

## 효율 향상을 위한 소형 BLDC 팬 모터 설계

윤승주, 김희천, 정태욱  
경남대학교

### Design of small BLDC Fan motor for efficiency improvement

Seung-Ju Yun, Hoe-Cheon Kim, Tea-Uk Jung  
Kyungnam University

**Abstract** - 본 논문에서는 영구자석 오버행 구조를 가진 소형 BLDC 팬 모터의 효율 향상을 위한 연구를 하였다. 2차원 해석시 오버행에 따른 유효자속량을 고려한 오버행 계수를 산정하여 3차원 해석모델을 2차원 등가화가 가능하게 하여 실험하였다. 그리고 기존의 BLDC 팬 모터에 돌극형 회전자 철심을 삽입하여 영구자석 토크에 릴럭턴스 토크를 추가로 활용함으로써 효율을 향상시키는 연구를 하였다.

#### 1. 서 론

영구자석을 회전자 내부에 매입시켜 영구자석 토크 외에도 릴럭턴스 토크를 발생시킴으로써, 고토크 발생과 약계자 제어에 의한 넓은 속도 범위를 얻을 수 있다. 결국 높은 속도 및 넓은 고효율 운전 영역을 만족시키는 전동기이므로 그 응용분야는 냉장고, 에어컨용 콤프레서, 가전용 전동기를 비롯하여 전기 자동차의 구동모터까지 넓어지고 있으며 향후 대부분의 전동기 응용분야를 대체할 것이라 예상된다.

본 논문에서는 영구자석 오버행 구조를 가진 소형 BLDC 팬 모터의 오버행 계수를 선정하여 2차원 해석을 가능하게 하였다. 그리고 기존의 모델에 회전자 철심 형상을 삽입하여 영구자석에 의한 영구자석 토크에 릴럭턴스 토크를 추가로 활용하여 효율을 향상시킬 수 있는 연구를 진행하였다.

#### 2. 기존 모델의 최적화 설계

##### 2.1 소형 BLDC 팬 모터의 구조

본 연구에서 사용된 BLDC 팬 모터는 6극, 9슬롯이며, 120도 구형과 통전 방식이다. 고정자의 코일은 집중권 방식으로 와인딩하고, 한 슬롯 당 턴수는 210턴으로 하였다. 고정자의 재질은 S60이다. 새로 설계한 회전자 철심의 재질 역시 S60을 사용하였다.

표 1의 BLDC 팬 모터 설계사양에 따라 유한요소해석을 하였다.

〈표 1〉 BLDC 팬 모터의 설계 사양

구분	항목	설계값
사양	정격출력[W]	2.1
	정격전압[V]	15
	정격회전속도[rpm]	1578
	정격토크[Nm]	0.012
	상수	3
고정자	극수	6
	슬롯 수	9
	외경[mm]	48
	내경[mm]	24
회전자	적층두께[mm]	5
	외경[mm]	23.25
	내경[mm]	18.65
	영구자석 두께[mm]	8

##### 2.2 회전자 철심 구조 설계 이론

BLDC 팬 모터의 해석모델은 그림 1과 같이 내부 회전자 형태이다. 기존 모델의 BLDC 팬 모터에 릴럭턴스 토크를 보다 유효하게 이용하기 위해서는 쇠교 자석  $\Psi_a$ 를 일정하게 유지한 채 d, q축 인덕턴스  $L_d, L_q$ 로 결정되는 돌극비를 크게 하는 구조가 요망된다. 그래서 영구자석 내측의 회전자 철심에 돌극 구조의 철심형상을 적용하였다. 큰 릴

럭턴스 토크를 얻기 위해  $(L_q - L_d)$ 를 크게 설계하여야 한다. 그러기 위해서 회전자 철심 형상을 최적화하며 유한요소법으로 반복실험을 하였다.

BLDC 팬 모터의 토크는

$$T = T_m + T_r \quad (1)$$

과 같이 영구자석 토크와 릴럭턴스 토크로 나타낼 수 있다.

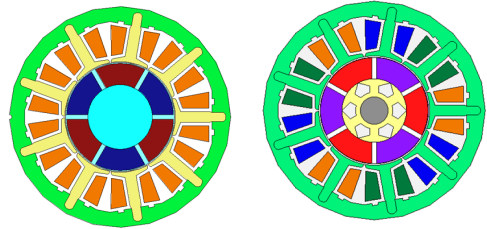
영구자석 토크 식은

$$T_m = P_n \Psi_a i_q = P_n \Psi_a I_a \cos \beta \quad (2)$$

이고, 릴럭턴스 토크 식은

$$T_r = P_n (L_d - L_q) i_d i_q = \frac{P_n}{2} (L_d - L_q) I_a^2 \sin 2\beta \quad (3)$$

이다.

