

# 전기자동차용 PMSM 제어를 위한 약계자 영역에서의 인터폴레이션 기법 개선에 관한 연구

\*황정필, \*\*김진홍, \*\*\*이정효, \*\*\*\*김영렬 \*원충연  
\*성균관대학교 \*\*전자부품연구원 \*\*\*LG이노텍 \*\*\*\*안양대학교

## A study on improvement interpolation technique in the field weakening region for control of PMSM for electric vehicle

\*Jung-Pill Hwang, \*\*Jin-Hong Kim, \*\*\*Jung-Hyo Lee, \*\*\*\*Young-Real Kim \*Chung-Yuen Won  
\*Sungkyunkwan University \*\*Korea Electronics Technology Institute \*\*\*LG-Innotek \*\*\*\*Anyang University

### ABSTRACT

본 논문에서는 PMSM 제어를 위한 Look up Table 사용시 적용되는 인터폴레이션 개선기법에 대하여 설명한다. PMSM은 약계자 영역에서 속도 증가에 따라 전류제한원의 영향에 의해 q축 전류가 감소하는 운전을 하게 된다. 기존의 PMSM 약계자 영역에서는 Look up Table을 이용한 제어시 d,q축 전류 데이터 부족에 의해 선형 인터폴레이션 구간이 늘어나기 때문에 지령과 실제 전류에 오차가 발생하게 된다. 본 논문에서는 약계자 영역에서 q축 전류 보상기를 통해 선형 인터폴레이션에 의해 발생하는 오차를 보상하는 전류제어 방법에 대하여 제안한다.

### 1. 서론

기존의 PMSM을 제어하기 위해서는 Look up Table 작성을 통하여 모터의 자속, 토크, 전류에 대한 정보를 실험을 통하여 테이블화 하였다.<sup>[1]</sup> 그러나 전기자동차용 PMSM의 경우 정격 속도 대비 3~5배 이상의 넓은 속도 제어영역을 갖기 때문에 실험을 통해 테이블화 해야 하는 데이터양이 많으며 이는 곧 인버터를 제어하기 위한 마이크로세서 및 DSP의 저장용량 증가 및 연산량이 증가하는 문제점이 발생한다. 특히 테이블화 되어 있지 않은 지령이 발생하는 경우 테이블화 되어 있는 정보를 이용해 인터폴레이션 기법에 의해 지령을 출력할 수 있다.<sup>[2]</sup> 정토크 영역에서의 인터폴레이션 기법은 전류, 전압제한원의 영향을 받지 않기 때문에 테이블화 되어 있는 자속, 토크, 전류 정보를 이용해서 지령추종이 가능하다. 그러나 약계자 영역에서는 전류제한원의 영향에 의해 q축 전류가 감소하게 되고 자속의 변화를 막기 위해 d축 전류를 제어하게 되며 이때 모터에서 원하는 만큼의 감자가 되지 않는 문제가 발생한다. 따라서 Look up Table 작성시 신뢰성 있는 d축 전류 정보를 기준으로 테이블화 하게 되며 이 데이터들에 의해 q축 전류를 추종할 때 데이터 부족으로 선형 인터폴레이션 구간이 증가하여 수행됨에 따라 실제 지령값과 오차를 가지게 된다.

본 논문에서는 약계자 영역에서 토크 지령과 dq축 전압지령, 전동기 속도를 고려하여 약계자 영역에서 인터폴레이션 기법 적용시 생기는 q축 전류 오차를 보상하는 전류제어 기법에 대하여 설명한다.

### 2.1 속도 영역에 따른 인터폴레이션 비교

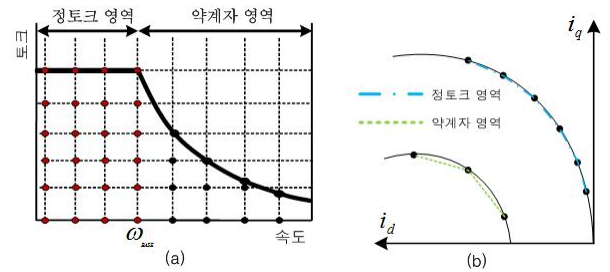


그림 1. 속도 영역에 따른 Look-up table 데이터 비교  
(a) 속도영역별 데이터량 비교 (b) 속도영역에 따른 q축 전류오차 크기 비교

