HYSDAT를 이용하여 얻었다.[3]

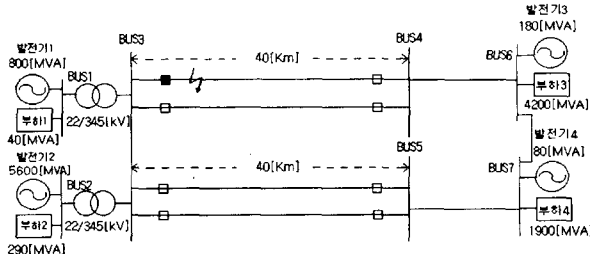


그림 2. 모델 계통
Fig. 2. A model system

4. 사례 연구

그림 2의 모델 계통에서 모선 3과 모선4를 연결하는 송전선의 모선 3측에 설치하게 될 변류기를 설계하였다.(그림 2에서 ■ 표시한 곳)

2차 정격 전류가 5 [A]인 경우와 1 [A]인 경우 즉, 변류비가 4000:5인 경우와 4000:1인 변류기를, 재폐로를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대하여 설계하였다. 그 결과를 현재 345 [kV] 계통에서 사용하고 있는 C800 변류기 (변류비 4000:5)와 비교하였다. 여기서, C800 변류기는 부담 8 [Ω]에서 정격 전류의 20배의 전류가 흐를 때 변류비 오차가 10 [%]이내인 변류기를 말한다.[4]

먼저, 모델 계통에서 EMTP를 이용하여 모선 3과 모선 4를 연결하는 송전선에서 대칭 3상 단락 사고를 모의하였다. 직류 옴셋 성분이 가장 많이 발생하는 경우를 모의하기 위하여, 모선 3으로부터 1 [km] 떨어진 지점에서 AB상 선간 전압 위상각이 0도인 3상 단락 사고를 모의 하였으며, 사고 순간은 57 [ms]이다. 이때, K_{ssc} 는

$$K_{ssc} = \frac{I_{isc}}{I_{bn}} = \frac{52000}{4000} = 13 \quad (17)$$

으로 된다. 또한, 사고 전류로부터 T_p 를 계산한 결과, 82 [ms]가 되었다.

본 논문에서는, 변류기가 과도 기간에 즉, 재폐로를 고려하지 않는 경우에는 사고 후 $t=t'$ 까지, 그리고 재폐로를 고려하는 경우에는 $t=t+t_{fp}+t''$ 에서 만족해야 하는 ϵ_{tr} 는 10 [%]로 정하였다.

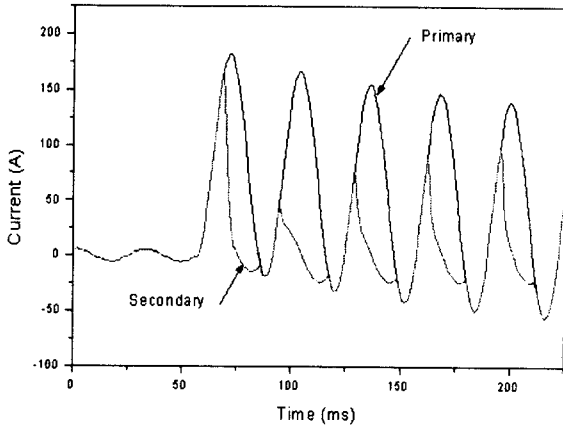
사례 연구에서 사용한 2차 부담은 C800 변류기의 경우에는 8 [Ω]의 순 저항성 부담을, 4000:5 변류기와 4000:1 변류기의 경우에는 각각 3.42 [Ω], 3.9 [Ω]의 순 저항성 부담을 사용하였다. 이는 왕복 약 1 [km] 케이블 저항과 디지털 계전기 부담을 고려한 것이다.

