

# 비대칭 Sloping 노치를 적용한 단상 BLDC 전동기의 코깅토크 저감 방법

## Cogging Torque Reduction Method of a Single-Phase BLDC Motor using Asymmetric Sloping Notch

박 용 운\* · 소 지 영\* · 우 경 일\*\* · 김 대 경†  
(Young-Un Park · Ji-Young So · Kyung il Woo · Dae-Kyong Kim)

**Abstract** - This paper studied cogging torque reduction effect for sloping notch applied two notches on stator teeth. We have confirmed accuracy of FEM(Finite Element Method) through comparison previous model using asymmetric notch for experiment and 3D FEM results, and then cogging torque comparison of previous model and sloping notch model. Also the sloping notch model has been modified to step-sloping notch model to consider manufacture. The modification method of sloping notch changed the degree of slope of notch (a)(Notch(a) sloping Deg) and the degree of Slope of notch (b)(Notch(b) Sloping Deg). When Cogging torque is case of minimum, Notch (a) Sloping Deg is  $-12[^\circ]$  and Notch(b) Sloping Deg  $12[^\circ]$ . In this case, cogging torque was about 23.9[mNm]. Cogging torque of previous model is about 40.8[mNm], so sloping notch model is less than previous model by 41.42[%]. Also, if sloping notch model is changed to step-sloping notch model, cogging torque of step-sloping notch model is about 24.82[mNm], Therefore the difference between the two cogging torque is about 3.85[%], so step-sloping notch model can be applied when considering manufacture.

**Key Words** : Cogging torque, Single-Phase BLDC motor, Sloping notch

### 1. 서 론

최근 화석에너지 고갈 우려와 환경문제에 대한 관심이 고조되면서 에너지 절약에 대한 중요성이 강조되고 있다. 이에 발맞춰 전동기 개발 역시 고효율에 초점을 두고 개발되는 추세로 고성능 희토류 영구자석이 등장으로 전동기의 토크 및 출력밀도, 효율 등 전동기의 성능을 비약적으로 향상시킬 수 있는 계기가 되었다[1].

BLDC(Brushless Direct Current) 전동기의 경우 영구자석을 사용한 전동기로 코깅토크가 발생하는 단점이 있다. 진동 소음의 원인이 되는 코깅토크를 저감하기 위한 형상 설계가 필수적으로 수반된다[2][3]. 이러한 코깅토크를 저감하기 위해 많은 방법들이 있으나 적용이 쉽고, 제작 비용 면에서 비교적 저렴한 회전자, 고정자의 형상변화를 이용하는 방법이 가장 널리 사용되고 있는 추세이다[4]. 노치 적용 또한 회전자 및 고정자의 형상변화를 이

용하는 방법 중 하나이며 노치의 위치 및 크기 등을 변수로 하여 적용하는 방법 등이 연구되어지고 있다[5][6].

본 논문에서는 코깅토크를 저감하기 위해 고정자 치에 기존과는 다른 2개의 노치를 적용하였다. 2개의 노치는 서로다른 비대칭 위치에 서로 다른 각도의 사선으로 되어진 Sloping 노치를 사용하였다. 하지만 이 경우 사선으로 각도를 주어 제작하게 되면 제작이 쉽지 않아 노치를 사용하는 이점이 줄어든다. 이에 제작을 용이하게 하기 위하여 사선 각도를 나누어 적용하는 Step-Sloping 노치를 적용하였다. 코깅토크 저감을 위해 노치의 위치, 크기 및 각도 등을 고려하여 적용하였다. 비대칭 노치가 적용된 기존모델의 코깅토크 실험결과와 3D 해석결과 비교를 통해 3D 해석의 정확성을 검증한 후 기존모델, Sloping 노치 모델과 Step-Sloping 노치 모델의 특성분석 결과 비교를 통해 본 논문의 타당성을 검증하였다.

### 2. 외전형 BLDC 전동기의 코깅토크[7]

코깅토크는 영구자석을 사용하는 전동기에서 필연적으로 발생되는 고정자의 비균일 토크로서 전동기의 자기에너지가 최소인 위치 즉 평형상태로 이동하려는 반경방향의 토크를 의미한다. 이러한 코깅토크는 전동기의 소음 및 진동의 원인이 되므로 영구자석을 이용한 전동기 설계시 반드시 코깅토크를 고려하여 설계하

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Control Engineering & GREEN ENERGY Research Institute, Suncheon national University, Korea.

