

환풍기용 외전형 단상 브러시리스 직류전동기 개발

(Development of Single-phase Brushless DC Motor with Outer Rotor for Ventilation Fan)

박용운* · 정학균 · 조주희 · 소지영 · 정동화 · 김대경**

(Yong-Un Park · Hak-Gyun Jeong · Ju-Hee Cho · Ji-Yong So · Dong-hwa Jung · Dae-Kyong Kim)

Abstract

This paper is development of single-phase brushless DC motor with outer rotor for ventilation fan. Cogging torque causes the noise · vibration to greatest impact on ventilation fan. Asymmetric notches are applied to tapered-teeth for cogging torque reduction of single-phase brushless DC motor. Initial model is notchless and proposed model is applied 2 asymmetric notches. The proposed method is proved motor characteristic through finite element analysis(FEA). Also, experimental results verify that the proposed model considerably reduces cogging torque and have the good sound quality in ventilation system.

Key Words : Brushless DC Motor, Cogging Torque, Finite Element Analysis, Single-Phase Motor, Ventilation Fan

1. 서 론

환풍 시스템의 경우 대부분 AC 유도전동기가 적용되고 있지만, 최근 환경문제에 대한 관심과 불안한 전력수급 문제로 에너지 절약에 대한 중요성이 강조되

면서 AC 유도전동기에 비해 효율이 좋은 3상 브러시리스 직류 전동기의 사용이 증가하는 추세이다. 그러나 3상보다는 단상이 가격적인 측면에서 더 유리하여 단상 브러시리스 직류전동기의 연구개발도 활발히 시도되고 있다[1-3].

일반적인 단상 브러시리스 직류전동기(Single-phase Brushless DC Motor, Single-phase BLDCM)는 회전자의 위치가 토크가 발생하지 않는 구간에 정렬되어 초기기동에 실패할 수 있다. 이를 해결하기 위해 고정자의 형상을 비대칭으로 구성하며, 비대칭으로 구성하는 방법도 많은 연구가 되어지고 있으며[4-5], 그림 1은 현재 많이 사용되어지는 고정자의 비대칭을 적용한 일반적인 단상 브러시리스 직류전동기의 형상을 보여주고 있다. 이러한 고정자 비대칭 구성은 환풍기의 중요한 요인중 하나인 소음 · 진동의 원인중 하나인 코깅토크에도 큰 영향을 주게되므로 코깅토크저감

* 주저자 : 순천대학교 전기공학과 석사과정
Tel : 061-753-3546, Fax : 061-753-3546

E-mail : pyu77@sunchon.ac.kr

** 교신저자 : 순천대학교 전기 제어공학과 조교수
Tel : 061-750-3546, Fax : 061-753-3546

E-mail : dkkim@sunchon.ac.kr

* Main author : Master course, Department of Electrical Engineering, Sunchon National University, Korea

** Corresponding author : Assistant Professor, Department of Electrical Control Engineering, Sunchon National University, Korea

접수일자 : 2013년 4월 2일

1차심사 : 2013년 4월 10일

심사완료 : 2013년 6월 10일

이 필수적이다. 코깅토크를 저감하기 위한 방법에는 공극의 길이 증가, 슬롯이나 극의 수 증가, 회전자 또는 고정자치에 노치 적용, 회전자 또는 고정자에 스쿠 등의 방법들이 있다[6-10].

본 논문은 환풍기용 외전형 단상 브러시리스 직류전동기 개발에 관한 것으로 고정자 치에 2개의 노치를 비대칭으로 구성하여 코깅토크를 저감하였다. 노치가 없는 초기모델과 비대칭 노치를 적용한 제안모델의 유한요소해석을 통한 특성비교를 하여 제안한 방법의 타당성을 검증하였고, 제안모델을 제작하여 특성 및 소음시험을 통해 본 논문의 타당성을 입증하였다.

