

차량용 구동모터의 소음진동 특성 해석

NVH Characteristic Analysis of Vehicle Motor

김규식† · 김찬중* · 김철수* · 주형준** · 이봉현*

Kyu-Sik Kim, Chan-Jung Kim, Chul-Soo Kim, Hyung-Jun Ju, Bong-Hyun Lee

1. 서 론

최근 국제유가 및 지구 온난화 현상 등 각종 요인으로 인해, 전세계 자동차 관련 산업 환경이 급속도로 변화되고 있다. 특히 운송 수단의 대안으로 전기차, 하이브리드차 및 수소연료전지차 등 xEV 차량에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

xEV 차량은 크게 구동 시스템, 전자 장치 시스템, 에너지 저장 시스템 및 보조 부하 시스템과 같이 4 가지로 분류할 수 있다. 특히 구동 시스템은 xEV 차량의 기계적 구동에 관여하는 감속기와 모터로 구성되어 있으며, 기존 내연기관 자동차의 파워트레인과 상이하여 소음진동 측면에서 큰 차이를 보인다.

본 연구에서는 xEV 차량 구동 시스템의 핵심요소인 모터의 특성 분석 및 해석 프로세스 개발을 목표로 하고 있으며 이를 이용하여 차량용 구동 모터의 NVH 성능향상을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 구동모터 소음진동 특성 해석

2.1 로터 다이나믹스 해석

모터 회전자를 지지하는 베어링 위치, 수량 및 강성값은 모터 위험속도에 영향을 주므로 공진 회피 설계를 위해 우선적으로 검토되어야 한다. 본 연구에서는 차량용 구동모터로 활용되어지는 BLDC (Brushless DC) 모터를 대상 시스템으로 선정하였다. 구동 모터의 위험속도 및 베어링 지지강성 값의

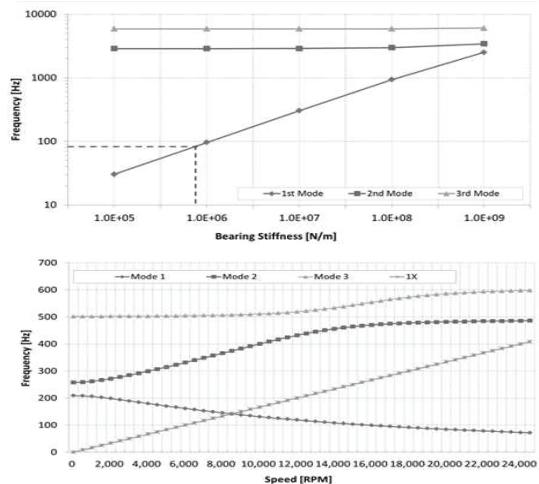


Fig. 1 Critical Speed Map and Campbell Diagram

적정성 판단을 위해 로터 다이나믹스 해석을 통한 위험속도 선도(Critical Speed Map) 및 캠벨 선도(Campbell Diagram)를 Fig. 1과 같이 추출하였다.

해석결과 대상 모터 최대 회전수인 5,000rpm에서 요구되는 베어링 지지강성은 1×10^6 N/m이며, 회전자의 위험속도와 최대운전 속도 사이의 적정한 분리여유를 확보하여 API 규격을 만족하였음을 확인하였다.

2.2 모터 고유진동수 해석

모터의 구조적 특성 분석 및 신뢰성 검증을 위해 로터 다이나믹스 해석과 더불어 대상 시스템의 고유진동수 해석을 수행하였다. 고유 진동수 해석 시 로터 다이나믹스 해석 결과를 고려하여 모터의 회전자와 고정자 사이의 베어링 강성값을 1×10^7 N/m로 선정하였다. Table 1은 모터의 회전자, 고정자 및 전체 시스템의 고유진동수를 나타낸 것이다.

본 해석 결과는 추후 모터 구동에 따른 진동 특성 분석 및 방사소음예측의 기초 데이터로 활용하였다.

