

# 이방성 여자형 SST를 이용한 이방성 전기강판의 인가자계 방향에 따른 2차원 자계특성 측정

論 文

55B-5-2

## Measurement of 2 Dimensional Magnetic Property of Grain-oriented Electrical Steel Sheet According to Exciting Field Direction using SST with 2 Axes Excitation

陰泳煥\* · 金洪正\* · 高彰燮<sup>†</sup> · 洪瑄基\*\* · 申判錫\*\*\*

(Eum Young Hwan · Hong Jung Kim · Chang Seop Koh · Sun-Ki Hong · Pan Seok Shin)

**Abstract** - It is well known that Grain-oriented electrical steel sheets have two dimensional magnetic properties according to the direction of exciting field such as non-linear phase difference between magnetic flux density and magnetic field intensity vectors, different iron loss and permeability even when an alternating magnetic field is applied. The measurement and application of the two dimensional magnetic properties of the Grain-oriented electrical steel sheets, therefore, are very important for the design and precise performance analysis of electric machines made of them. As the direction of exciting field changes, in this paper, the two dimensional magnetic properties of a Grain-oriented electrical steel sheet, i.e., non-linear B-H curves, phase difference between B and H, and iron loss characteristics, are measured using SST(Single Sheet Tester) which has two axes excitation. The measured results are presented in two ways: using ( $B, \theta_B$ ) method and using hysteresis loops along rolling and transverse directions, respectively.

**Key Words** : Single Sheet Tester, Electrical Steel Sheet, Grain-Oriented Electrical Steel Sheet, Alternating Magnetic Fields, Iron Loss, Two Dimensional Magnetic Property, B-H Curve, Phase Difference

### 1. 서 론

이방성 전기강판(Grain oriented electrical steel sheet)은 등방성 전기강판(Non-oriented electrical steel sheet)과는 달리 인가자계의 방향에 따라, B-H 특성곡선, 자속밀도(B)와 자계의 세기(H)간의 위상차 그리고 철손 등 자기적인 특성이 달라진다[1]. 즉, 외부 인가 자계의 방향이 이방성 전기강판의 RD(Rolling direction) 방향과 일치하는 경우에는, 일반적으로 등방성 전기강판보다 훨씬 큰 투자율과 적은 철손 특성을 나타내지만 외부 인가 자계의 방향이 이방성 전기강판의 TD(Transverse direction)방향과 일치하는 경우에는, 그 투자율이 매우 작아질 뿐만 아니라 철손도 증가하는 특성을 나타

낸다. 이러한 이유로 단상변압기(single phase transformer)와 같이 기기의 거의 모든 영역에서 교번자계가 인가되는 경우는 물론이고, 3상 변압기와 같이 기기의 일부 영역 (예를들면, T joint 부분)을 제외한 대부분의 영역에서 자속밀도의 방향이 일정한 경우 즉, 교번자계가 인가되는 경우에는 기기의 효율을 높이기 위하여 이방성 전기강판이 널리 이용되고 있다. 회전기기의 경우에는 회전자는 물론이고 고정자에서도 자속밀도의 방향이 일정하게 유지되지 않기 때문에, 즉 회전자계가 인가되기 때문에 이방성 전기강판의 이용은 어려운 것으로 알려져 왔다. 그러나 최근에는 고정자에서의 자속밀도의 방향을 정밀하게 해석하여, 자속밀도의 방향이 이방성 전기강판의 RD방향과 근사적으로 일치하도록, 분할된 코어(Segmented core)를 이용함으로써 효율이 획기적으로 향상된 회전기를 설계하기 위한 연구가 진행되고 있다[1].

일반적으로 이방성 전기강판에서는 인가자계의 방향이 전기강판의 RD 방향 또는 TD 방향과 정확하게 일치하는 경우를 제외하고는 자속밀도(B)와 자계의 세기(H)의 방향이

<sup>†</sup> 교신저자, 正 會 員 : 忠北大 電氣電子컴퓨터 工學部 教授  
E-mail : kohcs@chungbuk.ac.kr

\* 學生會員 : 忠北大 大學院 電氣工學科

\*\* 正 會 員 : 湖西大 電氣情報通信工學部 副教授

\*\*\* 正 會 員 : 弘益大 電氣電子컴퓨터 工學部 教授  
接受日字 : 2005年 1月 20日  
最終完了 : 2005年 3月 29日

그림 1에서와 같이 일치하지 않고 위상차( $\theta_{HB}$ )가 존재하는 특성을 갖는다. 특히 실제의 이방성 전기강판은 RD 방향을 정확히 알 수 없기 때문에, RD방향으로 자계가 인가되도록 설계된 경우에도 실제로는 정확히 RD방향으로 자계가 인가되지 않고, 이로 인하여 TD방향의 자속밀도가 발생하게 된다. 또한 그 반대로 TD방향으로 자계가 인가되도록 설계된 경우에도 RD방향의 자속밀도가 일부 생겨나게 된다.

이방성 전기강판 내에서 RD와 TD방향의 자계의 세기를 각각  $H_R$ 과  $H_T$ 라 하면 각각 다음과 같이 표현할 수 있으며,

$$\begin{aligned} H_R &= f_R(B_R, B_T) \\ H_T &= f_T(B_R, B_T) \end{aligned} \quad (1)$$

이를 투자율(magnetic permeability)로 표현하면 다음과 같이 텐서를 이용하여 표현할 수 있다[2].

