

이중돌극기의 종류에 따른 특성 비교

김윤성*, 진창성*, 김승주*, 이호준*, 김경범*, 이주*, 정인성**
 한양대학교*, 전자부품연구원**

Characteristic Comparison with respect to Doubly salient Types

Youn-Sung Kim*, Chang-Sung Jin*, Seung-Joo Kim*, Ho-Joon Lee*, Koung-Bum Kim*, Ju Lee*, In-Sung Jung**
 Hanyang University*, Korea Electronics Technology Institute**

Abstract - Generally, the Doubly Salient Machine such as Switched Reluctance Motor doesn't have Permanent Magnet, it sometimes adopts permanent magnet or DC filed winding for high efficiency or adjustable speed control. In this paper, adjustable speed range is compared for Doubly Salient Permanent Magnet Machine (DSPM), Brushless Doubly Fed Doubly Salient Machine (BDFDS) and Hybrid Excited Doubly Salient Machine (HEDS). Especially, air-gap flux density to the DC field current is shown and the operating speed as the field-weakening is estimated.

권선과 DC field 권선의 구조는 그림에서 표시한 방향과 같으며 DC field 권선은 전자석 역할을 할 뿐만 아니라 약계자 제어와 효율을 최적화 시키는 역할도 하게 된다.

표 1은 특성비교를 위한 각 기기의 제원을 나타내며 같은 조건에서 특성을 비교하기 위해 기기의 형상치수를 동일하게 하였다.

표1. 각 12/8 극 기기의 동일 Design

	DSPM , BDFDS , HEDS
고정자내부반경 Rsi(mm)	37.5
축 길이 le(mm)	75
공극 길이 g(mm)	0.45
고정자 치 각 αs(°)	15
회전자 치 각 αr(°)	20

1. 서 론

현대의 영구자석 재료의 발전으로, 산업에 적용되는 많은 기기들이 고 효율과 고휘출밀도를 얻기 위해 영구자석 여자 방식을 사용한다. 그러나 잘 알고 있듯이 영구자석 기기의 자속제어 능력은 DC전류 여자 방식보다 좋은 성능을 내기가 어렵다.[1] 또 DC전류 여자 방식은 영구자석 여자 방식보다는 자속제어가 용이 하지만 효율이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 영구자석 여자방식과 DC전류 여자 방식을 모두 사용하는 혼합 여자 방식을 적용하면 자속제어 능력과 효율이 상승하는 특성을 기대할 수 있다. 이중돌극기의 종류에 대한 효율 특성은 [2]에 잘 분석 되어 있으나 광범위 운전능력에 대한 언급은 하지 않고 있다.

본 논문에서는 12/8극 이중돌극기에 위에서 언급한 영구자석 여자 방식과 DC전류 여자방식 그리고 혼합 여자 방식을 적용하여 각각의 기기들에 공극의 자속밀도를 해석하고 약계자 제어 범위를 추정하였으며, 영구자석의 설계 범위를 제안하였다. 각 데이터들은 유한요소해석을 통해 분석되었다.

2. 본 론

2.1 기기의 구조

12/8극 이중돌극기의 구조는 그림 1과 같다. 본 논문에서는 고정자에 삽입된 영구자석의 재료로 페라이트계 영구자석을 사용하였다.

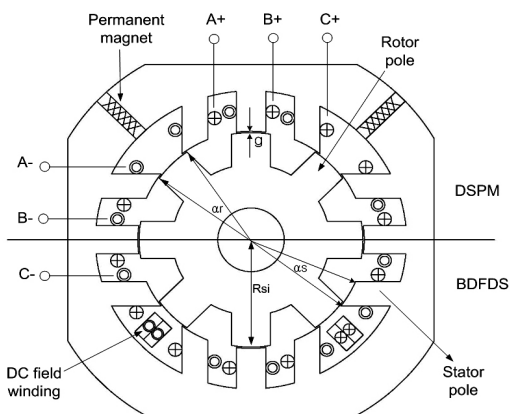


그림 1. 이중돌극기의 구조

그림의 중심선으로부터 윗 부분은 영구자석형 이중 돌극기(DSPM)이고 아랫부분은 권선형 이중돌극기(BDFDS)이며, 영구자석과 DC field 권선 두 가지를 모두 적용한 것이 혼합형 이중돌극기(HEDS)가 된다. 고정자

2.2 기기의 약계자 운전 범위 추정

공극 자속밀도의 변화에 따른 속도 범위를 추정하기 위하여 다음과 같은 식(1)을 이용하였다.

$$E = \omega \frac{d\phi_m}{d\theta} \omega_r \approx \omega \frac{\phi_{max} - \phi_{min}}{\theta_w} \omega_r = \omega \frac{\Delta\phi_m}{\theta_w} \omega_r \quad (1)$$

여기서, ω 는 상당 권선수이고, ϕ_{max} 와 ϕ_{min} 은 고정자 pole과 회전자 pole이 일치 할 때와 일치하지 않을 때의 쇄교자속의 크기이다. θ_w 는 ϕ_{min} 에서 ϕ_{max} 으로 도달 할 때까지의 각을 의미한다.

