

PMSM의 고속 운전시 소음 및 진동 특성 저감 방안

주재연, 변병주, 조영훈, 최규하
건국대학교

Analysis of Noise and Vibration Characteristics of High Speed PMSM Operation

Jae Yeon Ju, B.J. Beon, Y.H. Cho, G.H. Choe
Konkuk University

ABSTRACT

본 논문은 PMSM의 고속 운전시 약자속 제어를 수행했을 때와 수행하지 않았을 경우의 소음 특성을 분석한다. 이를 위하여 두 가지 경우에 관하여 운전 시 발생하는 소음과 진동을 측정하여 그 주파수 특성을 분석하고, 그로부터 소음과 진동을 저감하기 위한 방법을 제시하였다. 자동차용 샤프트 제어 모터를 대상으로 실험을 수행하고 제시한 방법의 유효성을 확인하였다.

1. 서론

최근 유가의 상승과 더불어 환경 문제에 대한 관심이 증가하고 있음에 따라 자동차의 연비향상과 이산화탄소 배출의 감소가 중요시되고 있다. 이러한 흐름에 맞춰 기존 자동차에 장착되어있던 유압식 조향 장치를 대체하여 모터를 이용하는 전동식 파워 스티어링 시스템(Motor Driven Power Steering, 이하 MDPS)의 장착이 점차 증가하고 있다.

이러한 MDPS용 모터로 영구자석형 동기 전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor, 이하 PMSM)가 주로 사용된다. PMSM의 경우 여자 권선으로 인한 손실이 없어 효율이 높고, 출력 밀도가 좋아 크기에 비해 큰 출력 토크를 가지는 장점이 있다. 그러나 샤프트 제어용 PMSM의 경우 이용할 수 있는 전압이 배터리 전압인 12V 정도로 매우 낮아, 고속 운전을 수행하면 전압 부족 현상으로 정현파 전류제어가 용이하지 않다. 이로 인하여 소음과 진동이 발생하면서 조향 성능과 질이 떨어지게 된다. 따라서 PMSM의 고속 운전 시, d축 고정자 전류를 흘려 약자속 제어를 통해 속도 영역을 확장시켜야 한다.^{[1][2]}

본 논문에서는 PMSM에서 약자속 제어를 수행하였을 때와 그렇지 않은 경우의 소음과 진동 특성을 분석한 후, 약자속 제어의 유효성을 확인한다.

2. PMSM의 약자속 제어

2.1 약자속 제어

실험에 사용한 모터는 표면 부착형 영구자석 동기 전동기(Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Motor, 이하 SPMSM)로 d축과 q축의 인덕턴스가 같다. SPMSM의 약자속 제어시 전압과 전류는 식(1)과 식(2)와 같은 전압, 전류 제한 조건 하에서 구동된다.

$$(w_r L_s i_{qs})^2 + (w_r L_s i_{ds} + w_r \phi_f)^2 \leq V_{smax}^2 \quad (1)$$

$$i_{qs}^2 + i_{ds}^2 \leq I_{smax}^2 \quad (2)$$

두 제한 조건은 원과 타원의 영역으로 그려지며 SPMSM의 구동 시에는 두 영역의 제한 조건을 동시에 만족하는 전류 지령치를 가져야 한다.

2.2 소음 및 진동 측정실험

PMSM의 고속운전 시 약자속 제어가 수행되지 않으면 전류의 지령치가 제한 영역을 벗어나면서 전류에 고조파 성분이 유기되고 그로 인하여 기계적 토크리플이 발생하여 운전 중 진동 및 소음이 발생한다. 이 때 발생하는 소음은 대부분 기계적인 진동에 의한 소음으로 주로 수 백Hz 대의 중간 대역의 주파수 값을 가진다. 또한 모터의 기본 회전 주파수에 대응하는 고조파 성분이 관측될 수 있으며 각 고조파 성분에 감속비가 적용된 추가적인 고조파 성분도 함께 관측될 수 있다.

본 실험에 사용된 모터는 MDPS에 장착되는 SPMSM이며 약자속 제어를 위해 1800rpm의 고속으로 운전되었다. 기어의 감속비는 18.5배로 설정되었으며, 소음 측정을 위해 마이크는 모터와 약 20cm정도 떨어진 지점에 설치하였다. 정확한 비교를 위해 약자속 제어를 적용하는 경우와 그렇지 않은 경우 주변 소음 환경은 최대한 동일하게 유지되었다.

