

슬롯리스형 BLDC 전동기 특성 해석

*홍선기, **장장성
*호서대학교 전기정보통신공학부 **(주)세우산업

Analysis of the Characteristics for Slotless Type BLDC Motor

*Sun-Ki Hong, **Jang-Sung Chun
*School of EE, Hoseo Univ, **Sewoo Industrial Co. Ltd.

Abstract - 일반적인 BLDCM은 슬롯을 갖고 있기 때문에 코깅 토크가 발생하며, 이로 인하여 토크 리플이 증가한다. 이러한 슬롯을 제거한 슬롯리스 BLDCM은 원인으로 코깅이 존재하지 않으며, 슬롯의 제거로 인하여 이 부분에서의 철손도 발생하지 않게 된다. 따라서, 우수한 효율과 코깅이 없음으로 인하여, 이러한 특성이 요구되는 특수 분야 뿐 아니라, 일반적인 분야에서도 수요가 기대되는 바이다. 본 연구에서는 슬롯리스형 BLDCM에 대하여 일반 BLDCM과 비교되는 특성을 해석하여 성능의 우수성을 보인다.

1. 서 론

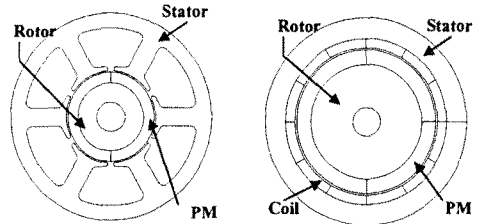
BLDC 전동기는 DC 전동기에서 브러시와 정류자로 인하여 발생하는 소음, 효율 감소 등의 문제를 제거하여 DC 전동기에 비해 여러 면에서 우수한 성능을 갖고 있어 가전 및 산업용으로 널리 사용되고 있는 전동기이다. 그러나, 일반적인 BLDC 전동기는 다른 전동기들과 마찬가지로 전기자에 슬롯을 갖고 있기 때문에 코깅 토크가 발생하며, 이로 인하여 토크 리플의 가장 큰 원인이 되고 있다. 응용 분야에 따라, 토크 리플이 발생하지 않을 것이 요구되는 경우도 있으며, 이러한 코깅을 감소 또는 제거하고자 자석에 스크류를 주거나 치면에 홈을 내는 방법 등이 적용되기도 하지만 근본적인 코깅의 제거를 위해서는 BLDC 전동기에서 전기자측에 슬롯을 제거하여야 한다. 슬롯리스 BLDC 전동기는 원인으로 코깅이 존재하지 않아, 이러한 특성이 요구되는 분야에 적합하다고 할 수 있다. 또한, 슬롯의 제거로 인하여 이 부분에서의 철손도 발생하지 않게 되어 우수한 효율과 코깅이 없음으로 인하여 BLDC 전동기에 비하여 더욱 소음도 감소된다. 따라서, 특수 분야 뿐 아니라, 일반적인 분야에서도 수요가 기대되는 바이다. 본 연구에서는 슬롯리스형 BLDCM에 대하여 일반 BLDCM과 비교되는 특성을 해석하여 성능의 우수성과 다양한 분야의 적용 가능성을 보이고자 한다.

2. 본 론

2.1 슬롯리스 BLDC 전동기

본 연구에서는 지금까지는 산업계에 많이 적용되지 못했던 슬롯리스 BLDC 전동기에 대하여, 실용성과 더불어 이의 우수성을 확인하고자 한다. 슬롯리스 BLDC 전동기는 기존의 유도전동기, 직류전동기, 코어형 BLDC 전동기에 비하여 슬롯이 없기 때문에 코깅이 근본적으로 없고, 저진동, 저소음, 고효율, 고�출력 등 많은 부분에서 우수한 성능을 발휘하는 것으로 알려져 있고[3], 이를 상용화하기 위한 노력이 기해지고 있다.

