

Cooling Fan 구동용 300W BLDC motor 설계 및 특성해석에 관한 연구

안영일<sup>\*</sup> 박창순 맹경호

한국기술교육대학교 정보기술공학부

A study on the Design and Analysis of 300W BLDC motor for a cooling fan

Young-Il Ahn<sup>\*</sup>, Chang-Soon Park, Kyung-Ho Maeng

School of Information Technology, Korea University of Technology and Education

**Abstract** - In recent years for propulsion of cooling fan in cars are more used electrical motors than the engine direct coupled type. But the electrical motor which is now used has the brush and the commutator. Because of the brush and the commutator the electrical motor has short life time, low efficiency and mechanical- electrical noise. Therefore it is tried to develop brushless dc motor. The motor is located in the hot air from the radiator. The motor temperature increases high and the increasing of the motor temperature rolls big in its character.

The cooling fan motor has relative small in size and input voltage is low. For 300 w output power must be the current of the motor high which causes high copper loss.

In this paper will be tested and analysed characteristics of a dc motor which is now used for cooling fan and a BLDC motor will be designed with same character of the brushed motor and with considering of improvement of the efficiency. After design the motor should be analysed and tested .

1. 서 론

최근 자동차의 Cooling fan을 구동하는 동력이 엔진직결방식에서 전기 모터로 바뀌어 사용되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 전기 모터는 DC 모터로 브러쉬와 정류자가 있기 때문에 수명이 짧고 전기적, 기계적 Noise가 있고 효율이 좋지 않기 때문에 BLDC 모터를 개발하고자 하는 노력이 많이 있었으나 팬 & 쉬라우드(송풍기)는 라디에타 및 컨덴서의 공기흐름 상류 측 또는 하류 측에 위치하여 라디에타로부터 더운 바람이 직접 유입되므로 모터의 온도가 상승하는 문제점이 있었다. 엔진룸의 온도는 90 - 100℃ 사이이고, ON ~OFF의 온도차는 대략 3~5℃이다. 위와 같이 높은 주변온도에서 사용되는 모터의 온도상승은 모터특성에 있어 중요한 역할을 하게 된다. 비교적 작은 모터의 크기와 낮은 입력전압(12Vdc)의 제약된 환경에서 출력 300W를 내기 위하여 motor는 큰 전류를 흘려야하므로 열로 발생하는 손실을 최대한 줄여야 하는 것이 당연한 과제이다.

따라서 본 논문에서는 cooling fan 구동용 전동기에 사용되는 DC모터의 특성을 분석하여 사양을 확정하고 그에 맞는 BLDC motor를 효율향상에 주안점을 두고 설계한 후 해석과 실측을 통하여 설계의 타당성을 입증하고자 한다.

2. 모터 설계 및 특성해석

2.1 B사 DC모터 사양 및 동작특성

현재 통합형 모터로 B사의 DC모터가 사용되어지고 있으며,

사양은 표 1.과 같다. B사의 DC모터 출력특성은 그림 1에서 보여주고 있으며, 성능에 대한 특성은 dynamo-meter와 모터 테스트 program tool인 M-test를 이용하여 속도의 변화에 따른 입력과 모터의 출력, 효율을 측정하였다.

표1. B사 DC 모터의 제원

정격전압[V]	12	코일절연저항[Ω]	1MΩ
정격부하[kg.Cm]	12	모터전체의경[mm]	102.2
정격속도[rpm]	2300±8%	결선방식	Y 결선
정격전류[A]	33.3±10%		

dynamo-meter를 이용하여 모터의 출력을 측정된 결과 정격속도 2300[rpm]에서 요구되는 정격부하12[kg.Cm]보다 부족한 9[kg.Cm]의 출력이 나왔으며 이때 효율이 최대였으며 67[%]로 나타났다. 정격출력인 12[kg.Cm]을 내기위한 속도는 2100[rpm]으로 정격속도에 약 -8%에 해당하고 이때 효율은 65[%]이다.

