

## 파라메트릭 디자인을 통한 탈히토류 자속집중형 전동기 설계

Design Concentrated Flux-type Synchronous Motor with Ferrite Magnet by Parametric Method

---

저자 (Authors)	이정민, 정영훈, 윤명환, 홍정표 Jeong-Min Lee, Young-Hoon Jung, Myung-Hwan Yoon, Jung-Pyo Hong
출처 (Source)	<a href="#">대한전기학회 학술대회 논문집</a> , 2017.7, 743-744 (2 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">대한전기학회</a> The Korean Institute of Electrical Engineers
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07232343">http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07232343</a>
APA Style	이정민, 정영훈, 윤명환, 홍정표 (2017). 파라메트릭 디자인을 통한 탈히토류 자속집중형 전동기 설계. 대한전기학회 학술대회 논문집, 743-744.
이용정보 (Accessed)	한양대학교 166.***.168.149 2018/10/17 10:41 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 파라메트릭 디자인을 통한 탈회토류 자속집중형 전동기 설계

이정민\*, 정영훈\*, 윤명환\*, 홍정표\*  
한양대\*

### Design Concentrated Flux-type Synchronous Motor with Ferrite Magnet by Parametric Method

Jeong-Min Lee\*, Young-Hoon Jung\*, Myung-Hwan Yoon\*, Jung-Pyo Hong\*  
HanYang University\*

**Abstract** - 최근 생활 가전제품 및 자동차의 높은 효율과 소형화를 위하여 회토류 자석을 이용한 전동기가 많이 사용된다. 하지만 회토류 영구자석의 경우, 국제 정세에 따라 가격의 변동 폭이 크며 공급량이 불안정하므로, 이를 피하고자 탈회토류 영구자석을 이용한 전동기 연구가 진행되고 있다. 하지만 탈회토류 영구 자석의 경우 회토류 영구 자석에 비해 성능이 현저히 떨어진다. 이를 극복하기 위하여 탈회토류 영구 자석을 사용한 전동기의 경우, 자속집중형 전동기 형상을 이용하여 낮은 성능을 극복할 수 있다. 영구자석의 폭과 너비를 변화시키는 파라메트릭 디자인을 통하여 탈회토류 전동기가 회토류 전동기의 공극 자속을 만족시킬 수 있도록 설계한다. 이 때, 회전자 반경은 표면부착형 모델과 동일한 공극 자속을 만족할 수 있게 증가시킨다.

문이다. 이 때, 고정자 치/요크 폭과 상당 직렬 턴 수는 SPMSM과 동일하다.

〈표 1〉 목표 조건

	Torque	Speed	Line Current
Unit	Nm	rpm	A <sub>rms</sub>
Value	0.4	3000	20

## 1. 서 론

소규모 가족 구성이 늘어나면서 좁아지는 생활공간으로 인해 생활 가전제품이 점점 소형화가 되어가고 있다. 소형화된 기기이지만 기존제품보다 높은 효율을 내기 위해서 주로 자력이 강한 회토류 자석을 사용한다. 하지만, 회토류 영구자석의 경우, 국제 정세에 따라 가격의 변동 폭이 크며 공급량이 불안정하기 때문에, 이를 피하기 위하여 탈회토류 전동기에 관한 연구가 필요하다. 대표적으로 영구자석 대신 계자 코일을 이용한 권선계자형 동기 전동기(Wound Field Synchronous Motor: WFSM), 페라이트 영구자석을 이용한 자속집중형 동기 전동기(Concentrated Flux type Synchronous Motor: CFSM)등이 연구되고 있다.

CFSM의 경우, 형상적으로 표면부착형 동기 전동기(Surface-mounted Permanent Magnet Synchronous Motor: SPMSM)와 매입형 동기 전동기(Interior Permanent Magnet Synchronous Motor: IPMSM)보다 영구자석을 많이 사용할 수 있으며, 자석이 방사형으로 배치되어 자속이 집중되는 구조를 가지고 있다. 따라서, CFSM에 페라이트 영구자석을 이용하면, 회토류계 영구자석을 이용한 SPMSM 또는 IPMSM에 비해 부피는 다소 증가하지만 영구자석 사용량이 증가하여 동일한 성능의 전동기를 설계할 수 있다.

