

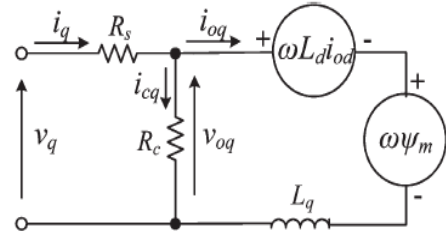
이동형 로봇의 200[w]급 IPM 발전기 설계

김희천*, 김지은*, 정태욱*
경남대학교*

Design of 200[W] class IPM generator in mobile robot

Hoe-Cheon Kim*, Ji-Eun Kim*, Tae-Uk Jung*
Kyungnam University*

Abstract - In this paper, the Interior Permanent Magnet Generator utilizing the power of the robot engine was designed. We designed considering the required power of the auxiliary power to be also used in robot. The rotor which is suitable for the high speed operation was designed. And the generator which utilized this finite element method (FEM) and can deliver the optimum output to the auxiliary power was designed.



(b) q axis
〈그림 1〉 IPMG 등가회로

1. 서 론

최근 이동형 발전 장치의 개발 요구에 따라서 발전기에 대한 관심이 크게 증폭되고 있다. 특히 군용이나 사업용에 있어 넓은 일정 파워-스피드 영역과 높은 신뢰성을 가지는 보조 발전기 시스템에 대한 요구가 높아지고 있다.

이러한 보조 발전시스템은 엔진의 동력을 활용하여 발전기를 돌려 전원을 공급하며 종합효율을 향상 시키며, 발생하는 전류가 각 기구에 있는 모터 및 제어 모듈등에 전력을 공급하게 된다. 또한 전기를 생산하고 송전하는 발전기를 탑재하고 있기 때문에 송전손실이 적으며 생산된 전력을 직접 모터등에 공급 할 수 있기 때문에 충전 및 방전에 손실이 적다.[3]

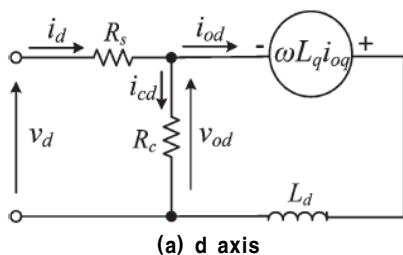
표면 부착형 영구자석 발전기(Surface-mounted permanent magnet generator)는 높은 파워 밀도(Power density)와 토크를 가지고 있지만, 고속 영역에서 회전자와 구조적인 문제와 약제자 제어(loaded weakening control)가 어렵다는 단점을 가지고 있다. 매입형 영구자석 발전기는 높은 파워 밀도와 자기 토크(magnet torque)와 릴럭턴스 토크(reluctance torque)에 의한 높은 토크 밀도 그리고 넓은 일정 파워-스피드 영역을 가지고 있다. 또한 고속 영역에서의 회전자와 구조적인 문제를 보완한다.

본 논문에서는 6극 9슬롯의 매입형 영구자석 발전기를 설계하고 자석의 감자를 막기 위해서 네오디움 자석(NdFeB permanent magnet)을 사용하였으며, 권선은 집중권 방식으로 고정자 권선의 엔드 와인딩(End winding)의 면적을 줄일 수 있고, 이로 인한 동손과 기기의 축 길이(Axial length)를 줄일 수 있다는 장점을 활용 하였다.[3]

3상 정류기의 출력과 보조 전원입력 파워를 고려하여 매입형 영구자석 발전기 설계를 위한 요소법을 이용하였다.

2. 본 론

2.1 매입형 영구자석 발전기의 모델링



(a) d axis

그림 1은 IPMG의 d와 q축의 등가회로를 나타낸다.[5] 이 등가회로는 고정자의 동손과 철손의 효과를 포함하고 있으며, 히스테리시스와 와전류에 기인한 철손이 등가 철손 저항 R_c 로 표현된다.

$$R_c = K_r \times \omega_g \tag{1}$$

IPMG는 돌극성 ($L_q > L_d$)을 가지고 있으며, q축을 따라 자기포화가 일어난다. 동작 특성을 분석하기 위한 3상 IPMG의 미분방정식은 다음과 같다.

$$L_d \frac{di_{od}}{dt} = -R_s i_d + \omega L_q (i_q) i_{oq} + v_d \tag{2}$$

$$L_q (i_q) \frac{di_{oq}}{dt} = -R_s i_q - \omega L_d i_{od} - \omega \psi_m + v_q \tag{3}$$

여기서, ψ_m 은 영구자석 자속, R_s 는 고정자 저항이고 d축 인덕턴스 L_d , q축 인덕턴스 L_q 로 나타낸다. 모델링 L_q 의 자기포화를 고려하면,

$$L_q = L_{q0} - k|i_q| \tag{4}$$

이다.