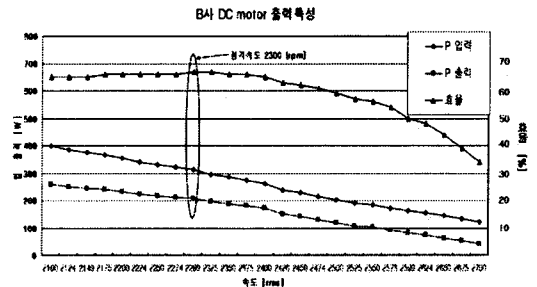


그림 1. B사 DC모터 출력특성 곡선

2.2 BLDC 모터의 설계

BLDC motor의 설계에 있어서 먼저 정격조건을 결정해야 하며 그 정격 조건은 표 2.와 같다.

표 2. 설계할 모터의 사양

정격전압[V]	12	결선방식	H-Bridge
정격부하 [kg.Cm]	12	자석재료	NdFeB
정격속도[rpm]	2300±8%	자석두께[mm]	3
정격전류[A]	33.3±10%	자석(극효율)	0.8
코일절연저항[Ω]	1MΩ	모터전체의경[mm]	110

BLDC motor의 영구자석을 포함하는 자기회로의 치수 및 갭을 통과하는 자속을 계산한다.

최근에 와서 전자계산기의 발달은 이와 같은 이론해석 결과의 수치화 또는 도식화를 가능하게 하였고, 보다 고도의 수치해석이 가능하게 되었다. 최근에는 고도의 기술계산을 이용하여 유한요소법에 의한 자료해석이 활발하다.[2] 본 논문에서는 유한 요소해석 프로그램인 Flux2d를 이용하여 해석하였다. 그림 2는 공극의 자속밀도를 알기위해 Flux2D로 해석한 모터단면의 자속 밀도 벡터를 나타내었다.

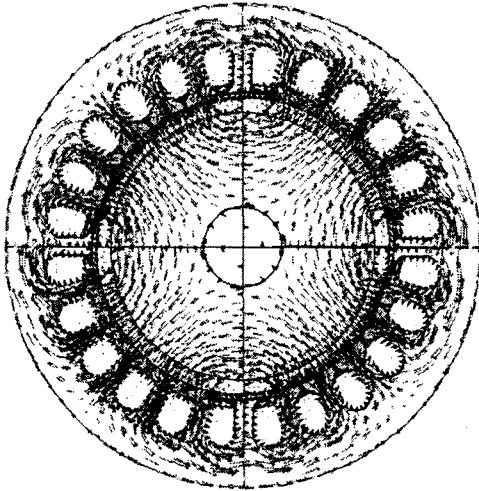


그림 2. Flux2D로 해석한 모터단면의 자속분포  
공극의 자속밀도 분포는 그림 3과 같이 나타난다.

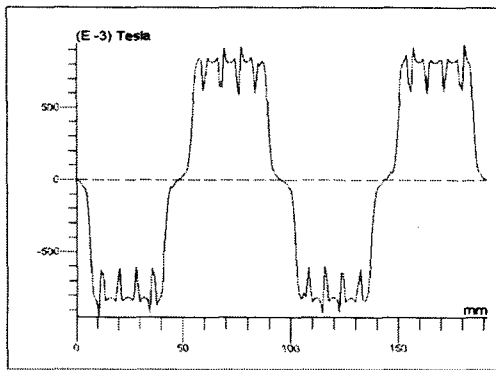


그림 3. Flux2D해석 공극자속밀도 분포

- (1) 공극평균자속 밀도  $B_g = 0.7224[T]$
- (2) Pole Pitch  

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D_i}{2P} = \frac{\pi \cdot 68}{4} = 53.4[mm] \quad (1)$$
- (3) 극당발생자속  

$$\Phi_g = B_g \tau_p l = 0.7224 \times 53.4 \times 10^{-3} \times 40 \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$= 1.5431 \cdot 10^{-3} [Wb]$$
- (4) 권선계수  $K_w = 0.9329$
- (5) 고정자 권선의 상전압

저전압 고효율용이므로 H-bridge방식의 인버터 전원으로 구성하였다. 1상당 전압의 사용률은 2/3이며 고정자권선에 걸리는 상당전압의 실효치는 다음과 같다. [3]

$$V_n = 9.8[V]$$

그림 4는 인버터의 3상출력 전압을 표시한다.