E-mail: dkkim@suncheon.ac.kr

\* Major of Electrical Engineering & GREEN ENERGY Research Institute, Suncheon national University, Korea.

\*\* Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea.

Received : August 18, 2017; Accepted : October 30, 2017

여야 한다[8].

BLDC 전동기를 분류할 때, 크게 회전자 표면에 영구자석이 붙어있는 SPM 유형과 회전자 내부에 영구자석이 삽입되어진 IPM 유형으로 분류가 가능하다. 본 논문에 사용된 전동기는 SPM유형의 BLDC 전동기로서 이론적인 해석 방법을 통한 코깅 토크는 일반 토크와 같이 회전자의 회전량에 따른 에너지의 변화량 이므로 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{cog} = - \frac{\Delta W(\alpha)}{\Delta \alpha} \quad (1)$$

여기서  $T_{cog}$ 은 코깅토크,  $\Delta W(\alpha)$ 는 에너지의 변화량,  $\Delta(\alpha)$ 는 회전자의 회전량이다. 에너지 변화는 공극부분에서 발생하므로, 공극부분의 에너지만을 고려하여 코깅토크를 구할 수 있다. 코깅토크는 입력전류와는 상관없으므로 영구자석에 의한 공극 에너지만을 고려하면 되며 공극 에너지는 식 (2)과 같으며, 공극 기자력 함수와 공극 퍼미언스 함수는 식 (3)으로부터 구할 수 있다[7][8].

$$W(\alpha) = \frac{1}{2\mu_0} \int_V \{F(\theta, \alpha) \cdot P(\theta)\}^2 dV$$

$$= \frac{L_s}{4\mu_0} (R_m^2 - R_s^2) \sum_{n=0}^{\infty} B_{nN_L} G_{nN_s} \cos(nN_L \alpha) \quad (2)$$

$$F(\theta) = \frac{g}{\mu_0} B(\theta), \quad P(\theta) = \frac{\mu_0}{g} G(\theta) \quad (3)$$

여기서  $\mu_0$ 는 공극 투자율,  $F$ 는 공극 기자력 함수,  $P$ 는 공극 퍼미언스,  $B$ 는 자속밀도,  $G$ 는 상대공극 퍼미언스,  $\theta$ 는 회전자 움직임이 없을 때 기계각,  $L_s$ 는 고정자의 적층 길이,  $R_s$ 는 고정자 외경,  $R_m$ 은 영구자석의 내경이다.

또한,  $N_s$ 는 슬롯수,  $N_p$ 는 극 수이며 삼각함수의 직교성으로 인해 공극 에너지에 영향을 끼치는 주파수 성분은  $N_s$ 와  $N_p$ 의 최소공배수인  $N_L$ 이다. 이를 통해 공극 에너지 함수를 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

식 (1)에 따라 식 (2)에서 구한 공극에너지를 회전자의 회전각으로 미분함으로써 최종적인 코깅토크를 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다[7][8].

$$T(\alpha) = \frac{L_s \pi}{4\mu_0} (R_m^2 - R_s^2) \sum_{n=0}^{\infty} B_{nN_L} G_{nN_L} n N_L \sin(n N_L \alpha) \quad (4)$$

식 (4)에서 알 수 있듯이  $B_{nN_L}$ 과  $G_{nN_L}$ 값에 의해 코깅토크가 결정되며, 여기서  $G_{nN_L}$ 값은 고정자 치에 노치를 적용하게 되면 상대 공극 함수의 형상이 바뀌게 되고, 유효 슬롯수(실제 슬롯수와 노치수를 합한 개수)가 변함에 따라  $G_{nN_L}$ 의 값이 달라지게 되므로, 노치를 조절하여 적용함에 따라 코깅토크가 저감됨을 알 수 있으며, 본 논문에서는 노치적용의 유효성을 확인하기 위해서 노치 2개를 적용하였다.

