

자기유한요소법을이용한단상유도전동기코어의 손실해석 및 손실저감설계기법에관한연구

김동석, 성일권, 박관수, 한성진\*  
부산대학교, 동아대학교\*

Design to Reduce and Analysis of Loss using Finite Element Method on One Phase Inductance Motor

Dong Sok Kim, Il Kwon Sung, Gwan Soo Park, Sung Chin Hahn\*  
Pusan National University, Dong-A University\*

**Abstract** - 전기기기가 빠르게 발전함에 따라 전기기기의 핵심부분인 전동기의 활용도가 매우 넓어지고 있다. 따라서 전동기의 효율향상은 전기기기의 정확한 작동 및 비용절약에 있어 중요한 부분이 되고 있다. 따라서 전동기에서 발생하는 손실의 정확한 원인과 해결방법을 제시하여야 한다. 이에 지금까지의 연구들은 대부분 제어회로를 이용한 고주파성분 제거나 자기손실이 적은 재질개발에 의존하고 있다. 그러나 이들 방법들은 기존의 기동제어회로에 새로운 소자나 제어회로를 부착하거나 고가의 소재를 사용하여야 하는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 정자계 유한요소법과 손실곡선을 이용한 단상유도전동기 코어의 손실해석 및 손실저감을 위한 설계기법을 제시하였다.

$$P_c = P_e + P_h \quad (1)$$

$P_c$ : 코어 손실  
 $P_e$ : 와전류 손실  
 $P_h$ : 히스테리시스 손실

여기서,  $P_e$  는 코어를 얇은 판으로 적층하는 방법을 통해 저감할 수 있다. 한편,  $P_h$ 는

$$P_h = kB^2_{max} f \quad (2)$$

이므로, 주파수  $f$ 와 자속밀도  $B$ 를 줄이면 히스테리시스 손실을 저감할 수 있다. 여기서 주파수는 기존의 유도전동기와 동일하게 주어야 하므로, 자속밀도  $B$ 를 줄여야만 손실을 줄일 수 있다. 특히, 히스테리시스는 식(2)와 같이 자속밀도의 제곱에 비례하므로 자속밀도의 작은 저감으로도 큰 손실저감효과를 얻을 수 있다.

1. 서 론

유도 전동기는 구조가 간단하고 견고하며 값도 비교적 저렴하고 취급하기가 용이하기 때문에 그 용도가 매우 다양하게 활용되고 있다. 산업에서 사용하는 동력용은 750[W]급 대형으로서 거의 3상 유도전동기를 사용하지만 가정용 선풍기, 전기세탁기, 냉장고 같은 400[W]급 이하의 소형인 경우에는 단상교류전원을 이용한 단상 유도전동기를 주로 사용하고 있다. 이처럼 우리주변에 흔히 볼 수 있는 전기기기제품에 단상유도전동기가 사용되고 있다. 따라서 이들 전기기기의 효율적인 작동과 에너지 절약, 유지비 절감을 위해서는 손실저감에 의한 효율향상이 매우 중요하다. 이에 많은 연구진들이 손실을 저감하기 위한 많은 연구를 진행하였고 그 결과 여러 종류의 손실저감 방법이 제시되었다. 그러나 이들 방법 대부분이 제어회로를 이용한 고주파성분제거나 자기손실이 적은 재질을 발견하는데 한정되어 있다. 특히, 이들 방법은 기동제어회로 외에 별도의 고주파제거 회로가 필요하며, 비용이 커지는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 정자계 유한요소법을 이용하여 코어내부의 손실을 해석하고, 이를 토대로 기존 코어의 형상을 변경함으로써 손실을 저감하였다.

