

## 자동차 송풍장치(Blower)용 HVAC Double Cylinder Motor 설계에 관한 연구

이현장, 송삼삼, 박창순  
한국기술교육대학교 전기전자공학부

### A Study on the Design of HVAC Double Cylinder Motor for a Car Blower

Hyon-Jang Lee, Sen-Sen Song, Chang-Soon Park  
School of Information Technology, Korea University of Technology and Education

**Abstract** - In the recent years, electrical Motors have been developed for a car Blower. Their requirement are high efficiency, low cogging torque and long life. In this paper, the Double Cylinder Motor for a Car Blower was designed which is high efficiency, low noise and vibration because of slotless and double cylinder structure.

#### 1. 서 론

현재 국내 자동차의 Blower용 HVAC(Heating, Ventilation, and Air Conditioning) 모터는 대부분 DC 모터를 사용하고, 자동차 실내에 장착 한다. 최근 DC 모터의 문제점을 개선하기 위한 BLDC 모터들이 개발 되고 있다. 하지만 인버터 사용에 의한 가격 상승으로 일반 DC 모터의 대체품이 되지 못하고 있다. DC 모터와 BLDC 모터는 구조적으로 슬롯을 가지고 있기 때문에, 슬롯에 의한 코깅 토크의 영향으로 소음, 진동, 열이 발생하여 모터의 효율 및 자동차 승차감에 악 영향을 끼치게 된다. 그리고 슬롯 제작 및 적층으로 인한 모터의 생산 단가 또한 상승하게 되는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 BLDC 모터의 문제점을 개선하기 위해 구조적으로 슬롯을 제거하고, 적층을 하지 않은 자동차 Blower용 Double Cylinder 모터를 설계하였다. 본 모터는 Outer Rotor 타입이며, 두 개의 실린더를 동시에 회전시키는 방식으로, 회전시 자속의 변화가 생기지 않기 때문에 Hysteresis Loss를 감소시킬 수 있고, Slotless 구조로 코깅 토크가 감소되는 특징을 가지고 있다. 또한 슬롯 제작 및 적층을 하지 않기 때문에 생산 단가를 저렴하게 할 수 있다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 자동차 Blower용 실내 HVAC 시스템 정의

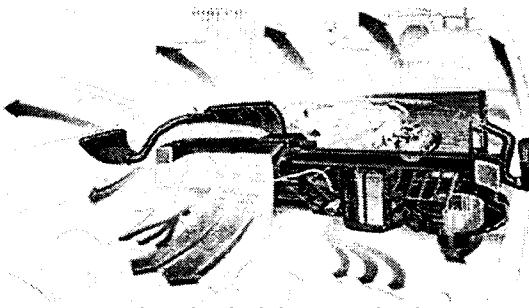


그림 1. 자동차 실내 HVAC 시스템

자동차 실내 HVAC는 그림 1과 같이 에어컨과 히터 시

스템으로 구분 할 수 있다. 에어컨의 경우 냉매를 압축-응축-팽창-증발 시키는 과정을 반복하여 냉방과 제습을 하고, 히터의 경우 엔진 열에 의하여 가열된 냉각수가 히터로 순환하는 과정에서 자동차 난방을 유지 시킨다. 이러한 냉·난방을 자동차 실내로 공급하기 위해 Blower Motor가 사용 된다.

##### 2.1.1 자동차 Blower BLDC Motor 특징

아래 그림 2는 자동차 Blower BLDC Motor구조를 나타낸 것이다. Outer Rotor 타입이고, 실린더에 Magnet이 붙여진 형태로, 내부는 고정자 슬롯이다. DC 모터의 단점인 브러시를 제거 했지만, 여전히 슬롯에 코일 감는 형태 이므로 슬롯으로 인한 코깅 토크를 줄일 수 없다. 또한 슬롯을 제작 하여 적용시키는 생산 비용, 제작의 어려움은 피할 수 없다.

