

IPM 전동기의 구동 방식에 따른 진동 특성 분석

이경득, 이원식, 김규탁
창원대학교

Analysis of vibration characteristic according to operation method in IPM motor

Gyeong-Deuk Lee, Won-Sik Lee, Gyu-Tak Kim
ChangWon National University

Abstract - 본 논문에서는 IPM type 전동기의 구동 방식에 따른 진동 특성을 비교, 분석하였다. BLDC 구동 방식은 2상에만 전원이 인가되므로 Commutation torque ripple 및 가진력의 불평형이 발생하여 기계손이 증가하고 진동, 소음이 크게 되어 효율이 떨어지므로 3상 구동 방식과 BLDC 구동방식에 따른 진동 및 출력 특성을 비교, 검토하였다.

의 경우 BLDC 구동 시 51.88%이고, 동기기 구동 시 49.60%이다. 두 모델 모두 BLDC 구동보다는 동기기 구동 시 토크 리플이 저감되는 것을 알 수 있다.

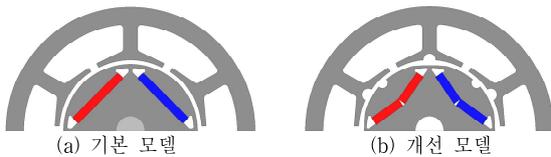
1. 서 론

자동차 전장품에 이용되는 영구자석 전동기는 고효율하면서도 컴팩트한 설계가 요구되어 잔류자속밀도가 높은 회로류 자석을 사용하고 있다. 하지만 큰 자속밀도로 인하여 코깁토크와 반경방향의 힘인 가진력이 크게 발생하여 진동이 크게 발생한다. 따라서, 가진력 저감 및 평형화와 코깁 토크 저감 설계가 자동차용 전장품의 핵심요소기술이며 진동 특성에 대한 규명이 선결되어야 한다. 또한, 자동차용 전장품의 경우, 제작 단가의 저렴화 및 높은 양산성을 갖추어야 하므로 BLDC 구동 방식이 일반적으로 널리 이용되고 있다[1]. 영구자석 전동기를 BLDC로 구동시키면 3상 중 2상에만 전류가 통전되므로 3상 구동방식보다 토크 리플이 크게 증가함은 물론 고정자와 회전자 철심사이에서 발생하는 가진력이 발생하여 진동원으로 작용하게 되어 3상 동기기 구동방식보다는 매우 큰 진동이 발생하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 구동 방식에 따른 진동 특성 비교, 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 설계 모델 및 제한

그림 1은 기본 모델과 가진력이 최소화 및 평형화된 모델의 형상이다. 표 1에는 설계 모델의 제한을 요약하여 나타내었다. 구동 방식에 따른 진동 특성을 비교하고자 한다. 구동 방식에는 BLDC 구동 방법과 동기기 구동 방법을 이용하였다.



〈그림 1〉 각 모델의 형상

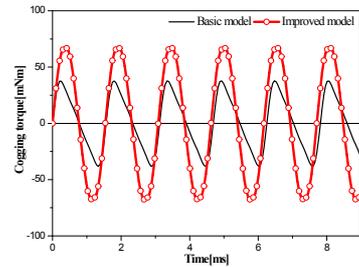
〈표 1〉 설계 모델의 제한

Item	Specification
Rated speed [RPM]	3200
Rated torque [Nm]	0.4
Pole/Slot	4/6
Air-gap length [mm]	1.2
Winding type	Concentrated winding
Br	1.02
Stack length[mm]	41
Stator diameter [mm]	70

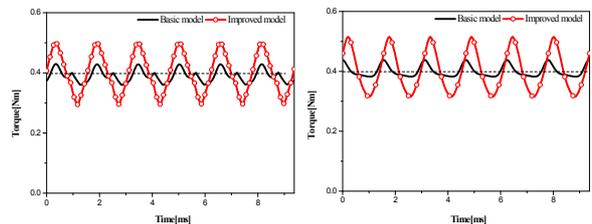
2.3 구동 특성 비교 및 분석

일반적으로 코깁 토크는 토크 리플 및 진동원이 되어 전동기 성능저하의 요인이 된다. 그림 2에 기본 모델과 개선 모델의 코깁 토크를 나타내었다. 코깁 토크의 peak-peak치로 기본 모델은 76[mNm], 개선 모델은 134.4[mNm]이다.

