

## Computer Simulation에 의한 비정질 변압기의 코어 형상 설계

우병철O 정순종 송재성 최형식\* 황시돌\* 신판석\*\*

한국전기연구소 \*한국전력기술연구원 \*\*홍익대학교

### Core design of amorphous transformer by computer simulation

Byung-Chul Woo, Soon-Jong Jeong, Jae-Sung Song, Hyung-Sik Choi\*, See-Dole Hwang\*, Pan-Seok Shin\*\*

Korea Electrotechnology Research Institute, Korea Electric Power Corporation Research center\*, Hongik University\*\*

#### Abstract

The transformer core using amorphous Fe-B-Si ribbon were designed by magnetostatic software. The basic model of core is Butt-Lap-Step type, non-cutted type and stair type core joint. And the variables are the number of ribbons for on step, flux density and core shape.

#### 제 1 절 서론

유한요소법을 이용한 전자기 해석 프로그램이 발달할수록 생산성 향상을 위한 설계 비용의 절감, 설계 시간 단축 등 경제적, 시간적 효과를 얻을 수 있다. 설계자에게 모델을 향상시킬 수 있는 물리적 실험과 반응을 예측해 주는 것은 물론 제질 변화에 대한 영향, 실행 전류와 변형된 형상 그리고 변수들의 상관 관계를 해석할 수 있다.

1960년대 중반까지만 해도 설계 문제에서 유효한 답을 얻어내지 못한 것은 FEM을 사용한 software가 발달하지도 않았고 컴퓨터가 소형이었으며 처리 속도 역시 느려서 해석이 부정확 했기 때문이다.

1960년대 중반까지 유효한 결과를 얻지 못하던 설계문제에서도 그 동안의 꾸준한 노력에 힘입어 FEM 이용 기술의 진보, 컴퓨터의 대용량화가 이루어져 현재는 실생활에 쓰이고 있는 가전제품, 산업용 및 군사용 장비에 이르기까지 전자기를 응용한 장치의 설계에 중요한 역할을 담당하고 있다.

현재 국내에서 소개되고 있는 전자기 해석 software 들 보면 FLUX2D/3D, EMAS, MAXWELL 2D/3D, SYSMAGNA 등이 있는데 한국전기연구소에서는 FLUX2D, EMAS 등을 보유하고 있으며 본 연구에서는 FLUX2D와 Maxwell 2D 등을 이용하여 해석하였다.

#### 제 2 절 자계 해석 모델의 형상 설계

##### 1. 적층 모델의 종류

코어의 형상에 대한 언급을 보면 거의 대부분이 Allied Signal사의 특허권으로 묶여져 있고 이외의 General Electric사, Asea Brown Boveri사, Daihen Corporation사, ABB Power T&D사, Electric Power Research Institute, Westinghouse Electric, Isolcell Europa S.r.l.등이며 거의 대부분의 적층부의 특허권을 미국이 소유하고 있으며 그중 80-90%정도는 G.E.사에서 소유하고 있다.

G.E.사와 Allied Signal사에서 제조한 코어의 특성들을 보면 다음과 같다.

표 1 아몰퍼스 코어의 형태

특성치	G.E.사 50kVA(효성)	Allied Signal사(한전)
적층type	Butt-Lap-Step type	Butt-Lap-Step type
step당 리본수	25매	20매
사용권선	A1판상, 선재	
무게	332kg	
밀도	7.18	7.18
인장강도		1000-1700MN/m <sup>2</sup>

여기서 step과 group에서의 리본 수와 step수의 의미는 마디 부분(잘려진 부위)마다 리본 수와 step들이 이동하여 처음 위치로 되돌아올 때까지의 수를 group의 step수로 정의 한다.

본 형상에 관한 특허는 많이 존재하지만 실질적인 내용은 GE사의 Albert C. Lee등에 의해서 발표된 US Patent 4814736에 상세히 설명하고 있으며 먼저 되감는 작업을 하여 요구하는 크기만큼으로 측정하고 자르는 작업, 층간의 gap 문제에 따른 위치 이동, 잘려진 부위의 위치 이동 등을 행하면서 적절한 용량을 점검한다.

비정질 변압기의 코어 형상을 보면 10-50장 정도의 리본을 한 묶음으로 하여 하나의 step을 형성하고 5-15정도의 step들이 하나의 group을 형성하며 이러한 group들이 모여서 하나의 변압기 코어가 얻어진다.