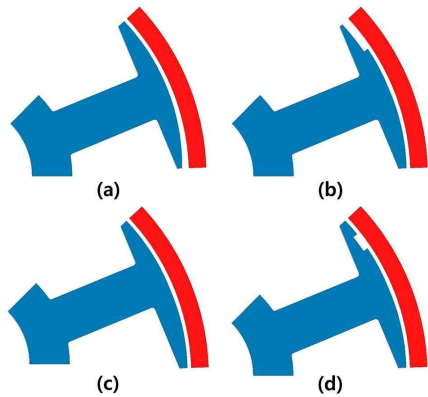


그림 1. 비대칭 고정자 형상설계 방법
 (a) 비대칭 공극 (b) 부분 비대칭 공극
 (c) 비대칭 고정자치 (d) 부분 노치
 Fig. 1. Design method of asymmetric stator
 (a) Tapered-air gap (b) Stepped-teeth
 (c) Asymmetric-teeth (d) Notched-teeth

2. 환풍기용 단상 브러시리스 직류전동기 설계

환풍 시스템에 적용하기 위한 단상 브러시리스 직류전동기 개발을 위해 표 1과 같이 모터의 설계 사양 및 제원을 설정하였다.

개발된 단상 브러시리스 직류전동기는 극수와 슬롯수가 1:1이 되어야 하고 권선공간의 확보와 효율성을 고려하여 8극 8슬롯의 구조를 채택하였다. 환풍 시스템을 고려하여 외경을 94mm로 하고, 회전자와 고정자 사이의 공극을 0.7mm로 하였다. 그림 2는 이러한

설계사양과 제원을 바탕으로 제작된 단상 브러시리스 직류전동기를 보여주고 있다.

표 1. 단상 브러시리스 직류전동기의 설계 사양 및 제원
 Table 1. Design specification of single-phase BLDCM

Item		Spec.	
Input voltage	Vac	220	
Rated output power	W	120	
Rated Torque	N · m	0.38	
Rated speed	rpm	3000	
Efficiency	%	70	
Stator	Number of slots		8
	Outside diameter	mm	80
	Stack length	mm	30
	Material		S23_0.5T
Winding Spec.		Φ0.55 × 147	
Rotor	Number of poles		8
	Outside diameter	mm	94
	Air gap	mm	0.7
	Magnet thickness	mm	4
	Magnet material		Ferrite

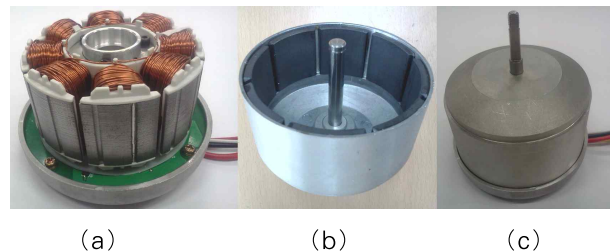


그림 2. 제작된 단상 브러시리스 직류전동기
 (a) 고정자 (b) 회전자 (c) 조립된 전동기
 Fig. 2. Manufactured single-phase BLDCM
 (a) Stator (b) Rotor (c) Assembled motor

2.1 코깅토크 저감을 위한 고정자 설계

영구자석을 사용하는 전동기는 회전자의 영구자석과 고정자 코어의 자기저항의 변화에 의해 필연적으로 코깅토크가 발생한다. 코깅토크는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{Cogging} = -\frac{1}{2} \phi_g^2 \frac{dR}{d\theta} \quad (1)$$

여기서 ϕ_g 는 공극자속밀도, $d\theta$ 는 회전자의 위치 변

화량, dR 은 자기저항의 변화량이다.

비대칭 공극을 사용하는 단상 브러시리스 직류전동기의 경우 공극의 변화에 따라 자기저항의 변화량이 달라져 코깅토크에 큰 영향을 끼치게 되므로 코깅토크의 저감이 필수적이다. 이러한 코깅토크 저감 방법중 적용이 쉽고, 간단하며 제작 비용면에서 비교적 저렴한 회전자, 고정자의 형상변화를 이용하는 방법이 가장 널리 사용되고 있으며, 본 논문에서도 고정자 치에 노치를 적용한 고정자 형상변화 방법을 사용하였다.

