

## 집중권 매입형 영구자석 전동기의 역기전압 THD 저감설계

김영균<sup>1</sup>, 김성일<sup>2</sup>, 홍정표<sup>3</sup>

삼성전자 가전연구소 전력전자그룹<sup>1</sup>, 창원대학교 전기공학과<sup>2,3</sup>

### The Design of Concentric Winding Type IPMSM For Low Back EMF THD

Young-Kyoun Kim<sup>1</sup>, Sung-II Kim<sup>2</sup>, Jung-Pyo Hong<sup>3</sup>

Samsung Electronics<sup>1</sup>, Changwon National Univ.<sup>2,3</sup>

**Abstract** - This paper presents a method to reduce the back-emf THD(Total Harmonic Distortion) for the Concentric winding type Interior Permanent Magnet Synchronous Motor (CIPMSM). In the CIPMSM, many design variables and their complicated combinations must be considered to reduce the back-emf THD, but it requires a lot of time and efforts. Therefore, this paper suggests the optimized solution with two simple design parameters using MINITAB software.

### 1. 서 론

근래, 산업용용 분야의 구동원으로서 영구자석 전동기의 적용사례가 급증하고 있다. 이는 전동기 효율의 향상과 함께, 소형화, 재료비 절감이 강하게 요구됨과 동시에 고자력을 가지는 회토류 자석의 가격이 점점 내려가고 있기 때문이다[1].

특히, 가전분야에서도 전동기의 사용 정도가 높은데 그 중에서도 가전용 에어컨 및 냉장고 압축기에 적용되는 전동기는 고효율, 저소음화가 절실히 요구되고 있다. 따라서 종래에 사용되는 유도전동기는 영구자석을 사용하는 2상 통전방식의 BLDC 전동기로 대체되어 왔으며, 특히 효율향상, 생산성 증대 및 제조비용을 줄일 수 있는 집중권 방식의 매입형 BLDC 전동기가 가전용 압축기의 구동용으로서 적용되는 사례가 확대되고 있는 추세이다. 이러한 경향은, 권선단부의 높이를 작게 할 수 있고 권선의 접착률을 높일 수 있기 때문에 소형화, 재료절감 및 권선 저항을 작게 함에 따른 동손 저감을 실현할 수 있는 집중권 방식의 매입형 BLDC 전동기의 장점 때문이다 [1], [2].

그러나, 2상 통전하는 집중권 방식의 매입형 BLDC 전동기는 극수만큼만 서로 인접하는 고정자 치가 각각 다른 극을 형성하므로 그 부분에 자속이 집중하고 그로 인한 포화때문에 자기적 불평형이 심해져 진동·소음이 증대하는 경향이 있다 [2]. 이러한 단점을 극복하기 위하여 3상통전 방식의 벡터제어가 가능한 집중권 매입형 영구자석 동기 전동기(CIPMSM : Concentric Winding Type IPMSM)가 요구되며, 이 CIPMSM은 정현파 구동을 하므로 역기전압 파형이 정현적이 되도록 설계되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 CIPMSM의 정현적인 상역기전압을 실현하기 위하여 설계변수를 선정하고, 미니탭을 이용하여 역기전압의 웨이브릿(THD)을 최소로 하는 설계변수값을 선정하였다.

### 2. 전동기 설계 변수

본 논문에서는 종래의 2상 통전하는 BLDC 전동기를 간단하게 설계 변경하여 벡터제어에 적합한 CIPMSM으로 만들고자 한다. 그림 1에 종래의 4극, 6슬롯을 가지는 종래의 집중권방식의 매입형 BLDC 전동기를 나타내

었다. 종래의 전동기에서 상역기전압이 정현적인 파형을 가지도록 하는 방법에는 여러 가지 설계변수와 그 조합이 있으나, 여기서는 특허문제 및 몇 가지 제안 조건을 고려하여 그림 2에 나타낸 것처럼, 고정자 치 표면의 치 흄 개구각  $\theta_S$ 와 회전자 표면의 회전자 표면 흄 개구각  $\theta_R$ 을 설계변수로 선정하였다.