7	리본 10-50장	air	7
6	리본 10-50장	air	6
5		air 리본10-50장	5
4		air 리본 10-50장	4
3		air 리본 10-50장	3
2		air 리본 10-50장	2
1		air 리본 10-50장	1
air	리본 10-50장		1

그림 1 코어 연결부의 일반적 형상

위의 그림에서는 한 묶음(리본10-50장)의 리본들이 원형 형상의 코어 부위에 감겨진 다음 처음 시작한 부위와 약간 중첩되어 있는 형상을 하고 있다. 본 자체해석은 본 모델을 기본으로 하고 non-cut방식, 중첩되지 않은 방식 등에 대해서 자기적인 특성을 조사하려 하고 각각의 연결 부위에서의 자기장의 인가 전압에 따른 최대값과 그 분포를 먼저 알아 적절한 배치로서 이상적인 모델을 얻으려 한다.

US Patent 4972168로 발표된 이 형상은 한장의 리본이 중첩되면서 연결부를 사각으로 연결하여 직각일 때의 자기장 집중을 완화시키는 역할을 하고 있으며 발표된 특성치는 같은 외부조건상에서 상당히 우수한 것으로 나타났다.

GE사의 Maurice J.등이 발표한 US Patent 4668931을 보면 코일이 감겨지는 쪽의 철심은 규소 강판을 사용하였고 그의 부분은 비정질 리본을 사용하여 적중하였으며 비정질 리본과 규소강판 철심과 연결되는 부위의 실제 형상을 변화시켜 자기장의 손실을 막아 효율을 높이는 내용이 다.

최근의 적중에 대한 내용은 몇장의 리본을 하나의 묶음으로 만든 다음 적중에 이용하는 수년 전의 방법과는 달리 한장씩 한장씩 적중하는 개념으로 바뀌고 있다. 기존의 연결 부위는 비정질 리본의 얇은 특성을 규소 강판의 개념을 그대로 도입하려는데서 고안된 내용이라고 할 수 있으나 한장의 개념을 도입하면서 비정질 리본을 위한 코어의 형상설계로 발전하고 있다.

개 요

1. step당 리본수에 따른 영향

step당 리본 장수를 증가시키면 본 모델의 실제 두께가 증가하는 결과를 초래하므로 어떤 기준을 잡고서 해석해야 하는 문제점이 야기시킨다. 전체의 코어 부피가 커지게 되므로 코어에 인가되는 자기장의 크기도 증가되어야 하므로 실제 입력하는 코일의 전력량을 증가시켜야 하고 그 기준 점을 잡아야 한다. 본 simulation에서는 코어에 인가하는 코일 부위의 중심점을 기준으로 하여 거의 균일한 코일부 내부의 코어 자속의 값을 일정 값으로 택하였다. 즉 1.3 T의 설계자속 밀도라고 하면 코일부 내부 코어의 자속값이 1.3 T를 의미한다.

이 값은 실제 코어에 인가되는 최대값과는 상당한 오차를 가지고 있으나 전체 코어의 량에서 가장 큰 비중을 차지하는 부분이므로 이 부분이 전체 코어의 특성값으로 고정된 뒤 core joint부위의 값의 변화를 분석한 결과 최적의 모델을 결정하려 한다.

다음 그림은 코어의 가장 우측의 연결부에서의 자속을 등고선식의 분포도로 나타내었으며 이때 인가 자장은 1.2 T, step당 리본의 수는 10매이었다.

그림 2 에서와 같이 30.9<x<33, 23<y<25.3의 범위에서 코어 연결 부위 부근에서는 간격이 좁은 등고선 모양을 알 수 있는데 이것은 자속의 변화가 굉장히 심함을 알 수 있으며 공기층의 부위가 시작되는 부위에서 가장 극심한 자속밀도의 변화가 발생함을 알 수 있다.

