

과전류 경고 회로용 변류기의 자기포화 특성을 고려한 최적 설계

김선종* · 박의종** · 김용재**

Optimal Design considering Magnetic Saturation Characteristic of Current Transformers for the Overcurrent Warning Circuit

Sun-Jong Kim* · Eui-Jong Park** · Yong-Jae Kim***

요약

본 논문은 과전류 경고회로의 신호를 나타내는 변류기를 설계하기 위해 관통형 변류기의 특성을 분석하고 손실을 고려한 최적 설계를 수행하였다. 관통형 변류기 코어의 크기는 2차측의 코일 턴수에 따라 결정된다. 우리는 코어에 코일을 감는 턴수에 따라 다르게 나타나는 전류 파형을 분석하였으며, 변류기 코어의 자속포화에 의한 비정현적인 파형을 개선하고자 2차측 코일 턴수와 부하저항과의 관계를 확인하였다. 또한 코어의 외경은 유지하면서 내경 및 적층을 변화시켜 정밀도 개선 및 최적설계를 하였고, 이를 통하여 과전류 경고회로의 동작에 필요한 전류 값을 도출하였다.

ABSTRACT

In this paper, we analyzed characteristic of window type current transformer and we performed the optimal design consider to the loss; in order to design the current transformer figured signal of overcurrent warning circuit. The core size of window type current transformer was determined by the secondary coil turns. We analyzed current waveform, which is appeared by the number of coil turns on the core, we made sure the relation of secondary coil turns and load resistance in order to improve the non-sinusoidal wave by the flux saturation of the current transformer core. Additionally, we did improvement of the accuracy and optimal design through the transformation of the inner diameter and the stack length when the outer diameter of core is sustaining.

키워드

Window Type Current Transformer, Flux Saturation, Secondary Coil Turns, Load Resistance, Precision
관통형 변류기, 자속 포화, 2차 코일 턴수, 부하저항, 정밀도

1. 서론

변류기는 임의의 대전류를 코일의 턴수에 비례한 변류비로 발생하는 소전류를 이용하여 계량기, 보호계 전기 등의 기기에서 공급되어 계통의 보호 및 운전

상태를 측정하여 사고를 방지하는데 많이 이용되며 계측용 또는 계전기용으로 쓰인다. 변류기의 종류는 권선형, 봉형, 관통형, 부싱형 등 다양한 형태로 존재하며 이 중 본 논문에서는 관통형 변류기를 사용하였다. 관통형 변류기란 2차 권선이 감겨진 환상 철심의

* 조선대학교 전기공학과(ksunjong@naver.com, puj1988@hanmail.net)

** 교신저자 (corresponding author) : 조선대학교 전기공학과(kimyj21@chosun.ac.kr)

접수일자 : 2015. 06. 22

심사(수정)일자 : 2015. 07. 13

게재확정일자 : 2015. 07. 23

중심부에 1차 권선을 통과시키는 형태이며 1차 권선은 전선, 모선, 부상 등을 사용한다. 일반적으로 관통형 변류기는 철심의 포화로 인해 어느 한계에 도달하면 1차 전류가 증가하여도 2차 전류는 증가하지 않는다. 이러한 포화현상은 코일의 턴수에 따라 자속을 받아들이는 코어의 크기와 밀접한 관련이 있어 설계 시 고려되어야 할 사항이다[1-2].

따라서 본 연구에서는 과전류 경고회로를 동작하기 위해 필요한 전류와 전압을 발생시키는 관통형 변류기를 설계하기 위해 코어의 외경은 고정된 채 내경과 적층을 조절하여 2차측 과형을 개선하였고 기본모델과 비교분석 하였다. 또한 단면적을 고려한 최적설계를 통해 코일의 사용량을 줄이고 재료비용을 절감하였으며 기기의 특성을 향상 시키고자 한다[3-4].

