

시험 데이터를 이용한 유도발전기의 출력 특성 분석

Output Characterization Analysis of Induction Generator using Test Data

김 중 검*
(Jong-Gyeum Kim)

Abstract - Induction generator is used primarily in small hydroelectric power station less than 1000kW recently. Unlike the synchronous generator, induction generator produces electricity when it is rotated above synchronous speed. In this study, we calculated the parameters of the induction generator with test reports presented by the manufacturer and analyzed that how much the induction generator has produced power near the rated speed. If we can use the test data to calculate the parameters, it is possible the output characteristics analysis of the induction generator. As a result of analysis, we concluded that output of induction generator varies sensitively for small changes in rotational speed in the near synchronous speed.

Key Words : Small hydro power, Induction generator, Induction Motor, Active power, Reactive power, Efficiency

1. 서 론

소수력은 신·재생에너지의 한 분야로서 탄산가스 배출량이 매우 낮아 세계적인 환경규제에도 적극적으로 대비할 수 있는 친환경 에너지원으로 각광받고 있다. 또한 에너지 밀도가 다른 에너지원에 비해 높아 지역의 분산전원에 기여할 수 있는 유용한 자원으로 평가되고 있다[1~4].

우리나라는 연평균 강우량이 1,277mm로써 강우량이 풍부하고 전국토의 80%가 산지로 구성되어 있어 지형에 맞는 치수사업으로 댐이나 저수지를 건설할 경우 수자원 확보가 매우 유리하다. 또한 일반 하천, 다목적댐 및 양수발전소의 수위 조절, 농업용 저수지, 하수 종말 처리장의 방류수, 수도관로의 관압, 화력발전소의 온배수, 양어장의 순환수, 공장의 냉각수, 방조제 수문 등 소수력으로 이용 가능한 잠재 자원도 매우 풍부하다[1,2].

소수력 발전소는 대개 저수지, 수압관로, 수차 발전기, 제어설비, 계통연계장치 등으로 구성되어 있다. 이들 중에서 수차의 기계에너지를 전기에너지로 변환시키는 발전기는 매우 중요한 설비중의 하나이다.

일반적으로 발전소 설비용량이 큰 경우 동기발전기가 사용되지만, 최근 설비 용량이 수백 kW이하는 물론이고 1,000 kW 이상에서도 유도발전기를 많이 적용하고 있다[2~7].

유도전동기는 대개 전압별, 용량별, 극수별로 효율이 정해져 있지만 유도발전기의 경우 사용하는 곳이 많지 않고, 주문에 의해 제작되므로 효율이 표준화되어 있지 않다. 따라서 사용자가 요구한 발전기의 출력 및 효율을 보증하도록 설계 제작하는 것이 매우 중요하지만, 실제로 현장에서 설치 운영할 경우 정격출력과 효율이 보증되지 않아 서로 민감하게 대립하는 경우가 있다.

그래서 본 논문에서는 사용자가 제시한 사양대로 제작하고 권선 저항측정, 구속시험 및 개방시험을 통해 제시한 시험 성적서에서 유도발전기의 파라미터를 구하여 회전속도 변화에 따라 유도발전기의 출력 및 효율이 보증되는지에 대해 분석하였다.

2. 소수력 발전 시스템 구성

소수력 발전소에서는 물의 유동에너지를 수차에 의해 기계적인 에너지로 변환한 다음 발전기를 사용하여 전기적인 에너지를 변환시킴으로서 청정에너지를 얻을 수 있다.

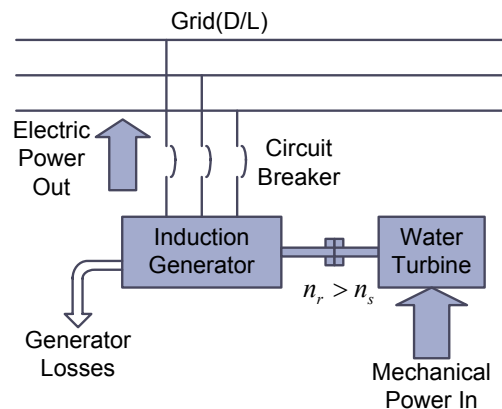


그림 1 수차 발전시스템 구성도

Fig. 1 Diagram of water turbine generator system

일반적으로 저유량 고낙차의 경우 펨턴과 같은 충동수차가 사용되고, 저낙차로서 유량이 풍부하거나 유량 변화가 있는 곳에서는 프란시스나 카플란 또는 프로펠러와 같은 반동형 수차가 사용된다.

