

권선단락에 의한 초고압 변압기 권선의 전자력 계산 연구

하정우¹, 신판석¹, 한성진²

¹홍익대학교 전기공학과, ²동아대학교²

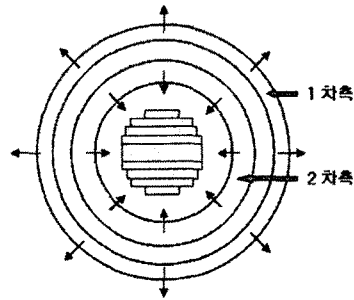
An Electromagnetic Force Calculation of Internal Winding Fault in a High Voltage Transformer

Jung-Woo Ha¹, Pan-Seok Shin¹, Sung-Chin Hahn

¹Hong-ik University, ²Dong-a University

Abstract - 본 연구에서는 전력계통에서 발생하는 surge나 고장전류에 의해 변압기의 1차측 코일에 유도되는 전자력의 크기를 유한요소 전자계해석 프로그램(FLUX2D)을 이용하여 해석하였다. 400kVA, 6600/220(V) 단상 내철형 변압기의 권선간 전자력계산을 축대칭FEM을 이용하여 각방향의 전자력을 분석하였다. 누설자속분포, 전류유입시 권선 상호간에 작용하는 힘의 변화와 힘의 분포, 전류유입시 권선 상호간에 작용하는 힘의 변화와 힘의 분포, 변압기 내부권선의 정상시와 고장전류시의 전자계비교를 전자계해석을 통하여 변압기에 미치는 영향을 해석하였다. 변압기에 대전류가 유입되는 경우의 전자력 분석결과는 변압기의 절연설계 및 단락기계력에 대한 프레임 구조 설계를 위한 자료로 활용된다.

단락전류에 의한 변압기의 1차측과 2차측은 Radial방향으로 힘이 그림(2)와 같이 나타나게 되고, Radial 방향 전자력은 식(5)에 의하여 그림(1)과 같이 나타나게 된다.



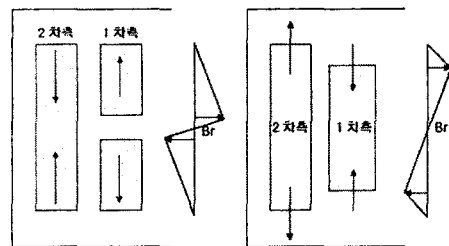
<그림 2> Radial 방향 전자력

$$B = \frac{4\pi (ni)}{10 h} \text{ gauss} \tag{4}$$

$$F_{rw} = \frac{2\pi (ni)^2 \pi D_w}{100h} \text{ dynes} \tag{5}$$

$$= \frac{2\pi^2 (ni)^2 D_w}{h \times 10^{11}} \text{ tons}$$

Axial방향으로 힘은 그림(3)같이 나타나게 되고, Axial 방향 전자력은 식(6)에 의하여 그림(1)과 같이 나타나게 된다.



<그림 3> 자속밀도와 두개 코일의 힘방향

$$F = \frac{2\pi^2}{10^{11}} \times \frac{(ni)^2 D_m}{h^2} \left[d_o + \frac{t_1 + t_2}{3} \right] \text{ tons} \tag{6}$$

- (ni) ampere turns in winding
- D_m mean diameter of transformer
- h length of windings
- d_o duct width
- t_1, t_2 radial thicknesses of windings

1. 개 요

초고압 변압기의 고장 발생시 수송가 측의 피해와 변압기 폭발시 인명 피해를 방지하기위해 변압기의 내부고장의 정확한 해석이 필요하다. 본 연구에서는 단상 변압기를 유한요소 전자계 해석 프로그램(FLUX2D)을 이용하여 변압기 권선의 고장전류 유입시의 권선간의 전자력특성을 해석하기 위하여 400kVA, 6600/220(V) 단상 내철형 변압기를 모의해석 하여 고장전류시 권선간의 힘의 분포와 전자력을 통해 변압기에 미치는 영향을 계산하였다.

