장하분배법을 이용한 동기발전기의 설계

최윤용*, 성기용*, 황수진*, 권승현*, 이규철*, 김민규*, 박종진*, 이정민*, 안창호*, 이중호*
국립한밭대학교*

Design of single-phase synchronous generator using Loading distribution method

Yun Young Choi*, Ki Young Sung* Su Jin Hwang*, Kue Chul Lee*, Min Kyu Kim*, Seoung Hyun Kwon* Jong Jin Park* Jung Min Lee*
Chang Ho Ahn*, Jung Ho Lee*
Hanbat National University*

Abstract - This paper describes the design process of three-phase Synchronous generator. stator and rotor were modelled with the result obtained from loading distribution on the provided specification. For proving validity of the result obtained from loading distribution, through Maxwell simulator the first test target values, output and efficiency, Rated speed and etc, were compared with the design result.

1. 서 론

본 논문은 풍력발전기의 이해를 위해 영구자석형 소형 동기발전기의 설계를 다루며 동기발전기의 설계를 통해 발전기의 구조와 특성을 이해하고자 한다. 풍력발전기의 기본이 되는 영구자석형 동기발전기의 기본 재원을 가지고 신뢰성이 높은 장하분배법을 사용하여 설계를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 동기 발전기의 설계

<표 1> 모델 사양

출력	3[KVA]
극수	8
전압	220[V]
주파수	60[Hz]
역률	0.8(늦음)
동기속도	900[rpm]

2.2.1. 장하의 분배

용량[KVA] = 3

전기자 권선은 성형결선(Y결선)으로 하는 것으로 해서

정격전류 $I=\frac{3\times10^3}{\sqrt{3}\times220}=7.87[A]$

매극의 용량 $S=\frac{3}{8}=0.375[KVA]$

비용량 $\frac{S}{f\times10^{-2}}=\frac{0.375}{60\times10^{-2}}=0.625$

<표 2> 설계기초 정수

기종 \ 정수		장하분배정수 γ	기준 자기 장하 ϕ_0
회전기	동기기	1.5	$(0.25\sim0.35)\times10^{-2}$
	유도기	1.3	
	직류기	1.5	
변압기		1	

표로부터 장하분배정수 $\gamma=1.5$로 하면

$\gamma/(1+\gamma)=1.5/2.5=0.6$이다.

따라서 $x=\frac{\phi}{\phi_0}=\left(\frac{S}{f\times10^{-2}}\right)^{0.6}=(0.625)^{0.6}=0.754$

표로부터 기준 자기장하 $\phi_0=0.28\times10^{-2}[Wb]$로 선정하면 자기장하 $\phi=x\phi_0=0.754\times0.26\times10^{-2}=1.9604\times10^{-3}[Wb]$ 성형결선을 사용하는 것으로 하였기 때문에 1상의 전압은 $220/\sqrt{3}=127[V]$이다. 따라서 1상의 직렬도선수 N_{ph}은

식 $E=2.1N_{ph}\phi f$ 로부터 유도되어 $N_{ph}=\frac{E}{2.1\times\phi\times f}$ 이므로 대입하면 $N_{ph}=\frac{127}{2.1\times1.9604\times10^{-3}\times60}\fallingdotseq514.14$이 된다.

2층권으로 해서 전압파형의 개선을 위해 분수 슬롯을 사용하는 것으로 한다. 매극·매상의 슬롯수를 $q=0.5$ 로 선정하면, 1상의 슬롯수는 $Pq=8\times0.5=4$ 전 슬롯수는 $3Pq=12$이다. 따라서 1슬롯내에 수용하여야 할 도선수는 $\frac{N_{ph}}{Pq}=\frac{514.14}{4}=128.53$ 이지만 2층권을 채용하고 있으므로 1슬롯 내의 직렬도선수는 짝수이어야만 한다. 따라서 $N_{ph}=130\times4=520$이 된다.

식 $E=\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\frac{K_dK_p}{K_\phi}PN_{ph}\phi\frac{n}{60}$ [V] 으로부터 $n=\frac{120f}{P}$를 대입하면 $E=\frac{\pi}{\sqrt{2}}\frac{K_dK_p}{K_\phi}N_{ph}\phi f[V]$ 이 식이 된다.

K_ϕ 는 $0.96\sim1.02$ 사이에 분포하므로 $K_\phi\fallingdotseq1$ 로 놓고 권선계수 K_w를 사용하는 것으로 하면 $E=2.22K_wN_{ph}\phi f[V]$ 가된다. 분포권계수 k_d 는 q 의 값에 의해 결정된다. 분수 슬롯인 경우 $q=a+\frac{c}{b}$인 분수 슬롯권의 경우와 같은 값이 된다.

