

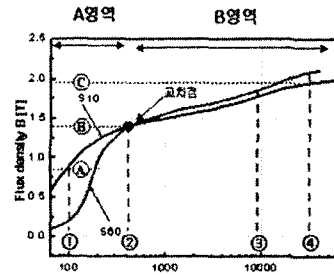
전동기 주 운전 영역에 따른 코어 재질 선정에 관한 연구

이병화\*, 이상호\*, 홍정표\*, 하경호\*\*  
 창원대학교 전기공학과\*, 포스코\*\*

A Study on the Selection of Core Materials  
 in Motors according to Operating Speed Range

Byeong-Hwa Lee\*, Sang-Ho Lee\*, Jung-Pyo Hong\*, Kyung-Ho Ha\*\*  
 Changwon National University\*, Posco\*\*

**Abstract** -In motor design, an important factor is the content of silicon in coss material, which can effect the saturation of magnetic circuit and coss loss. While the content of silicon is high, the core loss will be reduced. At the same time, in order to assure the effective flux, the magnetizing current must be increased and then the copper loss becomes higher. Therefore the material with high content of silicon, which is used in the motor, can not always give the high efficiency. In this paper flux linkage of two different material s10 and s60 is compared according to the operating region and then exciting current to obtain same flux is estimated. By comparing core loss and copper loss between two material with the estimated current and flux linkage, this paper presents a criterion in determining the material for higher efficiency



<그림 1> S10과 S60의 B-H curve

1. 서 론

최근 고도 산업 사회로 접어들면서 전동기는 소형화, 경량화 그리고 고효율화가 요구되는 추세이다. 전동기의 효율을 향상시키는 방안으로 규소함량이 많은 철심재질을 이용하여 철손을 저감시킬 수 있다[1]-[3]. 그러나 규소함량이 높은 철심재질일수록 비투자율( $\mu_{rec}$ )은 증가하지만 동일한 기자력 조건에서는 자기회로의 포화정도가 다르기 때문에 모든 영역에서의 손실은 쉽게 손실을 예측할 수 없다.

그림 1은 규소함량이 다른 S10과 S60 철심 재질의 B-H curve를 나타내며, 두 재질사이에는 ②와 같이 교차점이 존재한다. 전동기의 주 운전 영역이 A영역과 같을 경우 동일한 자계의 세기(Magnetic field intensity)를 인가할 때 S10이 S60에 비해 자속밀도가 높으므로 더 많은 유효자속(Effective flux)을 확보할 수 있다. 그러나 전동기 주 운전 영역이 B영역과 같을 경우 규소 함량이 많은 S10에 비해 자속밀도가 낮으므로 S60과 동일한 유효자속을 확보하기 위해서는 더 많은 자계의 세기가 필요하게 된다. 이는 곧 여자전류(Exciting current)가 증가되는 것을 의미하며 이것은 동손을 증가시키는 요인이 된다. 운전 영역에 따른 동손과 철손의 상호대소 관계에 따라서 S60보다 규소 함량이 높은 S10을 사용한다고 해서 전동기의 효율이 항상 향상되는 것은 아니다. 그러므로 전동기의 주 운전 영역에 따라 철심 재질에 따른 철손 및 동손 비교를 통하여 전동기의 효율을 향상시킬 수 있는 재질을 선택해야 할 것이다.

따라서 본 논문에서는 C-core 형상을 이용하여 철심 재질과 운전 영역 변화에 따른 유효자속을 비교한다. 그리고 규소 함량이 다른 S10과 S60의 철심 재질에 대하여 동일한 유효자속을 확보하기 위한 자계의 세기를 산정한 다음 동손과 철손을 산정·비교함으로써 전동기 운전 영역에 따른 전동기 효율 향상 및 철심 재질 선택 방안에 대하여 논의한다.