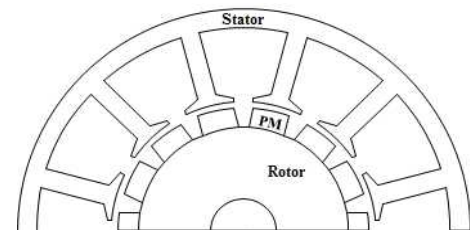
본 논문에서는 기존에 사용되고 있는 회토류자석을 이용한 SPMSM을 페라이트 영구자석을 이용하여 동일한 성능을 만족하는 CFSM의 설계 방안을 제시한다. 공극 자속량을 최대 되도록 영구자석의 폭, 두께 변수로 설정하여 파라메트릭 디자인(Parametric design)을 수행하며 동일 공극 자속량을 만족하는 회전자를 설계하여 SPMSM과 CFSM의 전기적 특성을 비교한다. CFSM은 SPMSM보다 영구자석을 더 많이 사용할 수 있기 때문에, 동일 극/슬롯 수에 대해 페라이트 영구자석을 이용하였다.

## 2. CFSM 모델 설계

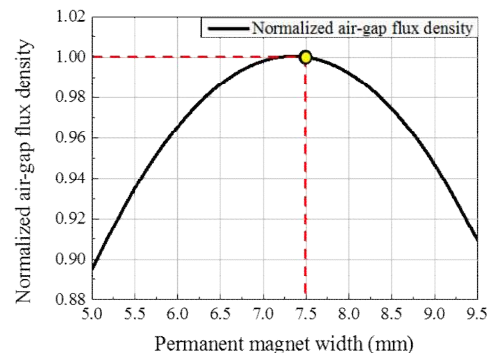
SPMSM과 동일한 성능을 만족하는 CFSM을 설계하며, CFSM은 형상적으로 SPMSM보다 영구자석을 더 많이 사용할 수 있기 때문에, 동일 극/슬롯 수에 대해 페라이트 영구자석을 이용하여 설계했다.

### 2.1 CFSM 설계 프로세스

기존의 SPMSM과 동일한 성능을 만족하는 CFSM의 설계 프로세스는 파라메트릭 디자인을 통하여 최대 공극 자속량을 발생시키는 회전자 형상을 결정하고, 동일 공극 자속량을 만족하는 회전자 형상을 결정하였다. 먼저, 기존 전동기와 동일한 부피 내에서 공극 자속량을 비교한다. 이 때, 파라메트릭 디자인을 이용해 최대 공극 자속량을 발생시키는 영구자석의 폭, 두께를 결정하여 CFSM의 회전자 형상을 결정한다. 다음으로, 기존 전동기와 동일한 공극 자속량을 만족하는 회전자를 설계한다. 이는 동일 성능을 만족하기 위해서 동일 역기전력을 만족해야 하는 데, 동일 역기전력 만족을 위해서는 동일 공극 자속을 만족해야 하기 때



〈그림 1〉 SPMSM 형상



〈그림 2〉 영구자석 폭에 따른 공극 자속량

### 2.2 CFSM 회전자 설계

기존에 사용되던 SPMSM의 형상과 정보가 각각 〈그림 1〉과 〈표 1〉에 보여진다. 영구자석은 Nd영구 자석을 이용하며, 구동 조건은 토크 0.4Nm, 속도 3000rpm 이상, 선전류 20A<sub>rms</sub> 이하를 만족해야 한다.

#### 2.2.1 동일 부피 내 회전자 설계

CFSM은 영구자석의 폭에 따라 영구자석의 두께, 비자성체의 두께가 변하기 때문에, 기존 전동기와 동일한 부피에서 최대 공극 자속을 발생시키는 회전자 형상을 결정한다. 유한요소해석을 통해 영구자석의 폭에 따라 공극 자속량을 비교했다. 〈그림 2〉에 영구자석의 폭에 따른 공극 자속량을 나타내었고 최대 공극 자속량을 기준으로 표준화하였다. 〈그림 2〉에서 볼 수 있듯이, 공극 자속량은 영구자석의 폭이 7.5mm일 때 가장 크며, 이 때의 CFSM을 Model 1이라 명명한다. SPMSM이 잔류자속밀도가 큰 Nd 영구자석을 사용하기 때문에, Model 1과 비교했을 때, 공극 자속이 더 크다. 따라서, 동일 공극 자속량을 만족하는 회전자 형상을 설계해야 한다.