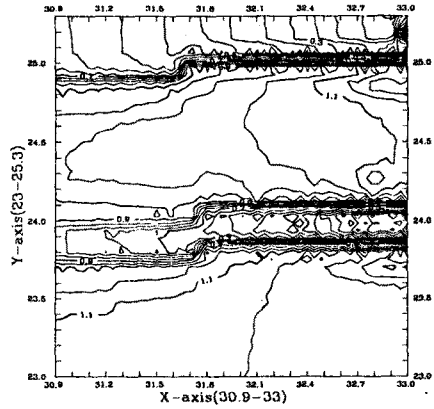


그림 2 core joint부위의 자속의 분포(1.2T, step당 10매)

본 연구에서는 이러한 손실 부분을 최대한 줄여서 최적의 실제 모델을 개발하는데 목적을 두고 있으나 아직 국내에서 완전히 규격화된 모델이 선정되지 않고 있는 실정이고 아직 상용 설계 작업이 이루어 지지 못해 연구자의 선정 모델로서 평가하고 있다.

또한 step당 리본수의 변화에 따른 자속밀도의 최대값 변화를 보면 도식 상으로도 증가하고 있는 것을 알 수 있으며 곡률부에서는 1Tesla를 초과하는 자속밀도 부위는 감소하고 있음을 알 수 있으며 이러한 결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

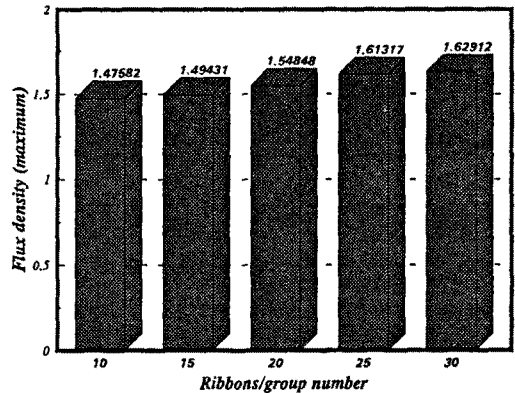


그림 3 step당 리본수 변화에 따른 최대 flux density의 변화 (설계자속밀도 1.2T, 해석 부위의 우측 곡률부)

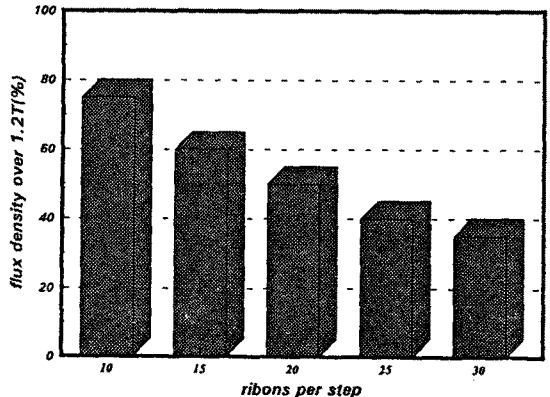


그림 4 step당 리본수 변화에 따른 설계자속밀도 이상의 분포

그림 3과 4에서 알 수 있듯이 설계 상의 자속밀도 이상의 자속밀도를 가지는 부위는 step당 리본 장수가 증가함에 따라 감소하지만 자속밀도의 최대값은 step당 리본 장수가 증가함에 따라 상당히 증가함을 알 수 있다. 즉 step당 리본 장수의 증가에 따라 자속밀도의 최대값도 증가하고 전체적인 flux density의 분포 역시 큰 편차를 가지므로 설계 상으로서는 리본의 장수가 작은 쪽이 유리하다고 할 수 있다.

## 2. 설계 자속밀도의 증가에 따른 변화

본 절에서는 리본의 장수의 변화 측면보다는 설계자속밀도의 변화를 중점적으로 다루리 한다. 즉 설계자속밀도를 1.2, 1.3, 1.4T로 변화시키기에 따라 flux density의 변화를 알아보고 설계자속밀도의 변화와 step당 리본의 장수 변화에 따른 자장의 변화를 알아보려 한다.

다음 그림은 설계자속밀도의 변화에 따른 flux density의 변화로서 해석부위중 우측 잘려진 부위에서 수직선상을 따라 측정된 결과이다.

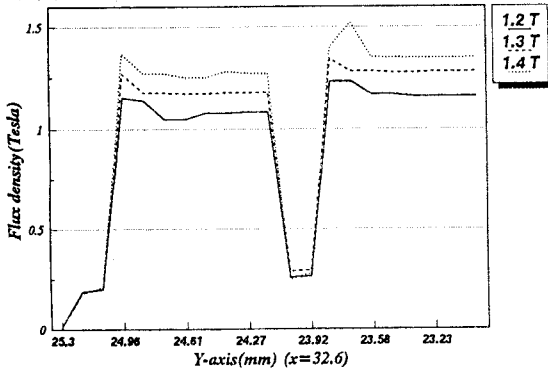


그림 5 설계자속밀도 변화에 따른 air gap 부위의 자속밀도 변화

## 3. 적층 방법에 따른 영향

본 장에서 선택한 모델은 Butt-Lap-Step joint로서 일반적인 stair type 형태에 비해 좋은 점이 상당히 많은 것으로 보고 되고 있다.

