

권선 방법에 따른 소형 축방향 자속 발전기 특성 해석

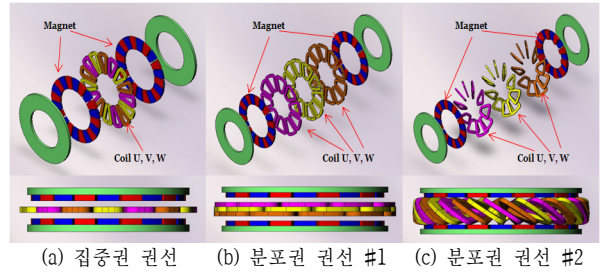
이건수*, 이규석*, 박정형*, 양희정*, 이성호*, 박성준**
 한국생산기술연구원 호남권지역본부*, 전남대학교**

Characteristics Analysis of Small AFPM Generator with Variation of Coil Winding Method

Keon-Su Lee*, Kyu-Seok Lee*, Jung-Hyung Park*, Hee-Jung Yang*, Sung-Ho Lee*, Sung-Jun Park**
 Korea Institute of Industrial Technology Honam Regional Division*, Chonnam National University**

Abstract - 본 논문에서는 권선 방법에 따라 코일 U, V, W를 같은 층에 원주방향으로 배치한 집중권 권선 모델, 코일 U, V, W를 각각 한 층씩 원주 방향으로 배치한 분포권 권선 #1 모델, 코일에 경사각을 적용하여 코일 U, V, W를 한 층에 배치하는 분포권 #2 모델로 총 3가지 사양의 3상 코어리스 축방향 자속 발전기를 설계하였다. 3차원 유한요소 해석을 활용하여, 무부하 상태에서의 역기전력, 쇄교 자속 밀도와 외부 정류 회로를 구성한 부하 상태에서의 정류 전압, 정류 전류와 같은 전자기 특성에 대한 해석 및 특성 비교를 수행하였다.

다. 그림 2(c)는 (b)의 모델에서 코일에 일정한 경사각을 적용하여 코일 U, V, W를 집중권 권선 방식처럼 한 층에 배치한 모델이다.



<그림 2> 코어리스 AFPM 발전기 해석 모델

1. 서 론

전 세계적으로 기후협약, 화석연료 고갈에 따른 환경 에너지 문제 해결 및 신성장 동력 확보를 위해 풍력, 태양광, 바이오연료 등과 같은 신재생 에너지 개발이 활발히 이뤄지고 있다. 특히 풍력 에너지는 신재생 에너지 중 매우 큰 잠재력을 가진 것으로 판단되고 있으며 이를 활용하기 위한 연구가 급속도로 증가하고 있다. 국내의 풍황을 고려한 저속형 풍력 발전 시스템 경우, 코깁 토크의 영향이 적은 축방향 자속형 영구자석 발전기(Axial Flux Permanent Magnet Generator)가 적합하다.[1]

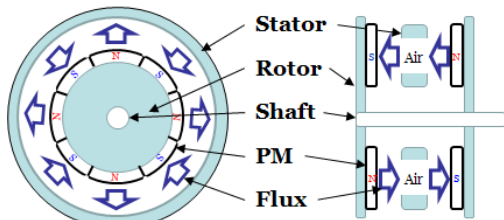
AFPM 발전기의 권선 방법은 한 슬롯 안에 코일면이 1개 위치한 단층권과 코일면이 2개 위치한 이중권으로 나뉘고 극당, 상당, 슬롯수에 따른 권선 방법에 따라 분포권과 집중권으로 나뉜다. AFPM 발전기의 구조적인 특성으로 인해, 해석 및 설계에 필요한 정확한 파라미터를 얻기 위해서는 3차원 유한요소 해석을 필요로 한다.[2]

본 논문에서는 3상 코어리스 AFPM 발전기 집중권, 분포권 #1, 분포권 #2의 총 3가지 사양을 설계하고 3차원 유한요소 해석을 활용하여, 각각의 설계 사양에 대한 전자기적 특성을 비교하고자 한다.

