

# 가변자속 전동기 핵심기술

이 성 호, 김 명 복, 이 규 석 / 한국생산기술연구원  
 김 병 택 / 군산대학교  
 조 주 희 / 전자부품연구원

가변자속 전동기의 설계과정은 일반 BLDC 및 BLAC전동기의 설계과정과 거의 동일하므로, 본 지에서는 일반 전동기와 차별화되는 가변자속 전동기만의 핵심기술만을 다루고자 한다. 차별화된 핵심기술에는 크게 가변자속 극대화 기술, 착감자 기술, 소재 기술로 분류할 수 있으며, 이에 대한 자세한 설명은 아래와 같다. 또한, 다양한 가변자속 전동기 타입중 SPM형 가변자속전동기에 초점을 맞추어 이러한 핵심기술을 다루고자 한다.

## - 가변자속 극대화 기술

그림 1은 가변 마그넷 수량에 따른 자석배치도를 나타낸다. 그림에서 점선으로 된 원에 있는 자석이 가변 자석이고, 나머지는 네오디뮴 자석으로 배치되었다. 가변자속용 자석을 6개 사용한 시제품의 경우 표 1에서와 같이 착/감자 전류 인가 후의 역기전력 변화량은 약 1.67%이다. 또한 그림 2에 제시된 부하 시험 결과, 세탁 구간 (50rpm)에서 66.81%, 탈수 구간 (1250rpm)

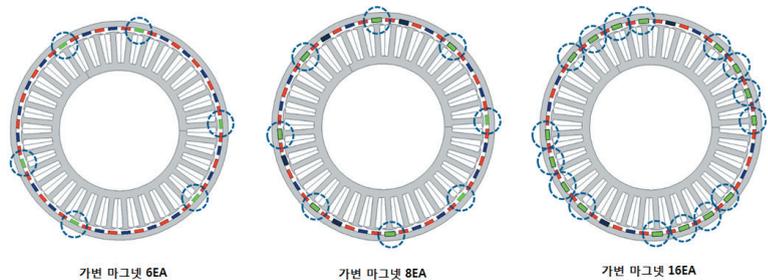


그림 1 가변 마그넷 수량에 따른 모델별 자석 배치도

표 1 가변자석이 6개인 모델의 착자/감자후 역기전력 시험 결과

전류	50 rpm				500 rpm				
	감 자		착 자		감 자		착 자		
	상 역기전력 [Vpeak]	감소율 [%]	상 역기전력 [Vpeak]	증가율 [%]	상 역기전력 [Vpeak]	감소율 [%]	상 역기전력 [Vpeak]	증가율 [%]	
10A	16.480	-0.497	16.406	0.744	10A	164.824	-0.521	164.153	0.736
20A	16.337	-1.379	16.492	1.269	20A	163.386	-1.406	165.086	1.308
30A	16.285	-1.701	16.544	1.587	30A	162.954	-1.675	165.524	1.577
40A			16.562	1.701	40A			165.674	1.669

에서 89.77%의 효율을 보이며, 착/감자에 의한 효율차이는 세탁 시 1.17%, 탈수 시 1.08% 차이가 나는 것을 확인하였다.