#### 2.2.2 동일 공극 자속량을 만족하는 회전자 설계

동일 공극 자속량을 만족하는 회전자 형상을 설계하기 위해 부피를 증가시킨다. CFSM의 공극 자속량은 아래의 식을 이용하여 산정할 수

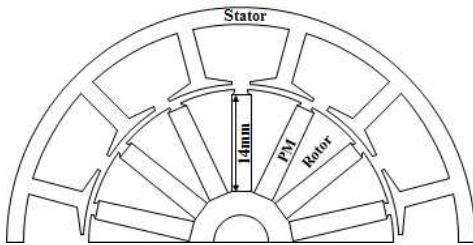
있으며 영구자석의 폭, 두께, 적층 길이에 의해 결정된다. 적층 길이를 증가시킬 경우, 고정자의 적층 길이도 증가하기 때문에, 코일의 저항, 인덕턴스도 증가하게 되어 전동기의 특성에 악영향을 미치므로 본 논문에서는 영구자석의 폭을 증가시킨다.

$$\Phi_{gm} = \frac{B_r}{\frac{\pi D}{4ph_m} + \frac{2g\mu_{rec}}{t_m}} \frac{\pi DL_{stk}}{4p} \quad (1)$$

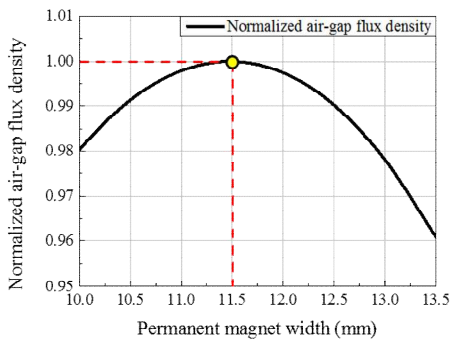
위 식을 기반으로 영구자석 폭을 재산정한 모델을 Model 2라고 명명하며, 영구자석의 폭은 14mm이다. Model 2는 <그림 3>과 같다.  $\Phi_{gm}$ 은 공극자속 밀도[Wb],  $B_r$ 은 잔류 자속 밀도[T],  $D$ 는 고정자 안쪽 직경[mm],  $g$ 는 공극 길이[mm],  $p$ 는 극수,  $h_m$ 은 영구자석 폭[mm],  $t_m$ 은 영구자석 두께[mm],  $L_{stk}$ 는 적층 길이,  $\mu_{rec}$ 영구자석의 리코일 투자율을 나타낸다.

### 2.2.3 부피 저감을 위한 회전자 설계

추가적인 부피 저감을 위해, Model 2의 회전자에서 최대 공극 자속을 발생시키는 영구자석의 폭, 두께를 재산정한다. 공극 자속량이 증가하면 역기전력이 증가하므로, 동일한 성능을 위해 영구자석의 폭을 줄임으로써 부피 저감이 가능하다. 따라서, 이전과 동일하게 영구자석의 폭을 변수로 하여 파라메트릭 디자인을 수행하여 최대 공극 자속을 발생시키는 영구자석의 형상 치수를 결정한다.



<그림 3> Model 2 형상



<그림 4> Model 2 영구자석 폭에 따른 공극 자속량

<그림 4>은 Model 2에서 영구자석 폭에 따른 공극 자속량을 보여주며, 영구자석의 폭이 11.5mm일 때, 공극 자속량이 최대가 되고, 이를 Model 3이라 명명한다. 공극 자속량이 증가했기 때문에 동일한 역기전력을 만족하기 위해, 영구 자석의 폭을 줄일 수 있으며, 이를 Model 4로 명명하고, <그림 5>와 같다.