2. 본 론

2.1 코어리스 AFPM 발전기 구조

영구자석을 회전자로 하는 영구자석형 발전기는 원주방향 자속형 영구자석 발전기(Radial Flux Permanent Magnet Generator)와 축방향 자속형 영구자석 발전기(Axial Flux Permanent Magnet Generator)로 자속 방향에 따른 구분을 할 수 있다. 그림 1은 RFPM 발전기와 코어리스 AFPM 발전기의 구조를 나타내었으며, 역기전력 및 발생 토크는 RFPM 발전기의 경우 축과 직교하는 공극 자속과 권선 전류의 작용에 의해 발생하는 반면 코어리스 AFPM 발전기인 경우 축과 평행한 공극자속과 권선 전류의 작용에 의해 발생한다.[3]



<그림 1> RFPM 발전기와 코어리스 AFPM 발전기

2.2 코어리스 AFPM 발전기 모델 사양

그림 2은 코어리스 AFPM 발전기의 해석 모델 구조를 나타내고 있다. 그림 2(a)는 코일 U, V, W를 같은 층에 원주 방향으로 배치한 집중권 권선 방식의 모델을 나타내고 있다. 그림 2(b)는 코일 U, V, W를 각각 한 층씩 원주 방향으로 배치한 분포권 권선 방식의 모델을 나타내고 있

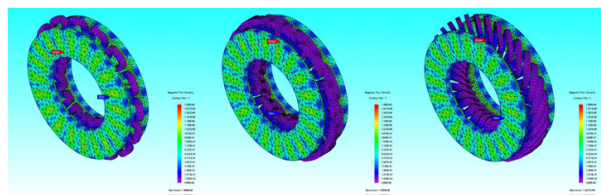
다. 표 1은 코어리스 AFPM 발전기 해석 모델의 설계 사양을 나타내고 있다. 각각 모델에서 사용된 영구자석의 극수는 20개로 외경, 내경, 높이가 같은 동일한 체적으로 설계 수행 하였다. 코일 수는 역기전력 파형 및 전자기적 특성을 비교하기 위한 권선 계수를 고려하여 집중권 권선의 경우 상당 5개로 총 15개이고 분포권 권선의 코일 수는 상당 10개로 총 30개이다. 코일당 턴수는 동일한 선경의 마그넷 와이어를 사용하여 60턴으로 동일하게 설계 수행 하였다. 영구자석과 마그넷 사이의 공극은 분포권 권선 #2 모델의 설계 구조상 조건을 고려하여 5 [mm]이고 나머지 집중권 권선, 분포권 권선 #1 모델에도 동일하게 적용하였다.

<표 1> 코어리스 AFPM 발전기 해석 모델 설계 사양

항목	값	항목	값
Number of phases	3	Magnet type	NdFeB
Number of poles	20	Magnet diameter [mm]	82
Number of coils/phase	집중권 권선 : 5 분포권 권선 : 10	Magnet thickness [mm]	5.3
Number of turns/coil	60	Coil height [mm]	5
Resistance /phase [Ω]	집중권 권선 : 1.7 분포권 권선 : 4.2	Air gap [mm]	5