2. 해석 이론

2.1 철손 산정

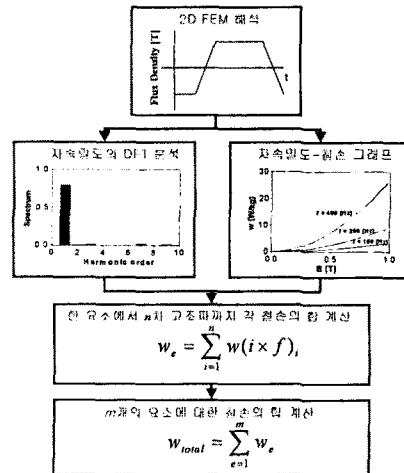
일반적으로 철손은 자속밀도 변화가 기본과 주파수에 의해 경험적으로 변화한다고 가정할 때 히스테리시스 손실계수와 와전류 손실계수를 반영한 식 (2.1)과 같다[4].

$$w = B^2 \sigma_H \left( \frac{f}{100} \right) + \sigma_E d^2 \left( \frac{f}{100} \right)^2 [W/kg] \quad (2.1)$$

여기서,  $w$ 는 단위중량당 철손,  $B$ 는 철심의 자속밀도,  $\sigma_H$ 는 히스테리시스 손실계수,  $\sigma_E$ 는 와전류 손실계수,  $f$ 는 운전 주파수 그리고  $d$ 는 전기 강판의 두께를 나타낸다.

그러나 실제 운전 중인 전동기의 자속밀도는 고조파 성분 때문에 비정형적으로 변화하므로 자속밀도의 고조파 성분에 의한 철손이 고려되어야 한다.

그림 2는 고조파를 고려한 철손 산정 과정을 도식한 것이다. 유한 요소법(Finite Element Method: FEM)을 이용하여 철심 요소에서의 자속밀도 변화를 구한 후 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transformation, DFT)을 통한 각 고조파별 분석을 수행한다. 그리고 각 고조파 성분에 따른 자속 밀도의 크기를 식(2.2)과 같이 나타낸다.



<그림 2> 철손 계산 과정

$$B_{vn} = \sum_{n=0}^N B_v(n) e^{j2\pi n v} \quad (2.2)$$

여기서  $v$ 는 고조파 차수,  $B_{vn}$ 는  $v$ 번째 고조파에 대한 자속밀도의 최대값,  $B_v(n)$ 는 각 시간에 따른 요소에서의 자속밀도 값을 각각 나타낸다.

$B_{vn}$ 를 이용하여 철심 재질의 데이터로부터 고조파 주파수별로 각각의 철심 요소  $w$ 를 구한 후 전체 철심 요소에 대한 철손  $W_{total}$  산정한다.

2.2 동손 산정

식 (2.3)은 동손 산정 시 사용한 수식이다.

$$\frac{J^2}{\sigma_{cu}} \times vol = I^2 R \quad (2.3)$$

여기서,  $J$ 은 전류 밀도[A/m],  $\sigma_{cu}$ 는 구리의 도전율[ $\Omega/m$ ]이다.

3. 특성 해석

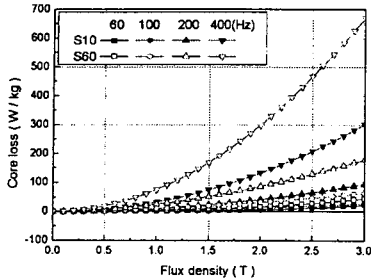
3.1 재질 선정 및 해석 모델

표 1은 규소 함량이 다른 S10과 S60 철심 재질에 대한 사양을 나타낸 것이다. 여기서 철심 재질 S10은 S60보다 규소 함량이 더 높은 고성능 자성 재료이다. 그리고 그림 3은 S10과 S60의 철손의 특성 비교 그래프이다.

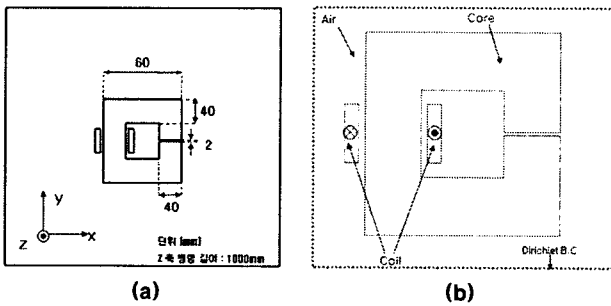
그림 4는 해석 대상 모델로써, c-core형상을 이용하여 철심 재질 및 운전 영역 변화에 따른 유효자속 및 손실을 비교한다.