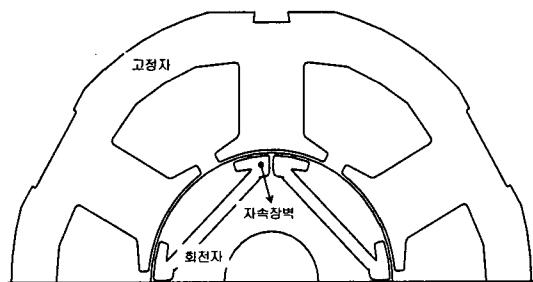
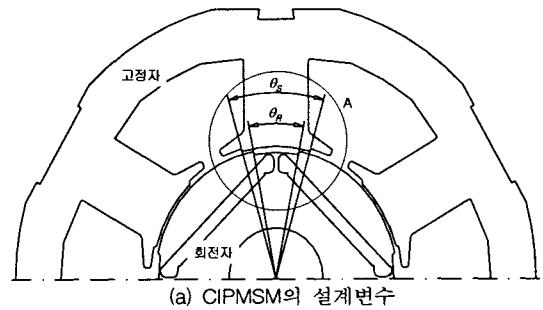
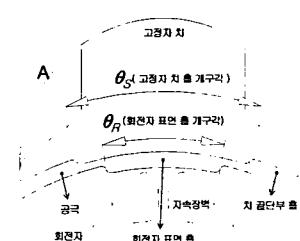


그림 1. 기존 BLDCM의 형상



(a) CIPMSM의 설계 변수



(b) A부분 확대

그림 2. CIPMSM 설계변수 정의

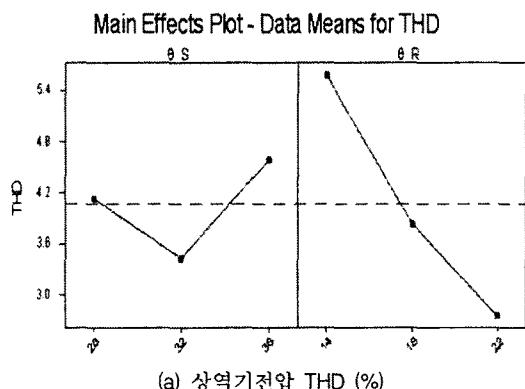
이때, 보다 효과적으로 정현적인 상역기전압을 과정을 만들기 위하여 자속장벽을 영구자석 매설형 부분과 평행을 이루도록 하였다.

### 3. THD 저감을 위한 최적설계

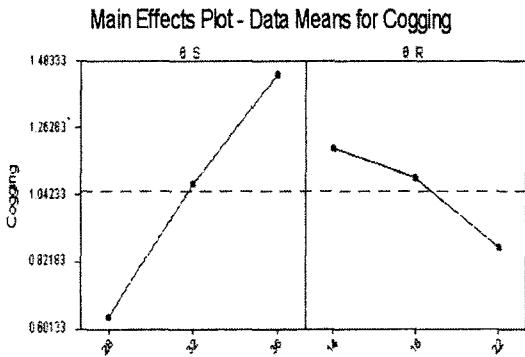
$\theta_S$ 와  $\theta_R$ 의 설계변수 범위는 식 (1)과 같이 제한하였으며, 3수준 완전요인 실험을 이용하여 역기전압 및 코깅 토크에 대한 설계변수의 주효과와 교호작용을 각각 분석하여 그림 3과 그림 4에 각각 나타내었다 [3], [4].

$$28^\circ \leq \theta_S \leq 36^\circ \quad (1)$$

$$14^\circ \leq \theta_R \leq 22^\circ$$



(a) 상역기전압 THD (%)



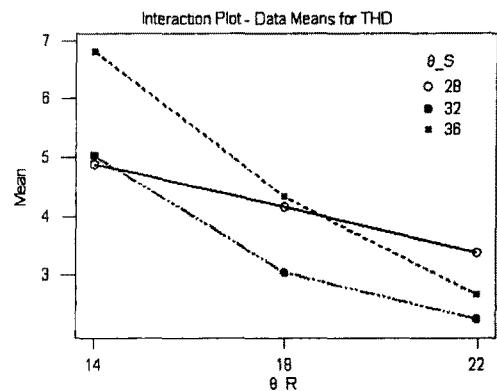
(b) 코깅토크 Peak to Peak (N·m)