IPMG의 운동방정식은

$$J \frac{d\omega_g}{dt} = T_m - T_g - B\omega_g \tag{5}$$

이다. 여기서, J 는 전체 모멘트 이고, T_m 은 기계적인 토크, T_g 는 전기적인 토크, B 는 점성 감쇠 계수이다.

전기적 토크는 다음 식으로 표현된다.[1][2]

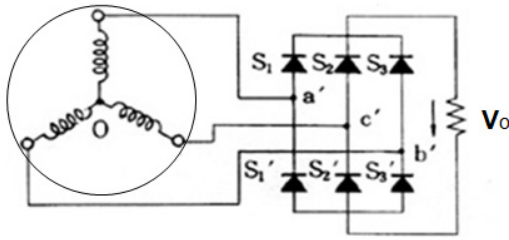
$$T_g = -\frac{3}{4} P_n [\psi_m i_{oq} + (L_d - L_q(i_q)) i_{od} i_{oq}] \tag{6}$$

2.2 3상정류기 출력전압 고려

보조전원장치의 출력전압은 12[V]로서 각 기구의 모터 및 모듈회로에 DC전압을 공급하게 된다. 이 보조전원장치의 발전기 설계시 3상 정류기의 출력전압의 직류값을 안정적으로 공급하기 위하여 발전 출력전압 및 전류, 부하 특성을 고려하였다.

엔진 동력에 의한 동기회전속도 10000[rpm]에서의 필요한 최적 공급전원을 발생시키기 위하여 3상 정류기의 출력전압을 계산하였다. 계산된

출력전압이 발생되게 IPMG를 설계하였다.



<그림 2> 보조전원장치의 개념도

다이오드의 최대 역전압은 첩두 선간전압이다. S1이 도통할 때 다이오드에 걸린 전압은 0이다. S1이 오프 될 때, S2가 온되면 출력전압은 V_{ac} 이고 S3이 온되면 출력전압은 V_{ab} 가 된다. 푸리에 급수를 이용하면 출력전압은 다음과 같다.[4]

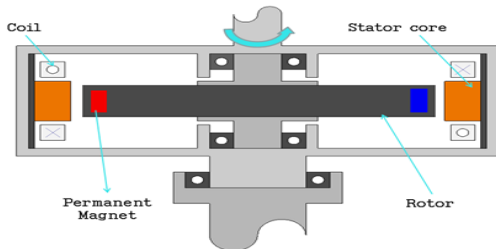
$$v_o(t) = V_0 + \sum_{n=6,12,18,\dots}^{\infty} V_n \cos(n\omega_0 t + \pi) \quad (7)$$

즉 식 (8)은 푸리에 급수를 이용하여 3상정류기의 출력전압 값을 나타낸 것이다.

$$V_0 = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} V_{m,L-L} \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (8)$$

$$= \frac{3V_{m,L-L}}{\pi}$$

2.3 유한요소 해석 및 실험결과



<그림 3> IPMG 설계구조

본 논문에서는 IPMG의 전자기구조 특성 및 출력 분석을 2차원 유한요소해석 기법을 활용하여 실험하였다. 유한요소법을 이용하여 역기전력과 영구자석의 쇠교자속 값을 얻어 특성을 파악하였으며, 부하특성 해석은 엔진 동력에 의한 동기회전속도인 10000[rpm]일 때 출력과 파워 200[W] 목표로 설계하였다.[5]