2. 정자계 유한요소법을 이용한 손실해석

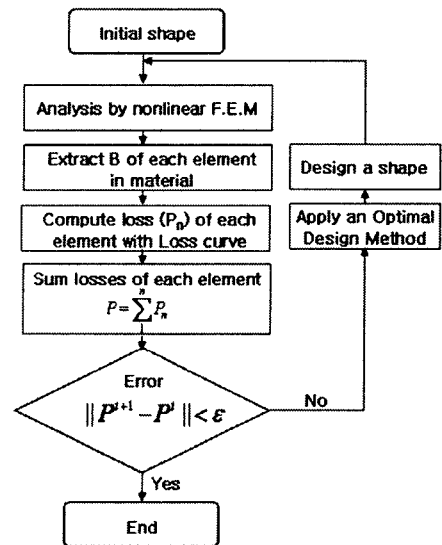


Fig. 1. 손실해석 및 형상설계 흐름도

2. 손실

유도전동기에서의 손실에는 고정자 부분에서 발생하는 철손과 동손, 회전자 부분의 철손, 동손 그리고 마지막으로 운전 시 발생하는 풍손, 베어링 마찰손, 표류부하손 등이 있다. 그러나 이들 손실 중 철심을 제외한 다른 손실들은 크기가 매우 작고 큰 변화가 없으므로 손실에는 큰 차이가 없다. 그리고 동손의 경우도 같은 종류의 권선을 같은 수의 슬롯에 같은 권선수로 감기 때문에 손실은 차이가 없다. 코어의 철손을 줄이는 방법을 높일 수 있는 방법이다.

이러한 철손에는 식 (1)과 같이 와전류 손실과 히스테리시스 손실이 있다.

본 연구에서는 보일러나 전자레인지와 같이 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 전기기기에 사용되는 단상유도전동기 중 용도는 같으나 고정자의 구조가 다른 2/4극 겸용코어와 2극 전용코어를 선정한 후 이를 정자계 유한요소법에 적용하여 해석함으로써 코어내부의 자기장 분포를 얻었다. 그리고 이 자기장 값을 다시 손실곡선에 적용함으로써 코어 내부의 손실을 구하였다. 이 손실결과를 바탕

으로 코어내부에서 손실이 크게 나타나는 부분과 작게 나타나는 부분을 비교하고, 2/4극 겸용코어와 2극 전용코어의 구조적 차이를 손실과 비교함으로써 손실저감을 위한 형상설계를 하였다.

### 2.1 초기 모델의 자기장 분포 해석

Fig. 2는 2/4극 겸용코어와 2극 전용코어를 정자계 유한요소법에 적용하여 자기장분포를 해석한 결과이고, Fig. 3은 2극 전용코어를 정자계 유한요소법에 적용하여 자기장분포를 해석한 결과이다. 해석의 결과를 보면 두 모델 모두 고정자의 외경에서부터 슬롯까지의 철심부분에서 자기장 값이 크고 넓게 나타남을 알 수 있다. 그 외에는 고정자와 회전자의 Teeth 부분에서 자기장 값이 크게 나타나고 있다. 고정자부분에서에서는 겸용코어가 전용코어보다 붉은 면적(자기포화)이 넓게 퍼져있는 것을 볼 수 있다. 즉, 겸용코어의 고정자가 전용코어의 고정자에 비해 손실이 크다는 것을 알 수 있다. 회전자부분에서는 전용코어가 겸용코어보다 조금 더 밝은 색을 띠고 있는데, 이것은 전용코어가 겸용코어보다 손실이 크다는 것을 의미한다. 이는 전용코어의 고정자손실이 겸용코어보다 적기 때문에 회전자로 자속전달이 용이하기 때문이다. 즉, 자기효율이 겸용코어보다 전용코어가 좋다는 것이다.