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_{xx} & \mu_{xy} \\ \mu_{yx} & \mu_{yy} \end{bmatrix} \quad (2)$$

이방성 전기강판의 인가자계에 대한 자기적인 특성을 측정하기 위하여, 종래에는 Epstein frame 또는 단방향 여자형 SST(Single sheet tester with single axis excitation)를 사용하였다. 따라서 자계의 세기( $H$ )와 자속밀도( $B$ )사이 존재하는 위상차를 측정하지 못하였고, 자속밀도  $B$ 의  $H$ 방향 성분  $B\cos(\theta_{HB})$ 을 측정함으로써  $\theta_H$ 방향으로 자계가 인가되는 경우의 특성으로 간주하였다[3]. 이와 같이 종래에는 이방성 전기강판에 임의의 방향으로 자계가 인가되는 경우, 그 자기적인 특성의 측정이 용이치 않았으며 이러한 이유로, 변압기와 같이 이방성 전기강판으로 만들어진 전기기기의 유한요소 해석에도 단지 RD와 TD 방향의 B-H 특성만이 이용되었다[2, 4]. 이런 해석 방법에서는  $H$ 와  $B$ 사이의 위상차를 고려할 수 없었기 때문에, 변압기를 해석하는 경우 코어의 Joint 부분 또는 T-joint부분에서 자속밀도의 값이 실제보다 아주 크게 해석되는 경우가 종종 있었다[2, 4, 5]. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하고 정확한 특성을 해석하기 위해서는 이방성 전기강판의 인가자계 방향에 따른 2차원 자계 특성을 정확하게 측정하여 이용해야 한다.

본 논문에서는 2방향 자계인가 형 SST (Single sheet tester with two axes excitation)를 이용하여 이방성 전기강판에 임의의 방향으로 자계가 인가되는 경우, 인가자계의 방향에 따른 B-H 특성곡선, B와 H간의 위상차 그리고 철손특성을 측

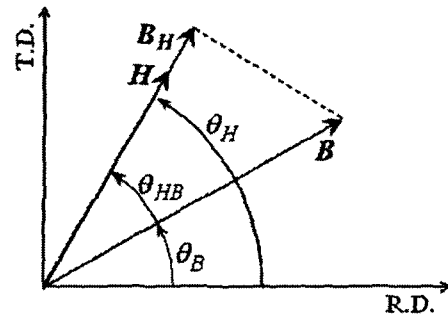


그림 1. 자계의 세기(H)와 자속밀도(B)의 관계  
Fig. 1. Relation of flux density and magnetic field intensity

정하고 이를 유한요소법을 이용한 해석에 활용할 수 있도록 하였다.

## 2. 측정 시스템

### 2.1 2방향 자계 인가형 SST

그림 2는 참고문헌 [5]에서 개발된 2방향 자계 인가형 SST 시스템을 나타낸다. 측정 시스템에서 여자권선이 설치된 요크는 RD방향과 TD방향으로 임의의 크기의 자계를 인가할 수 있도록 하였으며, H-coil과 B-coil은 모두 RD방향과 TD방향의 자계의 세기와 자속밀도를 측정할 수 있도록 구성되어 있다.

RD방향과 TD방향의 자계인가를 위하여 컴퓨터에서 결정된 여자 전압 파형은 DAQ Board(PCI6110)로 인터페이스 하여, Low pass filter를 거친 후, Power amplifier를 이용하여 증폭된다. 증폭된 전압은 DC성분을 제거하기 위하여 1:1 matching transformer를 거친 후, 각각 RD방향과 TD방향의 여자 권선으로 인가 된다. 시료에 설치된 B-coil과 시료에 인접하여 설치한 H-coil에서 유기되는 전압은 signal amplifier를 이용하여 증폭되고, DAQ Board(PCI6110)를 통하여 컴퓨터로 인터페이스 되어, TD방향과 RD방향의 자속밀도와 자계의 세기를 계산한다. 권선의 단면적과 권회수의 곱이 (NS)인 B-coil 또는 H-coil에서 유기전압이  $e(t)$  [V]로 측정되는 경우, 자속밀도는 다음 식으로 계산된다[5].

$$B(t) = \frac{1}{NS} \int e(t) dt \quad (3)$$

실제의 측정에서는 측정된 유기기전력에 많은 잡음이 포함되어 기 때문에 B-coil과 H-coil로부터 측정된 유기전압 파형을 FFT(Fast fourier transform)하고 해당 주파수 성분만을 택하여 계산한다.

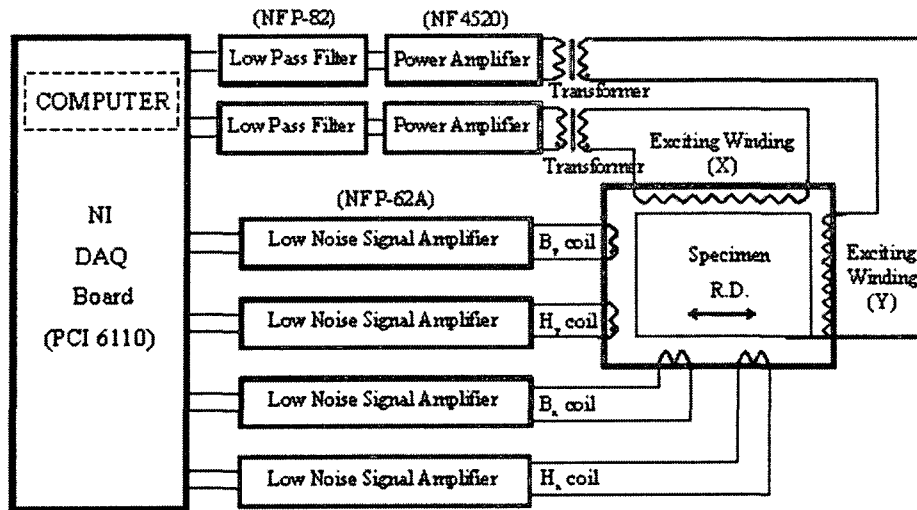


그림 2. 2방향 여자형 Single sheet tester 시스템  
Fig. 2. Double-excitation Type Single sheet tester