또한 자속의 변화량 $\Delta\phi_m$ 은 식(2)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta\phi_m &= \phi_{max} - \phi_{min} \approx 0.87\phi_{max} = 0.87k_d\alpha_s\tau_s l_e B_\delta \\ &= 0.87k_d\alpha_s \frac{\pi D_{si}}{p_s} l_e B_\delta \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

- k_d : 쇄교자속 계수, l_e : 축 길이
- B_δ : 공극 자속 밀도, α_s : 고정자 pole arc 계수
- p_s : 고정자 pole의 개수, D_{si} : 고정자 내경
- $\tau_s = \pi D_{si}/p_s$: 고정자 pole pitch

앞의 두 식을 이용하면 역기전력 E 는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$E = \frac{0.87\pi k_d \omega \alpha_s D_{si} l_e B_\delta}{p_s \theta_w} \omega_r \quad (3)$$

위 식에서 역기전력과 공극 자속밀도 그리고 각속도를 제외한 나머지 파라미터들은 동일한 기기에서의 형상에 관련된 고정 값이므로, 역기전력과 각속도를 구한다면 일정한 상수로 치환할 수 있다. 따라서 유한요소법을 이용하여 역기전력과 공극자속밀도를 구하면 각속도를 추정할 수 있게 된다.

각 기기의 운전범위의 비교를 위해 영구자석형 이중돌극기와 권선형, 혼합형 이중돌극기가 동일한 역기전력 상수를 갖기 위한 기기들의 파라미터를 살펴보면 표 2와 같으며 이때 역기전력파형은 그림 2와 같다.

표2. 동일한 역기전력 상수를 가질 때의 조건

	DSPM	BDFDS	HEDS
회전수(r/min)		1500	
DC field 권선수(turn)	-	200	200
DC field 전류(A)		2.3	2.1
상당 권선수(turn)	260	260	200
영구자석사이즈 (mm ³)	(4.5×18.5×75) × 4EA	-	(4.5×18.5×7) × 4EA

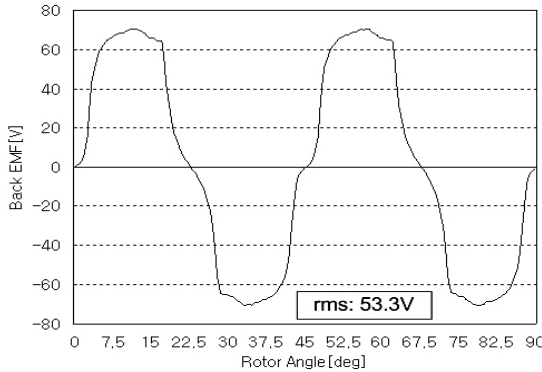
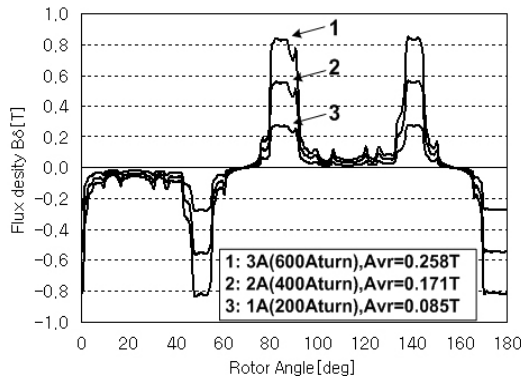
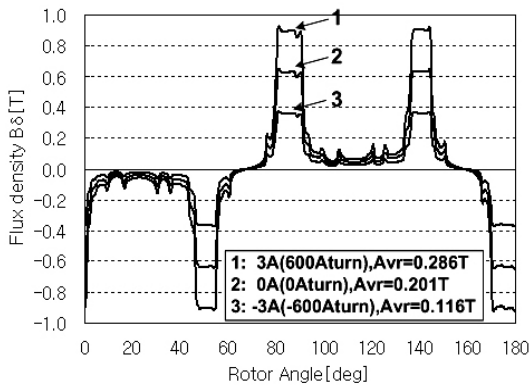


그림 2. 동일한 역기전력 상수를 가지는 기기들의 역기전력 파형

그림 3은 각 기기들이 동일한 역기전력 상수를 가지는 상태에서 DC field 전류를 최대 3A로 제한했을 때, 공극 자속밀도의 변화이다.