### 3. Sloping 노치를 이용한 단상 BLDC 전동기의 코깅토크 저감

#### 3.1 환풍기용 외전형 단상 BLDC 전동기 사양 및 제원

본 논문에 사용된 전동기는 환풍시스템에 적용하기 위한 120[W]급 단상 BLDC 전동기로 설계 사양 및 제원은 표 1과 같으며 전동기 형상은 그림 1과 같다. 단상 브러시리스 직류전동기는 극수와 슬롯수고 1:1이 되어야 하고 권선공간의 확보와 효율성을 고려하여 8극 8슬롯의 구조를 채택하였다. 환풍시스템을 고려하여 외경을 94[mm]로 하고, 회전자와 고정자 사이의 공극을 0.7[mm]로 하였다. 또한 전류밀도를 고려하여 0.55[Φ] 권선을 사용하였으며, Ferrite 영구자석을 사용하였다.

표 1 단상 BLDC 전동기의 사양 및 제원

Table 1 Specifications of the single-phase BLDC motor

Item		Spec.	
Input voltage		[V <sub>rms</sub> ] 220	
Rated output power		[W] 120	
Rated Torque		[N·m] 0.38	
Rated speed		[rpm] 3,000	
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 Br : 0.41~0.43[T]

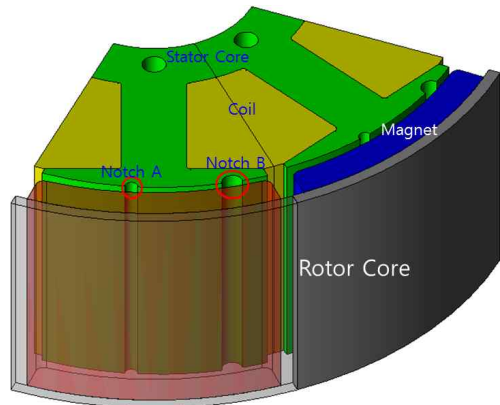


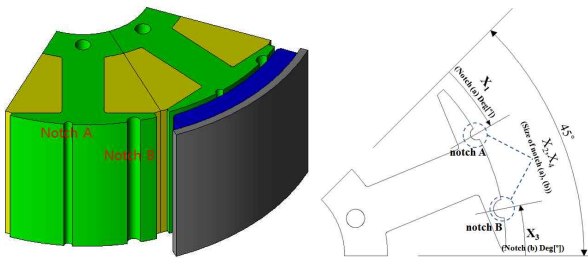
그림 1 단상 BLDC 전동기 형상

Fig. 1 Shape of single-phase BLDC Motor

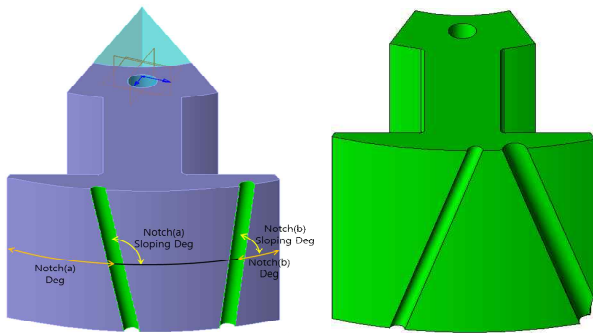
### 3.2 비대칭 및 Sloping 노치를 적용한 고정자 형상

단상 브러시리스 직류전동기의 토크가 발생하지 않는 dead-point 문제를 해결하기 위해 고정자 치를 비대칭으로 설계하였으며, 코깅토크 저감을 위해 적용이 쉽고, 간단하며 제작 비용면에서 비교적 저렴한 방법인 노치를 고정자 치에 적용하였다. 노치 적용 방법은 기존모델의 경우 그림 2(a)와 같이 고정자 치를 중심으로 2개의 노치의 위치 및 크기가 다른 노치가 적용되었다. 본 논문에서 제안한 Sloping 노치의 경우 그림 2(b)와 같이 기존 모델의 적용방법에서 2개의 노치의 각도를 변화시켜 적용하였다.

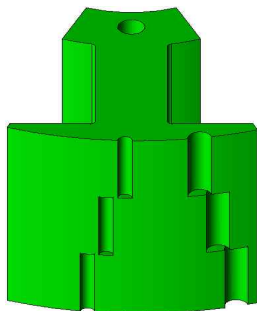
Step-Sloping 노치의 경우 코깅토크 저감을 위해 노치를 적용하는 이유는 다른 방법에 비해 제작에 있어 별도의 비용 없이 비교적 적용하기 쉽기 때문이나 Sloping 노치를 적용하게 되면