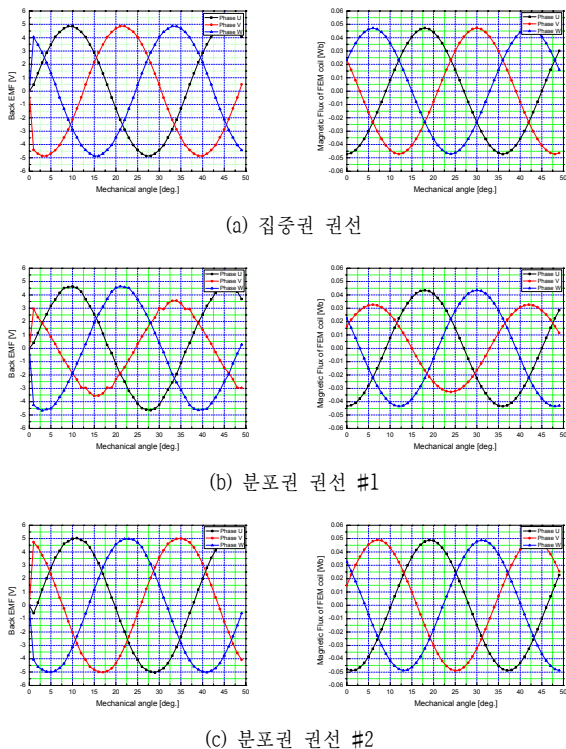
2.3 코어리스 AFPM 발전기 모델의 3차원 유한요소 해석

코어리스 AFPM 발전기의 구조적인 특성으로 인해, 해석 및 설계에 필요한 정확한 파라미터를 얻기 위해서는 3차원 유한요소 해석을 필요로 한다. 그림 3는 각각의 해석 모델에 대한 자속 밀도 분포 결과이다. 자속 밀도는 로터 요크 부분에 고르게 분포 되어 있으며, 자기 포화 현상은 나타나지 않았다.



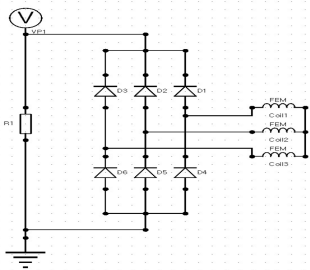
<그림 3> 코어리스 AFPM 발전기 모델의 자속 밀도 분포

그림 4는 해석 모델을 100rpm으로 일정하게 회전 시켰을때 발생 하는 역기전력과 쇄교 자속 밀도를 나타내고 있다. 그림 4(a)는 집중권 방식으로 권선한 모델이며 3상의 역기전력 실효값은 3.55 [V]이고 쇄교 자속 밀도 실효값은 0.032 [Wb]이다. 파형의 모양은 정현적인 역기전력 파형을 나타내고 있다. 그림 4(b)는 분포권 방식으로 3상 코일이 각각 다른 층에 권선 되어 있는 모델이다. U상, W상의 역기전력 실효값은 3.3 [V]이고 쇄교 자속 밀도 실효값은 0.03 [Wb]이다. 특이점은 중간에 위치한 V상의 역기전력 실효값은 2.3 [V]이고 쇄교 자속 밀도 실효값은 0.024 [Wb]으로 상간 불평형이 발생하였다. 이는 중간에 위치한 V상은 U, W상에 비해 영구자석의 갭(gap)이 크기 때문에 이러한 결과를 나타내고 있다. 파형 또한 왜곡이 포함된 정현파 모양이다. 그림 4(c)는 분포권 방식으로 3상 코일에 일정한 경사각을 적용하여 한 층에 배치한 모델이다. 3상의 역기전력 실효값은 3.62 [V]이고 쇄교 자속 밀도 실효값은 0.034 [Wb]이다. 분포권 방식으로 권선한 분포권 권선 #2 모델과 다르게 상간 불평형이 발생 하지 않았으며, 파형 또한 정현적인 모양을 나타내고 있다.



<그림 4> 해석된 모델별 역기전력과 쇄교 자속 밀도

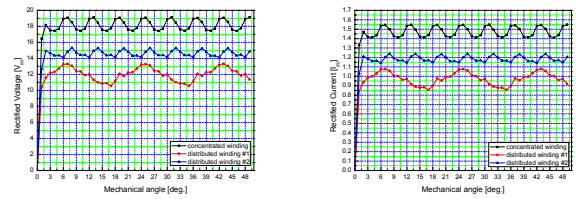
그림 5는 부하 조건에 대한 전자기적 특성 비교를 하기 위하여 정류 회로를 구성하였다. 동일한 저항 부하를 사용하여 해석 모델을 300rpm으로 회전 시켰을때 발생하는 정류 전압, 정류 전류 특성에 대한 해석 수행하였다.