4.1 재폐로를 고려하지 않은 경우

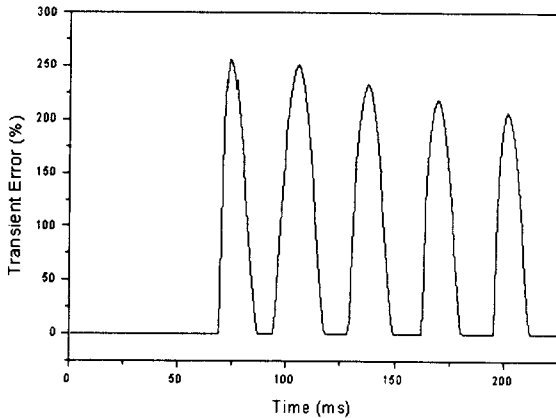
이 경우에는 t' 을 2주기로 하였다. 즉, 사고 발생 후 2주기까지는 ϵ_{tr} 가 10 [%] 이내가 되도록 단면적을 설계하였다. 이를 만족하기 위한 T_s 를 식 (4)를 이용하여 구하였으며, 그 값은 256 [ms]이었다. 식 (8)를 이용하여 구한 K_{td} 는 10.6 이었으며, n 은 138이다. 이 값들은 4000:5 변류기와 4000:1의 변류기에 동시에 적용되는 값이다. 식 (16)으로부터 구한 R_2 는 4000:5의 경우에는 2.83 [Ω], 4000:1의 경우에는 35.5 [Ω]이 되었다. 식 (13)으로부터 구한 단면적은 4000:5인 경우에는 112 [cm^2], 4000:1인 경우에는 28 [cm^2]이었다. 따라서, 포화 전압은 4000:5 변류기는 4310 [V]이었으며, 4000:1의 변류기는 5436 [V]이었다. 과전류 정수가 같더라도 권선 수가 달라 권선 저항이 다르기 때문에, 결과적인 포화 전압은 4000:1의 변류기가 더 큼을 알 수 있

다.

그림 3은 C800 변류기를 설치하였을 경우의 3상 단락 사고시 A상 전류를 나타낸다. 본 논문의 그림에서의 1차 전류는, 2차 전류와의 비교를 위하여 실제의 1차 전류를 변류비로 나눈 것이다. 이 경우는 과전류 정수를 20으로 하였기 때문에, 그림 3a에서 보는 것처럼 사고 후 1/4 주기 이내에 심한 포화가 발생하였고, 이에 대한 1차 전류와 2차 전류로부터 식 (3)을 이용하여 계산한 ϵ_H 을 그림 3b에 나타내었다. 만족해야 하는 10 [%]를 사고 후 1/4 이내에 훨씬 초과함을 알 수 있다.



(a) 1차 전류 및 2차 전류
(a) Primary and secondary currents



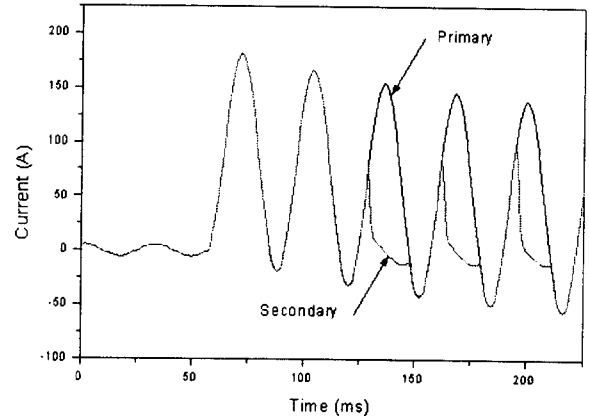
(b) 과도 오차
(b) Transient error

그림 3. C800 변류기의 경우
Fig. 3. In case of a C800 CT

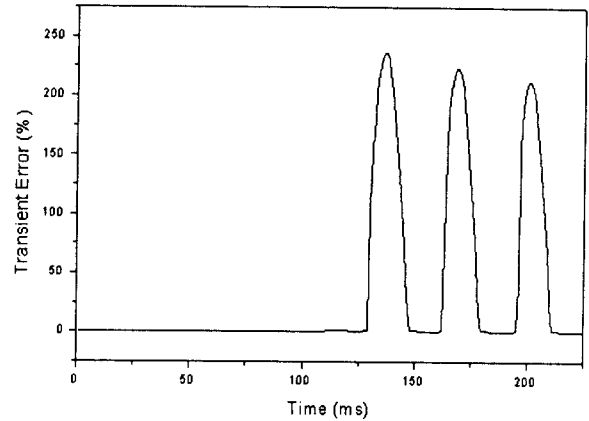
그림 4에 본 논문에서 제시한 방식대로 설계한 4000:5 변류기를 사용한 경우의 결과를 나타내었다. t' 을 2주기로 정하였기 때문에 설계한 변류기는 사고 후 2주기가 지나서야 포화됨을 그림 4a를 통하여 알 수 있고, 이에 대한 과도 오차도 사고 후 2주기까지는 매우 작음을 알 수 있다.