2.2 B-waveform control

일반적으로 전기장판은 인가자계에 대하여 비선형 특성을 갖기 때문에 정현파 전압을 여자권선에 인가하면, 이로부터 측정되는 유기기전력 및 자속밀도의 파형은 비정현파가 된다. 그런데 국제적으로 통용되는 전기장판의 B-H 곡선, 철손 특성 등은 모두 정현파 자속밀도의 조건하에서 측정되어야 한다. 따라서 전기장판의 자기적인 특성은 여자전압의 파형을 적절히 왜곡시켜 자속밀도의 파형이 정현파가 되도록 해야 하며, 이 과정을 B-waveform control이라 한다.

참고문헌 [5]에서와 같이 이방성 전기장판의 RD방향 또는 TD방향으로 자계가 인가되는 경우에는 RD 및 TD방향의 자속밀도가 각각 RD방향 및 TD방향의 여자전압의 파형으로만 결정되기 때문에 B-waveform control이 상대적으로 쉽게 이루어진다. 그러나 이방성 전기장판에 임의의 방향으로 자계가 인가되는 경우에는 RD방향과 TD방향 사이에 상호간섭이 존재하고, 이로 인하여 RD방향의 자속밀도 파형은 RD방향의 여자전압 파형뿐만 아니라 TD방향의 여자전압 파형에 의해서도 영향을 받게 되고, TD방향의 자속밀도의 파형도 마찬가지다. 따라서 이방성 전기장판에 임의의 방향으로 자계가 인가되는 경우에는 그 방향의 자속밀도의 파형을 정형파로 만들기 위한 B-waveform control이 한층 어려워진다.

예를 들면, 이방성 전기장판에 RD방향으로부터  $\theta_B$ 의 방향으로 최대값  $B_m$ 인 정현파 자속밀도가 인가되도록 하기 위해서는, RD방향과 TD방향의 자속밀도가 각각 다음과 같이 되어야 하며,

$$B_{RD}(t) = B_m \cos \theta_B \cos(\omega t) \quad [T] \quad (4)$$

$$B_{TD}(t) = B_m \sin \theta_B \cos(\omega t) \quad [T]$$

이에 대응하는 RD방향과 TD방향의 유기전압 파형은 각각 다음과 같이 되어야 한다.

$$e_{RD}(t) = NS_{RD} \omega B_m \cos \theta_B \sin(\omega t) \quad [V] \quad (5)$$

$$e_{TD}(t) = NS_{TD} \omega B_m \sin \theta_B \sin(\omega t) \quad [V]$$

따라서 자속밀도가 식 (4)과 같이 되기 위해서는 RD방향과 TD방향의 유기전압이 각각 식 (5)과 같이 되도록 RD방향과 TD방향의 여자전압의 파형을 동시에 조절해야 한다.

종래의 방법에서 이용되는 되먹임 방법(Feedback method)은 다음의 과정을 반복함으로써 정현파 자속밀도가 얻어지는 여자전압의 파형을 구하였다[2, 4, 5].

i) RD방향과 TD방향에 대하여 Demagnetization 전류를 흘리고, 여자전압 파형을 결정하여 여자 권선에 인가한다.

ii) RD방향과 TD방향의 B-coil과 H-coil에 유기되는 전압을 측정하고 다음 step에서의 여자전압 파형을 계산한다.

$$v_c^{(i+1)} = v_c^{(i)} - K \frac{v_{c(1)}}{e_{b(1)}} (e_b^{(i)} - e_{bt}) \quad (6)$$

여기서  $v_c^{(i+1)}$ 와  $v_c^{(i)}$ 는 각각 (i+1) 및 (i)번 반복과정에서의 여자전압 파형,  $e_b^{(i)}$ 는 i)번 반복과정에서 측정된 유기기전력 파형, 그리고  $e_{bt}$ 는 식 (5)으로 주어지는 정현파 자속밀도에 해당하는 유기기전력 파형, 그리고  $v_{c(1)}$ 과  $e_{b(1)}$ 은 각각 여

자전압과 유기기전력의 기본파 성분이다.

이 방법에 의하면 여자전압과 유기기전력의 data sampling 횟수를 한 주기 당 1024 개로 하고, 정상상태에서의 유기기전력을 측정하기 위하여 N주기 동안의 data를 통과시키는 경우 (즉, DAQ Board를 통하여 취득된 data 중에서 0 번부터 1023N 번까지의 data를 흘려버리는 경우), 여자전압과 유기기전력은 각각 (1023N+1) 번부터 (1023N+1024) 번까지의 data로 구성된다.

위에서 설명한 되먹임 방법은 다음과 같은 두 가지 조건을 만족하는 경우 매우 유용하다.

