

## 코아 형상 변경을 통한 변압기 효율 향상에 관한 연구

A study on Improving Transformer Efficiency through Changes in Core Shape

임원석<sup>\*†</sup>, 김경화<sup>\*\*</sup>

Won Suk Yim<sup>\*†</sup>, Gyeong Hwa Kim<sup>\*\*</sup>

**Abstract** In order to prevent global warming, the industrial sector has made great efforts in improving the working environment and efficiency of electric power transformers. In line with the demand for eco-efficient transformers, the market was reshaped around products that emphasized efficiency relative to their price. The loss in transformers, largely comprised of load and no-load losses, was improved significantly through various studies on raw material changes and winding methods. This study, however, focuses on an area in which significant improvements have not been made, that is, permanent loss in the core. In this study, core inefficiencies were identified through electric field simulation analysis and were eliminated from the core structure design. The comparison of the core loss and weight of the existing and improved transformer revealed that the core loss was lower compared to the core weight, indicating that the core loss efficiency improved.

**Keywords** : transformer, efficiency, core, electric field, no-load loss

**초 록** 지구 온난화 방지를 위해 산업계에서는 작업환경의 개선과 전력용 변압기 효율 향상에 많은 노력을 기울여 왔다. 친환경 제품의 요구로 가격대비 효율이 증시되는 변압기 시장이 형성되었다. 변압기의 손실은 크게 무부하손실과 부하손실로 이루어져 있으며 원재료 변경, 권선 방법 등의 연구를 통해 효율이 많이 개선되었다. 그 중 고정적 손실인 철손에 대한 개선 방안이 많지 않아 코어 개선분야에 연구를 실시하였다. 전기장 시뮬레이션 해석을 통해 비효율적인 코어 부분을 확인하고 비효율 코어 부분을 제거하는 코아 구조 설계를 하였다. 기존 변압기와 코어 형상을 개선한 제품의 철손과 코어 중량을 측정 비교하였다. 코어 중량 대비 철손이 낮은 것을 확인하여 철손 효율이 개선되었음을 확인하였다

**주요어** : 변압기, 효율, 코아, 전기장, 무부하 손실

### 1. 서 론

우리나라는 지구 온난화 방지를 위해 2030년 국가 온실감축 목표를 배출 전망치(BAU) 2020년 7억 8250 만톤, 2030년 8억 5050 만톤 대비 15~30% 수준으로 확정했으며 4대 감축목표 시나리오를 마련하는 등의 세계적인 온실가스 줄이기 사회분위기에 동참하고 있다. 전력의 송전과 배전을 담당하는 변압기의 고정적인 Loss인 무부하 손실을 줄이기 위한

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도시스템학과(wsbest@nate.com)

\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원

\*\* 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수

방안으로 저손실 Core 적용 외에 Core 구조설계 변경을 검토하였다. 전기장 해석 프로그램을 통하여 불필요한 부분을 제거하였고, 시험 데이터를 통계프로그램을 이용하여 적철심과 권철심의 철손 FACTOR를 구하였다. 또한 Core 형상을 개선시킨 제품의 무부하 Loss를 측정하여 개선효과를 확인하였다. 소둔용 권철심은 형상화 과정에서 고온 소둔 공정 작업이 필요해 지구 온난화 방지의 취지에 맞지 않아 비소둔용 권철심으로 진행하였다. 수집 데이터의 추이와 신뢰성을 위해 통계 프로그램을 적용하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 변압기 코어 형태

#### 2.1.1 권철심 코어

Core를 연속으로 감은 형태로 단상 주상변압기에 많이 사용되고 있는 Core 형태이며, 적철심에 비해 Core 절단면이 적어 손실이 적다.

#### 2.1.2 적철심 코어

모양에 맞게 절단한 규소강판을 쌓아 압착한 형태의 Core이며, Core 여러 조각으로 조합해 만들기 때문에 Core 단면이 많고 일부 누설이 되어 철손이 다소 증가한다

#### 2.1.3 코어 형상



Fig.1 권철심 코어



Fig.2 적철심 코어

### 2.2 무부하 손실

#### 2.2.1 변압기 무부하손실의 정의

무부하 손실 = 철손(Core loss)+ hysteresis loss + eddy current loss 을 말한다  
 변압기에 전압을 가하면 변압기 철심에는 교번 자속을 발생시키기 위한 여자전류가 흐른다.  
 철손은 자화과정에서 발생하는 Energy 손실로, 특정 주파수에서 소정의 자속 밀도를 얻기 위해 필요한 손실이다. 그 무효분은 철손의 자화에 대응되며, 이것은 히스테리시스 손실이다.