$q=0\times2+1=1$ 이므로 k_d 는 기본파일 때

$k_d=\frac{\sin\frac{\pi}{2m}}{q\times\sin\frac{\pi}{2mq}}$이므로 $k_d=\frac{\sin\frac{\pi}{2\times3}}{1\times\sin\frac{\pi}{2\times3\times1}}=1$이 된다.

그리고 전기각도 120°이므로 코일피치는

$\beta=\frac{120}{180}=\frac{2}{3}, k_p=\sin(\frac{\beta\pi}{2})$, 이므로

$\therefore\ k_p=0.866$이다.

따라서 권선계수 K_w 는 $K_w=k_dk_p=1\times0.866=0.866$이 된다. 이 수치를 이용하여 자기장하를 다시 계산하면

$\phi=\frac{127}{2.22\times0.866\times520\times60}\fallingdotseq2.11\times10^{-3}[Wb]$로 되어, 처음에 설정한 값과 거의 가까운 값이 되었다. 이 경우의 전기장하 즉 매극의 암페어 도선수 AC 를 구하면

$AC=\frac{3N_{ph}I}{P}=\frac{3\times520\times7.87}{8}=1.53\times10^3$ 이다.

2.2.2. 비장하와 주요치수

$D=\frac{8\times\tau}{\pi}=6.8[cm]$ $\tau=\frac{6.8\times\Pi}{8}=2.67[cm]$

$\tau=\frac{AC}{ac}=\frac{1.53\times10^3}{ac}=2.67[\mathrm{cm}]$ $ac=\frac{1.53\times10^3}{2.67}=573.03$

$\tau=2.67$ $ac=573.03$이 된다. $\alpha_i=b_i/\tau=0.6$으로 선정하면 또한 매극의 공극부분의 면적은

$\pi l_i=\frac{2.11\times10^{-3}}{0.6\times0.7}\times10^4=50[cm^2]$

$l_i=\frac{\pi l_i}{\tau}=\frac{50}{2.67}=18.72[cm]$ 이며

$b_i = \alpha_i \tau = 0.6 \times 2.67 = 1.602[cm]$로 된다.

여기서 우리가 설계하는 동기발전기는 소형이기 때문에 통풍덕트를 설치하지 않는다.

$\therefore$ l_i 및 실제길이 l은 $19[cm]$, $B_g = 0.7$이 된다.

2.2.3. 슬롯 치수와 철심 외경

보통 동기기에서는 전기자 권선의 전류밀도 $\Delta_a = 4 \sim 5.5[A/mm^2]$로 선정되므로 $\Delta_a = 4$ 로 선정하면,

$q_a = \frac{I}{\Delta_a} = \frac{7.87}{4} = 1.97[mm^2]$이 되므로 둥근선을 사용한다고 하면, 그 직경 d_1은 $d_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times q_a} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 1.97} = 1.58[mm]$

따라서 직경 1.5[mm]의 에나멜동선을 사용하는 것으로 하면 $q_a = 1.77[mm^2]$, $\Delta_a = \frac{I}{q_a} = 4.45[A/mm^2]$ 이 된다.

<표 3> 슬롯의 폭

도 선(PEW)	$1.5 \times 2 = 3$
중 간 절 연	$2 \times 0.25 = 0.5$
대 지 절 연	$2 \times 1.5 = 3$
여 유	1
폭	7.5

<표 4> 슬롯의 깊이

슬 롯 의 단 면 적	$\frac{N_{ph}}{P_q} \times \frac{\pi}{4} \times 1.5^2 = 229.73$
슬롯단면적/슬롯폭	30.63
대 지 절 연	3
매입 온도계 소자	1
여 유	1
깊 이	35.63

슬롯 단면적 슬롯의 폭 × 슬롯의 깊이 = $267.225[cm^2]$

고정자 철심의 외경 D_e 는

$D_e = D + 2(h_{t1} + h_{c1}) = 6.8 + 2(2.069 + 0.631) = 12.2[cm]$

$B_c = \frac{2.11 \times 10^{-3} \times 10^4}{2 \times 0.9 \times 19 \times 0.631} = 0.98[T]$가 된다.

2.2.4. 공극의 길이

$\delta = \frac{0.517 K_d k_w k_s}{0.8 K_c K_s} \times 10^{-4} \times \frac{AC}{B_g} = c \times 10^{-4} \times \frac{AC}{B_g}$.

여기서 $c = \frac{0.517 K_d k_w k_s}{0.8 K_c K_s}$ 이며,

원통형 발전기 $c = 0.3 \sim 0.45$ 돌극형 발전기 $c = 0.35 \sim 0.6$정도의 값이다.

