

모빌리티 ESC 모듈을 위한 고효율 DC 모터 설계

황명환**, 차현록**, 김유진*, 임태윤*, 변재국**, 김현우*
한국생산기술연구원*, 과학기술연합대학원대학교**

Abstract

본 연구는 모빌리티용 ESC (Electric Stability Control) 적용 가능한 고효율 DC 모터의 설계·검증·기술을 확립하는 것을 목표로 한다. 제한된 장착공간을 고려하여 기존 모터 형상을 유지하면서 출력 향상을 달성하기 위해, 재료의 비선형 B-H 특성과 전기자 반작용을 반영한 전자계 유한요소해석을 수행하였다. 코깅토크 분석을 통해 소음·진동 민감도를 저감하는 자석 형상 및 권선안을 도출하고, 감자(온도·자계) 해석으로 운전조건에서 자속밀도 포인트가 이탈하지 않음을 확인하였다. 기존 브러시·요크 등 부품 공용화를 유지하면서 로터 슬롯 변경 및 단순화된 변형형 웨이브 권선 및 직권 방식 적용으로 권선 저항을 감소시켰다. 설계·해석 결과, 기존 형상을 유지한 상태에서 최대출력 향상을 위한 설계 방법을 통해 ESC 모터의 고효율화·소형화·신뢰성 확보 향상 방법을 제시한다. [1-2]

1. 서론

자동차의 안전성 향상은 전 세계적으로 중요한 연구 과제이며, 특히 전자식 주행안정화장치(ESC, Electric Stability Control)는 급격한 조향이나 미끄러운 노면 등 주행 중 발생할 수 있는 위험 상황에서 차량의 자세를 제어하여 사고를 예방하는 핵심 기술로 자리 잡고 있다. 현재는 모든 승용차에 ESC 장착을 의무화하였다. 이에 따라 ESC 시스템의 글로벌 시장 규모는 빠르게 성장하고 있으며, 승용차뿐만 아니라 대형 상용차 및 특수차량까지 적용이 확대되는 추세이다 [3-4]

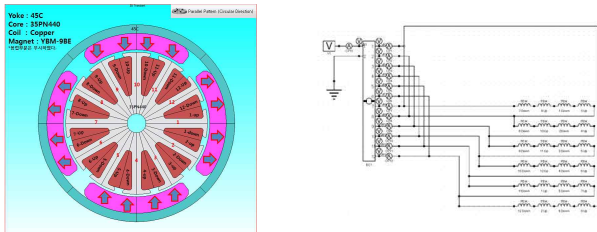
ESC 시스템의 구동 핵심 부품은 유압 제어 모듈(HCU, Hydraulic Control Unit)을 작동시키는 모터로, 순간적으로 높은 출력과 신뢰성을 요구한다. 기존에 주로 사용되던 모터는 출력 한계로 인해 대형차나 상용차 적용에는 적합하지 않다. 따라서 고효율인 600W 이상의 고효율 ESC 모터 개발이 필수적이며, 동시에 공간 제약으로 인해 기존 모터 형상을 유지하면서도 성능을 향상시킬 수 있는 설계 기술이 요구된다. [5]

2. 본론

2.1 고효율 DC Motor 설계

본 연구의 목표는 600 W급의 출력을 달성할 수 있는 ESC용 DC 모터를 설계하는 것이다. 이를 위해 기존 모터의 형상을 유지하면서도 출력 밀도를 높이는 방향으로 설계를 진행하였다. 권선 구조 변경 등을 고려한 전자계 해석을 수행하여 설계 신뢰성을 확보하였다. [6-7]

2.1.1 고효율 DC Motor 해석을 위한 모델링 및 회로도 구성
고출력 DC 모터의 전자계 특성을 분석하기 위해 권선 패턴과 자화 방향을 정확히 반영한 모델링 과정이 필요하다. 본 연구에서는 기존 ESC용 DC 모터를 기반으로 형상은 그대로 유지하면서도 630 W급 출력을 달성할 수 있도록 모델링을 진행하였다. [그림1]