그림 3. 상역기전압 왜형률과 코깅토크에 대한 주효과

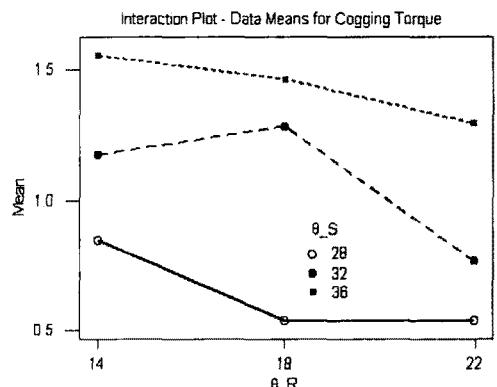
식 (1)과 같이 정의 한 설계범위에 대해서,  $\theta_S$ 값이 클수록 THD가 급격히 작아지는 효과를 나타내며,  $\theta_S$ 가 32° 인 부근에서는 변곡점을 가지는 것을 그림 3으로부터 알 수 있다. 그리고 코깅토크에 대한 설계변수의 영향도는  $\theta_R$ 이 클수록,  $\theta_R$ 가 작을수록 코깅토크가 감소하는 것으로 나타났다.

그림 4는 THD와 코깅토크에 대한 설계변수  $\theta_S$ 와  $\theta_R$  사이의 교호작용 정도를 나타내고 있다. 그림 4로부터 THD에 대해서는 두 변수사이의 교호작용이 크게 나타나고 있는 반면, 코깅토크에 대해서는 THD만큼의 교호작용은 없는 것으로 분석된다.

그림 5와 그림 6에는  $\theta_S$ 와  $\theta_R$ 의 설계변수에 대한 3수준 완전요인 실험결과를 이용하여 상역기전압의 THD와 코깅토크에 대한 반응표면 분석결과를 각각 나타내었으며, 이 반응표면 분석결과를 이용하여 THD와 코깅토크를 최소로 하는  $\theta_S$ 와  $\theta_R$ 값을 구하였다.



(a) 상역기전압 THD (%)



(b) 코깅토크 Peak to Peak (N·m)

그림 4. 상역기전압 THD와 코깅토크에 대한 교호작용

표 1. THD와 코깅토크의 목표값

구 분	하한치	목표치	상한치
THD	1	2	3
코깅토크	0.5	0.7	1

표 2. THD와 코깅토크에 대한 가중치와 중요도

구 분	가중치	중요도
THD	5	5
코깅토크	1	1

미니탭을 이용하여  $\theta_S$ 와  $\theta_R$ 에 대한 최적해를 구하기 위해서, 그림 3과 4에 나타낸 설계변수  $\theta_S$ 와  $\theta_R$ 의 영향도 분석결과를 참고하여 THD와 코깅토크의 목표값을 표 1과 같이 정의 하였다. 그리고 상역기전압의 THD 저감을 우선적으로 달성하기 위해서 THD와 코깅토크에 대한 가중치 및 중요도를 표 2와 같이 설정하였다.

그림 7에 최적화 수행결과를 나타내었다.  $\theta_S$ 와  $\theta_R$ 값이 각각 33°, 22°로 산정되었으며, THD는 2.1%, 코깅토크는 0.99N·m로 예측되었다. 그리고 유한요소법을 이용하여 구한 상역기전압에 대한 고조파 분석결과를 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 그림 8은 종래의 BLDC 전동기 결

과이며, 그림 9는 최적 형상에 대한 고조파 분석 결과를 각각 나타낸다. 종래 전동기의 THD는 15%로서 최적 설계된 CIPMSM의 THD 2.37%와 비교했을 때 약 84% 감소되었고, 코킹토는 1.2N·m에서 0.89N·m로 약 26% 개선되었다.