그림 1은 수차발전 시스템의 간략화된 구성도이다. 그림

* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,
Gangneung-wonju National University, Korea
E-mail : jgkim@gwnu.ac.kr

Received : March 28, 2013; Accepted : May 30, 2013

1에서 기계에너지를 발생할 수 있는 수차(Water turbine)로 동기속도 이상($N_r > N_s$)으로 발전기를 회전시킬 경우 생산된 전력중에서 손실을 제외한 유효전력이 차단기(CB)를 거쳐 배전 계통(Grid)으로 전달된다[2~4].

수차발전 시스템에서의 발전설비 용량(P_g)은 낙차, 사용용량 그리고 수차 및 발전기의 효율을 이용하여 식 (1)과 같이 결정한다.

$$P_g = 9.8 \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_s \quad (1)$$

여기서, P_g : 발전설비 용량(kW) Q : 사용수량(m^3/s)
 H : 유효낙차(m) η_t : 수차효율(%)
 η_g : 발전기 효율(%)

식 (1)에서와 같이 발전출력을 높이기 위해서는 수차와 발전기의 효율을 각각 높이면 된다. 수차의 효율은 3차원 유동해석과 제작 기술의 향상으로 점차 개선되고 있다. 또한 발전기의 효율은 수차에 비해 상대적으로 높은 편이지만 설계 기술의 향상과 재료의 개선으로 점차 향상되고 있다.

3. 유도 발전기 등가회로 및 파라미터 산출

3.1 등가회로

그림 2는 유도기의 속도-토크 특성곡선을 나타낸 것이다.

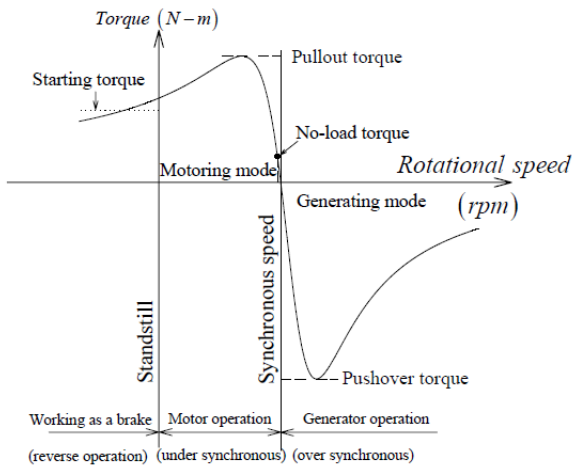


그림 2 유도기의 속도-토크 특성 곡선[8]
 Fig. 2 Speed-Torque curve of Induction machine

유도기의 슬립이 0~1의 영역에서는 전동기(motoring mode)로 동작하고, 슬립이 부(-)일 경우 즉, -1~0의 영역에서 운전할 경우 발전기(generating mode)로 동작한다. 그림 2에서 전동기로 운전할 경우와 발전기로 운전할 경우 토크 극성은 반전되고 크기도 서로 다르며, 최대 토크의 크기에서도 명칭을 서로 달리 표현하고 있다. 즉, 전동기로 운전할 경우 최대 토크인 탈출 토크(Pull-out torque)보다 발전기로 운전할 경우 최대 토크인 푸시 오버 토크(Push-over torque)가 더 높은 값을 가진다. 그러나 실제 운전영역인 슬립이

아주 작은 범위에서의 전동기 및 발전기 토크 크기는 차이가 아주 작은 편이다.

