

100W급 단상직권 정류자 전동기의 최적설계

서영택\* · 이우석\*\* · 공정식\*\*\* · 오철수<sup>§</sup> · 배상한<sup>§§</sup>  
 구미1대학\* · 부산정보대학\*\* · 서라벌대학\*\*\* · 경북대<sup>§</sup> · 유니텍(주)<sup>§§</sup>

Optimal Design of 100W Class Single Phase Series Commutator Motor

Young-Taek Seo · Woo-Suk Lee · Jung-sik Gong · Jung-wook Roh · Chul-Soo Oh · Sang-Han Bae  
 Kumi College · Pusan College of I.T · Sorabol College · Kyungpook Nat. Uni. · Unitek.

**Abstract** - Single phase series commutator motors is widely used in various home appliances, such as vacuum cleaner, electric mixers, electrical tools, etc. This paper deals with the characteristics of single phase series commutator motors of which parameters varied with stator turns and stack length to find optimal electric and magnetic loading. We try to measure these data through the experiments with several prototype motors. The experimental results show some specific stator turns and stack length with which this motor has the highest efficiency.

표 1 전동기의 제원

Table 1 Specification of motor

구분	규격
공극	0.35 mm
회전자 슬롯수	18
회전자 권선수	63
고정자 권선수	160~420
전기자권선 직경	0.32 mm
계자권선 직경	0.60 mm
정격 전압	220V
브러시 정류각	18°

1. 서론

단상 직권정류자전동기는 직류와 교류전원 모두에 사용이 가능할 뿐 아니라, 교류전원을 사용할 경우 계자권선과 전기자권선이 직렬로 연결되어 있기 때문에, 두 권선을 지나는 전류의 방향이 동시에 바뀌므로 항상 같은 방향의 토크가 발생된다. 이러한 단상 직권정류자전동기는 기동토크가 크고 고속회전이 가능할 뿐만 아니라, 속도 제어가 용이하기 때문에 생활주변에 널리 사용되고 있다. 그럼에도 불구하고, 대부분 경험적 설계에만 의존함으로써 효율을 비롯한 성능의 최적화를 이루고 있지 못한 실정이다.

본 논문에서는 100W급 단상 직권정류자전동기의 장하비가 전동기특성에 미치는 영향을 해석하기 위해, 계자권회수의 변화에 따른 전동기특성의 변화를 고찰하였으며, 동시에 전동기의 축 방향 길이(성층두께)를 변화시켜 가장 효율이 높은 계자 권회수와 전동기의 축 방향 길이를 선정하고자, 상용패키지 Maxwell-3D를 이용한 유한요소법으로 시뮬레이션하여, 전동기의 최대효율과 원가절감에 가장 적합한 모델을 제시하고자 한다. 또한 계자철심의 면적에 대응되는 최대의 효율과 출력을 발생하는 계자권회수와 전동기의 축 방향 길이를 찾고, 아울러 이 점에서의 정류특성 등을 분석하고자 한다.

2. 해석모델 및 이론

2.1 해석모델

단상 직권정류자 전동기는 응용분야가 다양하여 가정용 및 산업용공구 등으로 광범위하게 사용되고 있으며, 본 논문에서는 가정용 믹서기로 사용되는 100W급의 전동기를 모델로 선정하여, 이론적 해석과 실험을 통해 최적 설계요소를 찾아 내하고자 한다. 해석대상 전동기의 제원은 표 1에 나타내었다. 선정된 전동기의 계자극은 2극이며, 동일 조건하에서 계자철심과 전기자철심을 0.5mm 두께의 S60 규소강판으로 각각 15mm, 20mm, 25mm, 30mm 두께로 성층하였다.

2.2 기본식

단상 직권정류자전동기의 기본적인 전압방정식은 직류 직권전동기와 같으며 식 (1)과 같다.

$$V = I_a(R_f + R_a) + jI_a(X_f + X_a) + E_a \quad (1)$$

역기전력과 토크방정식 역시 교류전원을 사용한다는 점을 제외하면, 직류직권전동기와 유사하며 각각 식 (2)와 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$E_a = k_a \Phi \omega_m \cos \omega t \quad (2)$$

$$T = k_a \frac{\Phi}{2} I_{dm} (1 + \cos 2\omega t) \quad (3)$$

여기서,

$E_a$ 는 전기자의 역기전력,  $k_a$ 는 전동기의 기계상수,

$\Phi$ 는 계자자속의 최대치,  $\omega_m$ 는 기계적 속도,

$I_{dm}$ 는 전기자전류의 최대치를 나타낸다.