전동기의 전압 방정식은 식 (2)와 같이 역기전력과 임피던스에 의한 전압 강하로 이루어져 있다.

$$V_a = E_a + I_a R_a + j\omega L_a I_a \quad (2)$$

위 식의  $V_a$ 는 전기자 입력전압,  $E_a$ 는 역기전력,  $I_a$ 는 전기자 입력전류,  $R_a$ 는 전기자 권선저항,  $\omega$ 는 각속도,  $L_a$ 는 인덕턴스이다. 여기서, 역기전력과 전류는 식 (3), (4)와 같이 표현할 수 있다.

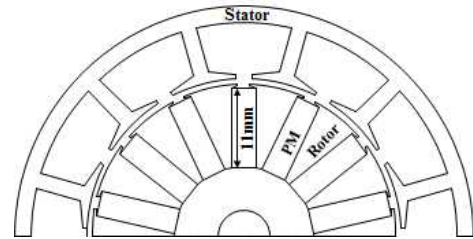
$$E_a = k_E \omega / \sqrt{6} \quad (3)$$

$$I_a = T / \sqrt{3} k_E \quad (4)$$

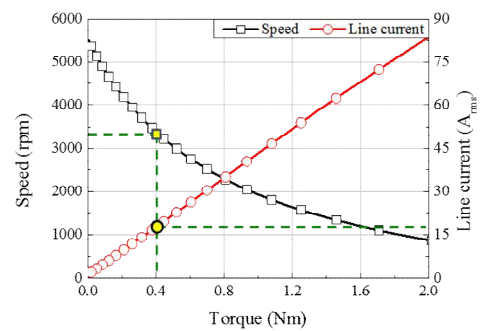
식 (3), (4)를 식 (2)에 대입하여 속도에 대해 정리할 수 있다.

$$\omega = \frac{V_a - \frac{T}{\sqrt{3} k_E} R_a}{j \frac{T}{\sqrt{3} k_E} + \frac{K_E}{\sqrt{6}}} \quad (5)$$

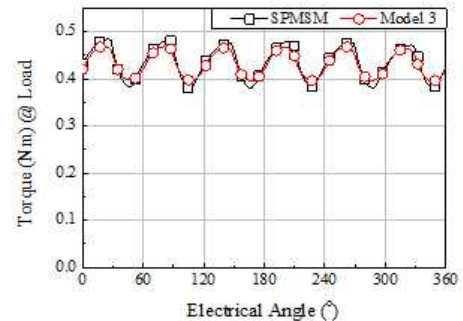
이 때, Model 4의 TNI curve는 식 (4)와 (5)를 이용하여 얻을 수 있고, 목표 조건을 만족시킨다. 또한, <그림 6>과 같이 목표 조건을 만족하는 점에서 Model 4는 SPMSM보다 토크 리플이 저감된다.



<그림 5> Model 4 형상



<그림 6> Model 4의 TNI curve



<그림 7> SPMSM과 Model 4 토크리플 비교

## 3. 결 론

본 논문에서는 기존에 사용되던 SPMSM과 동일한 성능을 만족하는 CFMS의 설계 방안을 제안하였다. 2차원 비선형 유한요소해석을 이용하여 기존 전동기와 동일한 공극 자속량을 만족하는 회전자를 설계한 후, 계자의 기자력 비율을 조절하여 최종 회전자 형상을 결정한다.

최종 설계된 CFMS는 기존의 SPMSM에 비해 부피가 다소 증가하지만, 목표 사양을 모두 만족하며, 토크 리플이 저감된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 박진철, 홍년한, 황성우, 채승희, 홍정표, “반응표면법을 이용한 ISG 용 WFSM의 계자 유기 전압 및 토크 리플 저감 최적 설계”, 대한전기학회, 806-807, 2015
- [2] 정영훈, 박권일, 임명섭, 홍정표, “파라메트릭 디자인을 이용한 듀얼 클러치 변속기용 자속집중형 동기 전동기 설계”, 한국자동차공학회, 663-669, 2016
- [3] 박권일, 정영훈, 임명섭, 홍정표, “듀얼 클러치 변속기용 탈 회도류 영구자석 동기전동기 설계”, 한국자동차공학회, 559-564, 2016