(a) 비대칭 노치를 적용한 기존모델



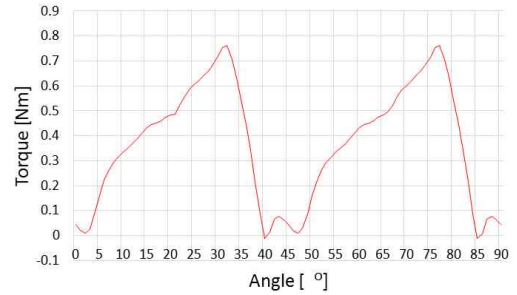
(b) Sloping 노치 모델



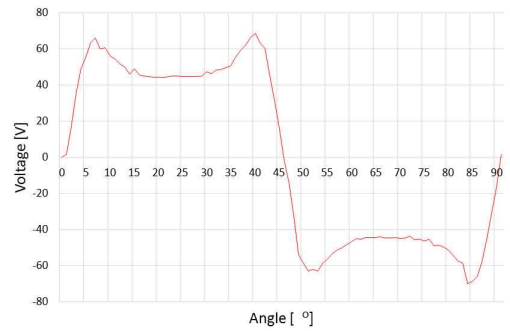
(c) Step-Sloping 노치 모델

그림 2 기존모델 과 Sloping 및 Step-Sloping 노치 형상 및 변수  
**Fig. 2** Parameters and shape of previous, sloping and step-sloping notch model

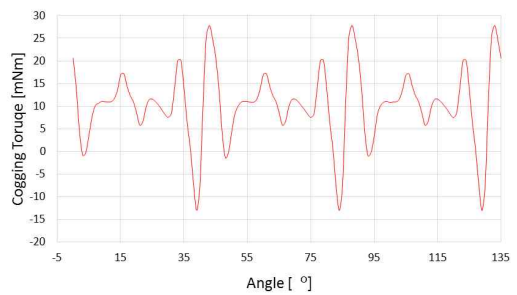
적층 높이에 따른 노치위치의 변화 때문에 제작상 어려움이 생겨 노치를 적용하는 이점이 줄어든다. 따라서 이를 보완하기 위해 그림 2(c)와 같이 Step-Sloping 노치를 적용하였다.



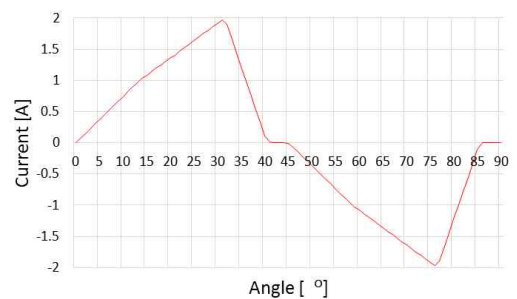
(a) 토크(Average 0.383 [Nm])



(b) 역기전력( V : 49.34[Vrms] at 1,000[rpm])



(c) 코깅토크 ( $T_{pk-pk}$  40.8[mNm])



(d) 입력 전류 파형

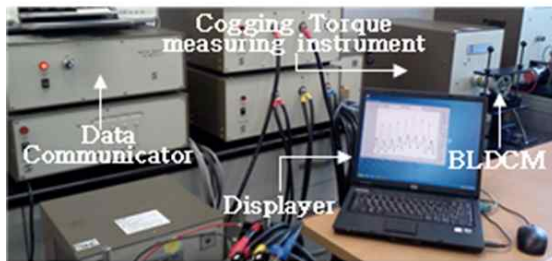
그림 3 기존모델 3D 특성해석 결과  
**Fig. 3** 3D characteristic analysis of Previous model

### 3.3 비대칭 및 Sloping 노치를 적용한 단상 BLDC 전동기의 특성해석

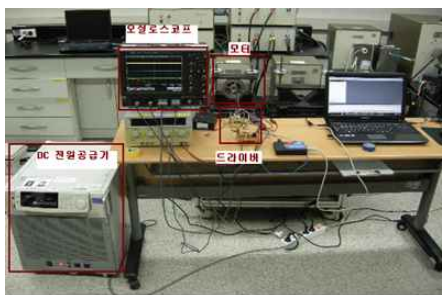
본 논문에서는 3D 유한요소해석 방법을 이용한 특성해석을 통해 코깅토크 결과를 도출하였으므로 3D 유한요소해석 방법의 신뢰성 검증이 필수적이므로 기존모델의 해석결과와 실험결과를 비교하여 3D 유한요소해석 방법의 신뢰성을 입증하였고, 따라서 이후 Sloping 노치 및 Step-Sloping 노치 적용모델의 해석결과를 신뢰할 수 있다.