또한, 가변마그넷이 8개인 경우, 표 2와 같이 착/감자 전류 인가 후의 역기전력 변화량은 약 1.92%이다. 또한 그림



Efficiencies by Rotor Speed

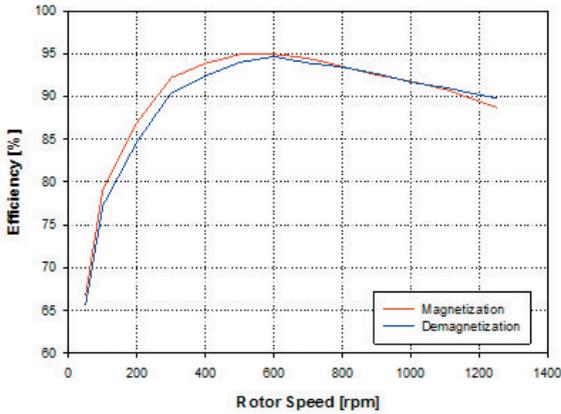


그림 2 가변자석이 6개인 모델의 착자/감자후 부하 시험 결과

Efficiencies by Rotor Speed

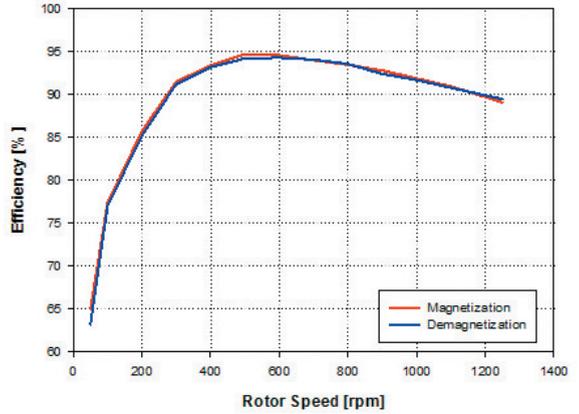


그림 3 가변자석이 8개인 모델의 착자/감자후 부하 시험 결과

표 2 가변자석이 8개인 모델의 착자/감자후 역기전력 시험 결과

	50 rpm				500 rpm				
	감자		착자		감자		착자		
전류	상 역기전력 [Vpeak]	감소율 [%]	상 역기전력 [Vpeak]	증가율 [%]	전류	상 역기전력 [Vpeak]	감소율 [%]	상 역기전력 [Vpeak]	증가율 [%]
10A	15.799	-0.582	15.630	0.308	10A	157.900	-0.563	156.198	0.278
20A	15.678	-1.361	15.760	1.131	20A	156.732	-1.312	157.555	1.137
30A	15.582	-1.982	15.873	1.829	30A	155.764	-1.941	158.601	1.789
40A			15.891	1.943	40A			158.788	1.904

표 3 가변자석이 16개인 모델의 착자/감자후 역기전력 시험 결과

	50 rpm				500 rpm				
	감자		착자		감자		착자		
전류	상 역기전력 [Vpeak]	감소율 [%]	상 역기전력 [Vpeak]	증가율 [%]	전류	상 역기전력 [Vpeak]	감소율 [%]	상 역기전력 [Vpeak]	증가율 [%]
10A	13.117	-3.270	13.328	2.936	10A	131.376	-2.897	133.481	2.926
20A	12.937	-4.712	13.459	3.877	20A	129.574	-4.328	134.833	3.900
30A			13.546	4.500	30A			135.182	4.148

3에 제시된 부하 시험 결과, 세탁 구간에서 65.01%, 탈수 구간에서 89.47%의 효율을 보이며, 착/감자에 의한 효율 차이는 세탁 시 1.8%, 탈수시 0.37% 차이가 나는 것을 확인하였다.

또한, 가변자속용 자석을 16개로 한 경우 착/감자 전류 인가 후의 역기전력 변화량은 표 3과 같이 약 4.32%이다. 그림 4에 제시된 부하 시험 결과 세탁 구간에서 54.03%, 탈수 구간에서 92.05%의 효율을 보이며, 착/감자에 의한 효율 차이는 세탁 시 1.04%, 탈수 시 0.88% 차이가 나는 것을 확인하였다. 이 모델은 착/감자에 따른 역기전력 변화량이

증가하였지만, 구동 전류에 의한 재 착/감자(자속량 회귀 현상)에 따른 영향으로 실제 효율차이는 크지 않았다.

그림 5에서와 같이, 위에서 검토한 3가지 모델의 경우 선진사 양산품에 대비하여, 효율은 증대하였다. 가변마그넷이 6개인 경우 착/감자에 의한 변화 폭이 작아서 착/감자에 의한 효율 차이가 크지 않았다. 또한, 가변 마그넷이 16개인 경우 착/감자에 의한 변화 폭은 가장 크지만, 실제 효율차이에서는 다른 모델에 비해 구동 전류가 더 크기 때문에, 재 착/감자(자속량 회귀 현상)가 심화되어 실제 효율의 차이가 나지 않았다. 따라서, 착/감자 전류에 의한 역기전력 변화량 및 효율 차이의 비교 결과 가변 마그넷이 8개인 경우가 가장 적합하다고 판단할 수 있다.

착/감자 전압폭을 증대시키기 위한 방법으로 SMC 코어를 적용하는 방법이 있다. 그림 6은 일반적인 전기강판을 적용한 회전자 코어와 SMC 코어를 적용한 착/감자 시험 결과이다. SMC 코어를 적용함으로써 착자 자속량을 증가시키기 위한 구조 적용이 가능하기 때문에 일반적인 전기강판을 적용한 회전자 보다 착/감자 전압폭 향상이 가능하다.