2.3 전기장하와 자기장하 특성식

전동기 설계에서 최대의 효율을 낼 수 있는 전기장하를 선정하는 것이 바람직한데, 이는 손실에 따른 기기의 온도상승과 밀접한 관계가 있기 때문이다. 또한, 허용온도의 최대값은 절연재료에 의해 결정되고 도체수의 변화는 슬롯의 면적에 비례하게 되며, 이는 치의 폭과 깊이에 의해 제한을 받는다. 이러한 관계를 고려한 총 전기장하  $A_t$ 와 전기장하  $A_a$ 의 관계식은 다음과 같다.

$$A_t = I_z Z \quad (4)$$

$$A_a = \frac{I_z Z}{\pi D} \quad (5)$$

여기서,  $I_z$  전기자 도체전류

Z 전기자 도체수  
D 전기자 직경

자기장하는 자속밀도의 최대치가 포화영역에 들지 않도록 하며, 회전자 치표면에서 최대자속이 발생하게 설계 되어져야 한다. 누설자속을 무시할 수 있다고 가정했을 때, 공극을 지나는 자속선은 모두 전기자 치를 통과하기 때문에 자속밀도와 전기자 치 자속밀도의 관계를 식으로 나타낼 수 있으며, 소형기의 경우 일반적으로 2.5 ~ 3.25정도이다.

총 자기장하  $B_t$ 와 자기장하  $B_{av}$ 의 식은 다음과 같이 나타낸다.

$$B_t = p\phi \quad (6)$$

$$B_{av} = \frac{p\phi}{\pi DL} \quad (7)$$

여기서,

$p$ 는 극수,  $\phi$ 는 극당자속,  $L$ 은 코어축길이

$$B_{av}\pi DL = B_t W_i L S \quad (8)$$

$$\frac{B_t}{B_{av}} = \frac{\pi D}{W_i S} \quad (9)$$

여기서,

$W_i$ 는 치의 가장 좁은 폭,  $S$ 는 슬롯수 이다.

## 2.4 시뮬레이션

장하비 특성을 해석하기 위하여 균일한 공극과 공극의 투자율을 일정하게 두고, 누설자속은 없다는 가정하에 Matlab을 사용하여 계자권회수의 변화에 따른 전류값과 전기장하와 자기장하의 배분을 알기 위하여 계자축기자력에 의한 전기장하와 자기장하의 값을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 전기장하와 자기장하의 배분에 있어 권회수 300회 부근에서 가장 좋은 결과가 나타났으며, 자기장하의 값이 클수록 자기적 중성축의 이동으로 인한 정류손실의 증가 현상을 알 수 있었다.

그림 1에서 그림 3까지는 정속도 운전에서의 전류, 자기장하, 전기장하의 시뮬레이션 결과를 나타내는 그림이다.