그림 3에는 구동 방식에 따른 토크 특성을 나타내었다. 기본 모델의 경우 BLDC 구동 시 17.53%이고 동기기 구동 시 13.56%이다. 개선 모델



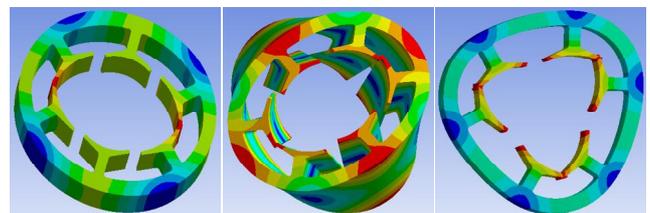
〈그림 2〉 코깁 토크



(a) BLDC 구동 시 (b) 동기기 구동 시
〈그림 3〉 구동 방식에 따른 토크

2.4 고유 진동수 해석

고정자의 고유 진동 주파수가 진동 및 공진에 지배적인 역할을 하므로 고정자의 모달 해석을 수행하였다. 그림 2에 모달 해석 결과를 나타내었다. 그림 2의 (a)와 (b)는 다른 모드에 비하여 진동 및 소음을 일으키는 주요 모드가 되므로 이 모드에서의 공진을 피해야 한다.



(a) 2402 [Hz] (b) 4293 [Hz] (c) 5599 [Hz]
〈그림 4〉 고유 진동수에 대한 모드 형상

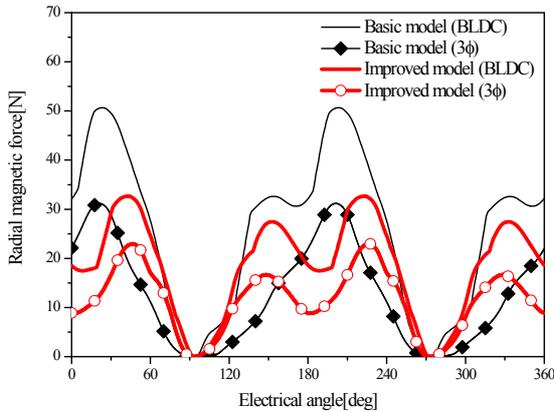
2.5 가진력에 의한 진동 분석

무부하시나 부하시에 공극 자계로 부터의 고정자 표면 반경방향 힘 밀도(radial force density) 분포는 전자기적 진동·소음의 주된 발생원이며, 수식 (1)와 같이 Maxwell's stress method로 계산할 수 있다[2].

$$F_{rad}(\theta_s, t) = \frac{1}{2\mu_0} [B_r^2(\theta_s, t) - B_\theta^2(\theta_s, t)] \quad (1)$$

여기서 F_{rad} 는 힘 밀도의 반경방향 성분, B_r 과 B_θ 는 공극 자속 밀도의 반경방향과 접선방향 성분이고, μ_0 는 자유 공간(free space)에서의 투자율, θ_s 는 각도에 따른 위치, t 는 시간이다.

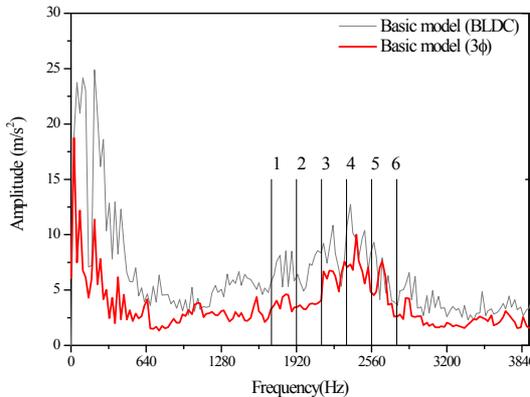
그림 6은 구동 방식에 따른 하나의 치에 작용하는 가진력을 계산한 결과이다. 최대값을 비교할 경우, 기본 모델은 50.62[N]에서 31.17[N]으로 38.5[%]저감되었고, 개선 모델은 32.67[N]에서 22.96[N]으로 29.7[%]저감 되었다. 이는 동기 구동시 가진력이 저감된 것으로 진동이 저감될 것으로 사료된다.



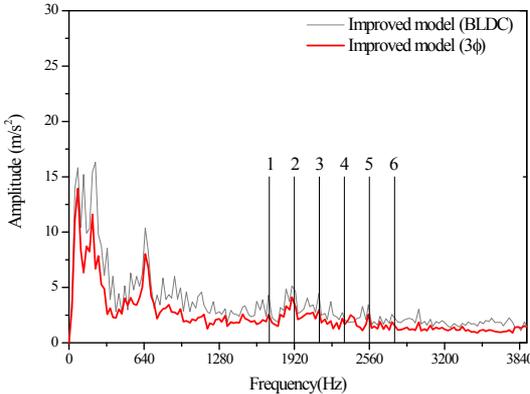
〈그림 5〉 구동 방식에 따른 하나의 치가 받는 가진력

2.6 진동 실험

그림 7과 8은 구동 방식에 따른 각 모델 별 진동 실험 결과 스펙트럼이다. 기본 모델과 개선 모델은 BLDC 구동에 비해 동기 구동시 진동의 크기가 감소한 것을 알 수가 있다. 두 모델 모두 213.33[Hz]영역에서 BLDC 구동보다 동기 구동시의 가진력이 감소하였기 때문에 진동이 저감되었다는 것을 알 수 있다. 또한 코깅토크&토크리플 주파수인 640[Hz]인 영역에서 두 모델의 진동이 다소 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 토크 리플의 저감으로 인해 진동이 저감된 것으로 사료된다.