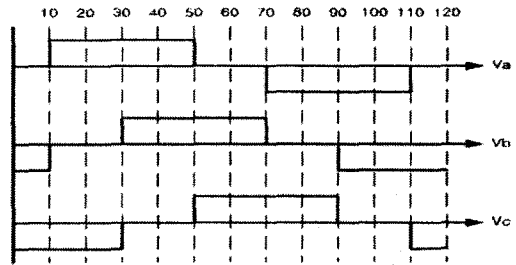


그림 4. 인버터 전압 파형

이 항에서는 BLDC motor에 필요한 유기전압, 토크 등으로부터 권선을 결정하게 되는데 먼저 필요한 식을 간단하게 설명한다.

\* 1상당 코일에 유기되는 유기기전력

$$E_a = 111.1 \cdot Z_{eff} \cdot f_w \cdot \frac{f_n}{50} \cdot \Phi_g \quad (3)$$

\* 속도에 해당하는 전원 주파수 (정격속도 2300[rpm])

$$f_n = \frac{n_s \cdot P}{120} = \frac{2300 \times 4}{120} = 76.66[Hz] \quad (4)$$

(6) 상당도체수

식(3)과 (4)를 이용하여 상당도체수를 구할수 있다.

$$Z_{eff} = \frac{E_a}{111.1 \times f_w \times \frac{f_n}{50} \times \Phi_g} \quad (5)$$

$$= \frac{9.8}{111.1 \times 0.9329 \times \frac{76.66}{50} \times 1.5431 \times 10^{-3}} = 40$$

(7) 정격 상전류  $I_a = 10 [A]$

(8) Torque

$$T = \frac{P}{\omega_m} = \frac{m \cdot E_a \cdot I_a}{\omega_m} = \frac{m}{2\pi\omega} \times E_a \times I_a \quad (6)$$

$$= \frac{3}{2\pi \frac{2300}{60}} \times 9.8 \times 10 = 1.2217 [N.m]$$

1.2217[N.m] = 12.46[kg.Cm]로 요구되는 정격토크 12[kg.Cm]와 거의 일치한다.

(9) 전류밀도  $j=27[A/mm^2]$

냉각효과가 떨어지므로  $j=2[A/mm^2]$  로 선정

(10) 도체의 단면적

$$q_{eff}^* = \frac{I}{j} = \frac{10}{2} = 5[mm^2]$$

여기서 코일의 권선은 4병렬 이므로  $q_{eff} = \frac{5}{4} = 1.25[mm^2]$

AWG 30번 코일(0.0526[mm])로 선정하여 6가닥 권선으로 모터를 제작한다.

표 3. 권선설계의 파라미터

공극자속밀도[T]	0.7224	상전압[V <sub>rms</sub> ]	9.8
Pole Pitch[mm]	53.4	정격전류 [A <sub>rms</sub> ]	10
극당발생자속[Wb]	1.5431*10 <sup>-3</sup>	토크[kg.Cm]	12.46
권선계수	0.9329	전류밀도[A/㎡]	2
상당도체수	40	사용권선	AWG 30

표 3.는 모터의 권선을 결정하는 각 파라미터를 나타내었다.

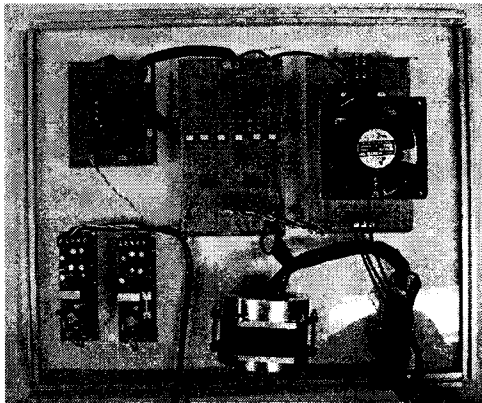


그림 5. 제작된 300W BLDC모터와 인버터

300[W]의 출력으로 사양에 맞게 설계된 BLDC모터와 H-bridge 인버터는 그림 5와 같이 제작되었으며 dynamometer와 M-test 프로그램을 이용하여 특성을 해석하였다.

### 2.3. BLDC모터 특성 해석

제작된 모터의 정격특성을 해석하기 위해 속도변화에 따른 임, 출력과 효율을 측정하여 그림 6과 같이 그래프로 도식하였다.