그림 3은 3상 유도기의 등가회로도로서 전동기 및 발전기 운전에 대한 전력 흐름도를 나타낸 것이다. 그림 3에서 R_s 과 X_{ls} 은 각각 고정자 저항과 리액턴스이고, R_r 과 X_{lr} 는 각각 회전자 저항과 리액턴스로서 고정자를 기준한 것이다. 또한 R_{fe} 과 X_m 은 철손저항과 자화리액턴스 성분을 V 은 고정자의 상전압이다.

그림 3(a)의 유도전동기 등가회로도로서 고정자에 인가된 전력(P_s)이 각각 고정자, 회전자 손실(P_{sl} , P_{rl}) 및 철손(P_{fe})을 제외한 전력(P_m)이 축에 전달된다. 그러나 유도발전기는 그림 3(b)와 같이 전동기와 반대로 기계적인 입력(P_{in})이 회전자와 고정자 손실 그리고 전동기와 같은 철손을 제외한 전력(P_{out})이 고정자 단자에 전달되어 계통에는 유효전력으로 전달된다.

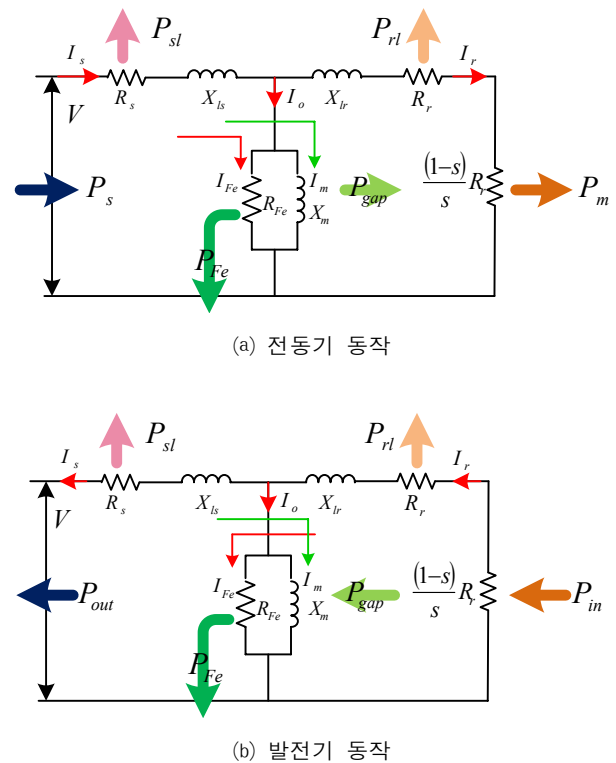


그림 3 유도기의 등가회로도
 Fig. 3 Equivalent circuit of Induction machine

유도전동기가 동기속도 보다 높은 속도에서 동작할 때 슬립은 부(-)가 되어 발전기로서 동작하게 된다. 유도전동기가 동기속도에 해당되는 속도에서 다른 기기에 의해 구동될 때 유도기전력과 회전자 전류는 제로가 된다. 이 경우 발생 토크는 제로가 된다. 속도가 동기속도 이상일 경우 슬립은 부(-)가 된다. 이때 회전자 기전력 E_2 와 회전자 전류 I_r 는 부(-)가 된다. 또한 반전된 전류는 방향을 바꾸고, 합성 전류 $I_s = I_o + I_r$ 는 공급 전압의 위상과 다른 성분을 가진다. 발생된 전체 기계적 출력과 대응하는 토크는 부(-)가 되는데 이것은 회전자가 축에 기계적인 출력을 전달하는 것이

아니라 축으로부터 흡수한다는 것을 의미한다. 그래서 기기가 전원으로부터 여자 전류 I_o 를 흡수함으로써 유도발전기로 동작한다. 그림 3에서 유도기가 발전기(IG)로서 동작할 때 전류 I_s 과 I_r 의 방향은 유도전동기와 반대가 된다.