기존모델의 경우 2D 유한요소해석 및 실험을 통해 비대칭 노치의 코깅토크 영향을 분석 한 바 있다[7-8]. 그러나 Sloping 노치 모델의 경우 형상 특성상 3D 모델링으로만 표현이 가능하여 2D 유한요소해석으로는 불가능 하다. 따라서 기존모델의 2D 유한요소해석을 3D로 변환하여 재해석하였으며 그림 3과 같은 해석 결과와 그림 5의 실험결과를 비교하여 3D 유한요소 해석의 타당성을 검증 후 Sloping 노치 모델의 해석을 진행하였다. 실험 진행을 위한 코깅토크 측정 장비 및 실험 구성은 그림 4와 같으며, 사용한 코깅토크메타는 0.001[%] RPM의 오차율을 가지는 일본 SUGAWARA사 ATH1-50N01 장비를 사용하였다. 그림 2(a)는 비대칭 노치를 적용한 기존 모델 형상을 보여주며 설계사양을 만족 하면서 코깅토크가 최소화될 수 있는 노치의 위치 및 크기를 선정하였다.

3D 유한요소해석 방법을 통해 외전형 단상 BLDC 전동기의 특성해석을 진행하였다. 비대칭 노치가 적용된 기존모델의 경우 특성해석 결과는 그림 4와 같다. 출력 및 토크 등의 특성을 모두 만족하며, 이때 코깅토크는 그림 4(d)와 같으며 약 40.8[mNm]이다. 실험을 통한 코깅토크 측정값은 약 39.8[mNm]이며 오차율



(a) 코깅토크 시험 구성

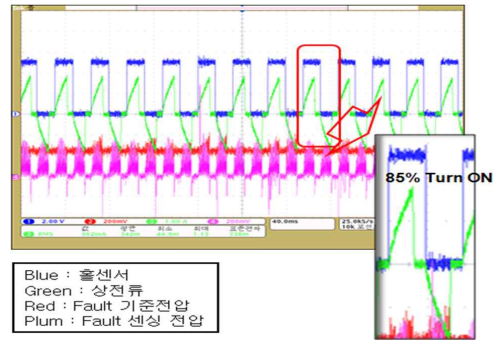


(b) 부하 시험 구성

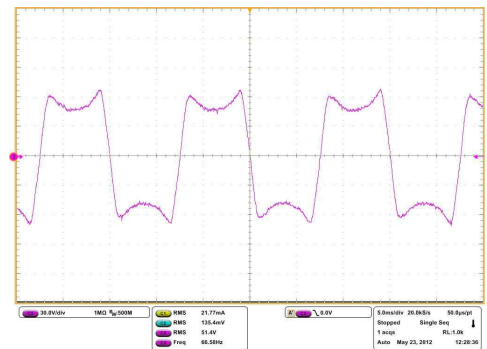
그림 4 코깅토크 및 부하 실험

Fig. 4 Set-up of Cogging and load test

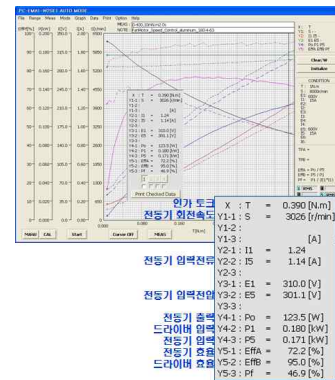
비대칭 Sloping 노치를 적용한 단상 BLDC 전동기의 코깅토크 저감 방법



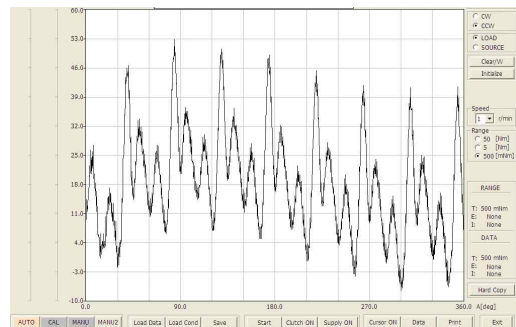
(a) 측정 입력전류(1.14 [Arms])