2. 본 문

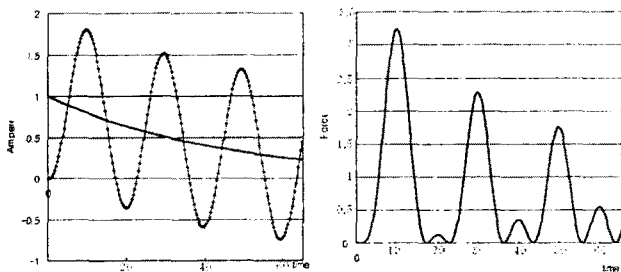
2.1 변압기의 Radial과 Axial 방향의 전자력

변압기 내부의 고장시 단락전류에 의한 전자력은 식(1)과 (2)로 나타내게 된다. 식(1)은 I(t)는 단락시 전류 파형이고, 식(2)는 의 힘의 크기를 나타낸 것으로 그림(1)과 같은 관계를 나타낸다.

$$I(t) = I_{max} [e^{-(R/X)\omega t} - \cos \omega t] \tag{1}$$

$$F(t) = F_{max} \left[\frac{1}{2} + e^{-(R/X)2\omega t} - 2e^{-(R/X)\omega t} \cos \omega t + \frac{1}{2} \cos 2\omega t \right] \tag{2}$$

- t time in seconds
- ω angular frequency
- R and X total resistance and leakage reactance
- I_{max} and F_{max} steady-state symmetrical peak value of current and force



<그림 1> Short-circuit current and force

권선단락(turn-to-turn)시 단락전류는 식(3)을 이용하여 구할 수 있다.

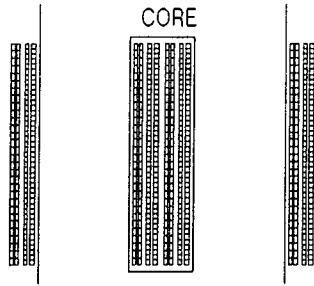
$$I_{sc} = \frac{1.8 \sqrt{3} MVA \times 10^6}{E \times e_z} \tag{3}$$

- I_{sc} first peak of the fully offset short circuit current in ampere
- MVA rated output of the transformer in megavolt-ampere
- E rated line-to-line voltage
- e_z per unit impedance of the voltage

2.2 400kVA 변압기 모의 해석

배전용 변압기의 권선의 고장을 모의하기 위한 Model로 표(1)과 같이 400kVA, 6600/220(V) 내철형 변압기를 설정 하였다. 변압기의 도면은 그림 4와 같이 표현하였으며, 권선의 형태는 원통형으로 1차측이 257턴씩 묶어서 총 7개층으로 구성되었고, 2차측은 30턴씩 묶어서 2층으로 구성되었다. 1차측 코일간의 힘의 분포를 알아보기 위하여 1차측에 4개의 층으로 구성된 A 코일을 그림(5)와 같이 좀 더 세밀하게 나누어 128턴 2개, 129턴 2개, 514턴

으로 나누었다. 각 도체에는 Aramid paper로 절연된다.



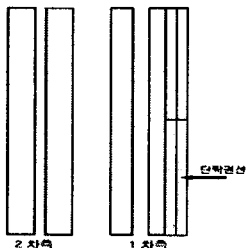
〈그림 4〉 변압기 해석 모델

〈표 1〉 변압기 사양

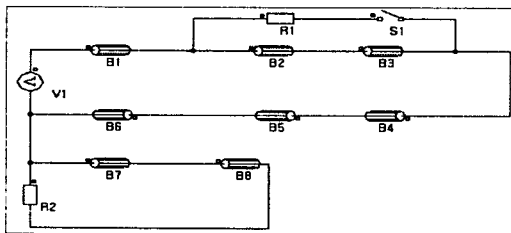
분류	설명
정격 용량	400 kVA, 60Hz
코어형태	내철형
정격 전압	6600 / 220 (V)
정격 전류	60.6 / 1818 (A)
상수	단상
코어재질	$B_p=1.9T$
권선비	1800:60

2.2.1 1/4권선 단락시 모의 해석

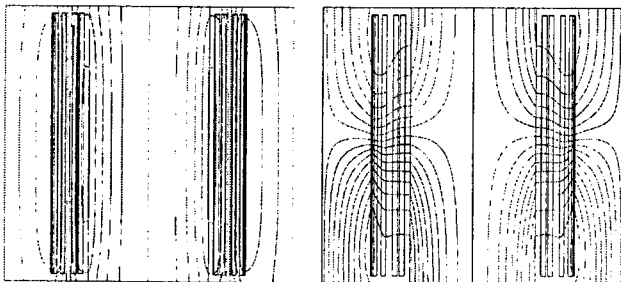
변압기의 권선단락(turn-to-turn)을 모의하기 위하여 그림(5)와 같이 회로도를 구성하였다. 권선간의 전자기계산과 힘의 분포를 알아보기 위하여 1차측의 권선중 일부인 258턴을 나누어 1414턴부터 1671턴의 단락을 스위칭(s/w)의 스위칭 시간을 조절하여 모의 하였다.