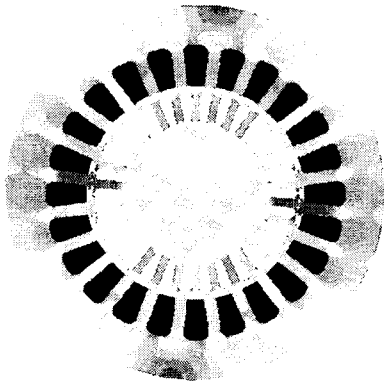


Fig. 2. 2/4극 겸용코어의 자기장 분포

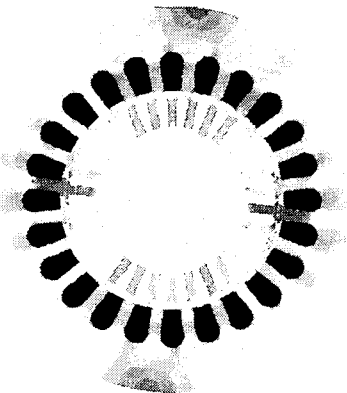


Fig. 3. 2극 전용코어의 자기장 분포

### 2.2 초기모델의 손실해석

정자계 유한요소법을 이용하여 해석한 자기장 값을 다시 Fig. 4의 손실곡선을 이용하여 분포자기장 계산법에 따라 부위별 손실을 계산하고 이 값들을 합산하여 전체 손실을 구하였다. Table I.은 이때의 손실해석결과이다. 이 결과 Fig. 2과 Fig.3의 자기장 분포에서 비교된 것과 같이 2/4극 겸용코어가 2극 전용코어보다 손실이 약19.26[%] 작음을 알 수 있다.

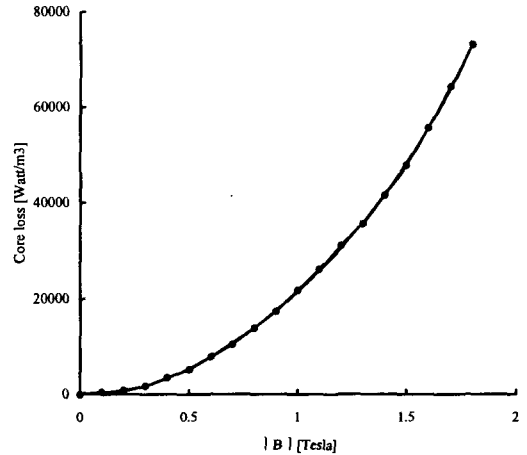


Fig. 4. 해석한 실제 모델의 손실곡선

Table I . Loss [Watt/m]

	2/4극 겸용코어	2극 전용코어	감소율
고정자	382301.01	308659.67	19.26[%]
회전자	344999.66	350261.45	-1.53[%]

### 3. 손실저감을 위한 형상설계

Table I.의 결과와 같이 정자계 유한요소법과 손실곡선을 이용할 경우 코어내부의 손실크기 및 손실분포를 알 수 있다. 이 결과를 바탕으로 2극 전용코어의 효율을 높이기 위해 손실이 크게 나타나는 부분의 형상을 변경하여 손실을 저감하는 형상 설계기법을 사용하였다. Fig. 5.는 이 방법을 이용하여 설계한 고정자의 형상이며, Fig. 6.는 회전자의 형상이다. 고정자는 2극 전용코어에서 손실이 가장 크게 나타나는 부분인 고정자의 외경과 슬롯 사이의 간격을 크게 하였고, 회전자는 Teeth길이와 폭을 줄였다. 이렇게 설계한 코어를 정자계유한요소법을 이용하여 해석하고, 이 결과를 손실곡선에 적용하여 손실을 구하였다. Fig. 7.는 이때의 자기장분포이며, Table II.은 손실결과이다.

