

트랙션 모터 시험 신뢰성 확보를 위한 리드선 규격의 전류밀도 기반 분석

김 수 철¹⁾ · 박 현 진^{*)} · 성 무 현 · 장 재 훈 · 구 건 우

한국자동차연구원¹⁾

Analysis of Lead Wire Sizing in Traction Motors for Test Reliability Based on Current Density

Suchul Kim¹⁾ · Hyeonjin Park^{*} · Moohyun Sung · JeaHoon Jang · Kunwoo Ku

Korea Automotive Technology Institute¹

Key words : Traction motor(트랙션 모터), Reliability(신뢰성), Lead wire sizing(리드선), Current density(전류밀도), Failure case(소손 사례)

* 교신저자, E-mail: hjpark@katech.re.kr

트랙션 모터 시제품 개발에서는 목표 성능을 만족하는 전자기 설계뿐 아니라, 제작 단계에서 적용되는 리드선 및 단자 구조가 실제 시험 조건에서 요구되는 전류 용량과 열적 안정성을 만족하는지에 대한 검토가 중요하다. 그러나 기존 트랙션 모터 설계 및 검증 과정에서는 전자기 성능 및 권선 설계 중심의 검토가 주로 수행되어 왔으며, 실제 전류 경로를 구성하는 리드선 및 접속부에 대한 정량적 평가와 시험 조건 반영 검토는 상대적으로 부족한 실정이다. 본 연구는 트랙션 모터 시제품 시험 신뢰성에 미치는 리드선 규격의 영향을 전류밀도 관점에서 규명하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해, 설계 데이터를 기반으로 제작된 트랙션 모터의 단품 시험 중 발생한 소손 사례를 대상으로 리드선 규격 적정성이 시험 신뢰성에 미치는 영향을 전류밀도 관점에서 분석하였다.

시험 대상 모터는 고전류 인가와 반복 효율 측정이 수반되는 고부하 운전 조건에서 상 단락과 권선 손상이 발생하여 시험이 중단되었으며, 손상 위치는 모터 인출 리드선과 권선 접속부 인근에서 확인되었다. 이에 따라 본 연구에서는 적용된 리드선 규격, 목표 운전점 전류, 연속 구동 조건 및 반복 효율 측정 조건을 바탕으로 전류밀도를 계산하고, 도체 단면적 대비 발열 가능성을 전류밀도 기반의 이론적 해석을 통해 정량적으로 평가하였다. 또한 시험 조건에서 요구되는 전류 수준과 적용 리드선의 전류 허용 여유를 비교하여 리드선 규격의 적정성을 분석하였다.

그 결과, 적용된 리드선은 목표 운전점 및 고전류 구간에서 요구되는 전류 용량에 비해 충분한 도체 단면적을 확보하지 못한 것으로 나타났으며, 이는 일반적인 공냉 조건에서 허용되는 전류밀도 범위를 초과하는 수준으로 판단된다. 이러한 판단은 산정된 전류밀도가 일반적인 공냉 리드선 적용 수준을 크게 상회하고, 이로 인해 리드선 및 접속부의 저항 발열과 국부 온도 상승 가능성이 증가한다는 계산 결과에 근거한다. 따라서 과도한 전류밀도는 절연 열화와 단락 발생 가능성을 높여 최종적으로 권선 손상 및 소손으로 이어졌을 가능성이 높은 것으로 판단된다. 본 사례는 트랙션 모터 시험 신뢰성이 권선 설계 자체뿐 아니라 실제 전류 경로를 구성하는 리드선, 접속 구조 및 냉각 여건에 의해 크게 좌우될 수 있음을 보여준다. 따라서 시제품 제작 단계에서는 정격 운전점뿐 아니라 고부하 반복 시험, 최대 출력 부근 운전 및 시험 지속시간을 반영한 리드선 규격 선정이 필요하며, 설계-제작-시험 간 연계 검토 체계를 사전에 구축해야 한다. 본 연구는 트랙션 모터 시험 신뢰성 확보를 위한 리드선 규격 선정 기준 수립의 필요성을 제시하며, 사례 기반 고장 분석을 통해 설계-제작-시험 간 연계 검토의 중요성을 확인한다.

감사의글

본 연구는 산업통상자원부 소재부품기술개발사업 지원(과제번호 : RS-2024-00445670, 연속와인딩 고정자 기반 e-Axle용 구동모터 및 제조 기술 개발)의 일환으로 수행되었습니다.