

브러시리스 동기 발전기의 설계 및 성능 특성 해석

박용식*, 김성주**, 정현호**, 구대현***, 정군석****, 조운현**
 (*원자력교육원, **동아대학교, ***한국전기연구원, ****한라인비텍)

Brushless Synchronous Generator Design and Performance Characteristic Analysis

Park Yong Sik*, Kim Sung Joo**, Jung Hyun Ho**, Koo Dae Hyun***, Jung Gun Seok****, Cho Yun Hyun**
 (*KHNPEI, **Dong-A University, ***KERI, Halla E. B. Tech.)

Abstract - In this paper, to design and performance analysis of brushless synchronous generator is presented. To identify the performance of the designed brushless synchronous generator, the prototype generator is manufactured and estimated as the terminal voltage and frequency when the rated load is given to the generator.

피상 전력 : $S = 3VI$ (1)

정격 전압 : $V = \sqrt{2}N_s k_d \frac{\omega}{p} r_0 B_r$ (2)

동기 리액턴스 :

$$x_d = \frac{3\mu_0}{p\pi} (N_s k_d)^2 l \omega \left[1 + \left(\frac{r_0}{r_s} \right)^{2p} \right] \frac{I}{V}$$
 (3)

1. 서 론

기존의 동기 발전기는 계자 전류를 슬립 링을 통하여 여자기에 공급한다. 슬립 링을 통하여 전류를 인가하는 경우 브러시의 존재로 기계적 접촉에 의한 브러시 마모 등으로 보수, 유지비가 많이 들고, 소음이 커진다. 이러한 이유로 브러시리스 여자방식의 동기발전기가 최근에 연구되고 있다. 본 논문에서는 기본 설계 치수 산정 방법과 유한 요소법으로 부하변화에 따라 특성을 해석하였으며, 설계된 동기발전기의 특성은 발생 전압 및 전류의 파형으로 유한요소해에 의한 해석과 비교 검토하였다.

여기에서 r_0 는 회전자의 외경이고, r_s 는 고정자의 내경이다. 그러므로

$$S = \frac{1}{\mu_0} \frac{2\omega}{p} x_d B_r^2 \frac{V_M}{1 + \left(\frac{r_0}{r_s} \right)^{2p}}$$
 (4)

$\frac{r_0}{r_s}$ 는 상수로 주어지며, $V_M = \pi r_0^2 l$ 은 기계의 체적을 나타낸다.

회전자의 반지름 r_0 에서 다수의 계자 권선에 흐르는 전류 I_F 에 의해 공극의 자속 밀도 B_r 을 만드며, 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

2. 브러시리스 동기 발전기의 구조 및 기본설계 방정식

2.1 브러시리스 동기발전기의 구조

브러시가 있는 동기 발전기의 구조는 회전자의 권선에 슬립 링을 통해 여자전원과 연결되어 있고, 고정자 권선에서 유기 전압이 나온다.

브러시리스 동기 발전기의 기본 구조는 그림 1과 같다. 구성은 보조 여자기, 주여자기 및 발전기로 구성된다. 발전기의 회전자와 여자기의 회전자는 같은 축으로 연결되어 있다. 그리고 발전기의 고정자에는 36슬롯으로 고정자 권선이 감겨져 있다.

$$B_r = \mu_0 \frac{N_F k_F}{\pi r_F} I_F \left[1 + \left(\frac{r_0}{r_s} \right)^{2p} \right]$$
 (5)

고정자 내경 r_s 와 계자 권선에 감겨져 있는 회전자 외경 r_0 의 기본 치수로 표현할 수 있으며, 식 (1), (2) 및 식 (5)로부터 정리하면,

$$S = 3\sqrt{2} N_s k_d \frac{l\omega}{p} \mu_0 \frac{N_F k_F}{\pi} I_F \left[1 + \left(\frac{r_0}{r_s} \right)^{2p} \right] I$$
 (6)

여기에서 I_F 는 무부하 계자 전류이다.

전체 직렬 턴수를 N_F 와 N_s 가 p 에 따라 변한다고 하면, $[1 + (r_0/r_s)^{2p}]$ 는 p 에 완전히 독립으로 정해진다.

2.3 브러시리스 동기 발전기의 시작기

본 연구에서 설계된 발전기 사양 및 제원은 아래의 표 1과 같으며, 그림 2는 시작기의 고정자 코아와 회전자 계자 코아를 나타낸다.