식 (1)에서 나타내는 것과 같이 코깅토크를 최소화하기 위해서는 자기저항의 변화율을 최소화 하여야 한다. 단상 브러시리스 직류전동기의 경우 고정자의 형상을 비대칭으로 설계하게 되므로 고정자 치에 노치를 적용할 경우 노치의 위치 역시 비대칭으로 적용하는 것이 자기저항의 변화율을 줄일 수 있으므로 그림 3과 같이 노치 (a)의 각과 노치 (b)의 각이 서로 다른 비대칭 노치를 적용하였다.

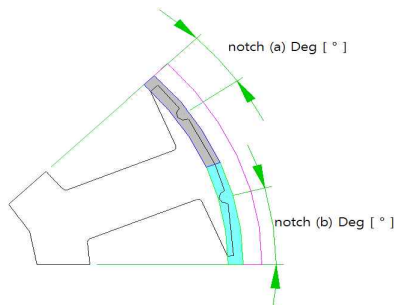


그림 3. 비대칭 노치를 적용한 고정자 형상
Fig. 3. Stator shape with asymmetric notch

3. 유한요소해석을 통한 특성해석

유한요소해석을 위해 1/8 모델링 하고 주기경계조건을 적용하여 코깅토크를 계산하였다. 효율적인 코깅토크 저감을 위해 그림 3의 노치 (a)와 노치 (b)의 위치를 5°~15°까지 5°씩 변경해가며 코깅토크를 계산하였다.

그림 4는 비대칭 노치의 위치각도에 따른 코깅토크 해석결과를 나타낸다. 그 결과 노치 (a) 10°, 노치 (b) 15°에서 코깅토크가 43.6mNm으로 최소화됨을 보였고, 초기모델과 비교하였을 때 약 29.5% 저감되었다.

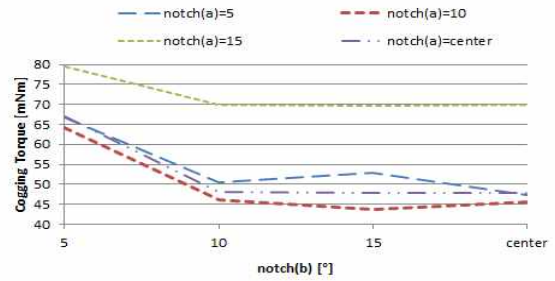
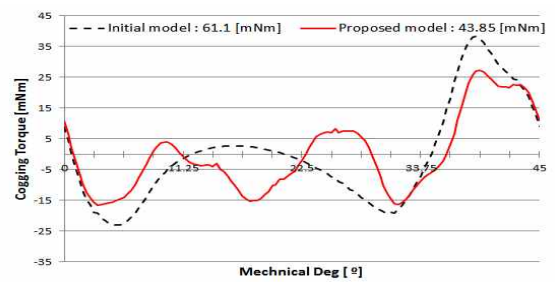
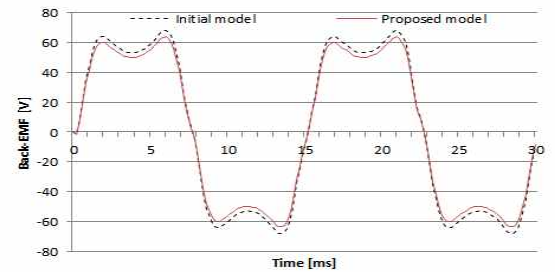