**<표 1> 대상 재질 사양**

재질	포스코 규격 (구 규격)	강판 두께 (mm)
S10	50PN395	0.5
S60	50PN1650	



**<그림 3> Core loss 특성 비교**



**<그림 4> (a) 대상 모델의 형상 치수 (b) 해석 모델**

**<표 2> 자계의 세기 변화에 따른 쇄교 자속량**

-	자계의 세기 [A/m]	쇄교 자속량 [mWb]		차이값 [mWb] (S10기준)
		S10	S60	
교차점 이전	① H = 100	2.8	2.5	0.3(12%)
교차점	② H = 423	12.0	11.5	0.5(4.3%)
교차점 이후	③ H = 10000	75.0	80.0	-5.0(6.7%)
	④ H = 30000	81.0	88.0	-7.0(8.6%)

**<표 3> 동일한 자속 확보를 위한 여자 전류 산정**

-	자속량 [mWb]	턴수	여자전류[A]		차이값[A] (S10기준)
			S10	S60	
Ⓐ	2.8	10	10.0	11.4	-1.4(14%)
ⓒ	80.0		3775.0	2800.0	975.0(35%)

**3.2 쇄교자속량 및 여자전류 산정**

표 2는 철심 재질과 자계의 세기 변화에 따른 쇄교 자속량을 비교한 것으로서 철심 재질의 B-H curve와 FEM을 이용하여 산정하였다.

그림 1과 같이 자계의 세기가 다른 네 지점에 대한 쇄교 자속량의 크기를 살펴보면 교차점 이전 영역에서는 S10이 S60에 비해 더 많은 쇄교 자속을 확보할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 교차점 이후 영역에서는 S60이 더 많은 유효자속을 확보할 수 있으므로 규소 함량이 높은 재질이라고 해서 모든 영역에서 자속 확보가 유리하지는 않다.

표 3은 동일한 자속량 확보를 위한 철심 재질별 여자 전류를 나타낸 것이다. 그림 1과 같이 교차점 이전인 Ⓐ에서는 S60의 철심 재질을 사용했을 때의 여자 전류가 S10을 사용했을 때 보다 약 14% 증가하였지만, 교차점 이후인 ⓒ에서는 S10의 철심 재질을 사용했을 때의 여자전류가 S60을 사용했을 때 보다 약 21% 증가하였다.

규소 함량이 다른 두 재질의 B-H curve에는 교차점이 존재한다. 그림 1의 A영역에서 규소 함량이 높은 S10은 S60의 철심 재질보다 작은 여자전류만으로도 동일한 자속을 확보할 수 있으므로 동손을 저감시킬 수 있고 규소 함량 증가에 따른 철손도 저감된다. 반면에 B영역에서는 S60이 규소 함량이 높은 S10 철심 재질보다 작은 여자전류만으로도 동일한 자속을 확보할 수 있어 동손은 감소하나 철손은 증가한다. 그러므로 B영역에서는 S10과 S60 재질 사용에 따른 철손과 동손을 산정·비교하여 효율적인 측면에 있어 더 효과적인 재질 선택에 대한 검토가 필요하다.