(b) 측정 역기전력(V : 51.4[Vrms] at 1,000[rpm])



(c) 부하 시험 결과



(d) 측정 코깅토크(Tpk-pk 39.8[mNm])

그림 5 기존모델 실험 결과

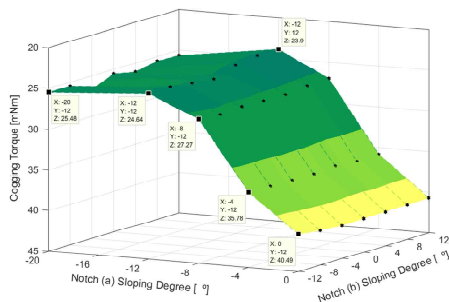
Fig. 5 Experiment results of previous model

은 약 0.52[%]로 파형과 크기 비교를 통해 3D 특성해석의 정확성을 입증할 수 있다.

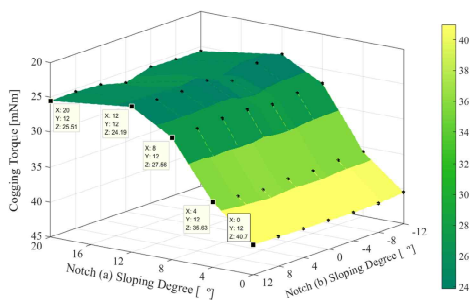
그림 2(b)와 같은 Sloping 노치 모델의 경우 Sloping 각도에 따른 영향만을 고려하기 위하여 노치의 위치 및 크기는 기존모델과 동일하며 Sloping 노치 각도만 변경하였으며 Sloping 노치 각도의 선형 변수 해석을 수행하였다. Sloping 노치의 선형 변수 해석을 위한 변수 및 범위는 아래와 같다. Sloping 각도만을 변수로 선정하고, 노치의 각도는 서로 겹치지 않는 각도까지의 범위로 설정하였다. 이에따른 Sloping 노치를 적용한 코깅토크 해석결과 그림 6과 같다. 이때 코깅토크가 최소인 경우는 Notch (a) Sloping 각도가 12[°], Notch (b) Sloping 각도가 -12[°]로 고정자 형상은 그림 2(b) 우측모델과 같다. 이 경우 그림 8과 같이 약 23.9[mNm]이며, 그림 7과 같이 토크 및 역기전력 특성 또한 만족함을 알 수 있다.

- $-20[°] \leq X1$  (Notch (a) Sloping Deg)  $\leq 20[°]$
- $-12[°] \leq X3$  (Notch (b) Sloping Deg)  $\leq 12[°]$
- 노치 각도 변화율 : 4[°]

제작상 용이성을 고려한 Step-Sloping 노치의 경우 그림 8과 같이 3 Step-Sloping 노치 2개 모델과 5Step-Sloping 노치 1개 모델 총 3가지 모델로 해석을 진행하였다. 3Step-Sloping 노치의 경우 높이는 3등분 하였으며 모델 1의 ①과 ③의 노치의 위치는



(a)  $-20[°] \leq X1$  (Notch (a) Sloping Deg)  $\leq 0[°]$ 일 때 코깅토크 비교



(b)  $0[°] \leq X1$  (Notch (a) Sloping Deg)  $\leq 20[°]$ 일 때 코깅토크 비교

그림 6 Sloping 노치 코깅토크 비교

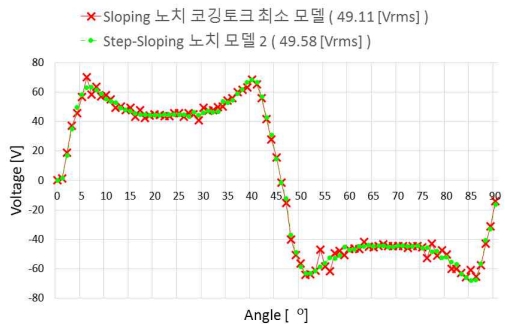
Fig. 6 Comparison of Cogging torque about Sloping notch variation

모델 3의 ①과 ⑤와 같으며, 모델 2의 ①과 ③의 노치의 위치는 모델 3의 ②와 ④의 위치와 같다. 5 Step-Sloping 노치의 경우 높이는 5등분 하였으며, Sloping 노치 모델 중 코깅토크가 최소인 모델의 Sloping 노치의 양 끝을 기준으로 5등분 하는 위치로 결정하였다.