그림 3(b)와 같은 등가회로도를 가지고 발전기로 운전할 경우 전력 흐름도로 나타내면 그림 4와 같다. 먼저 수차의 축 회전운동으로 발생된 발전기의 회전축에 전달된 입력에너지 P_{in} 에서 회전손실을 제외한 전력이 변환된 전력성분 P_{conv} 이 된다. 이 성분에서 회전자 손실 P_{rl} 을 제외한 전력성분이 고정자에 전달된다. 고정자에 전달된 성분 중에서 고정자 자체 손실 P_{sl} 을 제외한 성분에 전력으로 변환되는 출력성분 P_{out} 가 된다. 실제 유도발전기에서 발생된 전력은 출력성분에서 각종 손실을 제외한 유효전력이다[5].

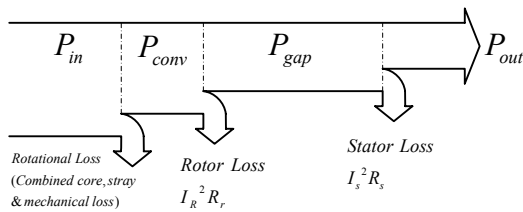


그림 4 발전기로 운전시 전력 흐름도
Fig. 4 Power flow diagram at the generating operating

유도기가 발전기로 운전할 경우 전류, 전력 그리고 토크는 전동기와 같은 수식을 전개하면 된다. 그러나 슬립이 마이너스가 되므로 회전자를 통해 고정자에 전달되는 기계적 출력은 식 (2)와 같이 회전자 손실이 고려되어야 한다.

$$P_{out} = P_{in} - P_{rl} = -(1-s)P_{gap} - P_{rl} \quad (2)$$

수차에 의해 유도발전기를 동기속도 이상으로 운전할 경우 수 발전기 단자에서의 피상전력은 다음과 같다.

$$S = 3VI^* \quad (3)$$

식 (3)에서의 유효전력 P 와 무효전력 Q 은 각각 다음과 같다.

$$P = Re(S) \quad (4)$$

$$Q = Im(S) \quad (5)$$

3.2 유도발전기 파라미터 산출

현장에 설치된 유도발전기가 제시된 사양으로 설계 제작되어 출력이 나오는 경우가 가장 이상적이지만, 실제로 당초보다 낮은 출력과 효율을 나타내는 경우가 있다. 그래서 본 연구에서는 발전기의 시험 성적서에서 제시한 저항측정, 무부하 및 구속시험을 통해 구한 특성값을 계산하여 유도발전기의 효율, 출력을 얻기 위해 그림 3에서 제시한 등가회로의 파라미터를 찾아내고, 이 파라미터를 사용하여 주문자가 제시한 특성을 발휘하는지를 확인하고 또한 유도발전기가 어떤 회전속도에서 가장 높은 출력을 발생시킬 수 있는지를

해석하였다.

표 1은 수차 발전기의 일반적인 주문 사양을 나타낸 것으로서 정격 낙차와 정격 유량에 대해 발전기가 발생해야 할 발생전력을 나타내고 있다. 이 사양에 대해 발전기 제작사는 설계 제작을 통해 출력전력을 보증해야 한다.

표 1 수차 발전기 제원

Table 1 Specification of water turbine generator

출력	490kW
극수	10극
정격 전압/전류	3,300V/109.4A
효율	94.1%
역률	83.3%
절연등급	F종
결선방식	Y
주위온도	40℃
양정	13.1
유량	4.5cms
회전속도/무구속 속도	725/1,800 rpm

표 1에서 출력은 유효전력에 해당되는 것이고, 전압, 전류 및 역률로부터 피상전력과 무효전력을 그리고 회전속도도 슬립을 알 수 있다.

