

## 규소강판 코어소재의 가공방법에 따른 B-H 특성

김인성, 송재성, 민복기, 정순종\*, 김형욱

한국전기연구원, 재료응용연구단\*

### B-H Properties of Silicon steel Core material with Material Process

In-Sung Kim, Jae-Sung Song, Bok-Ki Min, Soon-Jong Jeong\*

KERI, Division of Materials Application

**Abstract** : 변압기 코어소재로 사용하는 방향성 규소강판의 가공 방법에 따른 물성을 조사하기 위하여 테이프 와인딩 코어 형태, 곡률반경을 20, 30, 40mm로 하여 토로이달 형태 변압기 시료의 B-H 자성 특성을 조사 하였다. 곡률반경이 40mm, 높이는 10mm의 비율에서 보자력은 0.02Oe, 포화자속밀도는 0.98, 1.85T 으로 보자력(Hc)은 낮고 포화자속밀도(Bs)는 제일 큰 값을 나타내었고, 국내에서 생산되고 있는 방향성 규소강판의 자속밀도값 보다 약간 크게 나타났으며, 본 연구로부터 방향성 규소강판을 이용하여 권자심 코어를 제작할 때 고려해야하는 탄성변형에 대한 중요성과 코어 소재의 가공방법이 자기적 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 또한 토로이달 코어형태의 변압기를 설계 제작시 높이와 곡률반경, 가공 방법에 따라 용량, 효율 등이 다르므로 사전에 소재의 물성을 면밀히 검토 후에 전기기기에 적용해야함을 재확인하였다.

**Key Words** : 방향성 규소강판, 전력용 변압기, B-H 특성, 투자율, 보자력, 가공방법, 탄성변형, 포화자속밀도

### 1. 서 론

규소강판 권자심은 스트립상의 형태로 일정한 곡률반경을 갖고 와인딩되기 때문에 응력도입이 불가피하며, 이로인해 자기적 특성이 초기 설계치와 상이하게 나타난다. 또한 일정한 곡률반경에 대해 와인딩 스트립의 두께가 두꺼워지면 소성변형의 정도가 커져 자기특성의 열화는 더욱 심해진다. 본 연구에서는 변압기의 용량과 형태에 따라 코어의 와인딩-밴딩이 공정 조건이 두께와 곡률반경에 밀접하며, 소성변형은 완제품의 사양에 영향을 미치기 때문에 가공 방법 및 탄성변형이 자기적 특성에 미치는 영향에 대해 조사하고자 하였다.[1, 2]

### 2. 실험

규소강판의 시료는 국내제품을 사용하였으며, 토로이달 시료의 사양은 표1에 나타내었다. 시료의 형태는 그림1에서 처럼 높이가 각각 5mm, 10mm 스트립상의 형태를 직경 20mm, 30mm, 40mm, 50mm의 와인딩한 형태로 제작하였으며, 1 차절연 후 1 차권선을 100회 감고 2 차절연 후, 2 차권선을 1차권선수와 같은 횟수로 감았다.

표1. Samples used in the experiment.

d (mm)	H (mm)	L (mm)	Dm (mm)	S (mm <sup>2</sup> )	Wn (turns)
3	5	65	23	15	6
	10	65	23	30	
3	5	94	33	15	
	10	94	33	30	
3	5	125	43	15	
	10	125	43	30	
3	5	155	53	15	
	10	155	53	30	

1차권선과 2 차권선은 Cu선(∅ 0.45mm)을 이용하여 시료를 제작 하였다. 자기적 특성은 Ammeter를 이용하여 1 차권선에 전류를 흘려 자계를 형성하고, Flux meter를 이용하여 2차 권선의 자속에 따라 출력되는 유도전류를 측정하여 B-H 히스테리시스를 측정하였으며, 측정된 B-H 히스테리시스에서 자계(H)와 보자력, 자속밀도(B) 값을 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 권자심 곡률반경과 응력

두께 d, 길이 L의 스트립 형태의 시료를 곡률반경 R로 굽힌 경우, 시료의 외측은 장력에 의해 늘어나고 내측은 압축력에 의해 줄어드는 형태를 나타낸 것이다[5]. 곡률반경 R, 시료의 길이 L과 각도 q와의 관계는 곡률반경 R이 두께에 대해서 충분히 크면  $R\theta=L$  식으로 나타낼 수 있다.

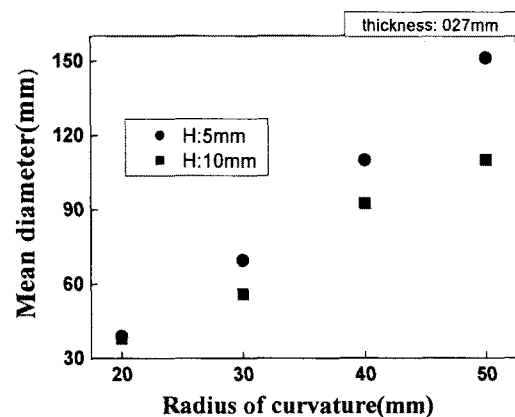


그림 1. 곡률반경과 평균 직경 비율

높이가 각각 5mm, 10mm 시료를 곡률반경 20mm, 30mm, 40mm, 50mm로 하여 감은후 원래 상태로 돌렸을 때 시료의 형태로부터 직경을 조사 하였다.

높이가 5mm인 시료가 높이 10mm인 시료보다 평균 직경의 크기가 더 많이 변형 하였다. 시료가 탄성변형을 일으키는 경우 시료는 원래 형태대로 회복되고, 이때 곡률반경은 무한대가 된다. 한편 시료의 일부가 소성변형을 일으키면 시료는 굽게 되어 곡률반경은 원래 같은 곡률반경 이상으로 된다. 그림 1은 곡률반경과 평균 직경 비율을 나타내고 있다.

