

자동차용 ETC(Electronic Throttle Control) 구동을 위한 소형 BLDC 모터의 최적설계에 관한 연구

한재만*, 김동석*, 박관수*, 오철수**
부산대학교 전자전기공학과*, 세양엠텍**

A Study on Optimal Design of Small BLDC Motor for Driving Automobile ETC(Electronic Throttle Control)

Jae Man Han*, Dong Sok Kim*, Gwan Soo Park*, Chul Soo Oh**

Dept. of Electronic and Electrical Engineering in Pusan National University*, Saeyang Microtech**

Abstract - Throttle Control 장치는 차량의 저능화와 연료 절감의 이유로 기계식에서 전기적 신호의 연결로 구동시키는 시스템으로 발전하고 있다. 전기 전자 시스템을 도입한 ETC(Electronic Throttle Control)의 구성요소 중 필수적인 구동원으로 DC모터를 많이 사용하고 있지만, DC모터는 정류작용 시 브러시의 스파크를 발생시키는 단점을 가진다. 이에 전기적 및 기계적 Noise가 적고 신뢰성이 높으며 수명이 긴 BLDC 모터의 개발이 필요하다. 이에 BLDC 모터의 기초 설계와 최적 설계를 통해 형상을 설계하고 이를 정자계 유한요소법을 이용하여 해석하고 목표 토크인 0.2[Nm]에 적합한 BLDC 모터를 설계하였다.

1. 서 론

Throttle Control 장치는 전통적으로 Carburetor를 이용하여 운전자의 가속 페달에 와이어로 연결되어 연료와 공기를 혼합하여 엔진으로 공급하던 것에서 기계식 Throttle Body를 이용하여 운전자의 가속 페달에 와이어로 연결되어 엔진으로 유입되는 공기량을 제어해 왔다. 최근 들어 기계적 링크 구조를 탈피하고 전기적 신호의 연결로 구동 시스템을 구상하는 X-by-Wire 기술에 많은 관심을 가지고 연구가 진행되고 있으며 그 중 Throttle-by-Wire는 그 용용이 증가하고 있다. 전기 신호에 의해 Throttle을 Control하는 것을 ETC(Electronic Throttle Control)라 한다.

ETC의 구성요소 중 모터는 필수적인 구동원이다. 차량은 제한된 전압과 전류를 가지는 조건 하에서 DC모터가 사용되어 왔다. DC모터는 정류작용 시 브러시의 스파크를 발생시키는 단점을 가진다. 이에 비해 BLDC 모터는 전기적 및 기계적 Noise가 적고 신뢰성이 높고 수명이 길다. 그리고 고속화가 용이하고 속도제어가 용이하며, 소음에서도 우수하다. 따라서 본 논문에서는 ETC를 구동시키기 위해 BLDC 모터를 선택하였고, ETC 구동 시 필요한 회전 속도와 토크에 알맞은 BLDC 모터의 구조를 위해 기초설계를 하고 여러 가지 Parameter를 변화시켜 원하는 토크에 알맞은 BLDC모터로 최적 설계하였다.

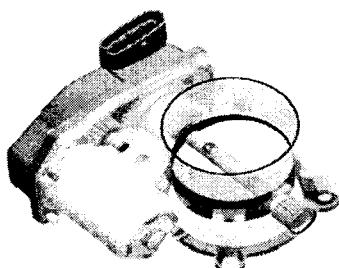


그림 1. ETC(Electronic Throttle Control) Body

2. 본 론

2.1 BLDC Motor의 기초 설계

본 논문에서는 자동차의 기본 전압, 전류를 고려하여 기본 사양을 표 1과 같이 설정하고 기초 설계를 하였다. 기초 설계 사항 중, 원하는 토크를 얻기 위해서는 기본적인 부피를 가지는 회전자가 필요하다. 부피와 토크의 관한 관계식이 식(1), (2)에 나타나 있다. 여기서 K 는 출력계수이고 D_r 은 회전자의 직경, L_{stk} 은 회전자의 길이 TRV 는 최적당 토크로 Ferrite자석을 사용할 경우 TRV 는 $7\sim14$ 사이로 들 수 있다.