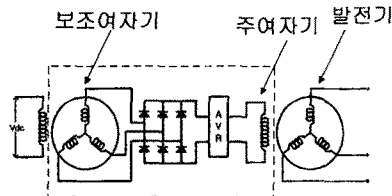


그림 1 브러시리스 동기 발전기의 구조도

2.2 동기 발전기의 기본 설계 방정식

그림 1과 같은 브러시리스 동기발전기의 설계 치수를 결정하기 위한 기본 방정식은 다음과 같이 정리 할 수 있다.

표 1 발전기 사양 및 제원

항 목	치 수	
정격 출력	20 [kW]	
극 수	4 [극]	
주 파 수	60 [Hz]	
정격 전압	460 [V]	
정격 속도	1800 [rpm]	
적층 길이	110 [mm]	
고정자	outer diameter	288 [mm]
	inner diameter	196 [mm]
	slot height	12 [mm]
	slot opening	3 [mm]
회전자	outer diameter	194 [mm]
	inner diameter	60 [mm]
	slot height	6 [mm]
	slot opening	2.4 [mm]

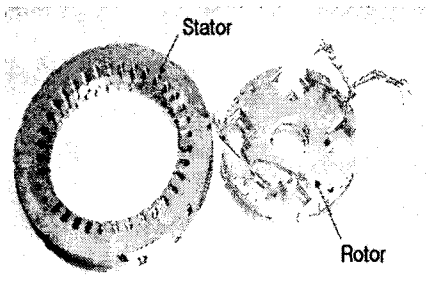


그림 2 발전기의 고정자 및 회전자 코어

3. 특성 해석 및 실험 고찰

3.1 유한요소법의 의한 해석 결과

본 연구에서 설계된 브러시리스 발전기의 특성을 고찰하기 위하여 수치해석적인 방법은 2차원 유한요소법을 적용하여 해석하였다. 특성 해석은 공극 자속밀도, 무부하 운전시 및 부하운전시의 전압, 전류 특성을 고찰하였다. 그림 3은 무부하시의 자속선과 공극의 자속 밀도이다. 공극의 자속 밀도는 최대 0.6[T]의 값을 갖는다.

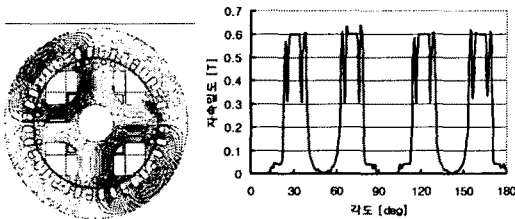


그림 3 무부하시의 자속선과 공극의 자속 밀도

그림 4는 부하단에 20KW의 부하를 인가하였을 때의 자속선과 공극의 자속 밀도이다. 공극의 자속 밀도는 무부하보다 좀더 높은 0.8[T]의 값을 갖는다.

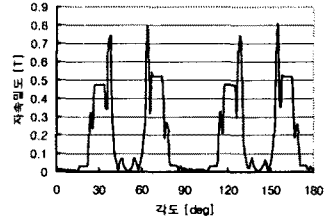
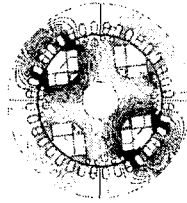


그림 4 20KW 부하시의 자속선과 공극의 자속 밀도

그림 5는 유한요소해석의 결과로 나타난 무부하시의 선간 전압 파형이다. 그때의 최대 전압은 620[V]이다.

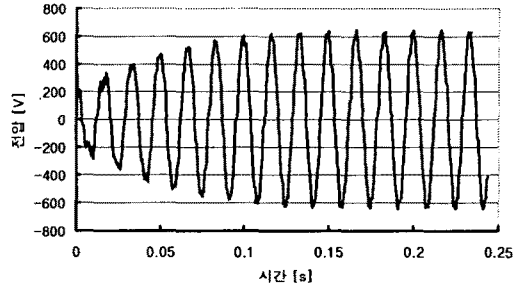


그림 5 무부하시의 선간 전압 파형

그림 6과 그림 7은 발전기의 고정자 권선의 양단에 20KW 부하를 인가했을 때, 유한요소법에 의한 선간 전압과 전류 파형으로 최대전압은 600[V]이고, 최대 전류는 30[A]이다.

