

## 요지

자동차 연비에 대한 기준이 높아지면서 기계로 제어하는 시스템을 전동식으로 대체하려는 사례가 증가하고 있다. 대표적인 예로 유압식으로 제어하는 파워 스티어링(power steering)을 전동식 파워 스티어링(Electric Power Steering, EPS)으로 대체하는 것이다. EPS 시스템에 적용되는 전동기는 고성능과 고효율을 달성할 수 있는 영구자석(permanent magnet)형 전동기를 적용하여 자동차 배터리 용량의 한계를 극복하고 있지만 이와 동시에 높은 토크 품질을 요구하고 있다. 토크 품질을 나타내는 토크 리플(torque ripple)의 양이 크면 운전자의 조향 핸들(steering wheel)에 진동으로 전달되므로 설계 요구조건을 만족하는 설계 기법에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 EPS 시스템에 적용된 표면 부착형 영구자석 전동기의 토크 리플을 저감하기 위해 레벨셋 기반 최적설계 기법(level set based optimization method)을 적용하여 설계 요구조건을 만족할 수 있는 문제 정식화를 제안한다. 속도영역 전체에서 전동기 토크 리플의 양을 만족시키기 위해 토크 리플의 원인을 부하시 역기전력 파형의 고조파 성분과 코깅 토크 파형으로 분석하였으며, 토크 리플의 원인과 밀접한 관련이 있는 고정자 치(tooth)와 영구자석을 설계 영역으로 설정하였다.

레벨셋 기법을 적용하기 위해 지정된 설계 영역 내에 강자성(ferromagnetic) 물질과 영구자석 물질을 레벨셋 함수와 헤비사이드 함수(Heaviside function)로 표현하여 물질의 경계를 나타냈다. 최적의 형상은 레벨셋 방정식(level set equation)의 법선 속도를 이용하여 도출할 수 있으며 법선

속도는 설계 변수가 많을 경우 효율적으로 이용할 수 있는 보조 변수법 (adjoint variable method)을 통해 계산한 민감도를 적용하였다.

최적설계 문제는 두 가지 경우를 고려하여 설정하였다. 첫 번째는 부하시 공극 자속밀도 파형의 고조파성분을 제거하는 방향으로 목적함수를 설정하여 제약조건이 없는 최적설계 문제(unconstrained optimization problem)로 정식화하였으며, 두 번째는 목적함수를 부하시 역기전력의 고조파 제거로 설정하고 코깅 토크 최대 발생량과 재료 사용량을 제약조건으로 추가하여 제약조건이 있는 최적설계 문제(constrained optimization problem)로 정식화하였다.

제안한 설계 기법을 EPS 구동용 전동기로 사용한 800 W 4극 6슬롯 표면 부착형 영구자석 전동기에 적용하여 최대 정격속도에서 토크 리플을 만족하는 최적의 형상을 도출하였다. 또한, 최대 정격 속도 외의 속도 영역에서도 설계 요구조건을 만족하며 EPS 구동용 전동기 외 적용 분야가 다른 전동기의 토크 리플을 저감할 수 있는 가능성을 확인하였다.