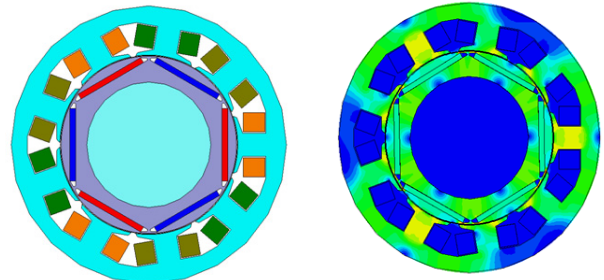
<표 1> IPMG 설계 사양

구분	항목	설계 값	단위
회전자	외경	82	[mm]
	내경	58	[mm]
	영구자석 두께	7	[mm]
	극수	6	-
	영구자석 재질	ND39H	-
	공극	0.5	[mm]
고정자	외경	128.5	[mm]
	내경	83	[mm]
	적층 두께	7	[mm]
	슬롯 수	9	-

표 1은 설계된 IPMG의 형상치수를 나타내고 있으며, 그림 4은 2차원 모델링 형상과 무부하 해석시 회전자 위치에 따른 자속밀도 분포를 나타내고 있다.

무부하 및 부하해석은 동기 회전속도인 10000[rpm]으로 특성을 분석하였다. 부하 해석시 보조전원장치의 출력전압 12[V]을 로봇에 공급하기 위하여, 3상 정류기의 요구 입력전원을 계산한 출력 상전압 5.13[V]가 발전하도록 설계하였다.

6극 9슬롯의 집중권 방식의 네오디움 자석을 사용하여 실험하였다.



(a) 모델링 형상 (b) 모델의 자속밀도 분포
<그림 4> 2차원 모델링 형상 및 무부하 해석시 자속밀도 분포

<표 2> 10000[rpm]에서의 무부하 및 부하 특성 해석표

무부하				
BEMF		Cogging-torque		
5.57[V]		326.21[mNm]		
부하(0.35[Ω])				
전압	전류	토크	출력	효율
5.42[V]	15.47[A]	0.246[Nm]	251[W]	94.5[%]

표 2는 10000[rpm]에서의 200[w]로 목표로 했던 발전기 특성을 해석하였으며, 보조전원장치가 요구하는 출력을 낼 수 있었다. 또한 설계각시 각 손실을 감안하여 해석시 목표 출력 대비 상향하여 최종 설계 하였다.

3. 결론

본 논문에서는 로봇엔진의 동력을 활용하여 보조전원에 사용될 매입형 영구자석 발전기를 설계하였다. 이동형 로봇등 엔진의 동력을 활용하는 보조전원 시스템은 종합효율 향상을 시키는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 엔진의 에너지활용을 극대화 시키기 위하여 로봇에 사용될 보조 발전기를 설계 하였다. 설계된 보조전원 발전기는 3상 정류기의 출력과 파워를 고려하여 보조전원이 요구하는 전압을 발전 하였으며, 엔진의 동력에 의해 고속회전의 장점으로 체적이 크지 않은 발전기를 설계 하였다.

향후 소음 및 진동을 최소화 하기 위하여 FEM의 해석결과를 이용하여 6sigma의 실험계획법을 활용한 최적화 설계를 진행 할 것이다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2011-0005694)

[참 고 문 헌]

[1] TAKASI SIOTA, THUTOMU ISAKA, TAKASHISANO, KAZUICHI SEKI, "Matching Between Straight-Wing Nonarticulated Vertical Axis Wind Turbine and a New Wind Turbine Generator", Electrical Engineering in Japan, pp26-35, Vol.174, No.2, 2011.
 [2] Wei Qiao, Liyan Qu, Ronald G. Harley, "Control of IPM Synchronous Generator for maximum Wind Power Generation Considering Magnetic Saturation", IEEE, Vol.45, No3, pp1095-1105, June, 2009.
 [3] 백재훈, 김남훈, hamid A. Toliyat, "이동형 전원장치용 3kW PMA-RSG 설계에 대한 연구", 한국조명·전기설비학회, 조명전기설비학회논문지, 제 23권 6호, pp190-117, 2009.6.
 [4] DANIEL W.HART, "Pspice를 활용한 전력전자공학", 도서출판 인터비전, pp169-178.
 [5] 이주, 김기찬, 안준선, 원성홍, "매입자석 동기모터의 설계 및 제어", 도서출판 인터비전, pp10-51.