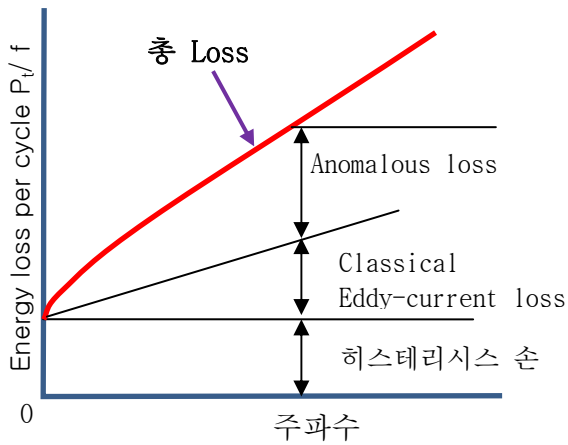


Fig.3 무부하 손실 분석 그래프

$$P_t = P_h + P_{ec} = W_h \cdot f + k \cdot f^2$$

$$\frac{P_t}{f} = W_h + kf(\text{total loss per cycle})$$

$$P_{ec} = \frac{10^{-9} \pi^2 B_o^2}{6} \cdot \frac{t^2 \cdot f^2}{\rho}$$

$B_o$  : flux amplitude  
 $t$  : thickness  
 $f$  : frequency  
 $\rho$  : resistivity

### 2.2.2 히스테리시스 손실

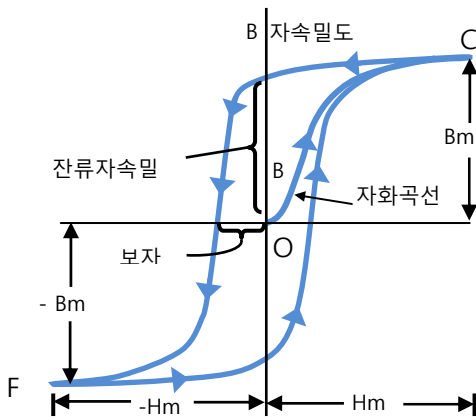


Fig4. 히스테리시스 곡선

히스테리시스손은 철심의 자화 특성에 의한 자계를 방향이 서로 다른 자계로 변환 시킬 손실로 철심 재질에 따라 변화하며, 사용 주파수에 비례하고 철심에 통과하는 자력선 밀도의 1.6승에 비례한다. 내부면적이 히스테리시스 손실이다.

C,F : 포화 자화상태  
 $B_m$  : 최대 자속밀도

### 2.3 Core 자계흐름 분석

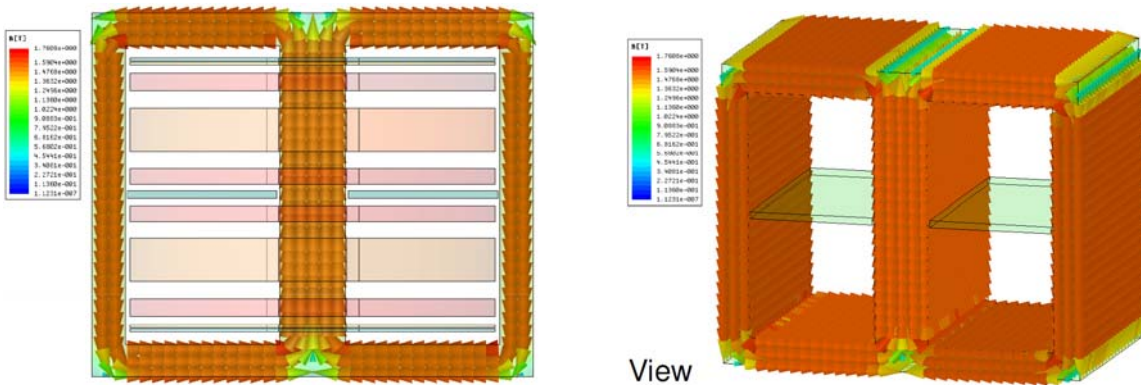


Fig5. 적철심 자계 흐름 곡선

자계흐름은 폐회로 상태로 일정한 방향과 배열을 가지고 이동한다. 적철심 코아의 모서리와 자계가 양쪽으로 나뉘지는 부분에 자계가 지나가지 않는 무자화 구간이 형성된다.