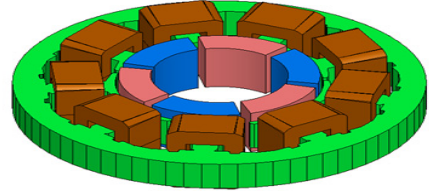


(a) 기존 모델 (b) 회전자 철심을 삽입한 모델

〈그림 1〉 기존 모델과 회전자 철심을 삽입한 모델

##### 2.3 유한요소해석법 이용

본 논문에서는 기존 모델과 회전자 철심을 삽입한 모델의 해석은 유한요소해석법을 이용하였다. 유한요소해석법은 전동기의 특성과 결과가 실제와 그 오차가 크지 않다고 하여 설계의 근거자료로 이용되고 있다.



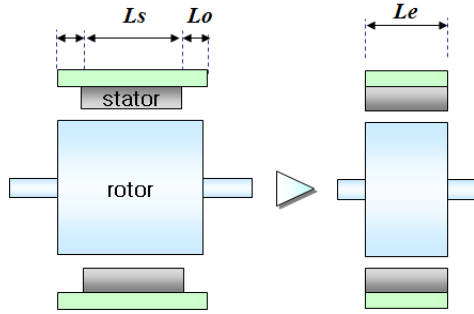
〈그림 2〉 영구자석 오버행 BLDC 모터의 3차원 모델

영구자석 오버행을 가진 BLDC 모터는 구조적 특징으로 2차원 유한요소해석에 어려움이 존재하기 때문에 3차원 유한요소 기법이 사용되어진다. 하지만 3차원 유한요소해석기법은 해석시간이 많이 걸리므로 오버행 계수를 산정하여 2차원 유한요소해석 기법을 사용하여 실험하였다.

##### 2.4 오버행 계수 선정

그림 3은 오버행에 의한 3차원 모델을 2차원 등가화 모델을 나타낸 것이다. 이와 같이 영구자석 오버행 구조는 동일한 축방향 길이의 단부 권선에 의한 유효 자속량을 보다 더 확보할 수 있으므로 출력 향상이 가능하다. 2차원 유한요소해석시 오버행에 의한 유효 자속량을 영구자석

자속밀도를 비례 산출하여 각 부하특성에 따라 설정하였다.

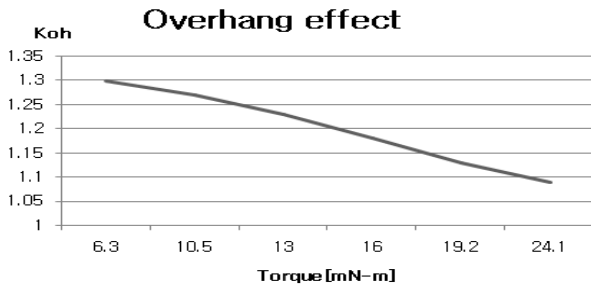


〈그림 3〉 무부하시 코깅 토크 비교 파형

오버행 계수  $K_{oh}$ 는 3차원 해석모델을 2차원 등가화를 가능하게 만들어주는 계수로

$$K_{oh}(T) = \frac{L_e}{L_s} \quad (4)$$

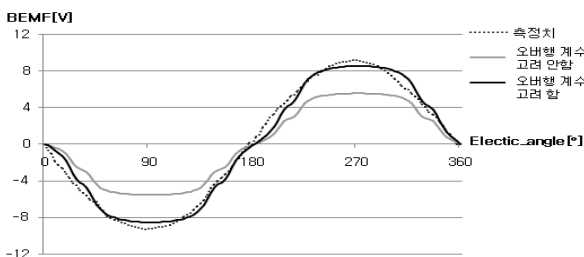
$$B_m = K_{oh} \times B_r \quad (5)$$



〈그림 4〉 토크에 따른 오버행 계수 산출

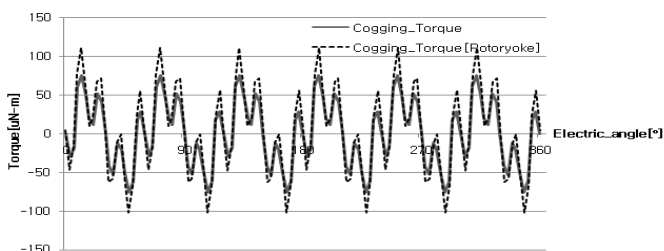
2차원 유한요소해석식 식 (3), (4)에 의하여 산출된 그림 4는 토크에 따른 오버행 계수를 나타내고 있다. 오버행 계수에 의해 원래의 영구자석 자속밀도  $B_r$  값을 각 부하토크에 따라 영구자석 자속밀도  $B_m$ 을 설정하여 2차원 유한요소해석을 하였다.