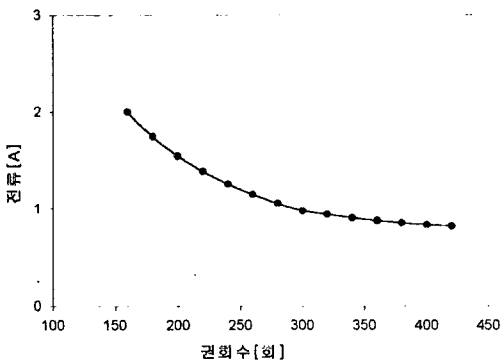


그림 1 정속도에서의 전류특성  
Fig. 1 Current characteristics in constant speed

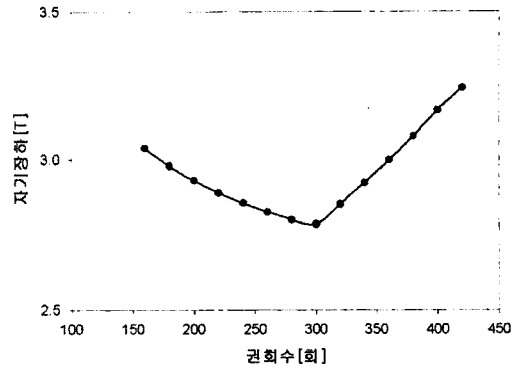


그림 2 정속도에서의 자기장하  
Fig. 2 Magnetic loading in constant speed

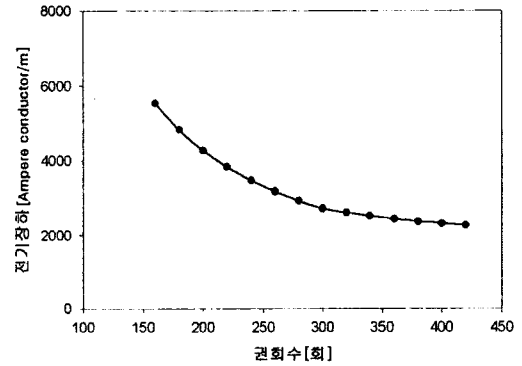


그림 3 정속도에서의 전기장하  
Fig. 3 Electric loading of constant speed

## 3. 실험 및 결과 고찰

그림 4는 실험장치의 회로구성도를 나타낸다.

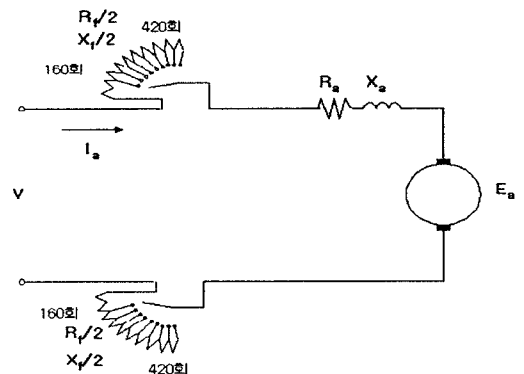


그림 4 전동기의 실험 회로도  
Fig. 4 Experimental circuit of motor

실험은 축 방향 길이가 다른 각 전동기의 계자극 권회수를 극당 160회에서 420회까지 20회씩 증가시키면서 정격전압을 인가하여, 각 권회수의 변화에 따른 0.1Nm

의 일정토크로 고정시킨 경우의 출력, 효율, 역률의 변화상태를 측정하였다. 각 모델별 실험의 반복에 의해 축방향 길이에 따른 최적의 권회수를 찾고, 오실로스코프를 이용해 전압 및 전류의 파형을 관측하여 역률과 정류상태를 관측하였다.

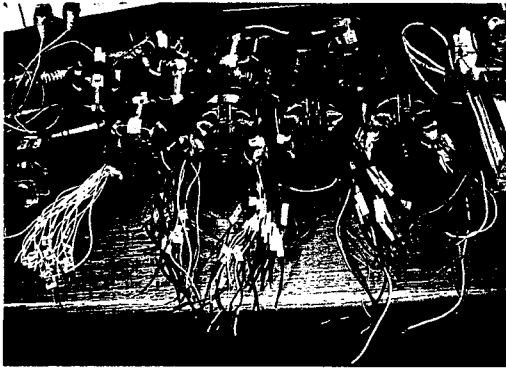


그림 5 실험용 각 전동기  
Fig. 5 Prototype motors

그림 6은 축방향 길이가 다른 각 전동기의 계자 권회수 변화에 따른 출력 특성으로, 계자쪽의 자기장하를 결정하는 권회수는 250회에서 300회 부근이 가장 높은 출력을 발생하고 있음을 알 수 있다. 발생 출력은 축방향 길이가 작을수록 높게 나타나고 있으나 출력에 비례하여 전동기의 과열현상이 현저하게 나타났다.