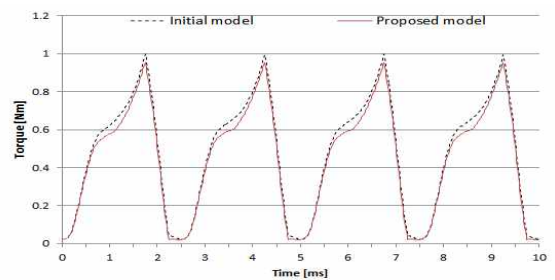
그림 4. 노치 위치에 따른 코깅토크
Fig. 4. Cogging torque according to notch position



(a)



(b)



(c)

그림 5. 초기모델과 제안모델의 특성비교 (a) 코깅토크 (b) 역기전력 (c) 토크
Fig. 5. Characteristic comparison of initial model and proposed model (a) Cogging torque (b) Back-EMF (c) Torque

그림 5는 초기모델과 제안모델의 특성을 비교한 파형을 보여준다. 역기전력 및 토크는 목표사양을 만족함을 보여준다. 그림 6은 자속선을 나타낸다.

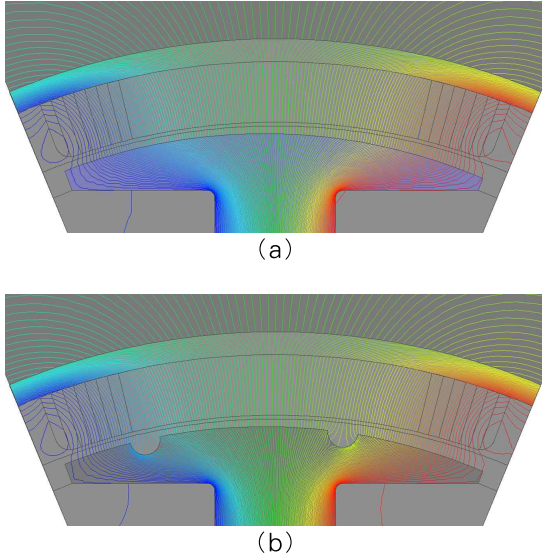


그림 6. 자속선
(a) 초기모델 (b) 제안모델
Fig. 6. Flux line
(a) Initial model (b) Proposed model

4. 실험 및 고찰

실험은 제안한 모델을 실제로 제작하여 특성시험을 하였다. 그림 7은 전동기특성 측정을 위한 실험장비 구성을 보여준다. 그림 8은 전동기 특성시험 결과를

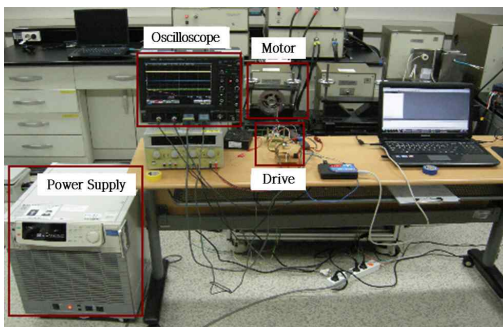


그림 7. 전동기특성 측정을 위한 실험장비 구성
Fig. 7. Test equipment for measuring the motor characteristic

보여준다. 그림 8 (a)와 (b)는 각각 코깅토크 및 역기전력 파형을 보여주고 있으며 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 보여주고 있다. 그림 8 (c)는 부하시험을