II. 관련 이론 및 특성

2.1 관통형 변류기의 기본 원리 및 포화 특성

관통형 변류기는 그림 1과 같이 코어에 감기는 2차 권선 N2가 감겨진 코어의 중심부에 1차 권선 N1을 통과시키는 형태로 자기폐회로에서 암페어의 주회법칙을 기본으로 하여 자계의 세기 H와 여자전류의 관계를 이용하며 식 (1)과 같이 나타난다[5].

$$\oint_c \vec{H} \cdot \vec{dl} = NI[A] \quad (1)$$

관통형 변류기는 사용기기의 1차 측 전선에 흐르는 전류의 크기를 변류비 만큼 축소하여 과전류 회로를 동작하기 위해 사용된다. 또한 자료가 철인 철심변류기로 그림 2와 같이 포화 특성을 가지고 있다. 본 연구에서 사용한 해석기법은 유한요소법으로 POSCO에서 제작된 S08 0.35T과 유사한 코어 특성을 가진 35JN230으로 해석을 수행하였다.

이러한 자기 포화 특성은 계전기의 오동작을 유발하거나 동작에 지연을 유발하므로 변류기의 포화문제를 잘 고려해야한다. 철심의 재질이 결정되면 자속을 포함할 수 있는 최대 자속밀도가 일정한 값을 가지고, 일정한 자속밀도를 가지는 관통형 변류기가 포화되지 않기 위해서는 1차 측 전선에 흐르는 전류에 의해 발생하는 자속이 철심을 통과하기에 적합한 단면적을

선정하는 것이 매우 중요하다.

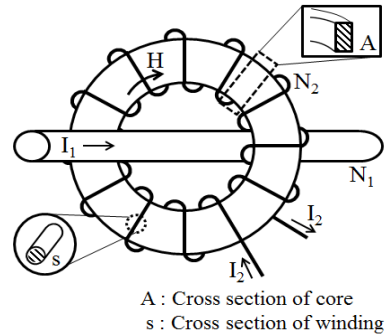


그림 1. 관통형 변류기의 구조
Fig. 1 Structure of window type current transformer

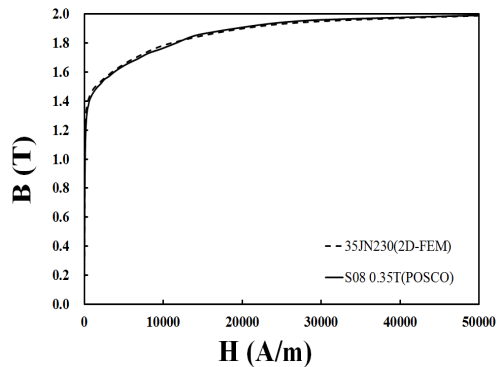


그림 2. 코어의 B-H 커브 특성
Fig. 2 B-H curve specialization of core

철심의 포화나 동작을 지연 시키는 성분이 많이 포함 될수록 관통형 변류기 철심의 단면적은 증가하게 된다. 관통형 변류기 철심의 단면적이 증가하면 코일의 길이도 길어지게 되며 식 (2)에 나타낸 것과 같이 코일의 저항도 증가하게 된다. 여기서 R은 코일의 저항, l은 권선의 길이, s는 권선의 단면적, γ 은 권선의 콘덕턴스를 나타낸다.

$$R = \frac{l}{\gamma s} [\Omega] \quad (2)$$

위의 식 (2)를 통하여 관통형 변류기 철심의 단면적은 2차측 코일 저항과의 관계를 통해 식 (3)과 같이

구할 수 있다. 이때 코일의 저항은 대전류에 의해 변류기가 포화되지 않도록 관통형 변류기 철심의 단면적이 증가한 때의 권선저항이 된다. 이로 인해 관통형 변류기 철심의 단면적을 구할 수 있으며, 대전류가 흘러도 포화되지 않아 정밀도를 유지할 수 있는 관통형 변류기 철심의 단면적을 구할 수 있다. 여기에서 A는 철심의 단면적[mm²]을 나타내고, N은 2차측 턴수이며, sm(: safety margin)은 1.25로 한다[6-8].