여기선 $B_g = 0.7[T]$, $AC = 1.53 \times 10^3$ 이므로 $c = 0.38$로 하면,

$\delta = 0.38 \times 10^{-4} \times \frac{1.53 \times 10^3}{0.7} = 0.083[cm]$

$\therefore$ $\delta = 0.083[cm]$ 로 하고, 극호의 양단부분에서는 공극을 넓게 하여 $\delta' = 0.166[cm]$ 한다.

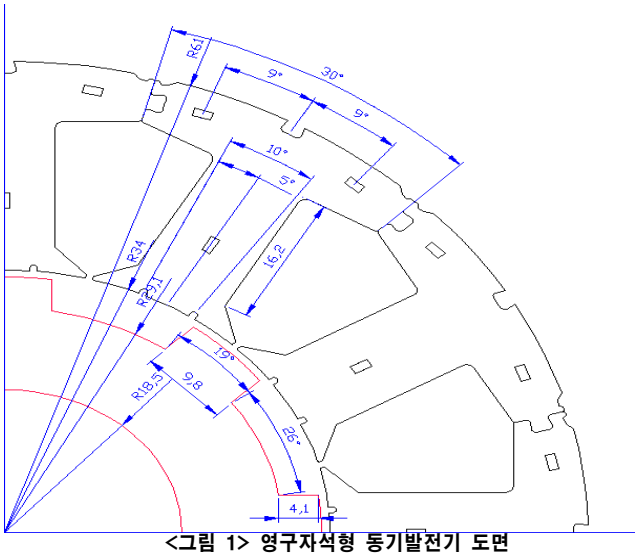
$\phi_p(1+\sigma_f)\phi$로 $\sigma_f = 0.2$, $B_p = 1.32[T]$로 선정

$\phi_p(1+0.2) \times 2.11 \times 10^{-3} = 2.532 \times 10^{-3}$ 점적률 0.95로 하면

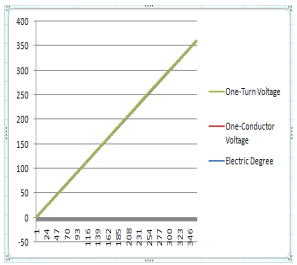
단면적은 $b_p l_p = \frac{\phi_p}{0.95 \times B_p} \times 10^4 = \frac{2.532 \times 10^{-3}}{0.95 \times 1.32} \times 10^4 = 20.19[cm^2]$

철심의 폭 $b_p = \frac{b_p l_p}{l_1} = \frac{20.19}{19} = 1.06[cm]$

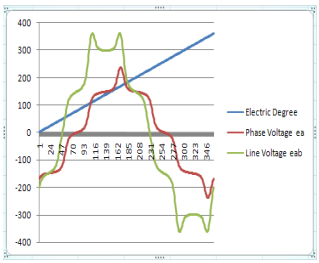
따라서 $b_p = 1.06[cm]$로 결정, $b_p l_p = 1.06 \times 19 = 20.14[cm^2]$



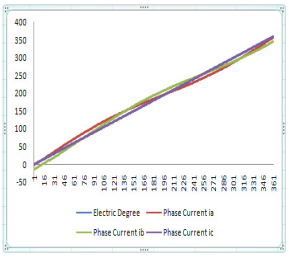
<그림 1> 영구자석형 동기발전기 도면



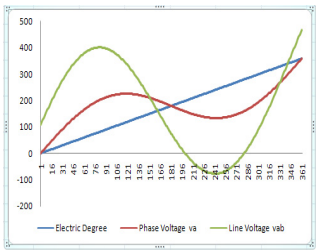
<그림 4>
Winding Currents under Load



<그림 5>
Winding Voltages under Load



<그림 2>
CoilVoltages at Rated Speed



<그림 3>
Windingvoltages at Rated Speed

3. 결 론

Mexwell simulator을 이용해본 결과 코일유도전압 정격속도와 Winding유도전압 정격속도 Winding Currents under Load Winding Voltages under Load를 구할 수 있었다. 본 동기 전동기는 영구자석만으로 회전자가 구성되어 자기적인 유효공극이 크기 때문에 기존의 기기에 적용되는 장하비와 비교 할 때, 비전기장하가 크고 비자기장하가 작다. 따라서 영구자석 회전기 출력에 따른 전기장하, 자기장하, 출력계수의 통계적인 범위 규정이 연구되어야 할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 竹內壽太朗 著;元鍾洙 譯, "(大學課程)電機設計學", pp. 70-87, 1994

[2] 鄭然鎬, "65KW급 고속 영구자석 동기발전기의 설계 및 특성해석 (The)design and characteristics analysis of the 65KW high-speed permanent magnet synchronous generator", pp. 128-130, 2007