## 2.4 변압기 Core 형태 변경

### 2.4.1 Core 개선 모델

- 3상, 60Hz, 500kVA 동일 모델기준 (0.23t, 23PHD085 적용)

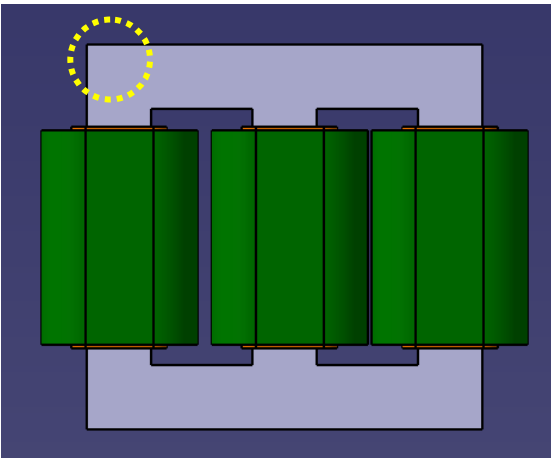


Fig.6 적철심 중신

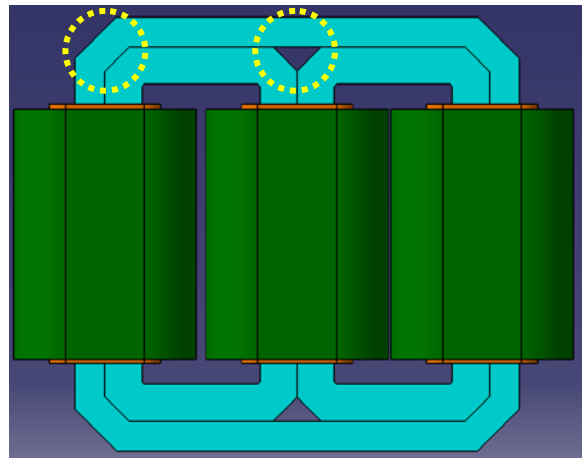


Fig.7 권철심 중신

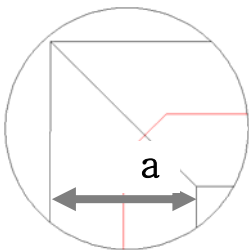


Fig.8 적철심 모서리 형태

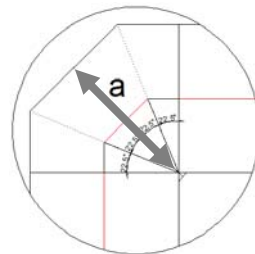


Fig.9 권철심 모서리 형태

### 2.4.2 Core 절감 계산

적철심 Core 체적 - 권철심 Core 체적 =

$$5 \times ((\text{Core 폭}(a) \times \tan(\pi/8))^2 - 0.1) \times \text{Core 단면적}$$

적철심에서 권철심으로 변경 개선시 용량이 작고 Core폭이 클수록 Core 절감률이 커진다.