그림 5에 본 논문에서 제시한 방식대로 설계한 (4000:1) 변류기를 사용한 경우의 결과를 나타내었다. t' 을 2주기로

정하였지만, 앞에서 설명한대로 포화전압이 4000:5 보다 커서, 실제로는 사고 후 2주기를 좀 더 지나서야 포화됨을 알 수 있다.

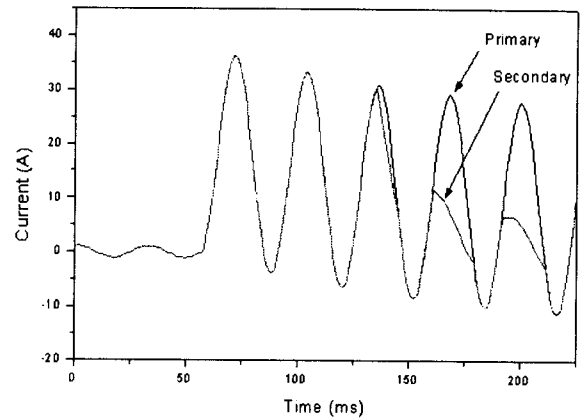


(a) 1차 전류 및 2차 전류
(a) Primary and secondary currents

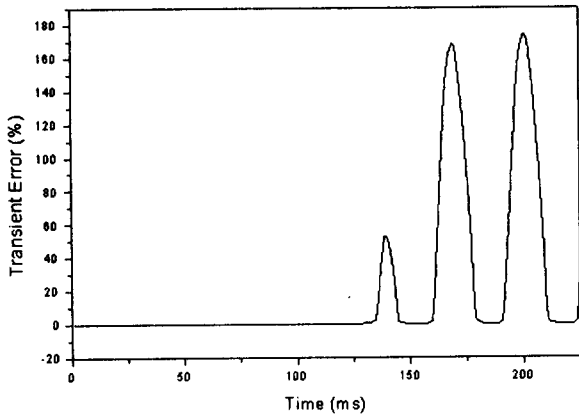


(b) 과도 오차
(b) Transient error

그림 4. 제시한 방식대로 설계한 변류기의 경우 (4000:5)
Fig. 4. In case of a CT designed by the proposed method (4000:5)



(a) 1차 전류 및 2차 전류
(a) Primary and secondary currents



(b) 과도 오차
(b) Transient error

그림 5. 제시한 방식대로 설계한 변류기의 경우 (4000:1)
Fig. 5. In case of a CT designed by the proposed method (4000:1)

4.2 재폐로를 고려한 경우

이 경우에는 t' 을 계전기 동작 시간 뿐만 아니라 차단기 동작시간까지 고려하여 5 주기로 하였고, t_{fr} 는 24 주기, t'' 는 계전기 동작시간 2 주기만을 고려하여 설계하였다. 즉, 사고 발생 후 31주기 이내에는 ϵ_{tr} 가 10 [%]가 넘지 않도록 설계하였다.

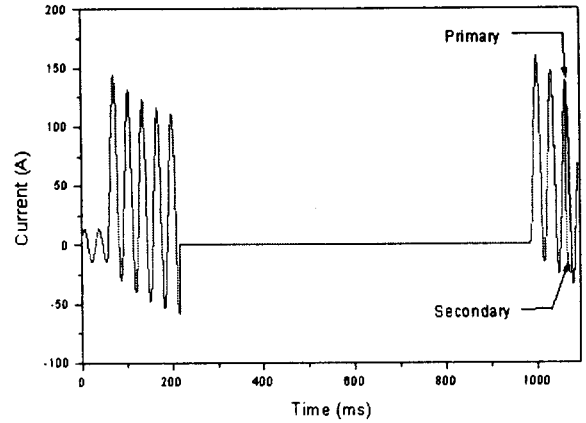
재폐로를 고려하지 않은 경우와 마찬가지로, 변류비가 4000:5인 경우와 4000:1의 경우를 설계하였다.

10 [%]의 ϵ_{tr} 를 유지해야 하는 T_s 는 식 (5)를 이용하여 구하였고, 그 값은 437 [ms]이었다. 그리고, 식 (9)를 이용하여 구한 K_{td} 는 17.8이었으며, 따라서 과전류 정수는 231이다. 식 (13)을 이용하여 구한 단면적은 4000:5인 경우에는 223 [cm^2], 4000:1인 경우에는 74 [cm^2]이었다.