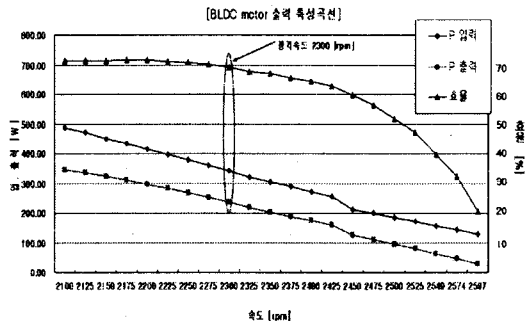


그림 6. 300W BLDC모터의 속도에 따른 특성그래프

정격속도 2300[rpm]에서 토크는 10.04[kg.Cm]이고, 효율은 69.3[%]로 나타났다. 하지만 정격토크는 12[kg.Cm]이며 해석특성상 정격토크에 해당하는 속도는 2230[rpm]이고 이때 효율은 71.6[%]로 가장높게 나타난다. 2230[rpm]은 정격속도 2300[rpm]에 대한 -3[%]의 오차를 가지고 있고, 이는 오차규격(8%)내의 값이므로 모터의 설계는 적절하다고 할 수 있다.

### 2.4 DC모터와 BLDC모터 설계 특성 비교

비교대상의 DC모터와 300W급으로 설계한 BLDC모터의 특

성을 표 4에서 비교 하였다.

요구되는 정격출력( 12[kg.Cm] )상에서 회전수는 설계한 BLDC모터가 -3[%]로 DC 모터보다 오차가 더 작게 나타났다.

효율 또한 DC모터는 65[%]로 비교적 낮게 나타났지만 BLDC모터는 71.6[%]로 6.6[%]가 더 높게 나타났다.

표 4. 모터 해석특성 비교

	DC 모터	BLDC 모터
입력전압[V]	12	12
입력전류[A]	33.3	33.17
P 입력[w]	400.1	398.3
회전수 [rpm]	2100 (-8%)	2230 (-3%)
Torque[kg.Cm]	12	12
기계적출력[w]	258.57	283.11
효율	65	71.6

## 3. 결 론

자동차에 에어컨과 engine radiator의 cooling fan을 통합하기 위한 300[W]급 저전압 대출력 BLDC모터를 설계하고 제작하여 해석하였다. 현재 사용중인 DC모터는 수명이 짧고 noise가 많은 단점을 해결하기위해 BLDC모터의 채용이 가능하다.

또한 실제 해석된 BLDC모터가 동급의 DC 모터보다 회전수의 오차율과 효율면에서 우수하다는 것이 실험을 통해 증명되었다.

모터에서 손실은 거의 열로 발생하며, 주변온도가 높은 자동차용 cooling fan에서의 효율개선은 특히 중요하다. 본 실험으로 통하여 BLDC모터로의 교체에 대한 가능성을 입증할 수 있다.

하지만 BLDC모터의 구동회로로 H-bridge를 사용하기 때문에 전원드라이버의 단가가 높아진다는 단점을 가지고 있다. 경제적인 측면에서 볼 때 생산원가의 절감은 중요하며, 이를 개선하기 위해 현재 12개의 전력용소자를 사용하는 H-bridge 드라이버를 Y결선용 드라이버로 대체한다면 전력용소자 수를 반으로 줄일 수 있으므로 원가절감을 할 수 있고 전력용 소자에서 발생하는 전압강하도 줄일 수가 있어 효율이 증가할 것으로 생각된다. 그 밖에 fan용으로 사용되는 모터는 내전형 보다 외전형 모터가 많이 사용되고 있으며 fan모터의 크기를 줄일 수 있다는 장점이 있으므로 차후에는 외전형 모터를 도입하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] J.R Hendershot Jr, Tje Miller, "Design of Brushless Permanent-Magnet Motors", Clarendon Press, 1994.
- [2] 백수현, "소형모터설계편람", 세화출판사, 1988.
- [3] 안영일, 박창순, "자동차 cooling fan용 고효율 BLDC모터의 효율개선에 관한 연구" 대한전기학회 학술대회 논문지, 2003.
- [4] 김상욱, 김보열, "MPB BLDC 전동기의 제어기 개발", 대한전기학회 논문지, 50P-3-3, 2001.
- [5] Duane C. Hanselman, "Brushless Permanent-Magnet Motor Design", McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [6] Nasar, S.A, "Permanent Magnet, Reluctance, and Self-Synchronous Motors", Boca Raton : CRC, 1993.
- [7] 大川光吉 著, 원종수 역 "페라이트 자석회전기의 설계", 동일출판사, 1995.