〈그림 5〉 권선 단면도



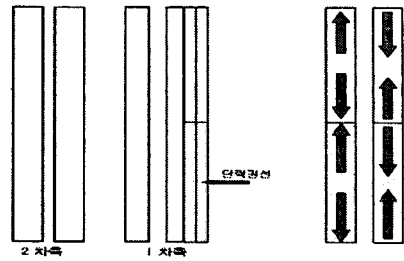
〈그림 6〉 1차측 권선단락 모의 회로도(258턴 단락시)



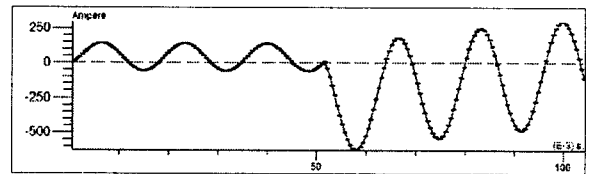
〈그림 7〉 정상시와 단락시 자속선도

그림(7)은 자속방향의 변화시를 나타낸 것으로 단락후 단락권선에 의하여 자속방향의 변화시 많은 영향을 준다. 그림(8)과 같이 단락권선의 전류는 단락 전에 비해 138에서 625(A)로 증가하였다. 그림(9)는 단락시 단락권선의 axial방향 전자기력을 나타낸 것으로 단락후 전자기력의 방향은 상하로 형성

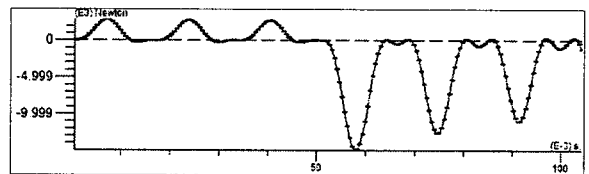
되고, 그림(10)은 단락권선의 axial방향 전자기력으로 권선의 단락전 최대치는 $2.73 \times 10^3(N)$ 에서 단락후 최대 $1.49 \times 10^4(N)$ 으로 단락권선에 강한 전자기력이 발생되었고, 그림(11)은 radial방향 전자기력으로 단락전 8.45(N)에서 단락후 148.8(N)으로 강한 전자기력이 발생되어 다른 권선에 영향을 주어 다른 권선에서도 전자기력 증가를 가져온다.



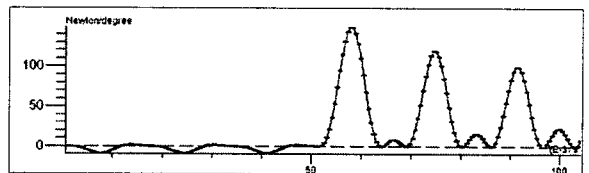
〈그림 8〉 단락시 단락권선의 전자기력 방향



〈그림 9〉 단락권선 전류



〈그림 10〉 단락권선 axial방향 전자기력



〈그림 11〉 단락권선 radial방향 전자기력

3. 결 론

본 논문에서는 400kVA, 6600/220(V) 변압기의 권선 고장시 단락권선의 전자기력과 전류의 특성을 해석하기 위하여 FEM프로그램을 이용하여 1차측 권선고장(turn-to-turn)시 단락권선의 전자기력과 전류의 변화를 확인 하였다.

1차측 258턴 단락시 단락권선의 전자기력은 axial방향으로 식(6)에의한 이 론값인 $1.399 \times 10^4(N)$ 보다 1%정도 높은 최대 $1.49 \times 10^4(N)$ 과 radial방향으로 식(5)에의한 값인 147(N)보다 1%정도 높은 최대 148.8(N)을 나타냈다. 1차측 고장시 전자기력의 증가는 다른 권선의 전자기력의 증가를 가져오고, 권선 상호간에 영향을 주어 변압기 특성의 변화를 가져온다. 단락시 전류와 전자기력의 증가로 인한 변압기 특성 변화는 변압기 기계적인 단락강도 설계에 반영해야 할 것이다.

본 연구는 산업 자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2003-B-271)주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부, "지중배전용 변압기 신뢰도 향상에 관한 연구", 중간보고서, 2004년 3월
- [2] H. Wang, K. L. Butler, "Finite Element Analysis of Internal Winding Faults in Distribution Transformer", power delivery, IEEE Transactions, VOL. 16, NO. 3, JULY 2001
- [3] H. Wang, "Models for Short Circuit and Incipient Internal Faults in Single-Phase Distribution Transformers", Ph.D Thesis in Texas A&M University, May 2001
- [4] M. Waters, "The Short-Circuit Strength of Power Transformers"