$$A = \left(\frac{R_{\gamma s}}{4smN} \right)^2 [mm^2] \quad (3)$$

2.2 관통형 변류기의 기본모델

우리는 관통형 변류기를 통과하는 1차측 전류를 통한 2차 유도전류를 이용하여 1차측 전류 15[A] 이상의 과전류를 감지하고 경고회로를 동작하기 위해 필요한 24[mA]의 전류와 6.7[V]의 전압을 발생시키고자 한다. 관통형 변류기 설계 전 시중에서 출시되고 있는 관통형 변류기를 기본모델로 하여 특성을 분석 하였다. 관통형 변류기 코어의 외경은 18.82[mm], 내경 12.7[mm], 적층 5[mm]이며 2차 코일선경은 0.1[mm]이다. 그에 따른 주요 사양을 표 1에 나타내었으며, 이 사양을 본 논문의 기본모델로 선정하였다.

표 1. 관통형 변류기의 사양
Table 1. Specification of window type current transformer

Outer core	18.82[mm]	Secondary diameter	0.1[mm]
Inner core	12.7[mm]	Cross section	15.3[mm ³]
Stack length	5[mm]	Volume core	757.5[mm ³]
First coil turns	4[Turn]	First current	15[A]
Secondary coil turns	2500[Turn]		

회로에서 과전류를 감지하기 위한 1차 전류는 15[A]이며, 2차 코일 턴수가 2500[Turn]인 기본모델의

관통형 변류기를 이용하여 과전류 경고 회로에 필요한 전압 및 전류 값을 끌어내기 위해서는 2차측 2500[Turn]의 턴수를 고려하여 1차측 턴수는 4[Turn]을 감아 주어야 원하는 전압 및 전류값을 끌어낼 수 있다. 이때 2차 전류 값은 관통형 변류기를 통과하는 1차 전류의 값에 1차측 턴수와 2차측 턴수의 비로 나누어준 값과 동일하게 나타난다. 이에 따른 부하전압은 7[V], 2차 전류는 0.024[A]이며 부하저항은 290[Ω]으로 나타난다[9].

이렇게 기본모델의 관통형 변류기를 통하여 원하는 값을 도출할 수 있으나, 이는 2500[Turn]의 많은 수를 0.1[mm]의 선경을 가진 코일을 이용하여 코어에 감는데 따른 제작과정의 어려움이 많을 뿐더러 그에 따른 재료비용과 제작시간이 추가적으로 많아지게 된다. 따라서 우리는 1차 턴수를 줄이고 2차측 코일 턴수를 대폭 줄여 이러한 문제점들을 보완 하고자 한다.

2.3 관통형 변류기의 제안모델 특성 해석

기본모델의 관통형 변류기에 감긴 다수의 턴수를 줄이고자 동일한 코어 상에서 1차 턴수는 1[Turn]으로 하여 2차 턴수는 회로에 필요한 0.024[A]의 전류를 고려하여 600[Turn]으로 정하고 해석 설계 하였다. 이때 이상적인 값으로 2차 전류는 0.025[A]가 나타나는데 필연적으로 발생하는 정밀도를 고려하여 여유분을 두고 감아준 턴수가 600[Turn]이다. 전선에 1차 전류가 흐르면 코어에 자속이 발생하고 2차 코일에 자속이 쇄교하여 렌츠의 법칙인 식 (4)에 의하여 2차측에 기전압이 발생한다. 이때 2차측 합성저항에 따라 전류의 흐름은 변화하며, 상쇄되는 자속이 발생하게 된다. 그리고 철심에 감겨있는 코일의 감은 수와 2차 코일에 흐르는 전류의 곱에 의한 기자력 식에 의해 용량은 턴수에 비례하여 결정된다.