$$T = KD_r^2 L_{stk} [Nm] \quad (1)$$

$$TRV = \frac{T}{V_r} = \frac{T}{\pi r^2 L_{stk}} [kNm/m^3] \quad (2)$$

위의 관계식과 함께 고려할 사항은 ETC전체 공간 중 BLDC모터가 차지하는 부피가 표 2와 같이 제한되어 있다는 점을 고려해야 한다. 이러한 사항을 고려하여 설계되어진 BLDC모터의 구조의 단면도는 그림 2, 측면도는 그림 3과 같다.

표 1. ETC BLDC 전동기의 설계 Parameter

개발 사양	
Motor type	BLDC(Inner Rotor type)
입력	70[W]
극수	4극
상수	3상
정격전압 Vs	13[V]
정격전류 Is	2[A]
토크	0.2[Nm]
회전속도	3500[rpm]

표 2. ETC용 BLDC의 구조적 한계 길이

	회전자 직경 [mm]	축방향 길이 [mm]
설계 한계	11	45
출력 방정식	11	38

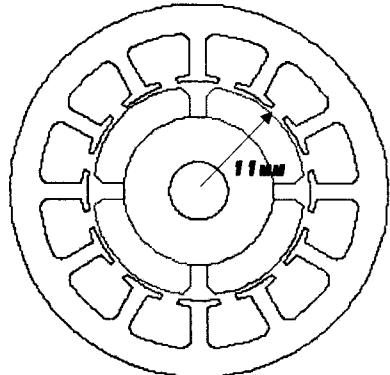


그림 2. ETC용 BLDC 모터의 단면도

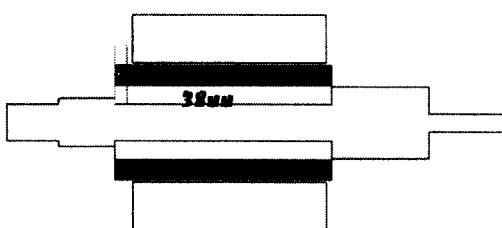


그림 3. ETC용 BLDC 모터의 측면도

표 3. 12슬롯 BLDC 모터의 권선 사양

	권선 수 [turn]	코일 직경 [mm]
Case 1	24	0.4
Case 2	48	0.4
Case 3	24	0.55
Case 4	48	0.55

2.2 최적 설계

2.2.1 기초 설계한 BLDC 모터의 출력 토크

출력방정식에 따라 설계한 회전자의 부피를 이용하여 고정자의 권선사양에 따라 토크의 크기를 구했다. 권선사양은 표 3과 같고 토크의 크기는 그림 4와 같다. Case 1~3의 경우에는 목표사양인 토크 0.2[Nm] 크게 미치지 못함을 알 수 있다. Case 2의 경우 턴수가 2배 증가했지만, 저항이 커서 최대전류 5[A]를 흘리지 못하고 그 절반의 전류를 흘리게 되어 토크가 많이 늘어나지 못했다. 그리고 위와 같은 경우 실 제작에서 슬롯의 단면적에 최대한의 권선 사양은 Case 1 경우 일뿐임을 슬롯의 단면적을 구하고 권선 사양에 따른 단면적을 식 (3)을 이용하여 구한 결과 알 수 있다. 여기서 점적률은 0.3~0.6을 사용할 수 있다. Case 4의 경우에는 토크가 커짐을 알 수 있지만, 슬롯의 단면적이 한정되어 있으므로 수치해석 결과는 알 수 있지만, 실제 제작에서는 불가능함을 예상할 수 있다. 이에 다른 파라미터를 변화시켜 권선사양을 증가시켜야 한다.