그림 9는 Step-Sloping 노치를 적용한 3가지 모델의 코깅토크 비교를 보여주며 3 Step-Sloping 노치 모델 2의 경우 약 24.82 [mNm]로 Step-Sloping 노치 모델중 코깅토크가 가장 많이 저감되었다. 또한 그림 10를 통해 알 수 있듯이 Sloping 노치와 3 Step-Sloping 노치 모델 2의 코깅토크 차이가 약 3.85[%]로 제작을 고려한다면 수용할 수 있는 수치로 판단할 수 있다. 또한 기존모델과 비교하여 보아도 코깅토크 차이가 약 39.16[%]로 코



(a) 토크



(b) 역기전력(at 1000[rpm])

그림 7 Sloping 및 Step-Sloping 노치 모델 2 특성해석

Fig. 7 Characteristic analysis of Sloping and Step-Sloping notch model 2

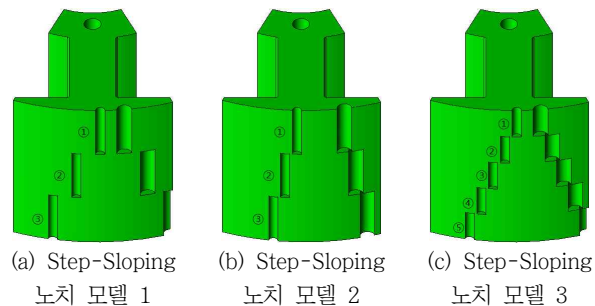


그림 8 Step-Sloping 노치 모델 형상

Fig. 8 Shape of Step-Sloping notch model

표 2 단상 BLDC 전동기의 설계사양 및 모델별 특성분석 결과

Table 2 Specifications of the single-phase BLDC motor and Characteristics analysis results of each models

Item		설계 사양	기본모델 실험	기본모델 해석	Sloping 노치 모델 해석	Step-Sloping 노치 모델 2 해석
Input voltage	[Vrms]	220				
Rated speed	[rpm]	3,000	3,026	3,000		
Back EMF (at 1,000[rpm])	[Vrms]	-	51.4	49.34	49.11	49.58
Rated output power	[W]	120	123.5	152.9	145.85	147.8
Rated Torque	[N·m]	0.38	0.39	0.383	0.383	0.383

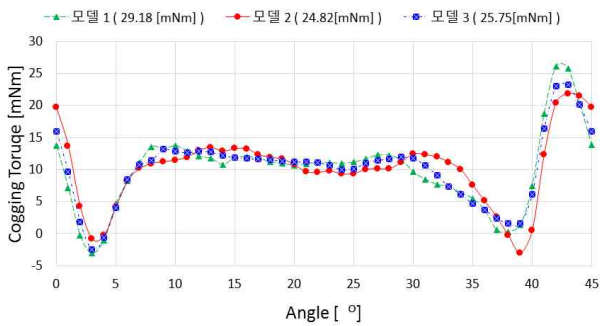


그림 9 Step-Sloping 노치 모델 코깅토크 비교

Fig. 9 Comparison of cogging about Step-Sloping notch model

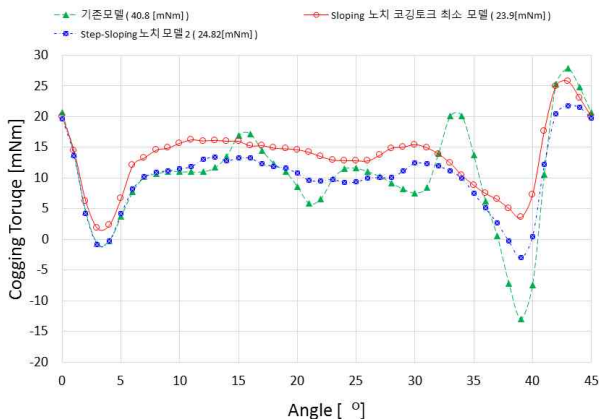


그림 10 모델별 코깅토크 비교

Fig. 10 Comparison of cogging by model

코깅토크를 효율적으로 저감할 수 있음을 알 수 있다.