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} [V] \quad (4)$$

그림 3에 2차측 턴수가 600[Turn]인 모델의 전류파형을 나타내었으며 이때의 부하저항 값은 280[Ω]이다. 2500[Turn]의 2차 턴수를 600[Turn]으로 변화시킴에 따라 용량은 작아지며 포화특성에 의해 전류 파형은 비정현적으로 나오게 되며 전류는 0.0139[A]로 원하는 전류값에 미치지 못한다. 따라서 2차 턴수의 변

화에 따라 나타나는 문제점을 해결하기 위해 관통형 변류기 사이즈의 변화가 요구된다.

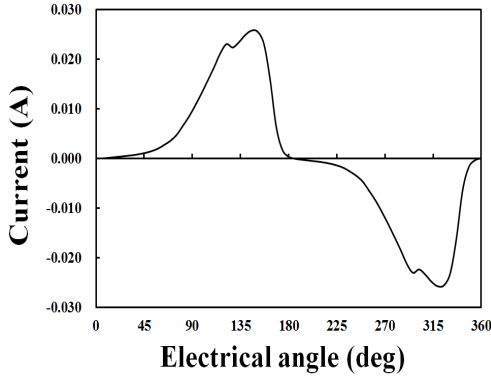


그림 3. 2차측 600[Turn]일 때의 전류파형
Fig. 3 Current waveform of secondary 600[turn]

III. 관통형 변류기 모델링

3.1 2차 코일저항과 부하저항의 관계

관통형 변류기가 단락일 때 정밀도는 높고 코어의 크기는 그만큼 작아질 수 있다. 하지만 과전류 경고회로에 사용되는 소자 각각의 저항들로 인해 합성저항이 생기기 때문에 관통형 변류기 설계 시 부하저항을 고려해 주어야 한다. 이때 부하저항이 증가하면 정밀도는 그만큼 낮아지고 코어의 크기도 커지게 된다. 이렇게 정밀도가 낮아지면 그만큼 필요로 하는 전압, 전류 값보다 더 높은 값이 나오게 설계해야 한다. 따라서 6.7[V]의 전압과 0.024[A]를 필요로 하는 과전류 경고회로에 옴의 법칙을 이용하여 부하저항은 280[Ω]으로 선정한다.

3.2 코어의 크기변화에 따른 전류 특성

관통형 변류기의 크기에 따른 특성을 파악하고 설계치를 도출하고자 외경과 내경을 고정한 채 적층을 변화시키고, 외경과 적층을 고정한 채 내경을 변화시키는 두 가지 유형으로 전류 파형을 분석 하였다. 그림 4에는 관통형 변류기의 설계 조건인자를 개략적으로 도시하였다. 그림 5는 적층을 5[mm]-15.5[mm]까지 0.5[mm]간격으로 증가 시키며 나타난 전류파형 중 가장 큰 값을 나타낸 파형과 가장 작은 값을 나타낸

파형을 나타내었다. 그림 6은 내경을 12.7[mm]-7[mm]까지 0.3[mm]간격으로 줄이면서 나타난 전류 파형 중 가장 큰 값을 나타낸 파형과 가장 작은 값을 나타낸 파형을 나타내었다.