- 적철심 Core 중량( 3상 500KVA ) : 671 kg
- 권철심 Core 중량( 3상 500KVA ) : 647.5 kg

개선 Core중량 : 24.5kg 개선

### 2.4.3 Core 형태별 무부하손 Factor 비교

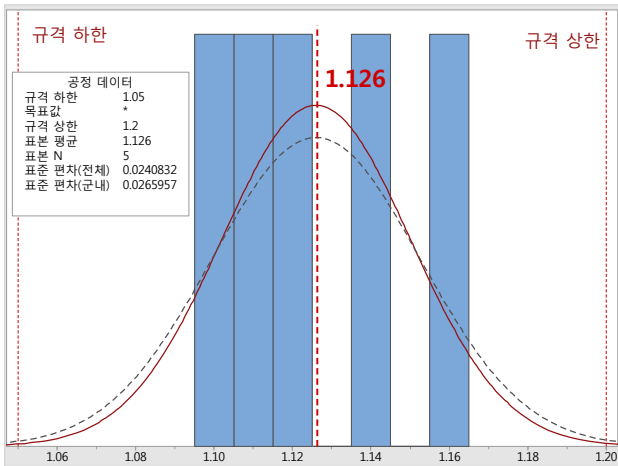


Fig.10 권철심 무부하 FACTOR

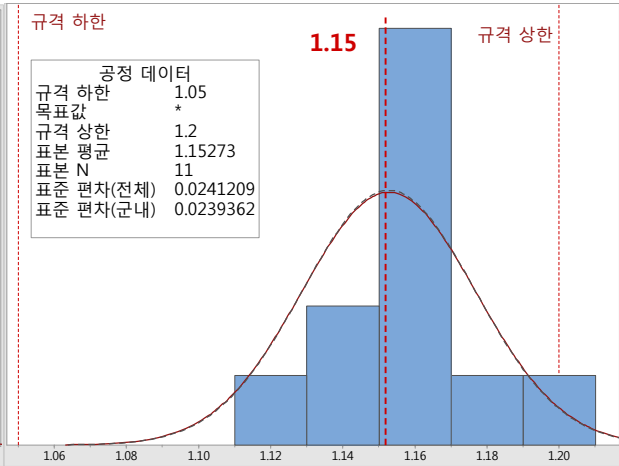


Fig.11 적철심 무부하 FACTOR

\*철손 FACTOR 크기 : V컷 적철심(1.15) > 권철심(1.13)

### 2.5 Core Loss 개선 검증

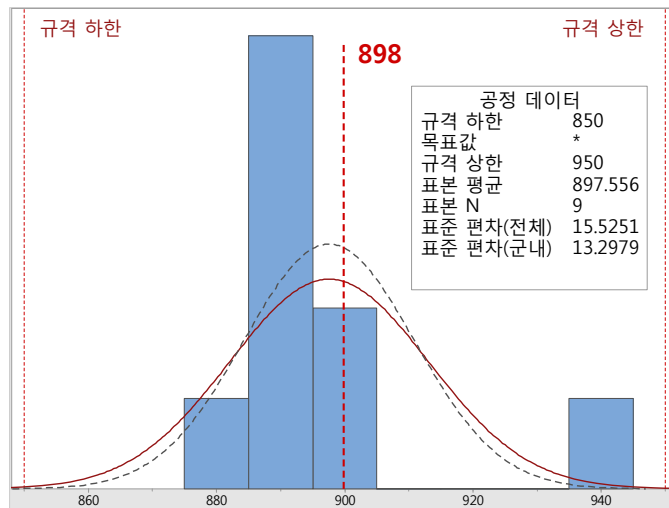


Fig 12. 3상500kVA 적철심 무부하 Loss

\* 동일 재질, 동일 자속밀도, 권철심 적용시(실험치) : 무부하손실 898[W] -> 876[W]

\* 동일 코아 종량적용 & 자속밀도 적용시 : 자속밀도 16,451 -> 15,874 변경

898 [W] → 671 [W] : 25% 무부하 손실 개선

### 3. 결 론

- (1) 일반적인 적철심 Core 상태에서 자속이 거의 통과하지 않아 자화가 잘 일어나지 않는 부분이 있다.
- (2) 자료가 많이 끊기는 적철심 보다 끊기는 자료가 적은 권철심이 철손 Factor가 낮다
  - 3상, 60Hz, 500KVA 변압기, Core 재질: 자구미세화 강판 (23PHD085) 적용
  - 적철심 철손 Factor : 1.15
  - 권철심 철손 Factor : 1.13
- (3) 적철심에서 권철심으로 변경 개선시 변압기 용량(KVA)이 작고 Core폭이 클수록 Core 절감률이 커진다.  
적철심 Core 체적 - 권철심 Core 체적 =  
 $5 \times ((\text{Core 폭}(a) \times \tan(\pi/8))^2 - 0.1) \times \text{Core 단면적}$
- (4) 동일 조건하에 적철심 Core 상태에서 권철심 형태로 변경시 25% 정도의 무부하 손실 개선이 있다.

### 후 기

논문 준비 기간이 짧은 탓에 좀 더 폭 넓고 자세한 연구가 되지 않아 아쉬운 생각이 든다. 변압기는 특성상 사양 발주 후 주문 발주 형태로 제작되어 원하는 형태의 제품을 제작하기가 쉽지가 않았다. 단독 Sample은 큰 제작 비용으로 검증하기가 어려웠다. 좀더 신뢰성 있는 자료를 얻기 위해서 많은 시료수가 필요했기 때문에 표준 용량 선정에 신중을 기했다. 경제 활성화로 전력 소비가 많아질 것에 대비해 고효율 제품의 활성화로 에너지 낭비를 줄여 지구 온난화 진행을 막는데 조금이나마 기여할 수 있었으면 한다.

### 참고문헌

- [1] 정희중 (2012년 8월) 6.5wt% 방향성 규소강판의 철손특성 및 미세조직에 관한 연구 17~41 page
- [2] 한찬희 (2002년10월) POSCO 기술연구소 전기강판 제조기술