또한 최근의 자료에서 얻은 바로는 20-30매의 적층두께보다는 step당 리본 장수는 같은 내용으로 하되 첫번째 리본과 마지막 리본의 위치를 이동시키므로써 더 좋은 특성의 비정질 코어 적층이 가능하다는 보고가 많이 있다. 일반적인 규소 강판의 stair 형식과 non-cutting 방식과 Butt-Lap-Step 연결부의 자장 분포를 알아봄으로써 Butt-Lap-Step joint가 우수함을 알아볼 계획이다.

다음 그림은 Butt-Lap-Step type, stair type, non-cutting type에서 동등한 설계자속밀도하에서 최대자속밀도값의 변화와 flux density의 변화를 알아본 결과이다.

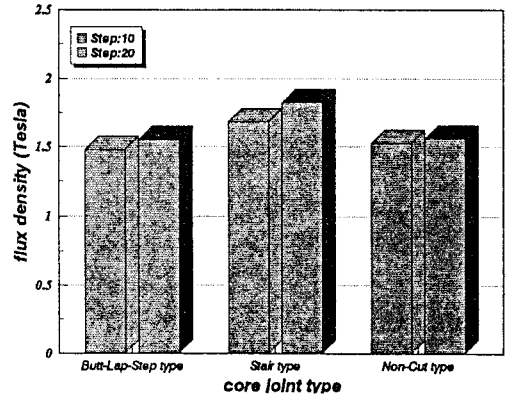


그림 6 코어 적층 형태의 변화에 따른 최대 자속밀도의 변화

앞의 그림에서 stair 형식의 코어 연결부는 Butt-Lap-Step 형식의 연결 부위보다 최대자속밀도가 발생하는 위치가 다르며 또한 그 값도 상당히 높은 값을 나타내고 있다. 즉 최대 자속밀도의 값이 Butt-Lap-Step 연결부에서는 곡률반경부위에서 거의 발생하지만 stair형식의 연결부에서는 그 연결부위에서 발생한다는 것을 알 수 있다.

non-cut형식에서는 연결 부위가 없으므로 코어의 곡률 부에서 최대자속밀도를 나타내는 위치가 발생하였으며 non-cut 형식의 코어 부위는 연결되어 있으므로 모든 연결부가 중첩된 형식을 취하고 있는 Butt-Lap-Step joint보다 훨씬 뛰어난 결과를 얻을 것으로 예상했지만 곡률 반경의 크기가 작은 문제로 인해서 Butt-Lap-Step 형식의 연결부에서 얻은 결과에 비해 다소 떨어지는 특성을 나타내었다. 또한 최대값의 분포 역시 곡률부 부근에서 얻을 수 있었다.

또한 최대 자속밀도의 변화를 보면 step당 리본 수가 증가함에 따라 최대값도 증가하고 있으며 non-cut방식에서 그 증가율이 가장 작은 값을 나타내었다. Butt-Lap-Step joint의 특성을 보면 3가지 형태의 core 적층 모델에서 가장 유리한 특성을 나타내었으며 코어의 곡률 반경 문제로 non-cut방식이 특성이 떨어진 결과를 얻었다고 하더라도 stair type보다는 뛰어난 특성을 나타낼 수 있다.

## 제 4 절 결 론

step당 리본 수의 변화, 설계자속밀도의 변화, 코어 연결부의 형상 변화에 따른 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. step당 리본 수의 변화에 따른 영향에서 리본수가 적을수록 코어 전체의 flux density의 편차가 작으며 최대값 역시 낮으므로 유리하다.
2. 설계자속밀도의 변화에 따른 코어 부위의 자속의 변화에서는 인가할 수 있는 설계자속밀도의 값이 높을수록 균일한 자장 분포를 얻을 수 있었다.
3. 코어의 적층 방법의 변화에서는 Butt-Lap-Step 방식이 가장 유리한 결과를 얻을 수 있었지만 코어의 곡률부의 형상 변화가 중요한 요소로 작용한다.