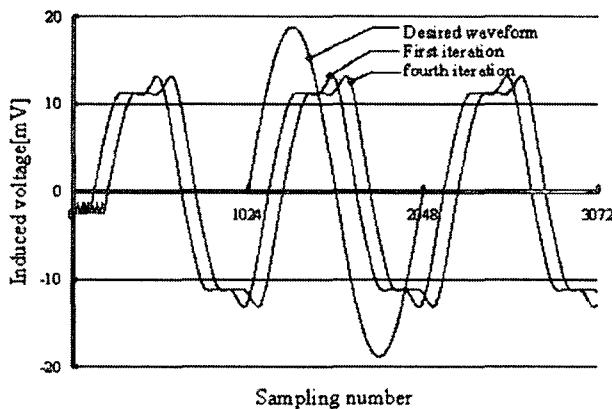
- i) B-coil의 유기전압은 여자전압과 완전히 동기화 되고,
- ii) 유기전압의 시간 지연(time delay)이 여자전압의 크기와 파형에 상관없이 일정하다.

그러나 실제의 경우에는 유기전압은 여자전압과 완전히 동기화되지 않을 뿐만 아니라, 유기전압의 여자전압에 대한 시간지연도 일정하지 않다. 왜냐하면 여자전압의 크기와 파형이 달라지면 여자 요크와 시료의 자기적 포화 때문에 여자전류가 변하게 되기 때문이다. 또한 실험에 의하면 동일한 여자전압에 대해서도 유기기전력의 여자전압에 대한 시간지연은 매번 일정하지 않게 되는데, 이는 DAQ Board의 data sampling 시간 간격이 매우 짧기 때문인 것으로 생각된다.

그림3의 (a)는 동일한 여자전압에 대하여 B-coil의 유기전압을 반복하여 측정하여 나타낸 것으로, 유기기전력의 여자

전압에 대한 시간지연이 항상 일정하게 측정되지 않음을 알 수 있다. 따라서 한 주기의 data를 흘려보낸 후 data를 취득하는 경우, 1024번부터 2047번까지의 data로 유기기전력의 파형이 구성되고, 이 경우 그림에서 알 수 있듯이 반복계산 과정에서 유기기전력의 파형이 크게 달라져 B-waveform control에 많은 반복계산이 필요하고 어려움을 알 수 있다. 본 논문에서는 N 주기의 data를 흘려보낸 후, 그림 3의 (b)에 나타낸 것과 같이 유기기전력의 기본파 성분이 0이 되는 곳에서부터 연속적으로 1024개의 데이터를 취득하여, 유기기전력의 파형을 구성하였다. 이렇게 함으로써 여자전압과 유기기전력이 완전히 동기화 되지 않는 경우에도 B-waveform control이 가능하도록 하였다. 제안된 B-waveform control 과정은 다음과 같다.

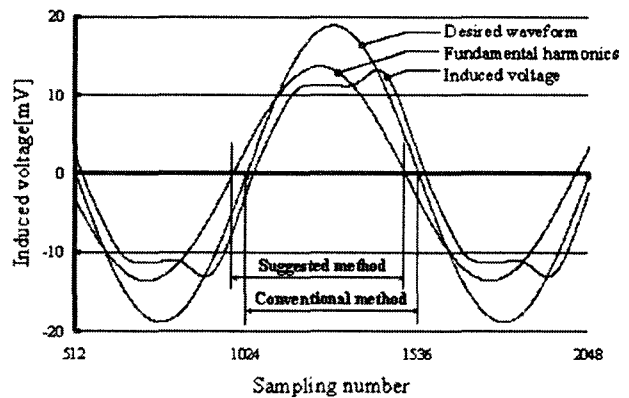
- i) RD방향과 TD방향에 대하여 Demagnetization 전류를 흘리고, 여자전압 파형을 결정하고, Low pass filter, power amplifier, 그리고 Matching transformer를 통하여 각각 RD방향과 TD방향 여자코일에 인가된다. 단, 초기 여자전압의 파형은 정현파로 한다.
- ii) B-coil의 유기기전력을 측정한다. 정확한 측정을 위하여 유기기전력의 파형은 150주기에 해당하는 data를 흘려보낸 후 50주기에 해당하는 data를 취득하고, 이를 평균한 것을 유기기전력 파형으로 한다.
- iii) 측정된 유기기전력 파형을 FFT하여 기본파 성분을 계산하고, 기본파 성분이 영이 되는 시점부터 한주기에 해당하는 data를 취득하여 유기기전력의 파형을 결정한다.