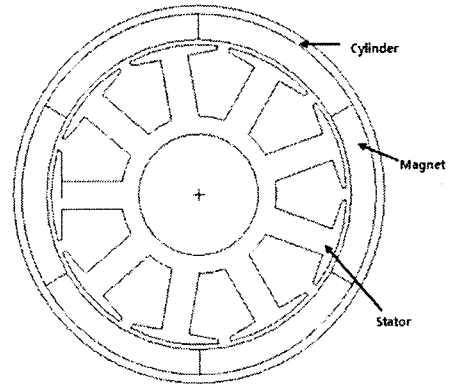


그림 2. BLDC Motor 구조

##### 2.1.2 Double Cylinder Motor 특징

그림 3은 자동차 Blower용 Double Cylinder Motor의 구조를 나타낸 것이다. 외부 실린더와 내부 실린더가 함께 회전을 하고, 자석이 외부 실린더 안쪽에 붙여져 있어 회전시 원심력에 의한 자석 이탈을 방지 할 수 있는 구조로 되어 있다. 그리고 내부 실린더와 마그넷 사이의 air gap에 권선(stator)을 삽입하는 방식으로, 회전시 자속 방향이 변하지 않아 Hysteresis Loss가 감소하게 된다. 또한 그림 3과 같이 구조적으로 슬롯을 가지고 있지 않기 때문에 슬롯에 의한 코깅 토크 발생을 줄일 수 있는 특징이 있다. 기존의 자동차 Blower용 DC모터를 Double Cylinder Motor로 대체 하여 사용 할 경우 코깅 토크에 의한 진동, 소음을 줄일 수 있고, 보다 편안한 승차감을 얻을 수 있다. 또한 슬롯 제작 및 적층이 필요없는 간단한 구조를 가지고 있어 생산 단가를 감소시킬 수 있고, 제작에 용의 하다.

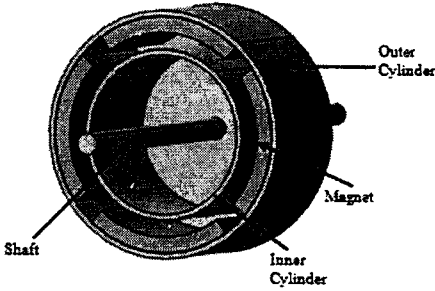


그림 3. Double Cylinder Motor 구조

## 2.2 Double Cylinder Motor Magnet 분석

### 2.2.1 Magnet 두께에 따른 극당 발생 자속

아래 표1은 Double Cylinder Motor의 외부 실린더에 페라이트, 네오뮴 Magnet이 부착 되어질 경우 Magnet 두께에 따른 극당 발생 자속을 나타낸 것이다. 본 모터는 두 개의 실린더가 동시에 회전하는 모터 이고, 외부 실린더에 자석이 붙여지는 구조이므로 타 모터에 비해 실린더의 무게가 큰 편이다. 또한 자속밀도가 자석의 두께(h)에 비례하지 않기 때문에 최적 두께의 Magnet 및 자속이 요구 된다.

구 분	페라이트		네오뮴	
자석 Size	62.5(X)*25(Y)*h		62.5(X)*25(Y)*h	
h[mm]	두께(h)	자속[Wb]	두께(h)	자속[Wb]
	6	1.13*10 <sup>-4</sup>	6	5.46*10 <sup>-4</sup>
	7	1.24*10 <sup>-4</sup>	7	6.00*10 <sup>-4</sup>
	8	1.34*10 <sup>-4</sup>	8	6.48*10 <sup>-4</sup>
	9	1.42*10 <sup>-4</sup>	9	6.90*10 <sup>-4</sup>
	10	1.50*10 <sup>-4</sup>	10	7.27*10 <sup>-4</sup>
	11	1.57*10 <sup>-4</sup>	11	7.60*10 <sup>-4</sup>
12	1.63*10 <sup>-4</sup>	12	7.90*10 <sup>-4</sup>	

표 1. Magnet 두께에 따른 극당 발생 자속

### 2.2.2 Magnet 공극 따른 극당 발생 자속

표2는 동일한 크기의 Magnet을 Double Cylinder Motor의 외부 실린더에 부착 할 경우 공극에 따른 극당 발생 자속을 나타낸 것이다. 본 모터는 두 실린더 사이에 권선을 삽입 하는 방식이므로 극당 발생 자속을 고려하여 적절한 공극 선정이 요구 된다.

구 분	페라이트		네오뮴	
Size [mm]	62.5(X)*25(Y)*6(H)		62.5(X)*25(Y)*6(H)	
공극 [mm]	공 극	자속[Wb]	공 극	자속[Wb]
	4	1.47*10 <sup>-4</sup>	4	7.11*10 <sup>-4</sup>
	5	1.28*10 <sup>-4</sup>	5	6.19*10 <sup>-4</sup>
	6	1.13*10 <sup>-4</sup>	6	5.46*10 <sup>-4</sup>
	7	1.01*10 <sup>-4</sup>	7	4.87*10 <sup>-4</sup>
8	0.90*10 <sup>-4</sup>	8	4.38*10 <sup>-4</sup>	

표 2. 공극에 따른 극당 발생 자속

## 2.3 Double Cylinder Motor Magnet 설계

본 연구에서는 기존에 사용 하고 있는 자동차 Blower 용 BLDC 모터와 동일한 스펙을 가지는 새로운 타입의

Double Cylinder Motor를 설계 하였다. 자속을 고려하여 본 설계에서는 네오뮴 Magnet을 이용하였고, Matlab을 사용하여 모든 설계의 계산 과정을 프로그래밍 하였다.