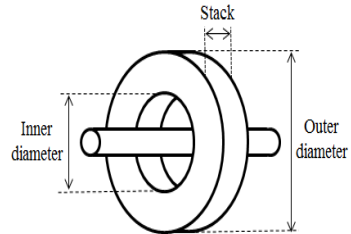


그림 4. 관통형 변류기 설계
Fig. 4 Design of Window type current transformer

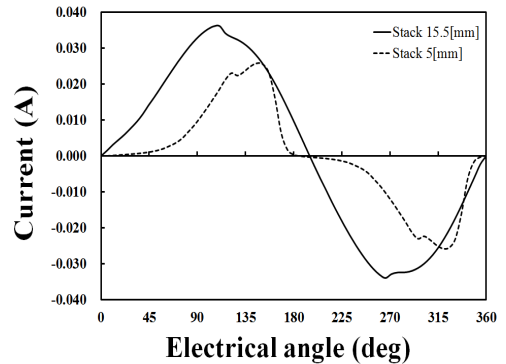


그림 5. 코어의 적층 변화에 따른 전류 파형
Fig. 5 Current waveform according to the stack length

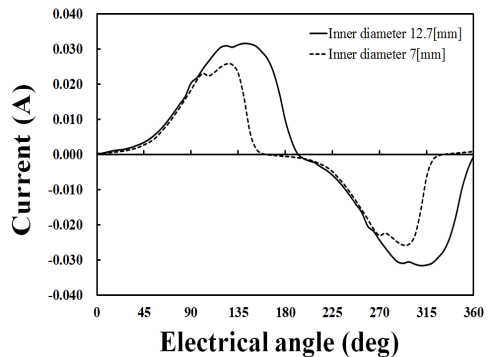


그림 6. 코어의 내경 변화에 따른 전류 파형
Fig. 6 Current waveform according to the inner diameter

그 결과 적층을 증가 시켰을 때의 전류 값은 0.013[A]-0.024[A]까지 증가함을 보였다. 또한 내경을 줄였을 때도 부하전류는 0.013[A]-0.0209[A]까지 증가함을 보였다. 이를 토대로 코어의 외경은 일정하게 유지 한 채 적층을 증가시키고 내경을 줄이면 전류값은 증가하고 원하는 전류값에 적합한 코어의 크기가 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 코어의 내경은 1차측에 관통하는 3[mm]의 전선과 인슐레이터와 2차측에 와인딩 되어지는 코일 선경을 고려하여 8[mm]로 정하고 적층을 5[mm]-15.5[mm]까지 변화시켰다.

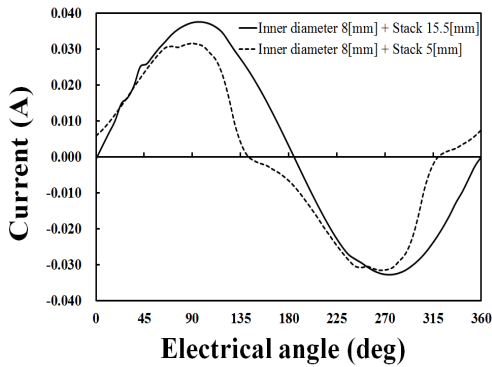


그림 7. 코어의 내경 8[mm]일때 적층 변화에 따른 전류 파형

Fig. 7 Current waveform according to change of stack length, the inner diameter #8[mm]

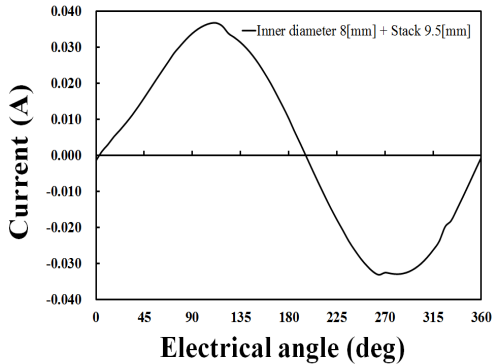


그림 8. 코어의 내경 8[mm], 적층 9.5[mm]일때의 전류 파형

Fig. 8 Current waveform of inner core #8[mm] and stack length #9.5[mm]

이때 부하전류는 그림 7과 같이 나타나며 그 값은

0.0208[A] -0.0248[A]까지 증가하였으며 과전류 경고 회로의 신호를 낼 수 있는 전류값이 나타났다.

이러한 결과 값들과 코어 사이즈에 따른 제작 단가를 고려하여 내경 8[mm], 적층 9.5[mm]로 이루어진 관통형 변류기를 도출 하였으며 그림 8에 이때의 전류 파형을 나타냈다. 이때 정밀도는 2[%] 이내로 전류 값은 회로에 필요한 0.024[A]로 도출된다.