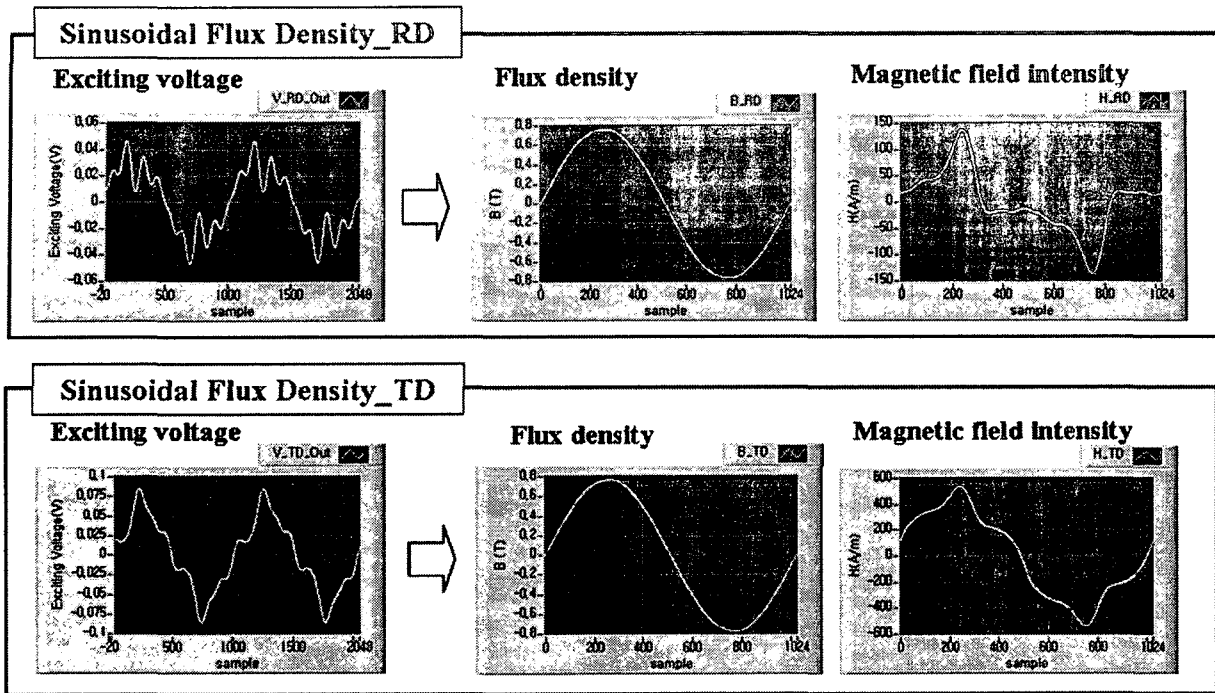
(a) Time delay in induced voltage

그림 3. 유기전압의 시간지연

Fig. 3. Time delays in induced voltage



(b) Waveform to be controlled



(이방성 전기강판 30PG158, 인가자계방향 45도, 자속밀도 1.1[T])

그림 4. 여자전압 과 자속밀도 및 자계의 세기의 파형

Fig. 4. Waveforms of exciting voltage, magnetic flux density and magnetic field intensity

ii) 식 (6)을 이용하여 새로운 여자전압의 파형을 계산하고, 과정 i) 로 간다.

그림 4는 이방성 전기강판(30PG158)에 RD방향으로부터 45°의 방향으로 최대치 1.1[T]의 자속밀도가 인가되는 경우, RD방향과 TD방향의 여자전압의 파형 및 이 때의 자속밀도와 자계의 세기의 파형을 나타낸다. 이로부터 본 논문에서 제시한 B-waveform control 방법이 타당하고, 자속밀도가 정현파 분포가 되기 위해서 여자전압은 많은 고조파 성분을 포함하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 측정 결과

이방성 전기강판 30PG158(두께 0.3mm, 최대치 1.7[T]인 정현파 자속밀도에서 철손 1.58W/kg 이하)의 시료를 대상으로 2차원 자기특성을 측정하였다. 측정 주파수는 50Hz로 하였다.

그림 5는 여러 가지 자속밀도의 방향  $\theta_B$ 에 대하여 자속밀도(B)와 자계의 세기(H)의 궤적을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 대부분의 방향에 대하여 B와 H의 방향이 서로 일치하지 않을 뿐만 아니라, 자속밀도가 일정한 방향( $\theta_B$ )으로 교

번적인 변화를 하는 경우에도 자계의 세기는 그 방향이 일정하지 않고 자속밀도의 크기에 따라 B와 H 사이의 위상차이가 변함을 알 수 있다. 그림 6은 그림 5의 결과로부터 계산된 인가자계 방향에 따른 B-H곡선을 나타낸다. 이때 B-H 곡선은 다음과 같이 구하였다.

- i) RD방향과 TD 방향에 대하여 측정된 결과로부터 Hysteresis loop들을 각각 구하고,
- ii) 이로부터 RD 방향과 TD방향의 B-H곡선을 구한 후,
- iii) 각각의 B-H 곡선상의 점  $(H_{Rb}, B_{Rm}), (H_{Tb}, B_{Tm})$ 들로부터  $B_m = \sqrt{B_{Rm}^2 + B_{Tm}^2}, H_b = \sqrt{H_{Rb}^2 + H_{Tb}^2}$ 을 계산하고 B-H곡선을 구한다. 여기서,  $H_{Rb}$ 와  $H_{Tb}$ 는 각각 RD방향과 TD방향의 Hysteresis loop에서  $dB/dt=0$ 의 조건을 만족하는 점에서의 H값이고,  $B_{Rm}$ 과  $B_{Tm}$ 는 각각  $H_{Rb}$ 와  $H_{Tb}$ 에 대응하는 자속밀도 값이다.