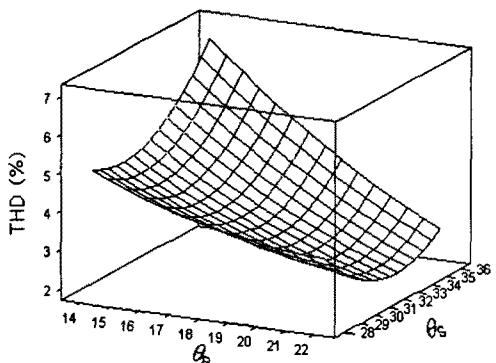


그림 5. 상역기전압 외형률과 코킹토크에 대한 교호작용

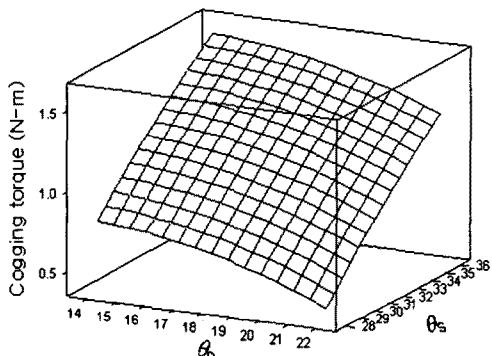


그림 6 상역기전압 외형률과 코킹토크에 대한 교호작용

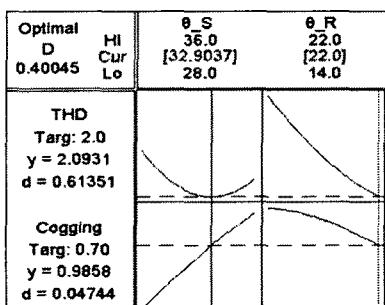


그림 7. 최적화 수행 결과

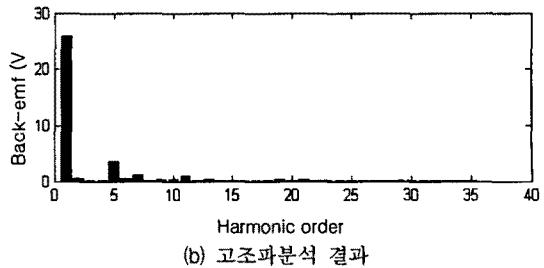
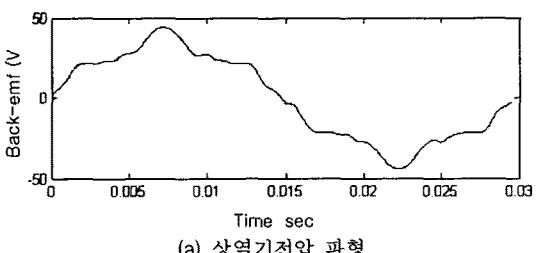


그림 8. 종래 BLDC 전동기의 역기전압 고조파 분석

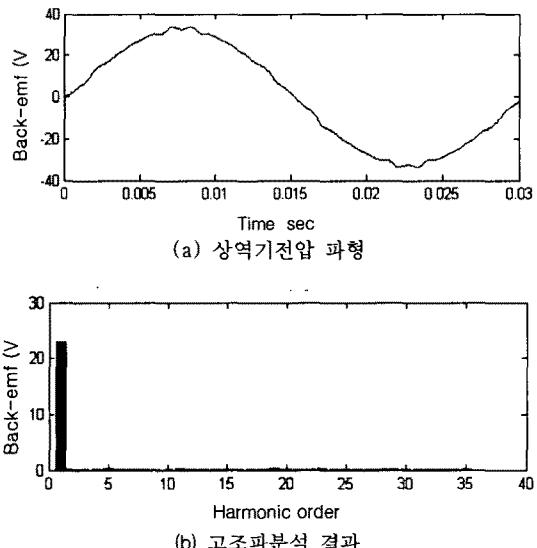


그림 9. CIPMSM의 역기전압 고조파 분석

#### 4. 결 론

본 논문은 접촉권 매입형 영구자석 동기전동기(CIPMSM)의 상역기전압 THD 저감을 위하여 고정자 치와 회전자 형상을 제안하고 미니탭을 이용하여 그 값을 결정하였다.

CIPMSM의 상역기전압을 정현적으로 만드는 방법에는 여러 가지가 있겠지만, 본 논문에서는 최소의 설계변수로 상역기전압의 THD 저감을 구현하였으며, 본 논문에서 접근한 방법이 CIPMSM 설계에 도움이 될 것으로 사료된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 長竹, 和夫·家電用 モータ インバータ技術, 日刊工業新聞社, 2000.
- [2] 式典洋次, 外 3人 共著, 埋込磁石 同期 モータの設計と制御, Ohmsha, 2001.
- [3] S.I. Kim, J.Y. Lee, Y.K. Kim, and J.P. Hong, "Optimization for reduction of torque ripple in interior permanent magnet motor by using Taguchi method", *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, pp. 1796-1799, May 2005.
- [4] Douglas C. Montgomery, *Design and analysis of experiments*, John Wiley & Sons, 2001.