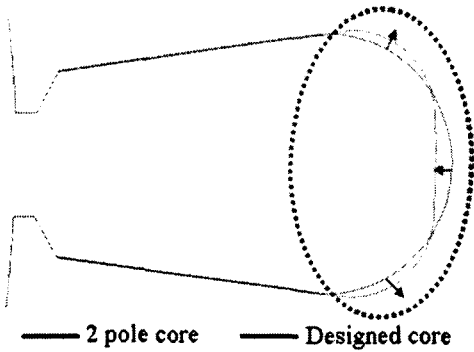


Fig. 5. 고정자의 형상설계

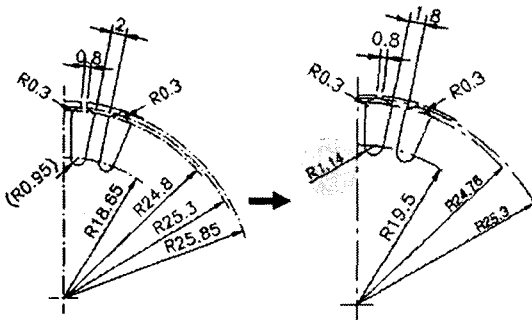


Fig. 6. 회전자의 형상설계

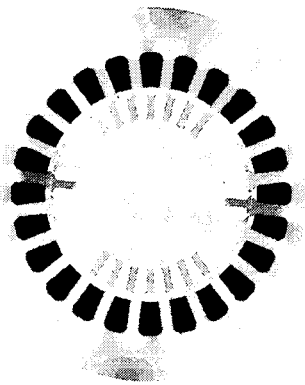


Fig. 7. 형상 설계한 코어의 자기장 분포

### 3. 결 론

전기기기가 급속히 발달하면서 전기기기의 핵심 부분인 Motor의 효율은 매우 중요한 부분이 되고 있다. Motor의 효율을 높이는 방법에는 전류를 제어하는 방법과 코어 자체의 손실을 줄이는 방법이 있다. 이 중 코어 내부의 손실을 줄이는 방법은 코어내부의 정확한 손실분석이 이루어져야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 정자계 유한요소법과 손실곡선을 이용한 손실해석방법을 제시하였다. 이 방법은 먼저 정자계 유한요소법을 이용하여 코어의 자기장 분포를 해석하고, 이 자기장 값을 손실곡선에 적용하여 손실을 계산한 후, 자기장분포와 손실 결과를 바탕으로 손실이 큰 부분의 형상을 변경하는 설계방법이다. 이는 설계상의 시간과 비용을 절약할 수 있다. 이 손실해석기법과 형상설계기법을 이용하여 2극 전용코어를 설계한 결과 고정자손실은 약12.38[%], 회전자손실은 약 4.95[%] 저감하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Shimoji, H.; Enokizono, M.; Todaka, T. . "Iron loss and magnetic fields analysis of permanentmagnet motors by improved finite element method with E&S model," Magnetics, IEEE Transactions on , Volume: 37 Issue: 5 , Sept. 2001
- [2] 오기진 , 황재경, 조찬익, 이석민, 한송엽 위탁연구책임 [공]연구, "콘덴서 운전형 고효율 단상 유도전동기 개발에 관한 연구, 최종보고서, Development of high efficiency condenser-run single phase induction motor", (주)울지전기 사업주관연구, 기초전력공학 공동 연구소 위탁연구, 2000.
- [3] 한정삼, "유도전동기의 소음과 진동 저감을 위한 프레임의 형상 최적설계", 한국 과학기술원, 1992.
- [4] 이강수, "Noise/Vibration Analysis of Induction Motors and Indirect Identification of Distributed Electromagnetic Excitation Forces between Stator and Rotor", 한국 과학 기술원, 1997.
- [5] 정중호, 이은웅, 조현길, "Analysis of the Airgap Permeance Distribution for Slot Type of the Induction Motor", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 717-719, 2003.
- [6] 심호경,, 강제남, 왕세명, 김종봉, 정태욱, "Analysis and Design of High Efficiency Single Phase Induction Motor using Magnetic Wedge", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 837-839, 2003.

Table II. Loss [Watt/m]

	2극 전용코어	설계한 코어	감소율
Stator	308659.67	270457.77	12.38[%]
Rotor	350261.45	332918.26	4.95[%]