3. 실험결과

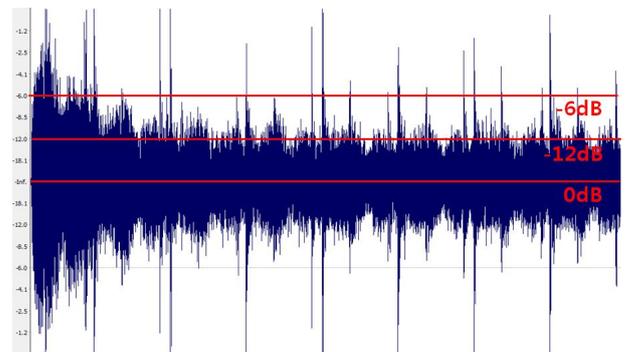


그림 1 약자속 제어를 수행하지 않은 경우의 모터 소음
Fig.1 Motor Noise without Flux Weakening Control

그림 1은 실험에 사용된 SPMSM을 1800rpm으로 고속 운전 하면서 약자속 제어를 수행하지 않을 때 소음의 크기를 측정 한 파형이다. 약자속 제어가 적용된 경우 소음의 크기를 측정 한 파형인 그림 2의 결과와 비교해 볼 때 전반적으로 그림 1에 나타는 소음의 진폭이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 각 파형의 평균적인 진폭을 비교하면 전반적으로 소음의 크기가 약 6dB 이상 감소한 것을 확인할 수 있다.

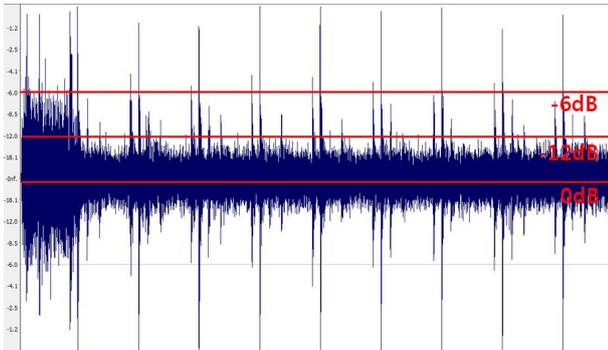


그림 2 약자속 제어 수행 시 모터 소음
Fig.2 Motor Noise with Flux Weakening Control

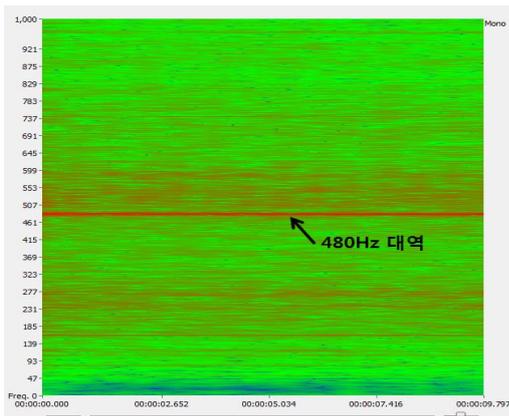


그림 3 약자속 제어가 없는 경우 주파수 스펙트럼 분석
Fig.3 Frequency Spectrum Analysis without Flux Weakening Control

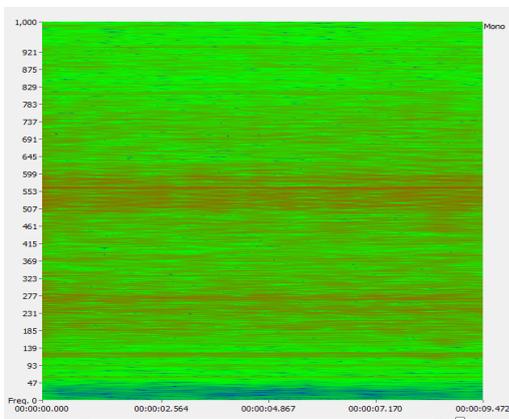


그림 4 약자속 제어 수행시 주파수 스펙트럼 분석
Fig.4 Frequency Spectrum Analysis with Flux Weakening Control

녹음된 소음을 사운드 포지를 통해 주파수 스펙트럼을 분석 한 결과 약자속 제어가 수행되지 않는 경우는 그림 3과 같이 기계적 소음 주파수 대역인 480~500Hz 영역의 소음이 두드러 지게 관측되었다. 또한 기본파와 각 고조파에 해당하는 200Hz, 500Hz, 1100Hz 영역대에 걸쳐 소음이 나타난다.

그러나 그림 4에 나타난 약자속 제어가 적용된 후의 주파수 스펙트럼을 분석하면 그림 3에 두드러지게 나타난 중대역의 480~500Hz 성분이 크게 감소한 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문은 PMSM에서 약자속 제어가 수행된 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 소음과 진동 특성을 비교한 후, 약자속 제어에 대한 유효성을 알아보았다. 실험결과 PMSM의 고속운전 영역에서 약자속 제어가 수행된 경우, 그렇지 않은 경우와 달리 기계적 소음으로 인해 발생하는 중대역 주파수대의 소음이 크게 감소함을 알 수 있었다.

추후 모터의 약자속 제어와 기계적 진동 및 소음 발생 사이의 상관관계를 수식화하여 보다 효과적인 소음 감소에 관한 알고리즘의 개발을 진행할 예정이다.

이 논문은 건국대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] Xuewu, Ji, and Lv Yingchao. "Field weakening control of PMSM used in an electric power steering system." Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 2011 International Conference on. IEEE, 2011.
- [2] 유충준. "진동식 파워스티어링 모터소음 저감을 위한 실험적 연구." 한국동력기계공학회지 12.6 (2008): 83-87.