그림 1(a)는 속도 토크 그래프에서의 토크 곡선을 나타낸 그림이다. 정토크 영역에서는 전동기의 정격 토크 출력에 의해 Look up Table을 작성하는데 필요한 데이터 정보량이 많지만 약계자 영역에서는 그림과 같이 dq축 전류 데이터양이 점점 줄어들게 된다. 따라서 약계자 영역에서는 테이블화 되어 있는 데이터가 부족하기 때문에 그림 1(b)와 같이 선형 인터폴레이션 구간이 늘어나게 되어 오차가 커지게 된다.

### 2.2 약계자 영역에서 q축 전류 보상기법

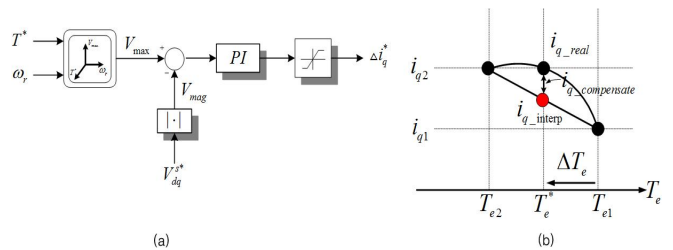


그림 2. 전류 오차 보상기법  
(a) 제안된 보상기 (b) 보상기법

그림2는 전류오차 보상기법에 대한 그림이다. 그림 2(a)는 속도 토크입력을 받아서 전압을 출력할 수 있는 Look up Table을 보상기에 적용하여 전류제어기에서 출력하는 지령 전압과 연산을 통해 발생하는 오차를 PI제어기를 통해 보상전류를 계산한다. 이는 실험을 통해 테

이블로 만든 전압 정보와 실제 약계자 영역에서의 발생하는 전압지령의 오차를 전류성분으로 출력하여 인터폴레이션에 의해 가지는 q축 전류오차를 보상하기 위한 보상 전류성분이 된다. 그림 2(b)는 전류 보상기법에 대한 그림으로써 토크와 q축 전류에 대한 그래프로 나타내었다. 전류 보상기를 통해 얻은 보상전류  $i_{q-compensate}$  를  $i_{q-interp}$  에 보상하여  $i_{q-real}$  에 가깝게 제어하게 되며 이를 구하기 위한 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{q-compensate} = i_{q-real} - i_{q-interp} \quad (1)$$

$$i_{q-interp}(T_{e1} + \Delta T_e) = i_{q1} + \frac{i_{q2} - i_{q1}}{T_{e2} - T_{e1}} \quad (2)$$

$$i_{q-real}(T_{e1} + \Delta T_e) = \frac{\sqrt{\lambda_{max}^2 - (L_q i_d + \Phi_f)^2}}{L_q} \quad (3)$$

### 2.3 전류 보상기가 적용된 전류제어

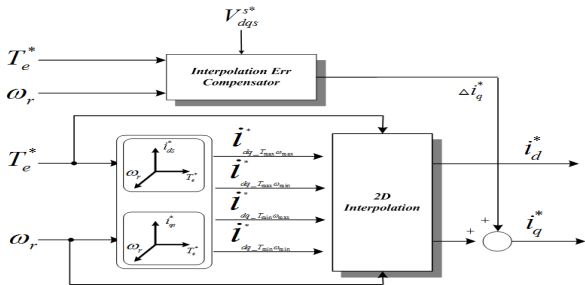


그림 3. 보상기가 적용된 2D Look-up table을 이용한 전동기 제어블록도

그림3은 전류 보상기가 적용된 2D Look up table을 사용하는 전동기 제어블록이다. 그림을 살펴보면 그림 2(a)에서 제안된 전류보상기를 통해 얻은 q축 보상전류를 약계자 영역에서 인터폴레이션에 의해 오차를 가지고 출력되는 q축 전류지령에 보상함으로써 오차를 보상한다.