IV. 결론

본 연구에서는 1차전류 15A 이상의 과전류를 감지하는 과전류 경고 회로용 신호 발생에 필요한 6.7[V]의 전압과 0.024[A]의 전류를 나타내기 위해 관통형 변류기의 특성을 해석하고 기본모델에 감긴 많은 2차 턴수를 고려하여 필요한 턴수만을 지정하고 코어의 외경은 기본모델의 관통형 변류기와 같은 치수로 유지한 채 내경과 적층의 크기를 조절하였다. 그 결과 1차측 턴수는 1[Turn] 2차측 코일 턴수는 600[Turn], 외경 18.82[mm]에 내경 8[mm], 적층 9.5[mm]로 하였을 때 정밀도는 2[%]이하로 1차 전류 15[A] 이상일 때의 과전류 경고회로의 동작에 필요한 전류값 0.024[A]와 전압 6.7[V]의 값을 도출 하였다. 따라서 기본모델의 관통형 변류기보다 1차측과 2차측 코일 턴수를 줄여 와인딩이 보다 간편해지고, 내경과 적층을 변화시켜 코어의 체적을 줄임으로서 제작시간 및 재료비용을 줄였다. 본 연구로 인한 관통형 변류기 기술 개발을 통해 전기 사고를 방지하고 안정성 및 단가를 절감하여 수입에 의존하고 있는 소형 관통형 변류기의 자체 개발로 관통형 변류기가 필요한 산업 현장에서의 활용 및 수입 대체 효과를 발생시킬 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 2015년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

References

- [1] G. Park, and S. Park, "A study on the cause Analysis and solution of an overheated NGR

of the Main Transformer," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 262-267.

- [2] Y. Han, and D. Kim, "The Development of Android Application for Intelligent Concent," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1515-1521.
- [3] M. Jeon, "A Differential Colpitts-VCO Circuit Suitable for Sub-1V Low Phase Noise Operation," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 1, 2011, pp. 7-12.
- [4] H. Shin, "Design of LED Driving SMPS for Large Traffic Signal Lamp," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 2, 2009, pp. 123-129.
- [5] Y. Kang, T. Zheng, H. Kang, B. Lee, and Y. Kim, "Development of a Compensating Algorithm for an Iron-cored Measurement CT using Flux-magnetizing Current Curves and Voltage-core Loss Current Curves," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 58, no. 10, 2009, pp. 1849-1854.
- [6] Y. Kang, J. Yun, and S. Ok, "A Percentage Differential Current Relaying Algorithm for Bus Protection Using Current Transformer Saturation Detecting Algorithm," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 2001, no. 11, 2001, pp. 115-117.
- [7] Y. Park, and S. Jang. "A Study on an Electronically Compensated Current Transformer for a Precision Power Transducer," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 44, no. 7, 1995, pp. 948-953.
- [8] Y. Eum, C. Koh, S. Hong, and P. Shin. "Experimental Measurement of Magnetic Properties of a Toroidal-type Bulk Electrical Steel using B-waveform Control," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 56, no. 5, 2007, pp. 869-875.
- [9] J. Lee, S. Kang, S. Lee, Y. Kang, J. Bae, J. Ahn, C. Lee, and J. Lee. "A Design Method of Iron-cored CTs To Prevent Saturation," *The Trans. of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 48, no. 2, 1999, pp. 119-126.

저자 소개



김선종(Sun-Jong Kim)

2015년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2015년~현재 조선대학교 대학원 전기공학과 석사과정

※ 관심분야 : 전기기기, 모터 설계 및 해석



박의종(Eui-Jong Park)

2013년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2015년 조선대학교 대학원 전기공학과 석사졸업

2015년~현재 조선대학교 대학원 전기공학과 박사과정

※ 관심분야 : 모터 설계 및 해석



김용재(Yong-Jae Kim)

1996년 조선대학교 전기공학과 졸업(공학사)
2003년 일본 무사시공업대학 대학원 공학연구과 전기공학 졸업(공학석사)

2006년 일본대학교 무사시공업대학 대학원공학연구과 전기공학 졸업(공학박사)

2007년 현재 조선대학교 전기공학과 부교수

※ 관심분야 : 전기기기 설계 및 해석