$$(\text{반지름})^2 \times \pi \times (\text{턴수}) \times \frac{1}{(\text{점적률})} = (\text{슬롯의 코일 면적}) [\text{mm}^2] \quad (3)$$

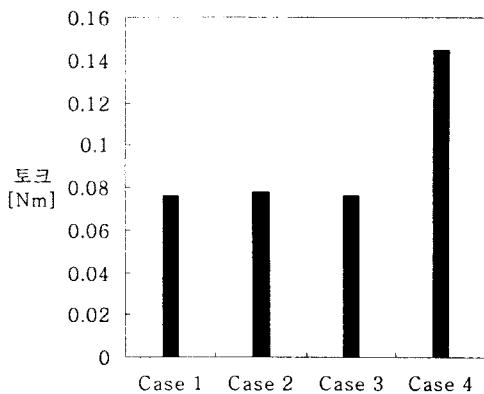


그림 4. 12슬롯일 때 권선 사양에 따른 토크의 크기

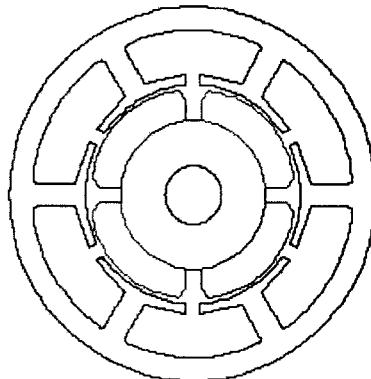


그림 5. 6슬롯인 고정자

표 4. 6슬롯 BLDC 모터의 권선 사양

	권선 수 [turn]	코일 직경 [mm]
Case I	48	0.4
Case II	48	0.55
Case III	55	0.55
Case IV	60	0.55

2.2.2 슬롯 수 변화에 따른 최적설계

권선사양을 더 크게 하기 위하여 슬롯 수를 그림 3과 같은 12슬롯에서 그림 5와 같이 6슬롯 고정자를 설계하였다. 슬롯의 단면적을 증가시키기 위해 각 치의 너비는 12슬롯 일 때보다 1.2배 정도로 제한하고 권선 사양을 표 4와 같이 변화 시키며 토크를 수치해석을 통해 계산하였다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 Case III, Case IV 일 경우 목표토크를 넘는 결과를 얻을 수 있다. 하지만 Case IV 일 경우 슬롯 단면적에 비해 식 (3)에 의해 구해지는 권선 사양에 의한 단면적이 넓어 실제 제작에는 불가능한 사양임을 예상할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 Case III가 가장 적합한 사양이라 하겠다.

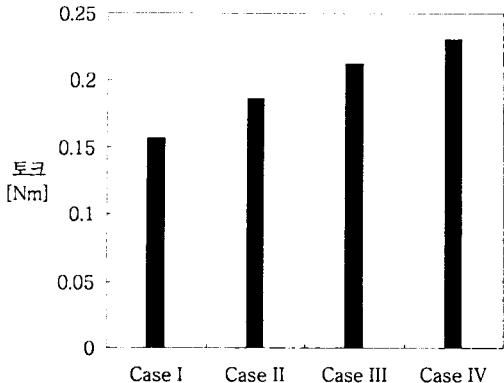


그림 6. 6슬롯일 때 권선 사양에 따른 토크의 크기

표 5. BLDC 모터의 사양

개발 사양	
Motor type	BLDC(Inner Rotor type)
극수	4극
상수	3상
Slot	6slot
회전자 반지름	11[mm]
회전자 축방향 길이	38[mm]
권선 수	55[turn]
코일 직경	0.55[mm]
최대 토크	0.2124[Nm]
회전 속도	3500[rpm]