그림 7은 효율 특성 곡선으로 계자 권회수 300회에서 350회 부근이 가장 높은 효율로 운전됨을 알 수 있다. 효율 특성은 축방향 길이 25mm에서 가장 높게 나타나고 있으며, 최대효율이 약 63%정도로 나타나고 있다. 축방향 길이 15mm의 경우 계자 권회수 300회 이하에서 매우 높은 출력을 발생하고 있으나, 효율은 계자 권회수의 감소와 함께 매우 감소함을 알 수 있다. 그러나 계자 권회수 320회 이상에서의 효율은 축방향 길이 25mm 이외의 세 모델 모두 비슷한 효율을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 최적운전을 만족하는 계자 권회수가 300회 부근에서 집중됨을 알 수 있었다.

그림 8은 역률 특성곡선으로 각 모델 모두 비슷한 역률을 나타내고 있으며, 권회수가 높아질수록 역률은 제하함을 알 수 있다.

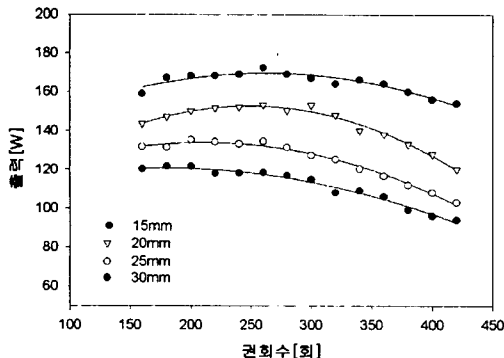


그림 6 출력 특성  
Fig. 6 Characteristics of output power

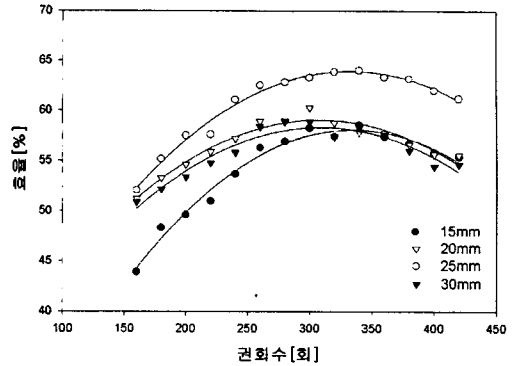


그림 7 효율 특성  
Fig. 7 Characteristics of efficiency

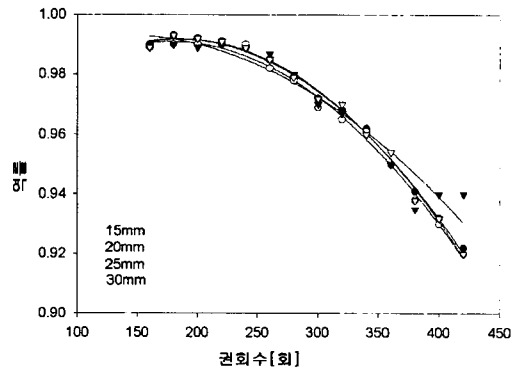


그림 8 역률 특성  
Fig. 8 Characteristics of power factor

#### 4. 결 론

본 논문에서는 100W급 단상직권 정류자 전동기의 전기장하와 자기장하의 변화에 따른 각종 특성을 분석하였다. 최적의 운전조건을 보이는 계자권회수에 대해 축방향 길이 변화에 따른 특성을 시뮬레이션하고, 실험을 통해 계자철심의 면적에 대응되는 최대의 효율과 출력을 발생하는 계자권회수와 전동기의 축 방향 길이를 찾을 수 있었으며, 이 점에서의 정류특성 또한 매우 양호하게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 정류특성과 전기자 반작용에 대한 연구가 이루어진다면 최적의 표준화된 설계가 가능할 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Cuneyt Ozturk, Birdal Gok, Haruz Acikgoz, Ahmet Balikioglu, "Noise Emission of Universal Motor Drives", *IEEE Industry Applications Magazine*, July/August, pp. 49-54, 1998
- [2] T. Matsuda, T. Moriyama, N. Konda, Y. Suzuki, Y. Hashimoto "Method of analysing the commutation in small universal motors" *IEE Proc-Electr. Power Appl.*, Vol. 140, No. 2, pp.123-130, March 1995
- [3] S. Suzuki, K. Kurihara, H. Mase, K. Takahashi, "RF Noise Associated with Time Varying Arc Current across Brush and Commutator in Universal Motors", *IEE Japan*, Vol.118-D. No. 6. pp. 773-779, 1998