**3.3 손실비교**

표 3은 Ⓐ와 ⓒ 지점에서의 동일한 자속을 확보하기 위한 여자 전류를 나타내며, 이를 이용하여 각각의 동손과 철손을 산정한다. 위의 특성 해석 이론들을 바탕으로 Ⓐ, Ⓑ 그리고 ⓒ에서 동손과 철손을 산정한 결과는 표 4와 같다. Ⓐ에서는 여자 전류가 작기 때문에 S10과 S60의 동손은 거의 같은 값을 가지나 철손은 S60이 S10보다 규소 함량이 작기 때문에 약 13.7W 큰 값을 가진다. B에서는 자속 확보를 위한 여자 전류가 같기 때문에 동손은 같았으며 철손은 규소 함량이 적은 S60 재질이 약 98.7W 큰 값을 가진다. 반면 ⓒ에서는 S10이 14600W, S60은 8032W로 두 값의 차이는 6568W이며 동손만 비교해 본다면 S60을 사용하는 것이 훨씬 효율적이다. 그러나 철손은 S10은 4250W, S60은 10400W로 두 값의 차이는 6150W로 S60이 큰 값을 가진다.

이상으로 C-core에 두 가지 철심 재질에 대한 동손과 철손을 산정해 보았다. Ⓐ와 Ⓑ에서는 여자 전류가 작기 때문에 동손이 거의 영향을 미치지 않고 철손이 효율을 좌우한다고 할 수 있다. 따라서 이 영역에서는 규소 함량이 많아 철손을 저감시킬 수 있는 철심 재질인 S10을 사용하는 것이 좋다고 할 수 있다. 반면 ⓒ에서는 철손 영향보다 여자전류 증가로 인한 동손의 영향이 손실에 더 크게 반영된다. 각각의 손실을 확인해 보면 S10 재질의 손실(철손+동손)은 18850W이고 S60의 손실(철손+동손)은 18432W임을 알 수 있다. 따라서 ⓒ에서 주 운전 구간을 가지는 전동기인 경우에 S60의 철심 재질을 사용할 경우 손실을 418W를 줄일 수 있다. 비록 손실의 차이는 크게 없지만 가격적인 측면에서 본다면 S60을 사용하는 것이 더 바람직하다. 그리고 만약 Ⓑ보다 더 큰 자속량을 확보하기 위해서는 동손은 더 급격하게 증가하게 되므로 S10의 효율은 더욱 떨어질 것이다.

**4. 결 론**

본 논문에서는 전동기의 주 운전되는 영역에 따라 C-core의 자속량 및 손실 비교를 통하여 철심 재질을 보다 효율적으로 선택하는 방법에 대해 다루었다. 자기 포화가 심하지 않는 경우에는 동일한 기자력에 대해 상대적으로 높은 자속 확보 및 여자 전류의 감소가 가능한 S10 재질의 사용이 S60보다 효율적이다. 반면 자기 포화가 심한 경우에는 규소함량이 상대적으로 낮은 S60을 선택하는 것이 전체 손실을 저감시킬 수 있고 비용적인 측면에서도 유리할 것이다.

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업 (RTI04-01-03) 지원으로 수행 되었습니다

**[참고 문헌]**

- [1] Qiang Shen, Ran Li and Lianmeng Zhang "Local Graded Structure in 6.5wt%Si-Fe Alloy and the Effect on Ductility" Material Science Forum Vol. 492-493, 2005
- [2] Hyuk Nam, Jeong-Jong Lee, Ki-Chang Chang, and Jung-Pyo Hong "IRON LOSS ANALYSIS METHOD USING IRON LOSS CURVES ACCORDING TO FREQUENCY", ISEF 2003-11th International Symposium on Electromagnetic Fields in Electrical Engineering Maribor, Slovenia, September 18-20,2003 pp 517-521
- [3] Reichard M. Bozorth "Ferromagnetism" IEEE PRESS, 1951
- [4]Editor E. P. Wohlfarth "FERROMAGNETISM AND FERROMAGNETIC DOMAINS" NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY, 1965

**<표 4> 동일한 자속량에서의 철손 및 동손 비교**

-	자속량 [mWb]	여자전류[A]		동손[W]		철손[W]	
		S10	S60	S10	S60	S10	S60
Ⓐ	2.81	10.00	11.40	0.10	0.13	10.40	24.10
Ⓑ	12.00	42.30	42.30	1.83	1.83	64.60	163.30
ⓒ	80.00	3775.00	2800.00	14600.00	8032.00	4250.00	10400.00