형상 변화에 따라 특성이 달라질 수 있으므로 그림 7과 같이 Step-Sloping 노치 모델 3에 대하여 특성 해석을 수행하였으며 기존 모델과 Sloping 모델 및 Step-Sloping 모델 모두 표 2와 같이 역기전력 및 부하 토크 등의 설계사양을 모두 만족함을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 코깅토크 저감을 위해 2개의 노치를 이용한 Sloping 노치의 코깅토크 저감 방법을 제안하였다. 3D 유한요소 해석을 통하여 코깅토크를 확인하였으며, 비대칭 노치를 적용한 해석의 정확성을 검증하기 위해 기본모델의 실험 결과와 비교하였다. 기존 모델과 Sloping 노치 모델의 코깅토크를 비교하고, 제작의 용이성을 위해 Step-Sloping 노치 모델로 변경하였다. Sloping 노치의 적용 방법은 노치(a)의 기울기(Notch(a) Sloping Deg), 노치(b)의 기울기(Notch(b) Sloping Deg)의 값을 변화시켰다. 코깅토크가 최소인 경우는 Notch(a) Sloping Deg가  $-12[^\circ]$ , Notch(b) Sloping Deg가  $12[^\circ]$ 일 때 약  $23.9[mNm]$ 이었으며 기존모델은 약  $40.8[mNm]$ 로 Sloping 노치 적용모델이 약  $41.42[\%]$  코깅토크가 저감되었다. 또한 이러한 Sloping 노치를 Step-Sloping 노치로 변경할 경우 Step-Sloping 노치 모델의 코깅토크가 약  $24.82[mNm]$ 으로 Sloping 노치 모델의 코깅토크와  $3.85[\%]$  차이로 제작을 고려하여 Step-Sloping 노치 모델을 적용할 수 있음을 확인하였다.

#### 감사의 글

이 논문은 2016년 순천대학교 학술연구비 공모과제로 연구되었음.

#### References

- [1] M. A. Rahman, T. A. Little, "Dynamic Performance Analysis of Permanent Magnet Synchronous Motors", IEEE Power Engineering Review, Vol. PER-4, No. 6, pp. 40-40
- [2] Mohammed Fazil, 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, 2010

- [3] Dae-Won Chung, Yong-Min You, "Cogging Torque Reduction in Permanent-Magnet Brushless Generators for Small Wind Turbines", Journal of Magnetism, Vol. 20, No. 2, pp. 176-185, 2015
- [4] S. Bentouati, Z. Q. Zhu, D. Howe, "Influence of Design Parameters on the Starting Torque of a Single-Phase PM Brushless DC Motor", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 36, No. 5, pp. 3533-3536, 2000
- [5] Gyu-Hong Kang, Young-Dae Son, Gyu-Tak Kim, Jin Hur, "A Novel Cogging Torque Reduction Method for Interior-Type Permanent-Magnet Motor", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, Vol. 45, No. 1, pp. 161-167, 2009
- [6] Christoph Schlenzok, Mercedes Herranz Gracia, and Kay Hameyer, "Combined numerical and analytical method for geometry optimization of a PM motor", IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 42, No. 4, pp. 1211-1214, 2006
- [7] Young-Un Park, Ji-Young So, Dong-hwa Chung, Yong-Min Yoo, Ju-Hee Cho, Kang-Soon Ahn, Dae-Kyong Kim, "Optimal Design of Stator Shape for Cogging Torque Reduction of Single-phase BLDC Motor", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 62, No. 11, pp. 1528-1534, 2013
- [8] Young-Un Park, Ju-Hee Cho, and Dae-kyong Kim, "Cogging Torque Reduction of Single-Phase Brushless DC Motor With a Tapered Air-Gap Using Optimizing Notch Size and Position", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, Vol. 51, No. 6, pp. 4455-4463, 2015



**소 지 영 (Ji-Young So)**

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



**우 경 일 (Kyung il Woo)**

1969년 9월 6일생. 1995년 한양대 전기공학과 졸업(공학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2002년~현재 부경대학교 전기공학과 교수.



**김 대 경 (Dae-Kyong Kim)**

1972년 9월 27일생. 2001년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(박사). 2001~2005년 삼성전자 가전연구소 선임연구원. 2005~2011년 전 자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 센터장. 2011년~현재 순천대학교 전기공학전공 부교수

저 자 소 개



**박 용 운 (Young-Un Park)**

1985년 5월 18일생. 2012년 순천대 전기제어공학과 졸업. 2012~현재 동 대학원 전기공학과 재학중(박사과정).