### 2.3.1 모터 설계 스펙

정격 전압[V]	12	극	4
정격 전류[A]	22	Di [mm]	90
정격 토크[Nm]	0.53	유효도체[mm]	25
정격 속도[RPM]	3000	권선 턴수	28
무부하 속도[RPM]	3800	상 저항[Ohm]	0.085

표 3. Double Cylinder Motor 설계 스펙

### 2.3.2 극당 발생 자속

자속을 해석하기 위해 공극 자속밀도를 계산 해야 한다. 네오뮴 감자곡선을 Biot-Savart의 선전류 적분형 법칙에 적용하면 식(1)을 얻을 수 있다.[2],[3]

$$\vec{B}(p) = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum_{i=1}^4 \iint_{F'} \frac{\vec{A}(p') \cdot X R_{p'p}}{R_{p'p}^3} dF' \quad (1)$$

그리고 Biot-Savart 법칙을 이용하여 Magnet 각 축에 대하여 아래 식으로 해석 할 수 있다.[2],[3]

$$B_X(p) = \frac{\mu_0 A}{4\pi} (\ln \xi_{i=1, X^{-\ln(\xi_{i=1, X})}) \quad [T] \quad (2)$$

$$B_Y(p) = \frac{\mu_0 A}{4\pi} \sum_{i=2,4}^j i \ln \beta_{i, Y} \quad [T] \quad (3)$$

$$B_Z = \frac{\mu_0 A}{4\pi} \sum_{i=1}^4 \alpha_i \quad [T] \quad (4)$$

식(4)는 Z축에서 공극에서의 자속 밀도를 나타낸 것이다. 식(5)에 적용하여 Bz를 Magnet X길이, Y길이 만큼 적분을 하면 그림4와 같은 3차원 극당 발생 자속 그래프를 얻을 수 있다.[2]

$$\Phi_{(x,z)} = \int_{y=-\frac{l_y}{2}}^{y=\frac{l_y}{2}} \cdot \int_{x=x-x_b}^{x=x+x_b} B_Z(x,y,z) dx dy \quad [Wb] \quad (5)$$

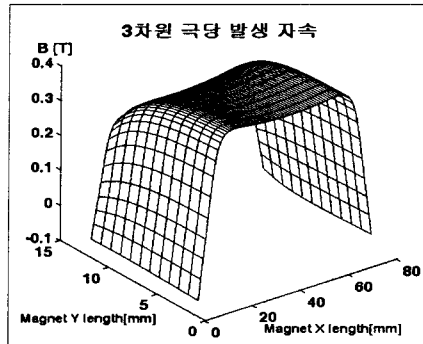


그림 4. 극당 발생 자속 그래프

### 2.3.3 유기전압

식(5)에서 극당 발생 자속을 계산 후 아래 식(6)을 이용하여 극당 유기전압을 구할 수 있다. C는 유기전압 상수, ω는 각속도 이다.

$$V_i(x) = C \cdot \omega \cdot \Phi(x) \quad [V] \quad (6)$$

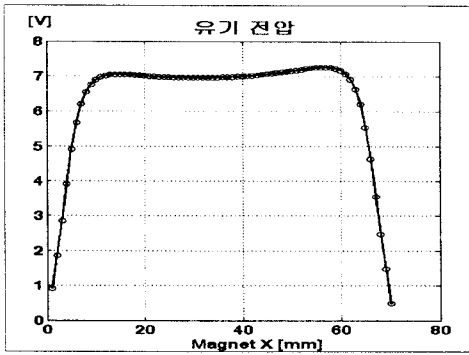


그림 5. 극당 발생 유기 전압(3000 RPM)

### 2.3.4 극당 발생 전류

식(7)은 한 개의 극에서 발생하는 전류를 나타낸 식이다.  $V_0$ 는 인버터에서 발생하는 전압 손실이다. Square Wave방식의 인버터를 사용한다는 전제로, 인버터 최대 출력 선간 전압이 약 9V가 된다. Y권선 방식을 사용하므로 권선 저항 R은 상저항의 2배가 된다.[3]

$$I(x) = \frac{V - V_i(x) - V_0}{R} \quad [A] \quad (7)$$

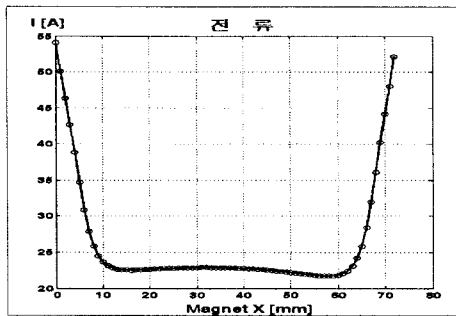


그림 6. 극당 발생 전류(3000 RPM)