2.1.1 슬롯리스 BLDC 전동기 구조



(a) 일반 BLDCM (b) 슬롯리스 BLDCM

그림 1. 슬롯 및 슬롯리스 BLDC 전동기 구조

그림 1에서와 같이 일반적으로 많이 사용되고 있는 슬롯형 BLDC 전동기는 고정자측 슬롯에 코일이 권선된다. 슬롯형 BLDC 전동기는 공극이 작기 때문에 적은 기자력으로 원하는 자속을 만들어 낼 수 있지만, 슬롯으로 인하여 코깅이 발생하며, 코깅을 감소시킬 필요가 있을 경우, 많은 어려움이 발생한다. 슬롯리스 전동기는 여러 가지 구조를 갖을 수 있지만[1,2,3], 그림 1(b)에서와 같이 고정자에 슬롯이 없는 것은 동일하다. 이 경우는 등가적으로 공극이 매우 커지기 때문에 공극에서 원하는 자속밀도를 갖기 위해서는 고성능 자석을 사용하여야 한다. 그러나, 앞에서 언급한 바와 같이 소음, 효율, 코깅 등에서 우수한 특성을 나타내기 때문에 적용 분야에 따라 충분한 경쟁력을 갖을 수 있다.

2.1.2 슬롯리스 BLDC 전동기 특징

본 연구에서의 슬롯리스 BLDC 전동기는 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 1) 기계적 슬롯 제거 : 영구자석 전동기의 전기자부인 코일을 감싸고 있는 철심 슬롯을 제거하여 영구자석에 대한 자기저항을 원주방향으로 균일하게 함으로써 코깅토크가 없는 기계적으로 부드러운 회전이 가능하다. 이는 진동 및 소음을 절감할 뿐 아니라, 동속성도 향상시킨다.
- 2) 코일의 예폭시 물딩 : 일반적인 영구자석 전동기와 달리 코일을 전기자 요크에 직접 부착하여 효과적인 방열구조가 됨으로써, 타전동기에 비하여 출력밀도를 향상시키는 특징을 갖고 있다.
- 3) 유효 공극이 커짐 : 전기자 치가 없음으로 인해 자기적인 인덕턴스가 낮아져서 전기적인 시정수가 작아짐으로 인해 시스템의 응답속도가 빨라진다.

- 4) 철손의 감소 : 영구자석 전동기에서의 고정자는 영구자석과의 상대적인 움직임에 의해 상당량의 철손이 발생하고 이는 전동기 효율 감소의 원인이 된다. 슬롯레스 전동기는 이런 이유로 고효율, 저사이즈화를 실현할 수 있다.
- 5) 토크의 선형성 : 기본적으로 DC 전동기의 동작원리와 같기에 토크의 선형성 및 제어성이 우수하지만, 자기포화의 영향이 다른 영구자석 전동기에 비하여 상대적으로 적어[3] 토크의 선형성 및 전동기 제어성능 향상도 기대할 수 있다.

2.2 시뮬레이션 및 실험

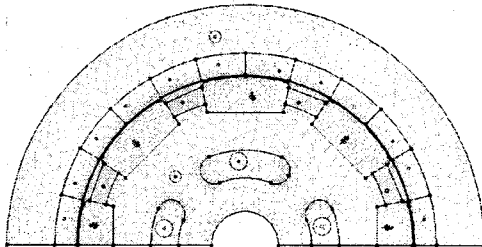
본 연구에서의 슬롯레스 BLDC 전동기 사양은 다음과 같다. 유효 공극이 크기 때문에 충분한 기자력을 얻기 위해서 회로류 자석이 사용되었으며, 최대 효율은 80% 이상으로 높은 효율을 갖고 있다.

표 1. 슬롯레스 BLDC 전동기의 사양

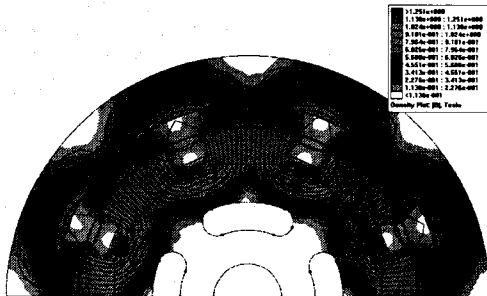
	단위	사양
토크	Kgcm	25
출력	W	250
전압	V	42
최대 효율	%	85
자석		NdFeB

2.2.1 유한요소 해석.