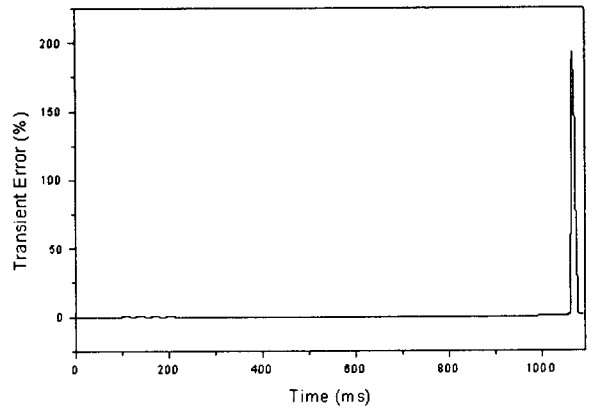
R_2 는 4000:5의 경우에는 3.98 [Ω], 4000:1의 경우에는 57.18 [Ω]이 되었다.

그림 6에 제시한 방식대로 설계한 4000:5 변류기를 사용한 경우의 결과를 나타내었다. 요구되는 과도 오차를 만족해야 하는 시간을 31주기로 하였기 때문에 설계한 변류기는 사고 후 31주기가 지나서야 포화됨을 알 수 있으며, 과도 오차도 특정 과도 기간에는 매우 작음을 알 수 있다.

그림 7에 본 논문에서 제시한 방식대로 설계한 4000:1 변류기를 사용한 경우의 결과를 나타내었다. 재폐로를 고려하지 않은 경우와 마찬가지로, 포화 전압이 4000:5 보다 높기 때문에, 요구되는 정확도를 만족해야 하는 시간을 31주기로 하였지만, 그 후에도 일정기간 포화되지 않음을 알 수 있다.

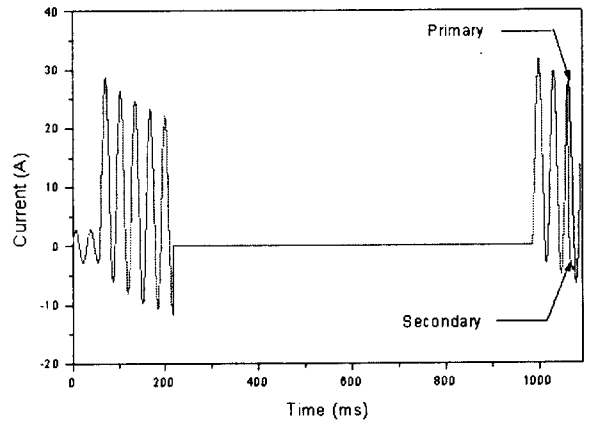


(a) 1차 전류 및 2차 전류
(a) Primary and secondary currents

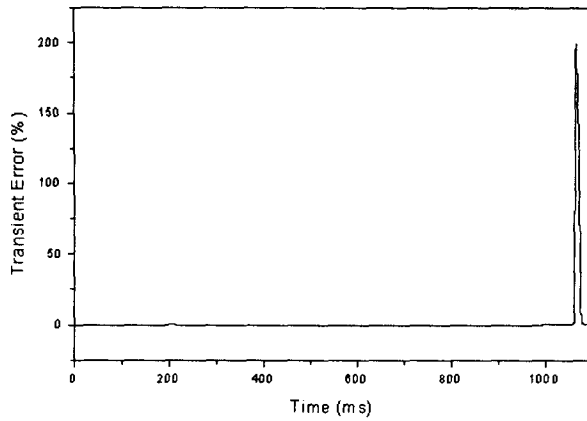


(b) 과도 오차
(b) Transient error

그림 6. 제시한 방식으로 설계한 변류기의 경우 (4000:5)
Fig. 6. In case of a CT designed by the proposed method (4000:5)



(a) 1차 전류 및 2차 전류
(a) Primary and secondary currents



(b) 과도 오차
(b) Transient error

그림 7. 제시한 방식으로 설계한 변류기의 경우 (4000:1)
Fig. 7. In case of a CT designed by the proposed method (4000:1)

표 1에 C800 변류기와 제시한 방식으로 설계한 변류기의 파라미터를 나타내었다.

예상 했던 대로, K_{td} 는 변류비에 관계없이 일정하였고, 재폐로를 고려한 경우가 고려하지 않은 경우에 비해 약 1.7배가 컸으므로, 과전류 정수도 1.7배가 컸다. 설계 변류기의 과전류 정수는 C800 변류기에 비해 매우 큼을 알 수 있다.

