

## 요지

영구자석 동기모터(PMSM: permanent magnet synchronous motor)는 고효율, 고효율뿐만 아니라 유지보수의 간편성 때문에 광범위하게 사용하고 있다. 특히 매입형 영구자석 동기모터(IPMSM: interior permanent magnet synchronous motor)는 다른 방식의 모터들에 비해 크기 대비 토크 밀도가 크기 때문에 다양한 분야에 적용되고 있다. 그러나 IPMSM은 토크리플(torque ripple)이 큰 단점이 있으며 이는 모터 소음과 진동 문제의 원인이 될 수 있다.

따라서 IPMSM의 토크리플 감소를 위한 연구가 필요하며, 토크리플 발생에 모터의 형상이 많은 영향을 미치므로 모터의 구조최적설계에 대한 연구들이 주로 수행되고 있다. 구조최적설계 방법 중 위상최적설계(topology optimization)는 고정된 설계 영역에서 최적화된 재료의 분포를 찾는 기법으로 기존의 초기 설계에 영향을 받지 않는 새로운 레이아웃의 도출이 가능하다. 위상최적화 기법을 이용한 구조최적설계는 구조분야에서 처음 제안되어 널리 사용되다가 전자기 분야에서도 점차 적용이 확대되고 있다. 그러나 아직 모터의 구조최적설계에서는 관련 연구가 활발히 수행되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 위상최적설계 방법 중에서도 명확한 경계 표현이 가능한 레벨셋기반 위상최적설계(level set based topology optimization)방법을 이용하여 IPMSM의 토크리플 저감을 위한 구조최적설계를 수행하고자 한다. 레벨셋법은 음함수(implicit function) 형태로 정의된 레벨셋 함수를 이용하여 재료 영역의 구분이 가능하며 레벨셋 방정식을 이용하여 경계를 시간에 따라 변화시킬 수 있다. 따라서 레벨셋법을 이용한 구조최적설계에서는 구분된 재

료 영역에 맞는 물성치를 적용하고 재료 경계를 최적화 조건에 만족하도록 변화시키면서 최적설계 정식화에 부합하는 구조물을 생성한다.

목적함수에 목표 평균 토크를 도입하여 모터의 평균 작동 토크를 유지하면서 토크리플만을 저감하였으며, 부피 제한조건을 사용하여 경량화 설계가 가능하도록 하였다. 모터의 성능 해석을 위해서 유한요소법을 이용하여 2차원 정자계 해석을 수행하였고, 모터의 토크는 맥스웰 응력 텐서(Maxwell stress tensor)를 이용하여 계산하였다. 구조최적설계를 수행하기 위하여 레벨셋법을 이용하여 설계영역을 강자성 재료(ferromagnetic material)와 공기영역으로 구분하였으며, 정의된 경계를 진전시키기 위하여 필요한 법선 방향 속도는 보조 변수법(adjoint variable method)을 이용하여 유도하였다.

제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 하이브리드 자동차(Hybrid vehicle)의 구동용으로 제안된 20kW급 IPMSM의 설계문제에 적용하여 평균 토크를 유지하면서 토크리플을 저감하였다. 그 결과 레벨셋법에 의해 명확한 형상으로 표현된 모터의 최적설계가 가능함을 확인하였다. 또한 결과 형상과 초기형상의 성능을 비교함으로써 더 적은 재료를 사용하면서도 평균 토크는 증가하거나 일정 수준을 유지하면서 토크리플은 크게 줄어드는 것을 확인하였다.