### 3. 시뮬레이션

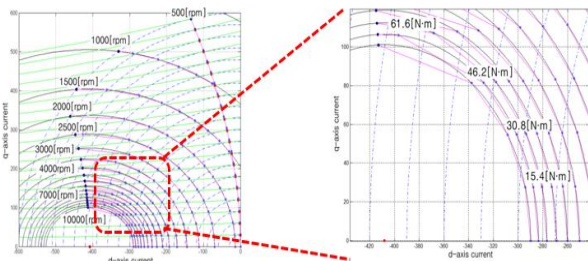


그림 4. 전류, 전압제한에 따른 전동기 속도, 토크 파형  
(a) 전동기 속도에 따른 전류, 전압 제한원 (b) 약계자 영역에서의 선형 인터폴레이션에 따른 전류 오차

그림4는 Matlab을 이용한 시뮬레이션 결과로서 dq축 전류 평면을 통해 모터의 운전속도와 약계자 영역에 대하여 나타낸 시뮬레이션 결과이다. 10000[rpm]까지 운전

이 가능한 모터 파라미터를 이용하여 시뮬레이션 하였으며 그림 4(b)와 같이 약계자 영역에서는 선형인터폴레이션에 의해 오차가 발생함을 확인하였다.

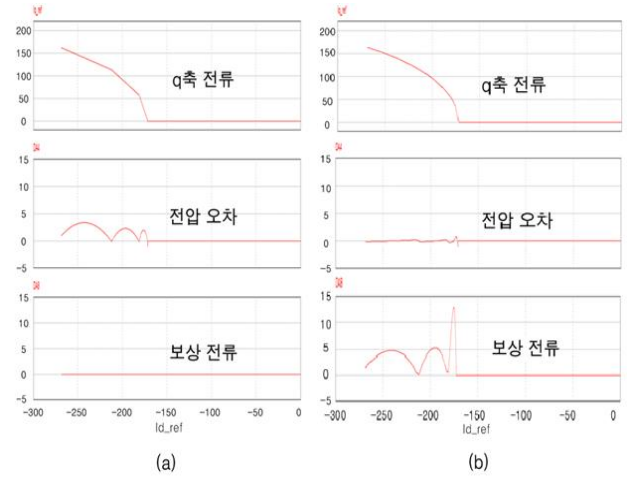


그림 5. PSIM 시뮬레이션 결과 (a) 전류보상기를 적용하지 않은 경우 (b) 전류보상기를 적용한 경우

그림5는 보상기 적용 유무에 따른 시뮬레이션 결과로서 기존 인터폴레이션 기법이 적용된 경우 q축 전류제어시 선형제어 되는 구간이 나타나게 되고 지령전압과의 차이로 인해 전압오차가 나타나게 된다. 제안된 전류보상기를 이용한 경우 q축 전류의 선형 제어 부분이 감소하였으며 선형 제어 구간이 길어질수록 커지는 전압 오차 또한 보상되어 지령과 가깝게 제어됨을 알 수가 있다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 약계자 영역에서 PMSM 제어를 위한 인터폴레이션 개선을 위한 전류 보상기에 대해 제안하였다. 먼저 기존의 인터폴레이션 기법 개선의 필요성에 대하여 설명하였고, 인터폴레이션 개선을 위한 전류 보상기를 제안하였다. 이를 시뮬레이션을 통해 q축 전류오차 보상을 검증하였고 그에 따른 전압오차 감소를 확인하였다. 이러한 결과를 통해 기존의 인터폴레이션 기법을 적용하였을 때와 달리 전류 보상기를 적용하였을 때 수정된 q축 전류 제어에 대한 결과를 얻을 수 있다.

본 연구는 2012년도 상업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제 (No. 20124010203300)입니다.

### 참 고 문 헌

[1] B. H. Bae, N. Patel, S. Schulz, and S. K. Sul "New Field Weakening Technique for High Saliency Interior Permanent Magnet Motor", in Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting, Vol. 2, pp. 898 905, 2003.  
[2] Kellner, S. L, Piepenbreier, B. "General PMSM dq Model Using Optimized Interpolated Absolute and Differential Inductance Surfaces" IEEE Electric Machines & Drives Conference, pp. 212 217, 2001.