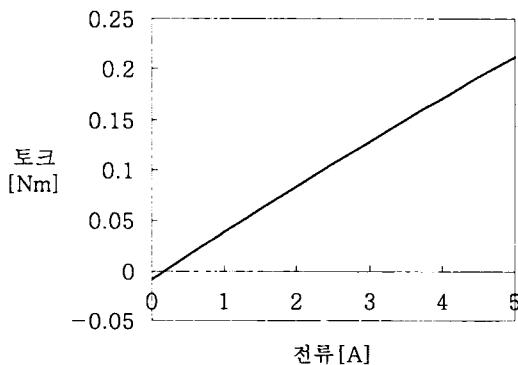


그림 7. BLDC 모터의 토크-전류 커브

2.3 최적설계 BLDC 모터의 사양 및 특성

각 Parameter를 변화시키며 토크의 크기를 계산한 결과 표 4에서 Case III와 같은 사양을 얻을 수 있다. 전체 사양을 표 5에 정리를 했다. 표 5와 같은 사양일 때 최대 토크는 0.2124[Nm]로 목표사양인 0.2[Nm]보다 조금 더 큰 토크를 얻을 수 있고, 그림 7과 같은 전류-토크 커브를 얻을 수 있다. 그림 7과 같이 정격전류인 2[A]에

서는 0.08[Nm]의 토크를 가지고 최대전류인 5[A]에서는 0.2124[Nm]의 토크를 가진다.

3. 결 론

본 논문에서는 ETC를 위한 BLDC모터의 기초 설계를 통해 필요한 부피를 구하고 제한된 회전자 단면적의 크기에 맞추어 구조를 설계하였다. 그리고 필요한 전류량을 위해 권선수와 코일의 단면적을 변화시켜 토크를 계산하고 권선수와 코일의 단면적을 늘리기 위해 슬롯수를 12슬롯에서 6슬롯으로 줄이고 슬롯 단면적을 늘려 권선수와 코일의 단면적을 늘릴 수 있다. 이에 원하는 토크를 얻을 수 있는 형상을 설계하였다. 하지만 이는 수치 해석적 계산을 통해서 나온 결과이므로 실제 제작에 오차를 가질 수 있다. 실제 제작을 한 모터를 실험적으로 분석하고 이후에 토크리플에 관한 해석을 통해 모터의 진동에 관한 연구도 차후 진행 되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jeon, Y.S.; Mok, H.S.; Choe, G.H.; Kim, D.K.; Ryu, J.S, "A new simulation model of BLDC motor with real back EMF waveform", IEEE Tran. on Power Elec., pp.217-220, 16-18 July 2000
- [2] Ko, J.S., "Asymptotically stable adaptive load torque observer for precision position control of BLDC motor", Electric Power Applications, IEEE Proceedings-Volume 145, Issue 4, Page(s):383 - 386, July 1998
- [3] Jang, G.H.; Park, J.H.; Chang, J.H., "Position detection and start-up algorithm of a rotor in a sensorless BLDC motor utilising inductance variation", Electric Power Applications, IEEE Proceedings-Volume 149, Issue 2, Page(s):137 - 142, March 2002
- [4] Jang, G.; Kim, M.G., "A bipolar-starting and unipolar-running method to drive a hard disk drive spindle motor at high speed with large starting torque", Magnetics, IEEE Transactions onVolume 41, Issue 2, Page(s):750 - 755, Feb. 2005
- [5] 권용찬, 박종원, 조학래, 손정기, 권순재, "BLDC 모터를 이용한 전자 스로틀 벨브제어", 전력전자학술대회 논문집, Page(s):163 - 165, 6월 22-24일. 2006
- [6] Kang, Jinsong; Xu, Guoqing; Hu, Bo; Zhang, Zhouyun; Gong, Jun, "Research on Field-Weakening Based on Reactive Power with BLDC Motor for Electric Vehicle Application", Integration Technology, 2007. ICIT '07. IEEE International Conference Page(s):437 - 441, 20-24 March 2007