요지

영구자석 동기 모터(PMSM: Permanent Magnet Synchronous Motor)는 영구자석의 부착위치에 따라 매입형 영구자석(Interior Permanent Magnet)모터와 표면부착형 영구자석(Surface-mounted Permanent Magnet)모터로 구분된다. SPM모터는 영구자석이 회전자(rotor)의 표면에 부착되어 있는 관계로 기계적인 구조가 취약하고 자기적으로 유효 공극이 큰 단점이 있는 반면, IPM모터는 영구자석의 비산을 막고 자기저항의 차이에 의한 릴럭턴스 토크(reluctance torque)를 이용하기 때문에 높은 효율과 넓은 운전 영역을 가짐으로써 많은 산업 현장에서 사용되고 있다.

IPM모터는 공극(air gap)의 자속 밀도(flux density)에 고조파를 많이 포함하므로 역기전력 또한 비정현적이 되며 이에 따라 진동과 소음에 영향을 주는 토크 리플이 크게 나타나게 된다. 특히 모터의 형상이 공극의 자속 밀도 분포에 큰 영향을 주기 때문에 본 논문에서는 자속의 흐름을 조절할 수 있는 자속 장벽의 형상을 설계하여 토크 리플을 저감하고자 한다. 자속 장벽은 공기 영역과 브릿지로 구분할 수 있는데 자기적인 성능을 향상시키기 위해서는 브릿지의 단면적을 작게 설계하는 것이 유리하다. 그러나 회전자가 고속으로 회전하는 경우 관성력에 의해 브릿지에 높은 응력이 발생하므로 파단 및 변형이 일어날 가능성이 있다. 기존 연구들은 자속 장벽을 설계한 이후에 응력 해석을 고려하였거나 최적설계 과정에 고려하였다 하더라도 기존의 형상과 비교하여 큰 차이가 없어서 설계 혁신에 역할이 미흡하였다.

본 논문에서는 명확한 경계의 표현이 가능하고 재료의 분포를 설계 변수

로 하는 레벨셋 기반 위상최적설계(level set based topology optimization)을 이용하였으며, 목적 함수로 고정자의 치가 받는 접선 방향의 자기력(tangential magnetic force)을 이용하여 정식화하였다. 그리고 브릿지에 나타나는 응력 집중을 고려하기 위해 *p*-norm으로 정의한 응력 제한조건을 설정하였으며, 부피 제한조건으로 경량화 설계가 가능하도록 하였다.

제안한 방법을 영구자석이 V-type과 I-type으로 매입된 IPM모터에 적용하여 부피 제한조건만을 고려한 경우와 두 가지 제한조건을 동시에 고려한 경우를 비교하였다. 그 결과 치가 받는 접선 방향 자기력에서 특정 고조파의 제거가 토크 리플 저감에 유효함을 확인하였으며, 기계적인 응력을 만족함과 동시에 경량화 설계가 가능한 자속 장벽의 형상을 얻을 수 있었다. 명확한 경계의 구분이 가능하고 기존의 형상에 의존하지 않는 레벨셋법을 이용함으로써 설계자가 초기 자속 장벽의 형상을 결정하는데 유용할 것으로 판단한다.