그림 5는 측정치와 오버행 계수 설정에 따른 역기전력 파형을 비교한 것이다. 측정치 전압은 6.69[V]이며, 오버행을 고려하지 않았을 경우 4.15[V]로써 오버행에 의한 유효자속량이 계산되어 지지 않고 있다. 오버행 계수에 의한 유효 자속량을 증가시켜 해석한 결과 6.62[V]로 측정치와 근사한 값으로 역기전력파형이 해석되었다.

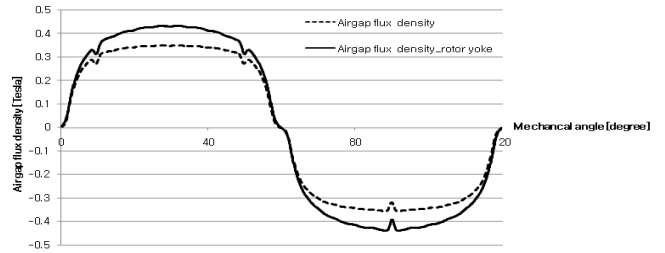


〈그림 5〉 기존 모델의 측정치 및 오버행 계수에 따른 해석치의 역기전력 파형

### 2.5 유한요소해석 결과



〈그림 6〉 무부하시 코깅 토크 비교 파형



〈그림 7〉 공극 자속 밀도 비교 파형

돌극형 회전자 철심 추가 활용시, 그림 7과 같이 기존의 BLDC 팬 모터보다 공극자속밀도 특성이 약 17% 증가하였다.

표 2와 표 3은 회전자 철심 추가 활용에 따른 무부하, 정격회전속도에 따른 해석치를 비교하였다. 회전자 철심 사용으로 기존 BLDC 팬 모터보다 효율이 6.2%증가하였다.

〈표 2〉 무부하시 특성 해석

무부하 특성 해석		
형상	해석치	
	Cogging Torque[uN-m]	Vrms[V]
회전자 철심 無	151.63	6.62
회전자 철심 有	214.19	7.96

〈표 3〉 정격속도에 따른 특성

정격속도에 따른 특성(1578[rpm])			
형상	해석치		
	토크[mN-m]	전류[mA]	효율[%]
회전자 철심 無	12.8	351	40.2
회전자 철심 有	13.15	312	46.4

## 3. 결 론

본 논문에서는 영구자석 오버행 구조를 가진 BLDC 팬 모터의 효율 특성을 개선하였다. 오버행 구조의 특성상 3차원 유한요소해석시 해석시간이 많이 소요된다는 문제 때문에 오버행에 의한 유효 자속량을 영구자석 자속밀도를 부하토크에 따라 비례 산출하여 오버행 계수를 설정하여 2차원 유한요소해석을 실시하였다.

BLDC 팬 모터에 돌극형의 회전자 철심 형상을 삽입하여 토크턴스토크가 영구자석 토크와 합쳐져서 유효 토크로 작용하여 기존의 모델보다 효율이 6.2 [%] 향상되었다.

회전자 철심 형상을 삽입시킴으로써 효율은 개선되었으나 소음이나 진동에 영향을 미치는 코깅 토크(cogging torque)가 증가하였다. 향후 코깅 토크 저감을 위한 최적 설계를 하겠다.

### 감사의 글

이 논문은 2010년도 지식경제부의 광역경제권 연계협력사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임(No.2010-D-002)

### [참 고 문 헌]

- [1] 조준석, 배병덕, 김회천, 정태욱, “냉장고 송풍 팬용 BLDC모터 설계 및 특성해석”, 대한전기학회 학술대회 논문집, Vol.2010, No.10, p.370-p.372, 2010.
- [2] J.R.Hendershot Jr. and TJE Miller, “Design of Brushless Permanent-Magnet Motors”, MAGNA PHYSICS PUBLISHING and CLARENDON PRESS OXFORD,
- [3] 이 주, “메입자석 동기모터의 설계 및 제어”, 한양대학교 에너지변환연구실, 2010.