그림6에 나타난 바와 같이 전기강판의 투자율은 자계가 RD 방향으로 인가 될 때 가장 크게 나타나고, 반면에 투자율이 가장 작게 나타나는 방향은 TD방향이 아니라 RD방향으로부터 약 45°방향임을 알 수 있다. 또한 충분히 큰 자계의 세기

를 인가할 수 없어 전기강판이 완전히 포화되는 점까지의 특성은 측정하지 못했지만, 측정 결과에 따르면 인가자계의 방향에 따라 포화자속밀도의 값도 다를 것으로 판단된다. 그림 7은 인가자계의 방향과 자속밀도의 값에 따른 B와 H의 위상차를 나타낸다. 인가자계의 방향이 RD인 경우와 TD인 경우에는 이론상 B와 H의 위상차가 영이 되어야 하나, 측정결과에서는 특히 자속밀도의 방향이 RD방향일 때 진동하는 결과가 얻어졌다. 이는 RD방향의 경우 H의 값이 아주 작게 되고, 따라서 측정과정에서 오차가 포함되어 H의 위상이 부정확하

게 계산된 때문이다. 그림 6과 7의 표현은 문헌 [6], [7] 및 [8]에서 이용된  $(B, \theta_B)$  방법으로 자속밀도의 방향( $\theta_B$ )과 자속밀도의 크기를 독립변수로 하여 자계의 세기(H)의 크기와 방향( $\theta_H$  또는  $\theta_{HB}$ )을 표현한 것이다. 아직까지 유한요소법을 이용하여 이방성 전기강판으로 구성된 전기기기의 특성 해석 결과들을 보면, 이방성 전기강판의 2차원적인 자기특성을 고려하여 해석한 경우가 별로 없었고, 또한 고려한 경우에도 그 방법이 이론적으로 수궁할 수 없는 방법이 많아, 측정결과를 유한요소 해석에 적용하기 위한 모델링 방법에 대한 연구가 향후에 이루어져야 할 것이다 [7, 8].

한편 그림 8은 측정결과를 RD와 TD방향의 Hysteresis 곡선으로 표현한 것이며, 이 결과는 해석과정에서 RD방향과 TD방향의 특성을 각각 scalar Preisach model을 이용하여 해석하는 경우에 유용한 표현법이다[9].

그림 9는 인가자계의 방향에 따른 철손을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 인가자계의 방향이 RD방향인 경우의 철손이 가장 적으며, 인가자계의 방향이 45°와 60° 근처에서