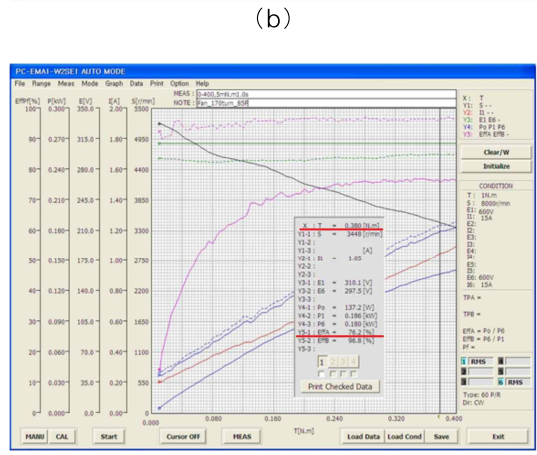
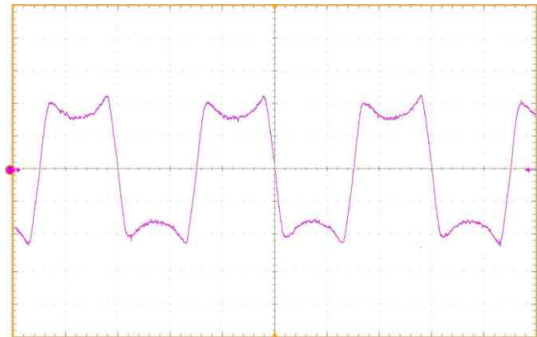
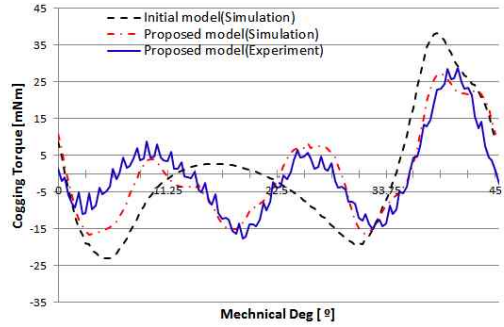


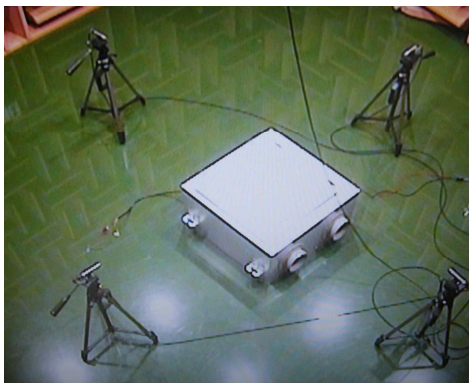
그림 8. 전동기 특성 시험결과 (a) 코깅토크
(b) 역기전력(30V/div., at 1,000rpm)
(c) 부하시험
Fig. 8. Experimental results of motor characteristic (a) Cogging torque
(b) Back-EMF(30V/div., at 1,000rpm)
(c) Load test

보여주고 있으며 정격 토크 0.38N·m, 속도 3448rpm, 출력 137.2W, 효율 76.2%로 목표사양을 모두 충족시키는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 제안한 단상 브러시리스 직류 전동기 제작하여 조립된 환풍기를 보여주고 있다. 그림 10은 조립



그림 9. 조립된 환풍기
Fig. 9. Assembled ventilation fan



(a)



(b)

그림 10. 환풍 시스템의 소음 시험 (a) 소음측정 시험 장비 (b) 평균 소음측정 결과
Fig. 10. Sound test of ventilation system (a) Equipment for sound test (b) Average sound test result

된 환풍 시스템의 소음 시험을 보여주고 있다. 소음시험의 경우 팬에 대한 규정에 따라 압소음이 20dB 이하인 무향실에서 흡입측으로부터 1m 떨어진 지점에서 정격 풍량으로 10분간 예열 운전 후 100초 동안 소음시험을 진행하였다. 그림 10 (b) 평균 소음 측정결과를 보여주고 있으며 49.6dB로 환풍 시스템에 적용가능한 양호한 결과가 나왔다.

5. 결 론

본 논문은 환풍기용 외전형 단상 브러시리스 직류전동기 개발에 관한 것으로, 비대칭 공극을 가지는 전동기에 비대칭 노치를 적용하였다. 코깅토크를 최소화하기 위해서 비대칭 노치의 위치와 크기를 유한요소 해석을 통해 찾았다. 유한요소 해석을 통해 초기모델과 제안모델의 특성을 비교하였고, 제작된 제안모델 특성시험을 통해 비교 분석하여 제안한 모델의 타당성을 입증하였다.

초기모델에 비하여 제안한 모델이 코깅토크가 약 29.5%가 저감됨을 알 수 있었다.