† 교신저자; 정회원, 자동차부품연구원 대구경북지역본부
E-mail : kimks@katech.re.kr

Tel : 053-592-8972, Fax : 053-592-3169

* 자동차부품연구원

** 자동차부품연구원, 서울대학교

Table 1 Natural Frequency

	Natural Frequency [Hz]		
	Rotor	Stator	Assembly
1st	3,145	1,343	213.7
2nd	3,250	1,723	396.9
3rd	5,886	2,135	539.1

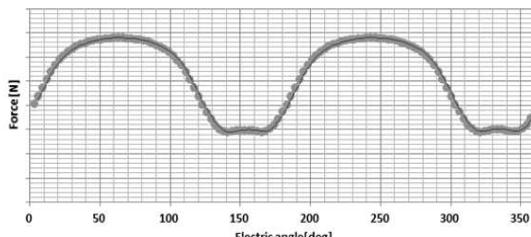
2.3 모터 전자기 해석

모터의 주 가진원은 회전자가 회전할 때 자기장의 변화로 인해 발생되는 전자기력에 의한 영향이 지배적이다. 특히 고정자 스롯의 치면에 발생되는 Maxwell Force는 모터 진동 및 소음에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이때 치면 법선 방향의 힘은 모터를 직접적으로 가진하여 진동 및 소음 발생을 크게 유발하며, 치면 접선 방향의 힘은 모터 주변의 보기류의 진동을 야기한다. 모터 고정자 치면의 법선방향 힘은 아래 식(1)을 통해 계산될 수 있다. 본 연구에서는 모터 진동 및 소음의 영향도가 가장 높은 치면 법선 방향의 힘을 주 가진원으로 고려하였다.

$$F_{nomal} = \frac{1}{2\mu_0} \int (B_N^2 - B_T^2) dS \quad (1)$$

여기서 μ_0 , B_N , B_T 는 각각 공기투자율, 치면 법선방향 자속밀도, 접선방향의 자속밀도를 의미한다.

Fig.2는 모터가 1,300rpm으로 회전할 때, 회전자 의 특정 치면에 발생하는 법선 방향의 힘을 나타내는 것이다.

**Fig. 2** Estimated Maxwell Force

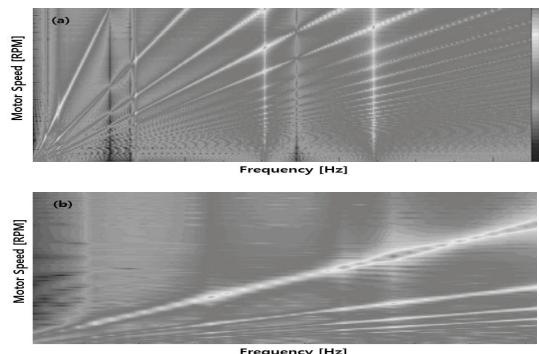
2.4 모터 진동 및 방사 소음 해석

앞서 언급한 고유진동수 해석 결과 및 전자기 해석을 통한 가진원을 이용하여 모터 전체 시스템의 강체 응답 해석을 수행하여 모터 하우징 부의 진동

특성을 확인하였다. 또한 모터 구동 시 외부로 방사 되는 소음 예측 및 특성 분석을 위해 BEM (Boundary Element Method) 해석을 병행하였다.

본 연구에서는 모터가 100 rpm ~ 5,000rpm 까지 회전할 때, 모터 여러 치면에 발생하는 법선 방향의 힘을 각각 도출하였으며 이를 방사소음 해석에 활용하였다.

Fig. 3은 모터 외부 특정 지점의 가속도 응답 및 모터 옆면으로부터 1m 위치한 지점에서의 소음을 도시한 것이다.

**Fig. 3** Analysis Results (a) Acceleration (b) Sound Pressure Level

3. 결 론

본 연구에서는 최근 연구가 활발히 진행되고 있는 차량용 구동 모터의 진동 및 소음 특성 분석을 위한 시스템의 소음진동 해석 접근 방법을 고찰하였으며, 각각 해석 결과를 순차적으로 활용 및 연동하여 최종적으로 모터 회전 시 발생하는 진동 및 소음을 예측하였다.

일반적으로 전기자동차를 포함하는xEV 차량의 경우 내연기관 차량과 달리 모터 및 인버터에서 발생되는 고주파 소음이 NVH 성능을 저하시키므로 이를 예측하고 제어할 수 있는 추가적인 해석기술이 요구된다.

후 기

본 연구는 지식경제부에서 시행중인 산업기술연구기반구축사업(지능형 그린카 파워트레인 부품 개발 사업, N0000005)의 지원하에 수행되었습니다.