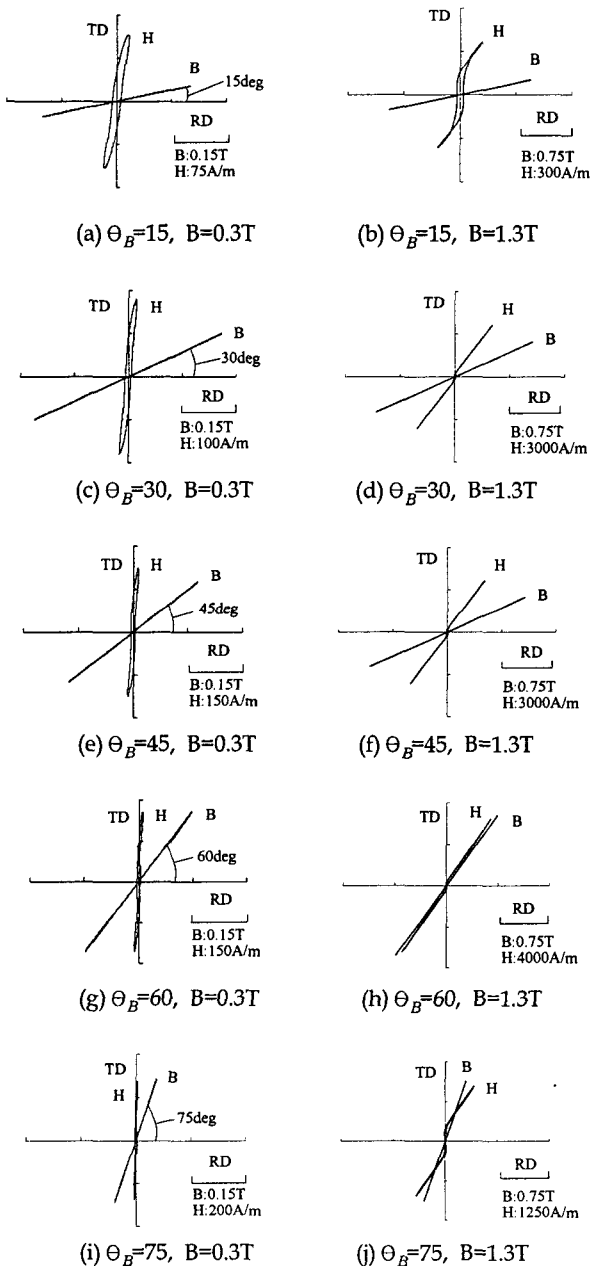


그림 5. 자속밀도와 자계의 세기 궤적  
Fig. 5. Loci of flux density and magnetic field strength

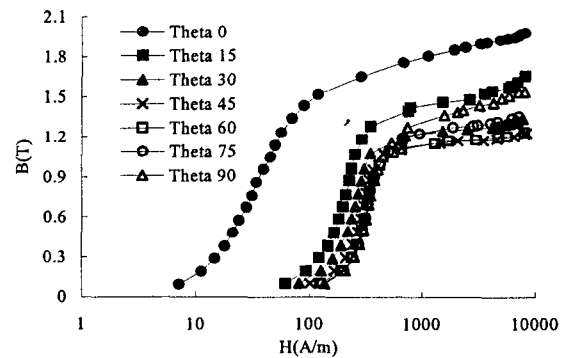


그림 6. 인가자계 방향에 따른 B-H곡선  
Fig. 6. B-H curves along arbitrary directions

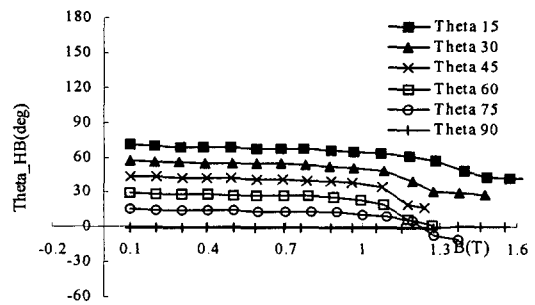
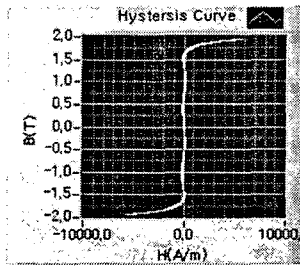
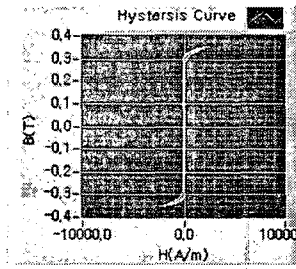


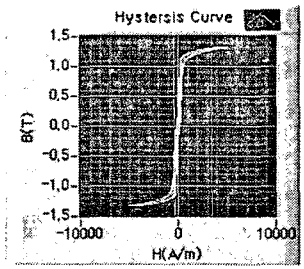
그림 7. 인가자계 방향에 B와 H의 위상차  
Fig. 7. Phase difference between B and H along arbitrary directions



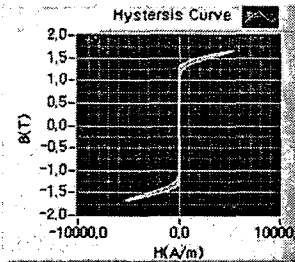
(a)  $\theta_B=0$ , RD방향



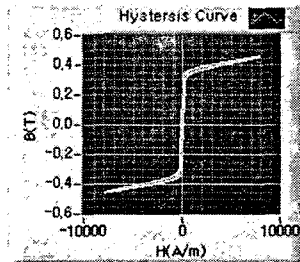
(j)  $\theta_B=75$ , RD방향



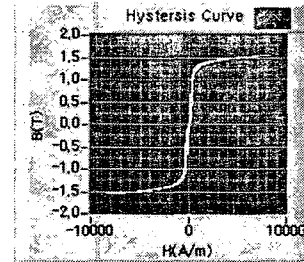
(k)  $\theta_B=75$ , TD방향



(b)  $\theta_B=15$ , RD방향



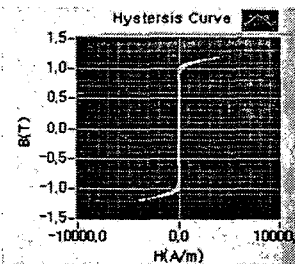
(c)  $\theta_B=15$ , TD방향



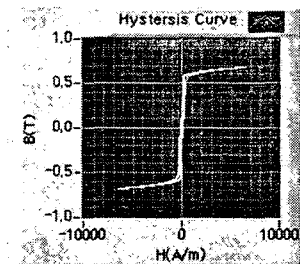
(l)  $\theta_B=90$ , TD방향

그림 8. 인가자계의 방향에 따른 RD 및 TD방향의 Hysteresis 곡선 (계속)

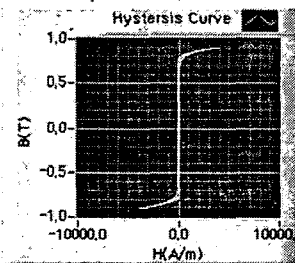
Fig. 8. Hysteresis loops for RD and TD directions along arbitrary direction.(continued)



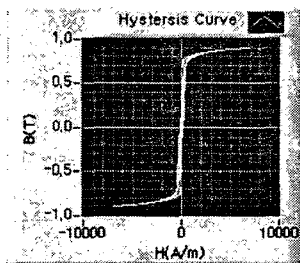
(d)  $\theta_B=30$ , RD방향



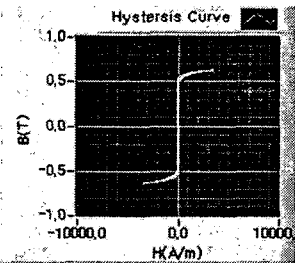
(e)  $\theta_B=30$ , TD방향



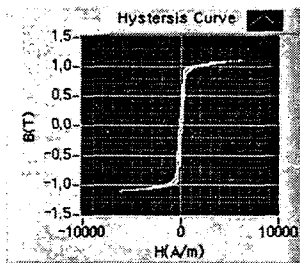
(f)  $\theta_B=45$ , RD방향



(g)  $\theta_B=45$ , TD방향



(h)  $\theta_B=60$ , RD방향



(i)  $\theta_B=60$ , TD방향

그림 8. 인가자계의 방향에 따른 RD 및 TD방향의 Hysteresis 곡선

Fig. 8. Hysteresis loops for RD and TD directions along arbitrary direction.

철손이 최대가 되었다.