(a) 기본 모델



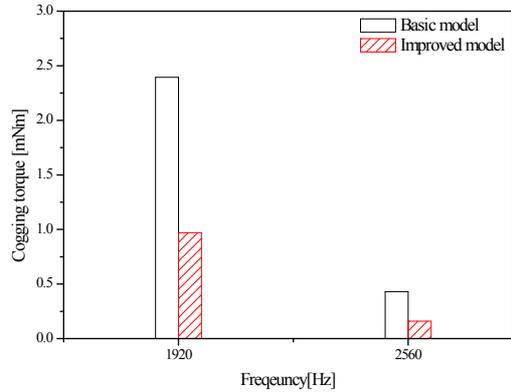
(b) 개선 모델

〈그림 6〉 진동 실험 스펙트럼

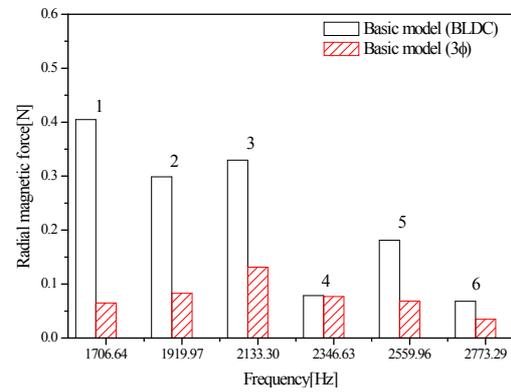
2.7 고유 진동 주파수 영역에서 진동원 분석

고유 진동수 대역에서 진동 특성을 분석하기 위해 그림 7과 8에 코깅토크와 가진력에 대한 고조파 성분을 나타내었다. 1차 고유 진동수 영역인 2400[Hz]와 근접한 지점은 4번 영역인 2346.66[Hz]영역에서 크기는 비슷하지만 그 주변 영역의 크기가 BLDC 구동에 비해 동기 구동시

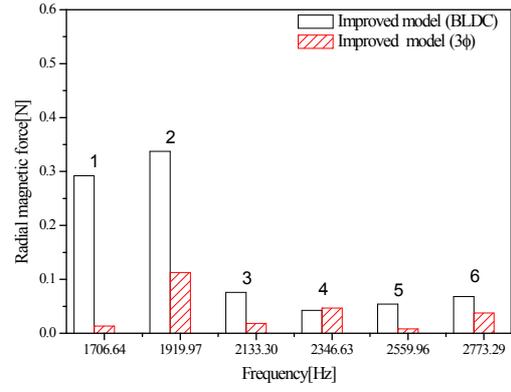
크기가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 공진영역과 근접한 영역에서의 진동원이 감소하였기 때문에 동기 구동시 진동이 저감되는 것으로 사료된다.



〈그림 7〉 고유 진동수 대역에서의 코깅 토크 고조파 성분



(a) 기본 모델



(b) 개선 모델

〈그림 8〉 고유 진동수 대역에서의 가진력 고조파 성분

3. 결 론

본 논문에서는 IPM 전동기의 구동 방식에 따른 진동 특성을 분석한 결과, 동기 구동시에 진동이 저감된 것을 알 수가 있다. 그 이유는 두 모델 모두 동기 구동시 토크리플이 저감되었다. 또한 가진력의 최대값이 저감되며 고조파 성분이 감소하여 진동이 감소한 것을 알 수 있다. 이는 동기 구동시 흔히 알려져 있는 코깅토크 및 토크리플의 저감보다 가진력의 저감이 진동 저감의 효과가 큰 것을 알 수 있었으며 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Gyu-Hong Kang, Young-Dae Song, Gyu-Tak Kim and Jin-Hur, "A Novel Cogging Torque Reduction Method for Interior Type Permanent Magnet Motor", IEEE Transaction on. Industry Applications, vol. 45, No 1, pp 161-167, 2009.
- [2] Gieras, J. F.; Wang, C.; Lai, J. C.: "Noise of Polyphase Electrical Motors", Taylor & Francis Group, 2006.