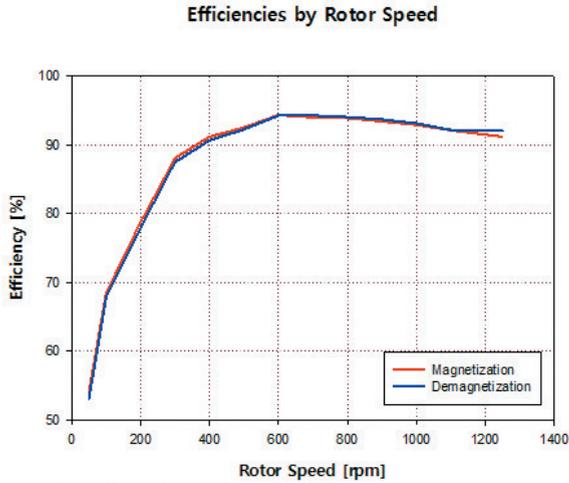


그림 4 가변자석이 16개인 모델의 착자/감자후 부하 시험 결과

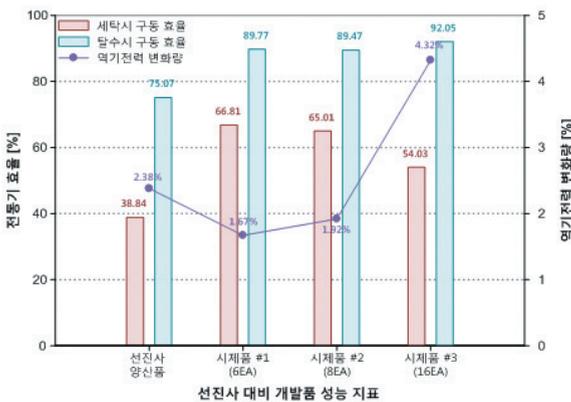


그림 5 선전사 양산품과 3가지 모델의 전동기 효율 및 역기전력 변화량 비교

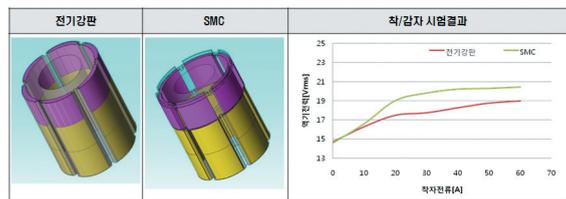


그림 6 회전자 형상에 따른 착/감자 시험

### - 착감자 기술

가변자속 전동기의 착·감자를 위해 회전자의 N극을 고정자의 U상에 정확히 정렬해야한다. 구동 인버터를 통해 전동기를 회전시켜 U상에 정렬해야 하므로 Parking

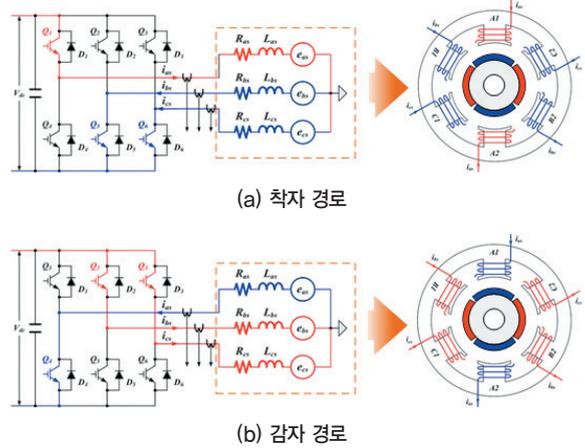


그림 7 착감자 회로 및 경로 비교

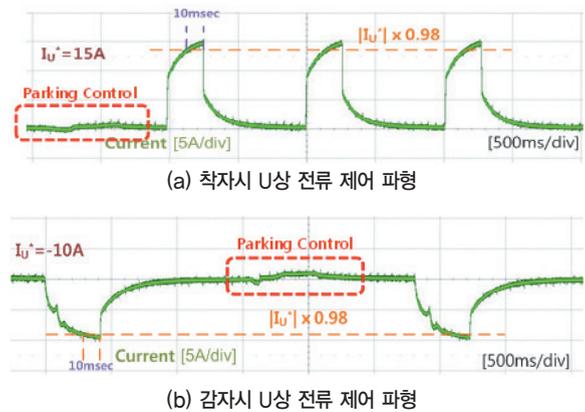


그림 8 구동인버터에서의 착감자 전류 제어 파형

Control 알고리즘이 필요하다. 특히, 착자의 경우 회전자의 위치는 고정이 되지만, 감자의 경우 회전자의 위치가 변하기 때문에, 회전자의 위치정보를 이용한 Parking control을 통해 U상 정렬 후 착·감자 전류 제어를 해야한다. 다시 말해, 착자 전류는 회전자의 N극을 고정자의 U상에 정렬 후 U상 전류는 +로, V상 및 W상은 -로 제어한다. 반대로, 감자는 회전자의 N극을 고정자의 U상에 정렬 후 U상 전류를 -로, V상 및 W상은 +로 제어한다.