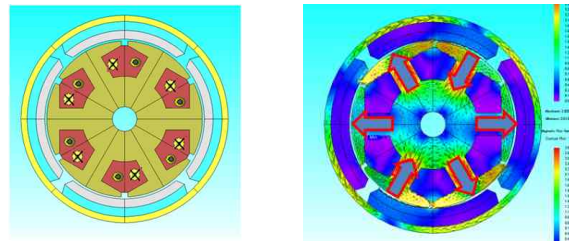
<그림 1> DC Motor 구조설계 및 전자장 해석 회로도

2.2 ESC Motor 고효율 설계

본 연구에서는 기존의 부품을 최대한 공용 사용하면서도 고효율화를 달성하기 위해 새로운 와인딩 패턴을 Rotor에 적용하였다. 구체적으로는 기존의 12 슬롯 구조를 6 슬롯으로 축소하여 Rotor 슬롯 개수를 줄였으며, 분권 권선 방식에서 직권 방식으로 변경하여 출력을 달성할 수 있도록 제시하였다.

2.2.1 고효율을 위한 권선 및 Rotor 형상 설계

기존의 12슬롯 및 13슬롯 구조는 권선 패턴이 복잡하여 제작 과정에서 공정 시간이 길어지고, 와인딩 작업 시 추가적인 지연을 초래하는 한계가 있었다. 이에 반해, 본 연구에서 적용한 6 슬롯 구조는 단순화된 와인딩 패턴을 통해 공정을 간소화할 수 있으며, 권선 효율 향상으로 인해 출력 성능을 개선하도록 제시하였다. [그림2]



<그림 2> DC Motor 구조설계 및 전자장 해석 회로도

3. 결론

본 연구에서는 자동차 ESC에 적용하기 위한 600W 이상급의 고효율 DC 모터의 설계 및 분석을 하였다. 제한된 장착 공간에서 기존 형상을 유지하면서도 고효율화를 달성하기 위하여, 재료의 비선형 특성과 전기자 반작용을 반영한 전자계 유한요소해석을 수행하였으며, 감자(자속 감쇠) 해석과 코깅 토크 분석을 통해 성능 저하 요인을 사전에 파악하고 개선하였다. 또한, 새로운 권선 패턴과 6슬롯 구조를 적용하여 공정 단순화와 출력 향상을 동시에 달성하였다.

시작품 제작 및 성능 평가 결과, 설계 단계에서 예측한 출력과 유사한 경향을 보여, 해석 기반 설계 방법의 유효성이 확인하였다. 본 연구에서 확립된 고효율 DC 모터 설계·제작·검증 기술은 ESC 모터뿐만 아니라 다양한 자동차용 전동화 부품으로의 확장 적용이 가능하다. 특히, 부품 공용화를 통해 양산 단가를 절감하고, 원가 구조 및 생산 공정에 적합한 설계안을 제시하였으며, 결론적으로, 본 연구는 기존 모터 대비 가격 경쟁력을 확보하면서도 성능과 신뢰성을 동시에 만족하는 ESC용 DC 모터를 제안하였다.

※ 본 논문은 한국생산기술연구원 기관주요사업 "2025년 [융복합-대표]제품 제조현장 작업파트너 로봇 기술 개발(6/6) (kitech E0-25-0005)"의 지원으로 수행한 연구입니다

[참고문헌]

[1] 박종현, 김동호, "자동차용 ESC 모터의 전자계 해석 및 설계 최적화 연구", 한국자동차공학회 논문집, 제22권, 제4호, pp.301-309, 2014.
[2] 이성민, 최재호, "고출력 DC 모터의 슬롯 구조 변경에 따른 성능 해석", 대한전기학회 논문지, 제63권, 제7호,

pp.987-995, 2015.

[3] 김도현, 최경락, “자동차 전자제어 브레이크 시스템용 전동기 설계 및 시험평가”, 한국자동차공학회 논문집, 제24권, 제1호, pp.112-120, 2016.

[4] P. Pillay, R. Krishnan, “Modeling, Simulation, and Analysis of Permanent-Magnet Motor Drives, Part II: The Brushless DC Motor Drive”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.25, No.2, pp.274-279, 1989.

[5] J. Faiz, B.M. Ebrahimi, “Precise Electromagnetic Analysis of Switched Reluctance Motors Using Finite Element Method”, IET Electric Power Applications, Vol.1, No.1, pp.131-138, 2007.

[6] T. Jahns, “Overview of International Developments in Advanced Motor Drives for Electric Vehicles”, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Vol.1, pp.12-19, 2004.

[7] K. Yamazaki, Y. Fukushima, “Effect of Rotor Configuration on Cogging Torque in Permanent Magnet Motors”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.36, No.4, pp.1079-1085, 2000.