그림 2는 슬롯레스 BLDC 전동기의 유한요소 해석 결과를 보여주고 있다. 예측된 바와 같이 공극이 크기 때문에 자속의 포화영향이 다른 전동기와는 달리 적을 수 있다.



(a) 요소망

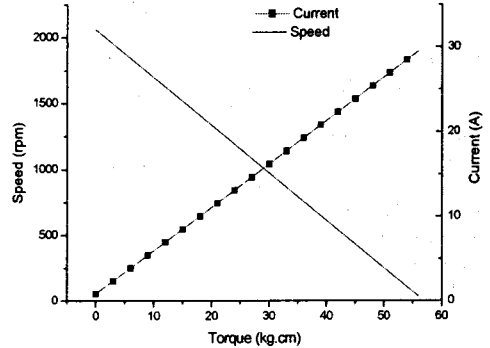


(b) 등포텐셜도

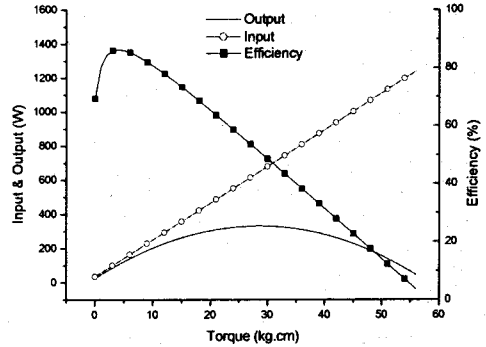
그림 2. 슬롯레스 BLDC 전동기 유한요소해석

2.2.2 특성 시뮬레이션 및 실험 비교.

그림 3은 해석적 방법에 따른 전동기의 속도, 입력전류, 효율, 입력 및 출력 등에 대한 계산치이다. 전류에서 알 수 있듯이, 자기 포화가 거의 일어나지 않기 때문에 부하에 따른 선형성이 매우 우수함을 알 수 있으며, 따라서, 일반적인 BLDC 전동기의 용도 뿐 아니라 제어용으로도 우수한 성능을 발휘할 수 있을 것으로 생각된다. 효율은 최대 85% 정도에 이르고 있으며, 비슷한 용량의 일반 BLDC 전동기보다 높은 효율을 보임을 알 수 있다.



(a) 속도 및 전류(계산치)

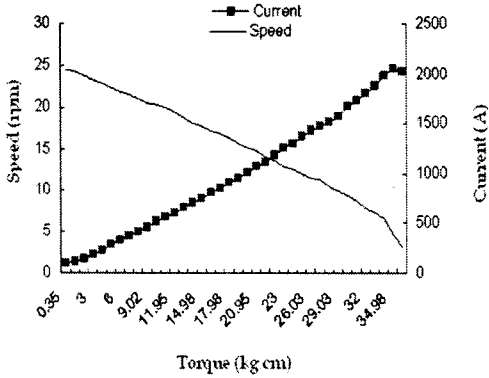


(b) 입력, 출력, 효율(계산치)

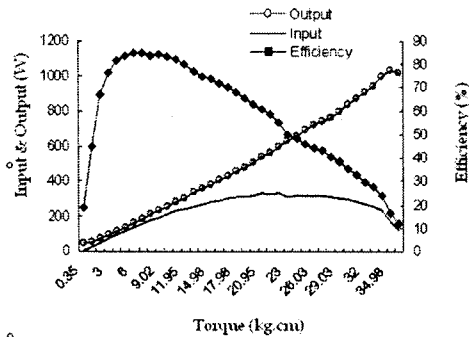
그림 3. 슬롯레스 BLDCM 특성(계산치)

그림 4는 그림 3에서의 시뮬레이션에 대한 실험치를 나타내고 있다. 실험치는 시뮬레이션과 비교하여 양호한 일치성을 보이고 있다. 전류에 대하여는 정격을 넘어선 부분에서도 선형성이 비교적 양호함을 알 수 있어, 슬롯에서의 포화가 발생하는 슬롯형 BLDC 전동기와의 차이가 있음을 알 수 있다. 최대 효율도 85% 정도에 이르고 있으며, 정격 이하에서 사용될 때 매우 높은 효율로 운전될 수 있음을 알 수 있다.