This work was supported by the New & Renewable Energy of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government Ministry of Knowledge Economy (No. 20113030060010)

References

- [1] Mohammed Fazil and K. R. Rajagopal "A novel air-gap profile of single-phase permanent-magnet brushless DC motor for starting torque improvement and cogging torque reduction," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 46, no. 11, pp. 3928-3932, Nov 2010.
- [2] Ahmed, S., Lefley, P. "Study of the impact of Asymmetrical stator pole arc on the cogging torque for single phase Permanent Magnet BLDC Motor," Electric Power and Energy Conversion Systems, EPECS'09. International Conference, pp.1-4, 2009.
- [3] Chun-Lung Chiu, Yie-Tone Chen and Wun-Siang Jhang "Optimal Driving Efficiency Design for the Single-Phase Brushless DC Fan Motor," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 46, no. 04, pp. 1123-1130, Apr. 2010.

- [4] K. Bung-Il, Y. Byoung-Yull, P. Seung-Chan, and J. Young-Sun "Novel topology of unequal air gap in a single-phase brushless DC motor," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 37, no. 5, pp. 3723-3726, Sep 2001.
- [5] Weizi Wang, Zhigan Wu, Wanbing Jin and Jianping Ying "Starting Methods for Hall-less Single Phase BLDC Motor," IECON conference of IEEE, 2005.
- [6] Y. Chen, S. Chen, Z. Q. Zhu, D. Howe, and Y. Y. Ye "Starting torque of single-phase flux-switching permanent magnet motors," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 42, no. 10, pp. 3416-3418, Oct 2006.
- [7] Chun-Lung Chiu, Yie-Tone Chen and Wun-Siang Jhang "Properties of cogging torque, starting torque, and electrical circuits for the single-phase brushless DC motor," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, no. 10, pp. 2317-2323, Oct 2008.
- [8] Der-Ray Huang, Tai-Fa Ying, Shyh-Jier Wang, and Chi-mou Zhou "COGGING TORQUE REDUCTION OF A SINGLE-PHASE BRUSHLESS DC MOTOR," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 34, no. 4, pp. 2075-2077, July 1998.
- [9] D. R. Huang, C. Y. Fan, S. J. Wang, H.P. Pan. T. F. Ying, C.M. Chao and Eric G. Lean "A New type single-phase spindle Motor for HDD and DVD," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 35, no. 2, pp. 839-844, Mar 1999.
- [10] Anton Hamler, Bozidar Hribernik "Impact of Shape of Stator Pole of One Phase Brushless Motor on Cogging Torque," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 32, no. 3, pp. 1545-1548, May 1996.

◇ 저자소개 ◇



박용운 (朴龍雲)
1985년 5월 18일생. 2012년 순천대 대학교 전기제어공학과 졸업. 2012년~현재 동 대학원 전기공학과 재학중(석사).



정학균 (鄭學均)
1986년 4월 18일생. 2012년 순천대 대학교 전기제어공학과 졸업. 2012년~현재 동 대학원 전기공학과 재학중(석사).



조주희 (趙柱熙)
1974년 7월 1일생. 2001년 한양대 전자 컴퓨터공학부 졸업. 2003년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(석사). 2004년 현대로템 중앙연구소 연구원. 2004~2009년 (주)코모텍 부설 연구소 책임(연). 현재 전자부품연구원 디지털컨버전스 연구센터 선임(연).



소지영 (蘇智永)
1960년 11월 20일생. 1983년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년~현재 국립 순천대학교 전기제어공학과 교수.



정동화 (鄭東和)
1955년 8월 15일생. 1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대학교 전기제어공학과 교수.



김대경 (金大慶)
1972년 9월 27일생. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(박사). 2001~2005년 삼성전자 가전연구소 선임연구원. 2005~2011년 전자부품연구원 디지털 컨버전스연구센터 센터장. 2011년~현재 순천대학교 전기제어공학과 조교수.