### 3.2 곡률 반경과 B-H 자성 특성

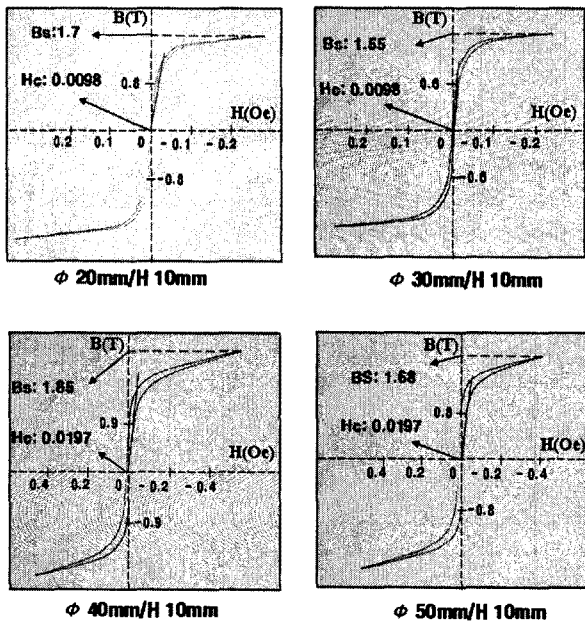


그림 2. 곡률반경과 B-H 자성 특성

그림2은 곡률반경에 따른 B-H hysteresis loop의 변화를 조사하였다. (a) 높이가 5mm일때 보다 (b) 높이가 10mm일때 시료의 보자력(Hc)과 최대자속밀도(Bs)가 우수하였고, 투자율이 크게 나타남을 조사 하였다.

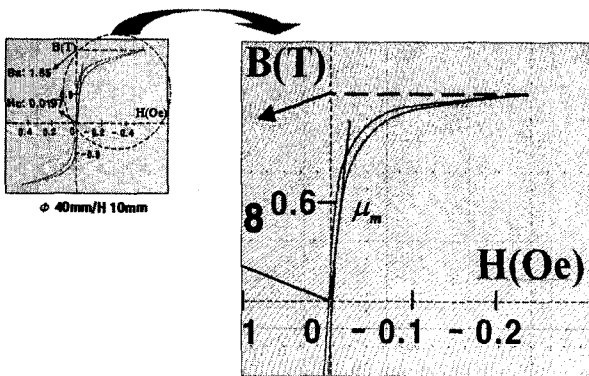


그림 3. ϕ40mm/H10mm 에서 투자율 특성

그림3는 높이에 따른 투자율을 관찰한 것이다. (a) ϕ

40mm/H5mm 시료 보다 (b) ϕ40mm/H10mm 시료의 자계(H)와 자속밀도(B)의 값이 컸으며, 투자율이 크게 나타났다. 표2와 표3은 높이가 5mm, 10mm인 방향성 규소강판을 곡률반경에 따라 제작하여 B-H 특성을 조사하였다. ϕ40mm/H10mm 시료에서 보자력(Hc)과 최대자속밀도(Bs)가 최대값을 나타내었다. 이것은 방향성 규소강판으로 제작되는 토로이달 변압기를 설계할 때 변압기 크기와 모양을 결정짓는 요소로써 정사각형, 직사각형 형태를 구분하는 요소가 될 수 있다. 뿐만 아니라 높게 설계할 것인지 낮게하여 크게 할것 인지도 결정할 수 있는 요소이다.

표2. 높이 5mm에서 곡률반경에 따른 자성 특성

곡률반경	20mm	30mm	40mm	50mm
Bs(T)	0.78	0.65	0.98	0.84
Hc(Oe)	0.01	0.01	0.02	0.02

표3. 높이 10mm에서 곡률반경에 따른 자성 특성

곡률반경	20mm	30mm	40mm	50mm
Bs(T)	1.7	1.55	1.85	1.68
Hc(Oe)	0.01	0.01	0.02	0.02

## 4. 결론

변압기 코어소재인 방향성 규소강판을 곡률반경에 따라 와인딩 하여 토로이달 형태로 제작 하였다. 이때 변압기의 용량과 형태를 감안하여 각각 서로 다른 높이와 곡률반경 조건을 적용하였다. 곡률반경에 따른 투자율과 높이에 따른 투자율을 조사한 결과 ϕ40mm/H10mm 시료에서 투자율이 크고, 보자력(Hc)과 포화자속밀도(Bs)는 우수함을 나타내었다. ϕ40mm/H10mm 시료의 보자력은 0.02Oe, 포화자속밀도는 1.85T 이었다. 변압기용 방향성 규소강판을 사용한 전자기기 제조시 곡률반경에 따라 손실 절감과 자기적 특성에 영향과 권자심을 제작할 때 도입되는 탄성변형에 대한 영향이 자기적 특성에 미치는 것으로 조사되었으며, 향후 토로이달 코어형 변압기를 설계, 개발할 경우 이를 고려하면 변압기의 효율과 용량을 좀 더 정확히 산출하여 제작이 가능할 것으로 고려되었다.

## 참고 문헌

- [1] J. D. Livingston : Phys. Stat. Sol. (a) 56, 627 (1989)
- [2] H. Pftzner and K. Futschik, Y. Luo L : IEE Trans. Magn. 18, 1499 (1982)
- [3] W. Jilck and A. Hubert : j. Magn.Magn. Mater 19, 365 (1980)