가변 자속형 전동기의 착·감자를 위해서는 정밀한 전류 제어가 필요하다. 동일한 전압에서 임의의 전류 제어가 가능하며, 이때 전류 오차 1% 이내로 제어가 가능하도록 소자의 전류 정격을 고려해서 설계해야 한다. 그림 7과 같이, Q1, Q5, Q6의 스위칭을 통해 U상에 전류를 인가하

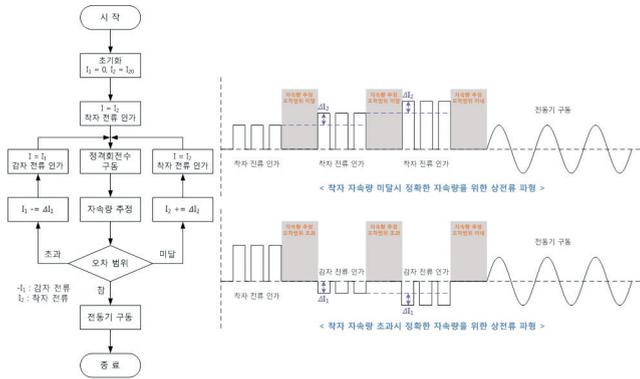


그림 9 착자시 전동기 파라미터 추정 알고리즘 순서도 및 상전류 파형

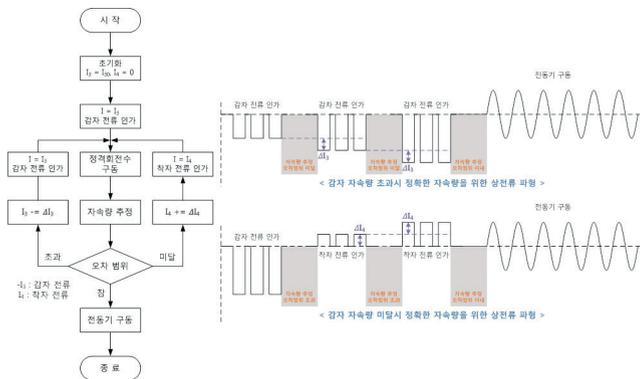


그림 10 감자시 전동기 파라미터 추정 알고리즘 순서도 및 상전류 파형

여 V, W상으로 전류를 흘려나오게 하여 착자를 하고, 감자의 경우 Q2, Q3, Q4의 스위칭을 통해 V, W상으로 전류를 인가하여 U상으로 전류가 흘러나오게 하여 감자한다. 착·감자 전류는 PI 전류 제어에 의한 상전압 방정식으로 식 (1)과 같이 유도할 수 있다.

$$V_U^* = K_p(I_U^{*U} - I_U) + K_i \int (I_U^* - I_U) d\tau \quad (1)$$

$$V_V^* = V_W^* = -\frac{1}{2} V_U^*$$

위 식을 통해 구해진 U상의 기준전압을 이용하여 착·감자 전류를 인가하도록 설계하면 된다.

그림 8은 실제 구동 드라이버를 통한 착·감자 전류 제어 시험을 통해 얻어진 전류 파형이다. 착자는 초기 U상 정렬을 위한 Parking control 후 착자 전류를 흘려준다. 착자의 경우 회전자의 위치가 고정되므로 연속적으로 착자 전류를 인가한다. 하지만, 감자의 경우 감자 전류 인가시 회전자의 위치가 변화하므로, 감자 전류 인가 후 Parking control을 통해 다시 U상 정렬을 한다.

가변자속 전동기의 정확한 착자/감자 변화량을 검증하기 위해 자속량을 추정하는 알고리즘이 필요하다. 정확한 자속 추정을 위해 그림 9 및 그림 10에 제시된 알고리즘 순서도와 같이 착/감자 전류를 자속 오차에 따라 가변하고, 정격회전수 구동을 통한 자속량 추정 알고리즘을 통해 자속량을 검출한다.