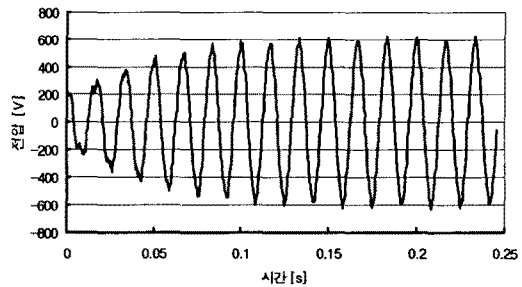


그림 6 20KW 부하시 선간 전압 파형

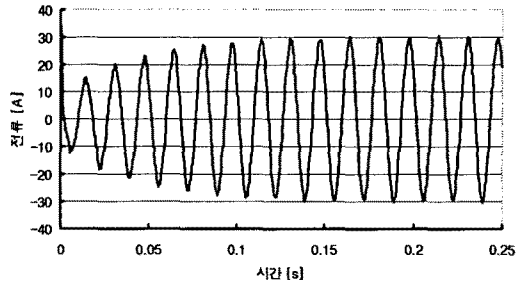


그림 7 20KW 부하시의 전류 파형

3.2 실험 장치

설계된 브러시리스 발전기의 이론치와 비교 분석하기 위하여 그림 8과 같이 발전기 특성 실험 장치를 구성하였다.

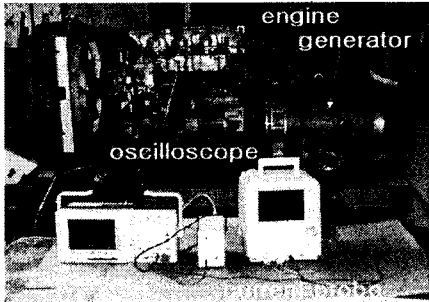


그림 8 브러시리스 발전기의 실험 장치

3.3 실험 결과 및 고찰

그림 8의 장치로 측정한 선간 전압 및 전류 파형은 그림 9, 10과 같이 얻었다. 그림 9에서 전압의 실효치는 455[V]이고, 최대치는 643[V]이며, 주파수는 59.64[Hz]로 나왔다.

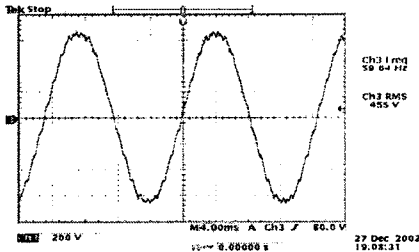


그림 9 무부하 선간 전압

그림 10에서 전압의 실효치는 457[V]이고, 최대치는 646[V]이며, 주파수는 59.78[Hz]로 나와 그림 9의 무부하시와 비교하여 거의 변화가 없다. 전류의 실효치는 23.7[A]이고, 최대치는 33.5[A]로 나왔다.

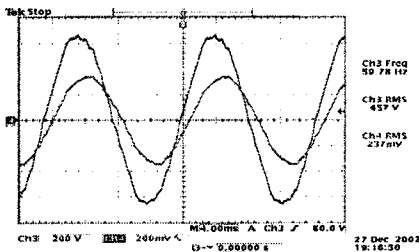


그림 10 20KW 부하 선간 전압·전류 파형

4. 결 론

본 연구에서는 20KVA의 브러시리스 여자방식의 동기

발전기에 대해 대한 기본 설계 치수 산정 방법과 유한요소법에 부하 변화에 따른 성능 특성에 대하여 논하였다. 브러시리스 동기 발전기의 성능 특성을 해석하기 위해서는 2차원 유한요소법에 의한 등가회로 파라메타를 계산하였으며, 설계된 동기발전기의 성능 특성은 부하 변화에 따른 발생 전압 및 전류 파형으로 비교, 검토를 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. J. E. Miller, "Brushless Permanent Magnet and Reluctance Motor Drives", CLARENDON PRESS OXFORD, 1989
- [2] Duane C. Hanselman, "Brushless Permanent Magnet Motor Design", McGraw-Hill Inc, 1994
- [3] Doh Young Park, "Parameter Identification of Salient-Pole Synchronous Machines Using the SSFR(Standstill Frequency Response) Test", Queen's University, 1997
- [4] Sakutaro Nonaka, Katsumi Kesamaru and Kazuo Horita, "Analysis of Brushless 4 Pole Three-Phase Synchronous Generator Without Exciter by Finite Element Method", IEEE, 1991