<그림 5> 정류 회로 구성

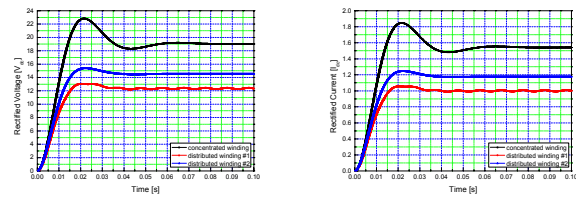
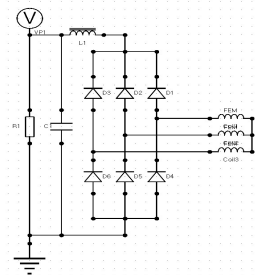
그림 6은 해석 모델별 정류 전압과 정류 전류를 나타낸다. 기계적 각도 6도부터 42도까지 범위에서 집중권 권선의 경우 정류 전압 평균값은 18.23 [V]이다. 최고값은 19.13 [V]이고 최저값은 17.42 [V]로 1.71 [V]의 차이를 보였다. 분포권 권선 #1의 경우 평균값은 11.988 [V]이다. 최고값은 13.3 [V]이고 최저값은 10.565 [V]로 2.735 [V]의 차이를 보였다. 분포권 권선 #2의 경우 평균값은 14.627 [V]이다. 최고값은 15.31 [V]이고 최저값은 14.11 [V]로 1.2 [V]의 차이를 보였다. 정류 전압과 같은 범위에

서 정류 전류의 경우 집중권 권선의 평균값은 1.476 [A]이다. 최고값은 1.548 [A]이고 최저값은 1.41 [A]로 0.13 [A]의 차이를 보였다. 분포권 권선 #1의 경우 평균값은 0.97 [A]이다. 최고값은 1.077 [A]이고 최저값은 0.855 [A]로 0.222 [A]의 차이를 보였다. 분포권 권선 #2의 경우 평균값은 1.185 [A]이다. 최고값은 1.24 [A]이고 최저값은 1.14 [A]로 0.1 [A]의 차이를 보였다.



<그림 6> 해석된 모델별 정류 전압과 정류 전류

그림 7은 DC 필터(DC filter)를 구성하여 같은 조건에서 재해석을 수행 하였다. 분포권 권선 #1의 경우 무부하 회전시 발생하는 역기전력 상간 불평형이 부하 조건의 전자기적 특성에도 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.



<그림 7> DC 필터 구성한 부하 조건 해석

3. 결 론

본 논문에서는 코어리스 AFPM 발전기의 권선 방법에 따른 전자기적 특성 비교를 3차원 유한요소 해석을 통해 설계 수행 하였다. 3상 U, V, W 코일을 각각 한 층씩 배치하는 분포권 #1의 경우, 코일간 영구자석 갭(gap)의 영향으로 역기전력의 상간 불평형이 발생 하였으며, 이를 개선하기 위한 방법으로 분포권 #2와 같이 동일한 층에 코일 배치하는 모델을 설계하였다. 해석 결과, 분포권 권선 방식은 AFPM 발전기 제작시 권선 작업의 집적화 및 코일 형상 최적화를 통해 전자기적 특성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] 황돈하, 박도영, 배성우, 최경호, 김동희, “영구자석형 풍력 발전기 설계 및 정상태 전자계 해석”, 대한전기학회 전기기기 에너지변환시스템학회 춘계학술대회, 6-8, 2002
 [2] Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper, “Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines 2nd Edition”, pp. 35-40, 2008
 [3] 홍문환, “양면 축방향 영구자석 전동기에서 자속위치 검출에 따른 특성”, 대한전기학회 하계학술대회, pp. 828-830, 2002