4000:5의 설계 변류기의 경우의 단면적은 C800의 것에 비해 재폐로를 고려하지 않은 경우에는 약 4배, 고려한 경우에는 약 8배가 컸다. 따라서, 포화를 방지하기 위한 단면적은 기존의 것에 비해 많이 증가해야 함을 알 수 있다. 그런데, 4000:1의 변류기를 사용하면, 재폐로를 고려하지 않은 경우에는 기존 변류기와 단면적이 같고, 재폐로를 고려하면 약 3배를 증가하면 된다. 따라서, 물리적 또는 경제적인 이유 때문에 단면적을 많이 증가하기 어려운 경우에는, 권선 수를 증가하고 정격을 1 [A]로 사용하면 단면적을 감소시킬 수 있다.

표 1. 설계 방식 비교표

Table 1. Comparison of a C800 CT and the designed CTs

	설계 철심 변류기				C800
	82 [ms]				
T_p	82 [ms]				4000:5
변류비	4000:5		4000:1		
특정 과도 시간	C-O	C-O-C-O	C-O	C-O-C-O	
K_{td}	10.6	17.8	10.6	17.8	
K_{ssc}	13	13	13	13	
n	138	231	138	231	20
A [cm ²]	112	223	28	74	28
포화전압 [V]	4310	8548	5436	14109	800

4. 결 론

본 논문에서는 철심 변류기가 포화되지 않도록 하기 위한 변류기를 설계하는 방식을 제시하였다. 사고 전류에 포함되어 있는 직류 옴셋 성분의 영향을 고려하기 위하여 과도 단면적 계수를 정의하였으며, 설치하고자 하는 지점의 가장 큰 단락 사고 전류를 고려하기 위하여 단락 전류 계수를 구하였고, 이들 계수를 이용하여 유효 단면적을 결정하였다. 또한, 2차 정격 전류가 5 [A]와 1 [A]인 변류기를, 재폐로를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 설계하였다. 본 논문에서 제시한 방식으로 설계된 변류기와 C800 변류기와의 비교를 통하여, 제시한 방식의 타당성을 입증하였다.

포화를 방지하기 위한 보호용 변류기를 설계하기 위해서는, 우리 나라 계통 상황을 고려해 볼 때 과전류 정수를 20배 이상으로 증가하여야 하며, 특히 재폐로를 고려하는 경우에는 더욱 증가시켜야 한다. 본 논문에서는 증가시켜야 하는 과전류 정수를 정량적으로 구할 수 있는 방안을 제시하여 특정기간에는 포화가 없는 변류기의 설계를 가능하게 하였다.

참 고 문 헌

- [1] Stanley H. Horowitz, A. G. Phadke, Power System Relaying, Research Studies Press LTD. 1992, pp56-58
- [2] International Electrotechnical Commission Standard 44-6", pp21, 1992
- [3] M. Kezunovic, Lj. 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, pp 405-413, 1994
- [4] American National Standard Institute / The Institute of Electrical and Electronics Engineers. C57.13", pp23, 1978

저 자 소 개



강 상 희 (姜 相 熙)
1962년 8월 15일생. 1985년 서울대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 명지대 공대 전기정보제어공학부 부교수.



이 승 재 (李 承 宰)

1955년 11월 30일생. 1979년 서울대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 University of Washington 전기공학과 졸업(공학박). 현재 명지대 공대 전기정보제어공학부 교수.



배 주 천 (裴 周 千)

1958년 11월 23일생. 1984년 광운대 대학원 전기공학과 졸업. 1981년 한국전력 입사. 현재 한전 중앙급전 사령실 급전부장. 숭실대 박사과정. 발송배전기술사



이 주 훈 (李 柱 勳)

1970년 10월 12일생. 1997년 명지대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 재학(석사).



강 용 철 (姜 龍 澈)

1964년 8월 2일생. 1991년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 기초전력공학 공동연구소 연구원.



이 정 택 (李 晶 澤)

1950년 1월 8일생. 1977년 영남대 전기공학과 졸업. 1977년 한국전력 입사. 1993년 한전본사 계통보호부장, 계전기 계획부장. 1998년~현재 한전 제천전력 계통운영부장.



안 준 기 (安 俊 基)

1950년 4월 24일생. 1972년 전남대 전기공학과 졸업. 1974년 한국전력 입사. 1994년 전력연구원 전력시험부장. 1996년 계통운영처 계통보호부장. 1998년~현재 계통운영처 보호제어부장



이 청 학 (李 清 學)

1960년 1월 25일생. 1982년 고려대 전기공학과 졸업. 1982년 한국전력 입사. 1991년 진주지점 설비운영과장. 1993년~현재 계통운영처 보호제어부장대리