(a) 권선형 이중돌극기의 자속밀도



(b) 혼합형 이중돌극기의 자속밀도

그림 3. DC field 전류에 대한 공극자속밀도의 변화

그림3의 공극자속 밀도와 식(3)을 이용해 속도범위를 추정해 보면 그림 4와 같다. 그림에서와 같이 권선형 이중돌극기(BDFDS)가 주어진 DC field 전류범위 내에서 혼합형 이중돌극기(HEDS) 보다 더 넓은 운전범위를 가짐을 알 수 있다.

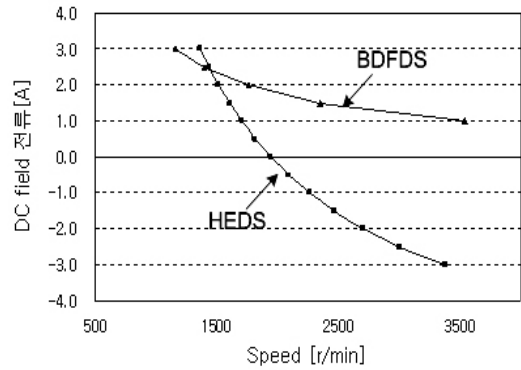


그림4. DC field 전류에 따른 속도범위

2.3 영구자석의 설계 범위

혼합형 이중돌극기는 고정자에 삽입된 영구자석 때문에 영구자석이 없는 권선형 이중돌극기 보다 낮은 인덕턴스를 가진다. 그러므로 영구자석의 잔류 자속밀도(Br)가 낮을 경우 오히려 영구자석으로 인한 인덕턴스의 감소 때문에 동일한 DC field 전류에서 권선형 이중돌극기 보다 더 낮은 자속밀도를 가질 수도 있다. 그림 5는 DC field 전류가 3A인 경우 영구자석의 잔류자속밀도(Br)의 변화에 의한 공극의 자속밀도를 나타낸다.

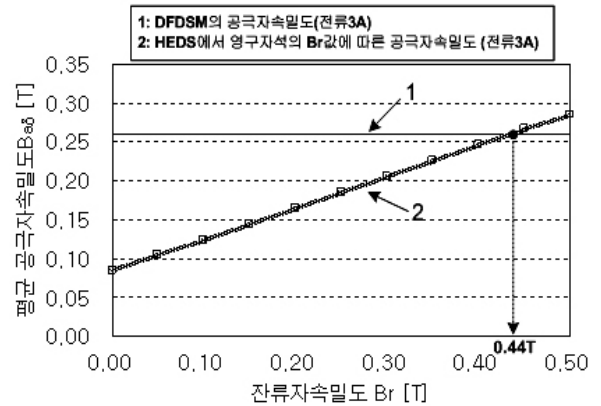


그림 5. 영구자석 Br의 변화에 따른 공극자속밀도

그림 5에서 알 수 있듯이 동일한 3A의 전류에서 혼합형 이중돌극기가 권선형 이중돌극기보다 높은 자속밀도를 가지기 위해서는 영구자석의 잔류 자속밀도가 최소 0.44T 이상이어야 할 것이다.

결론

본 논문에서는 이중돌극기의 고정자에 삽입된 DC field 전류에 따른 약계자 운전 범위를 확인하였다. 또한 혼합형 이중돌극기는 영구자석의 삽입으로 고정자 인덕턴스가 감소하여 DC field 전류에 의한 자속이 감소하게 되므로, 감소된 자속 이상을 보상해주는 영구자석의 잔류자속밀도(Br)값을 제안 하였다. 부가적으로 이중돌극기의 고정자에 계자 자석이나 계자 권선을 고정자에 위치시킴으로써 회전자의 구조가 간단해지고 기기의 속도제어가 용이해짐을 알 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] T. A. Lipo and M. Aydin, "Field weakening of permanent magnet machines- design approaches," EPE power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC04), Sept. 2004, Riga, Latvia
- [2] Xiaoyong Zhu, "Design and Analysis of a New Hybrid Excited Doubly Salient Machine Capable of Field Control", IEEE Trans. Ind. Appl., vol.15, pp. 2383-2389, Oct.2001
- [3] Ming Cheng, "Design and Analysis of a New Doubly Salient Permanent Magnet Motor", IEEE Trans. Ind Appl., Vol 37, pp.3012-3020, Jul.2001