그림 5는 제작된 슬롯레스 BLDC 전동기의 코깅을 측정된 그래프이다. 예측한 바와 같이, 슬롯이 없기 때문에 코깅 토크는 발생할 수 없고, 따라서 0가 된다. 비슷한 용량의 슬롯형 BLDC 전동기의 코깅 토크가 1kgcm 정도가 됨을 감안할 때, 정격의 3-4% 정도가 코깅 토크의 영향을 받는다고 할 수 있다. 그러나, 슬롯레스 BLDC 전동기는 이에 대한 영향이 없기 때문에 실제 운전시의 토크 리플을 저감 또는 제거하는데 매우 유리하며, 응용 분야에 따라 매우 우수한 성능을 발휘할 수 있게 된다.



(a) 속도 및 전류(실험치)



(b) 입력, 출력 효율(실험치)

그림 4. 슬롯레스 BLDCM 특성(실험치)

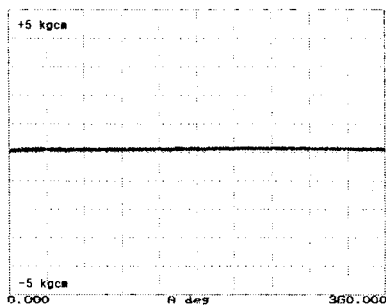


그림 5. 코깅 토크(실험치)

표 2. 소음 측정치

회전속도	슬롯레스 BLDC	일반 BLDC
500	42.3	46
1000	42.9	48.2
1300	43.4	49.5

* 암소음 : 40.5 dB

표 2는 일반적인 BLDC 전동기와 본 과제에서 수행한 슬롯레스 BLDC 전동기의 소음을 측정하였다. 표에서와 같이 슬롯레스 전동기는 일반 전동기에 비해 코깅이 존재하지 않아 소음이 고속일 수록 더욱 정숙함을 알 수 있다. 따라서, 소음이 중요한 분야에서도 매우 유리하게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

3. 결 론

일반적인 BLDCM은 슬롯을 갖고 있기 때문에 코깅 토크가 발생하며, 이로 인하여 토크 리플이 증가한다. 이러한 슬롯을 제거한 슬롯레스 BLDCM은 원인으로 코깅이 존재하지 않으며, 슬롯의 제거로 인하여 이 부분에서의 철손도 발생하지 않게 된다. 본 연구에서는 슬롯레스 BLDC 전동기에 대하여 특성을 검토하고 실험과 계산치와 비교하였다. 연구 결과로부터 코깅이 없으며, 철손이 발생하지 않음으로 인하여 효율이 우수하고, 소음이 작아, 이러한 특성이 요구되는 특수 분야, 나아가 일반적인 분야에서도 수요가 기대되는 바이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 장석명, 정상섭, 류동환, 최상규, "EMB용 전동발전기 선정을 위한 슬롯형과 슬롯리스 ring-wound형 영구자석 브러시리스 기기의 특성 비교", 대한전기학회논문지 50B-3-2, pp.107-114, 2001.
- [2] 장석명, 류동환, 정상섭, 최동규, 함상용, "초고속 슬롯리스 영구자석기기의 인덕턴스 특성", 대한전기학회 하계 학술대회논문집, pp.873-875, 2000.
- [3] 강규홍, 홍정표, 김규탁, 박정우, "직접 구동 슬롯리스형 영구자석 동기전동기의 설계", 대한전기학회 논문지, 49b-12-3, pp.789-796, 2000.