### 2.3.5 극당 발생 Torque

아래 식(8)은 극에서 발생하는 토크이고, 그림 7은 모터가 3000 RPM으로 회전할 때의 토크 그래프이다.

$$T(x) = C_m \cdot \Phi(x) \cdot I(x) \quad [Nm] \quad (8)$$

※  $C_m$  : 토크상수

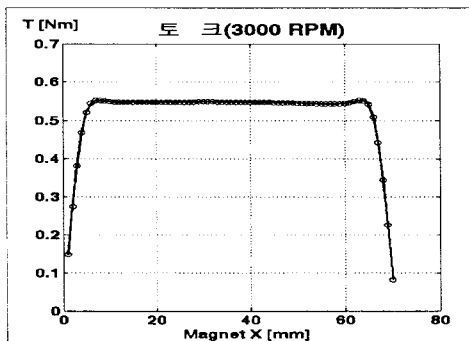


그림 7. 극당 발생 토크(3000 RPM)

### 2.3.5 T - n 그래프

아래 그림8은 속도에 따른 토크 변화를 나타낸 그래프이다. 정격 회전수 3000RPM에서 정격 토크 0.53[Nm]이고, 무부하 회전수 3800RPM을 보여주고 있다.

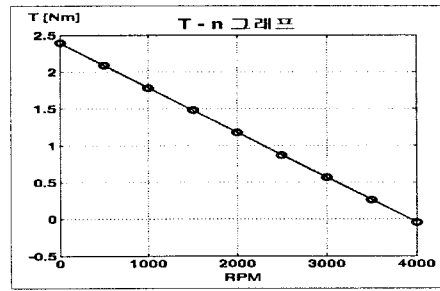


그림 8. RPM에 따른 T-n 그래프

### 2.3.6 토크 리플

그림 9는 본 연구에서 설계된 Double Cylinder Motor의 토크 리플을 나타낸 것이다. 최대 토크 리플이  $2 \times 10^{-5}$  [Nm]로 매우 작게 나타나고 있다.

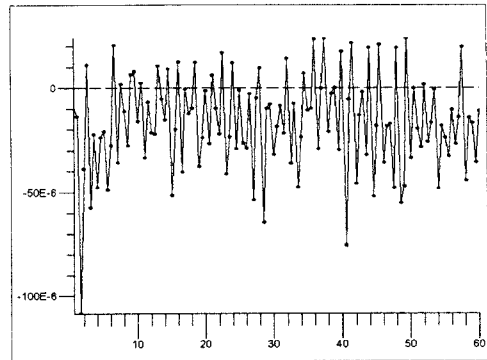


그림 9. Double Cylinder Motor 토크 리플

## 3. 결 론

본 논문에서는 자동차 Blower용 모터를 설계 하였다. Double Cylinder Motor는 두 개의 실린더가 동시에 회전하는 모터로 자속의 방향이 바뀌지 않아 Hysteresis Loss를 감소 할 수 있고, Slotless형 이므로 코깅 토크에 의한 진동 및 소음을 저감시켜 보다 편안한 승차감을 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 본 모터는 두 개의 실린더 사이에 권선을 삽입 하는 형태 이므로 BLDC 모터 보다 큰 공극을 가지게 되는 단점이 있다. 차후 권선을 대체할 Flexible PCB가 개발이 된다면, 본 모터의 공극을 줄여 큰 자속 밀도를 얻어 높은 출력을 얻을 수 있게 된다. 향후 본 설계를 바탕으로 자동차 Blower용 Double Cylinder Motor를 제작하고 분석 할 계획이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 홍선기, 천장성, "Analysis of the Characteristics for slotless type BLDC motor", 대한전기학회, 2003
- [2] Jai Chun Chang, "Theoretische und experimentelle Untersuchungen an einem elektronisch kommutierten Gleichstrom-Doppelzylinderlaufermotor", Thesis TU Berlin 1984.
- [3] Chang-Soon Park "Theoretische und experimentelle Untersuchungen an einem elektronisch kommutierten Scheibenlaufer-Kleinmotor", Berlin 1989.
- [4] 맹경호, 박창순, "Double Cylinder Motor 설계 및 해석에 관한 연구", 대한전기학회, 2004
- [5] 안영일, 박창순, "자동차 Cooling Fan 구동용 motor에 BLDC Motor 적용에 관한 설계해석 및 특성연구", 한국기술교육대학교논문지, 2004.
- [6] 박창순 "전기기기", 한국기술교육대학교, 1999.
- [7] Paresch C, Sen, 신대철외, "전기기기공학", Wiley, 1998.