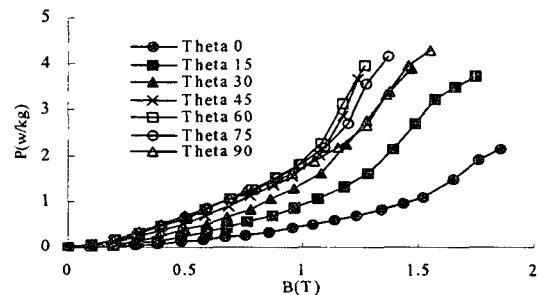


그림 9. 인가자계 방향에 따른 철손특성

Fig. 9. Iron loss along arbitrary directions

#### 4. 결 론

본 논문에서는 이방성 전기강판을 이용하는 전기기기의 보다 정확한 해석을 위하여 인가자계 방향에 따른 이방성 전기강판의 2차원 자기특성을 측정하였다. 측정 결과에 따르면 측정 시료의 포화자속밀도는 대략 2[T] 이상일 것으로 추정되나, 본 논문에서 사용된 SST는 충분한 자계를 인가할 수 없어 포화자속밀도까지는 그 특성을 측정하지 못하였다. 따라서 향후 보다 강력한 자계를 인가할 수 있도록 측정 장비를 개선할 필요가 있고, 높은 자속밀도에서 자속밀도의 파형을 정현파로 할 수 있는 효율적인 B-waveform control 알고리즘의 개발이 필요하다고 하겠다. 또한 본 논문에서는 이방성

전기장판에 교변자계가 인가되는 경우의 자계 특성과 손실만을 측정하였으나, 향후에는 회전자계 및 회전자계와 교변자계의 혼합자계가 인가되는 경우의 특성 측정도 수행되어야 할 것이며, 측정결과를 적절히 모델링하여 유한요소법을 이용한 전기기기의 특성해석에 반영 할 수 있는 기법에 대한 연구도 수행되어야 할 것이다.

**감사의 글**

본 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

**참 고 문 헌**

- [1] S.Urata, H.Shimoji, T.Tataka, and M.Enokizono, "Examination of two-dimensional magnetic properties in a 5-leg-different-volume-V-connection transformer core," KIEE International Trans. on EMECS, Vol. 5-B, No. 3, September 2005, pp.243-247,
- [2] T.Nakata, N.Takahshi, K.Fujiwara and M.Nakano, "Measurement of magnetic characteristics along arbitrary direction of grain-oriented silicon steel up to high flux density", IEEE Trans. on Magnetics. Vol. 29, No. 6, pp.3544-3546 November 1999
- [3] JIS C 2556, "Method of measurement of the magnetic properties of magnetic steel sheet and strip by means of a single sheet tester", 1996
- [4] M.Nakano, H.Nishimoto, K.Fujiwara and N.Takahashi, "Improvement of single sheet testers for measurement of 2-d magnetic properties up to high flux density", IEEE Trans. on Magnetics. Vol. 35, No. 5, pp.3965-3967 September 1999
- [5] 김 흥정, 고 창섭, 홍 선기, 신 판석, "전기장판의 자기특성 측정을 위한 2방향 여자형 single sheet tester의 개발," 대한전기학회 논문지 B권, 2005년 10월
- [6] K.Fujiwara, T.Adachi, and N.Takahashi, "A proposal of finite-element analysis considering two-dimensional magnetic properties," IEEE Trans. on Magnetics, Vol.38, No.2, pp.889-892, March 2002
- [7] M. Enokizono, and N. Soda, "Magnetic field analysis by finite element method using effective anisotropic field," IEEE Trans. on Magn., Vol.31, No.3, pp.1793-1796, May 1995
- [8] M. Enokizono, and N. Soda, "Finite element analysis of transformer model core with measured reluctivity tensor," IEEE Trans. on Magn., Vol.33, No.5, pp.4110-4112, September 1997
- [9] 홍 선기, 등방성 자성재료에서의 일반화된 벡터 히스테리시스 모델링, 박사학위논문, 서울대학교, 1993

**저 자 소 개**



**음 영 환 (陰 泳 煥)**

1981년 2월 14일생. 2006년 충북대학교 전기공학과 졸업. 2006년~현재 동대학원 전기공학전공 석사과정.

Tel : 043-274-2426, Fax : 043-274-2426

E-mail : yh3701@chungbuk.ac.kr



**김 흥 정 (金 洪 正)**

1978년 11월 24일생. 2004년 충북대학교 전기공학과 졸업. 2006년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 삼성전자 가전총괄 R&D 센터 근무.

Tel : 043-274-2426, Fax : 043-274-2426

E-mail : whitezz01@chungbuk.ac.kr



**고 창 섭 (高 彰 燮)**

1986년 서울대 전기공학과 졸업(학사). 1988년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1993~1994년 미국 Florida International University 전기 및 컴퓨터 공학과 객원 연구원. 1994~1996년 삼성전기(주) 종합연구소 선임연구원. 1996~현재 충북대 전기전자 및 컴퓨터 공학부 부교수.

Tel : 043-261-2426, Fax : 043-274-2426

E-mail : Kohcs@chungbuk.ac.kr



**홍 선 기 (洪 瑄 基)**

1965년 1월 24일생. 1987년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1993년~1995년 렉스 산전(주) 선임 연구원. 1995년~현재 호서대 전기정보통신공학부 부교수.

Tel : 041-540-5674, Fax : 041-540-5693

E-mail : skhong@office.hoseo.ac.kr



**신 판 석 (申 判 錫)**

1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 Rensselaer Polytechnic 대학원 전력공학과 졸업(석사), 1989년 동대학원 전력공학과 졸업(공학박), 1980년~1993년 KERI 연구원. 1993년~현재 홍익대 전기공학과 교수.

Tel : 041-860-2593, Fax : 041-863-7605

E-mail : psshin@hongik.ac.kr