표 2 3상 유도발전기 시험 성적서

Table 2 Test Report for Three Phase Induction Generator

* 권선 측정 저항값(r_1) : 0.321Ω (at 24℃)			
* 무부하 시험			
전압 V 3.3kV	전류 I_o 41.6A	W_o :19,200W	주파수: 60Hz
* 회전자 구속 시험			
전압 V_s 520V	전류 I_s 104A	W_s : 18,560W	주파수 : 60Hz
전압 V_s 279V	전류 I_s 104A	W_s : 14,080W	주파수 : 30Hz
* 부하시험			
부하율	전류(A)	효율(%)	역률(%)
25%	55.7	85.8	44.8
50%	68.4	91.6	68.4
75%	87.5	93.4	78.7
100%	109.4	94.1	83.3
125%	133.3	94.2	85.3
기동 전류		660A	
기동 토크		111%	
최대 토크		283%	

유도발전기의 특성을 가장 잘 파악할 수 있는 정확한 자료는 시험 성적서이다. 시험 성적서는 기본정격, 권선저항, 구속 및 개방 시험을 통해 얻어진 값들이 포함되어야 한다.

표 2는 제작사에서 제공한 유도발전기에 대한 시험 데이터이다. 제작사에서 제공한 저항측정, 무부하시험, 구속시험의 3가지만으로 유도발전기의 동작 특성분석을 위한 등가회로의 주요 파라미터를 찾을 수 있다.

그림 3의 등가회로에서 사용되는 파라미터를 찾기 위해 우선 권선저항 측정을 통해 구한 값으로 고정자 저항을 찾아내고, 구속 시험을 통해 구한 전력을 이용하여 회전자 저항을 얻는다. 저항 측정시 온도는 파라미터의 크기에 큰 변수가 되므로 정확한 온도가 표시되어야 한다. 저항을 보다 정확하게 구하기 위해서는 직류전압의 인가시 전류로 구하는 경우도 고려할 필요가 있다. 외국에서는 이 방법을 보편적으로 사용하지만, 국내에서는 이 방법을 잘 사용하지 않고 있다. 또한 구속시험에서 걸리는 전압과 전류로 임피던스를 구하여 회전자의 형상에 따라 고정자와 회전자의 리액턴스를 찾으면 주요 파라미터 산출이 가능하다. 이때 회전자의 형상에 따른 리액턴스 값이 같거나 달라질 수 있으므로 회전자에 대한 형상의 정확한 파악이 필요하다. 그러나 대부분의 발전기 제작사에서는 이에 대한 정확한 자료를 제시하지 않고 있다. 특히 구속시험에서는 정격의 1/4에 해당되는 주파수에서 시험한 값을 정격주파수의 값으로 변환해서 사용하고 있다[9]. 그러나 본 시험 성적서는 정격 주파수와 1/2에 해당되는 주파수로 시험한 결과만 있다. 그래서 본 연구에서는 정격 주파수에서의 값을 가지고 분석하였다.

표 2에서 제시한 권선 저항값(r_1)으로 고정자 저항(R_s)은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R_s = \frac{r_1}{2} \times \frac{234.5 + T}{234.5 + t} \quad (6)$$

식 (6)에서 t 는 측정시 주위온도이고, T 는 절연등급에 따른 온도이다.

무부하 시험을 통해 어드미턴스의 컨덕턴스(g_o)와 서셉턴스(b_o) 파라미터를 식 (7) 및 (8)과 같이 구할 수 있다. 우선 g_o 는 무부하시의 전력(W_o)으로부터 구하고, b_o 는 무부하 시험시의 전압과 전류로 얻어지는 어드미턴스로 구하면 된다.

$$g_o = \frac{\left(\frac{W_o}{3}\right)}{V^2} \quad (7)$$

$$b_o = \sqrt{Y_o^2 - g_o^2} \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)로부터 각각 철손저항과 자화리액턴스를 구할 수 있다.

$$R_{Fe} = \frac{1}{g_o} \quad (9)$$

$$X_m = \frac{1}{b_o} \quad (10)$$

구속시험을 통해 다음과 같은 파라미터를 찾을 수 있다. 먼저 구속시험에서 전류와 전력으로부터 구속시의 회전자 저항(r_{br})을 구할 수 있다. 이때 회전자 저항은 식 (12)와 같이 구속시의 저항으로부터 고정자 저항을 빼면 된다.

$$r_{br} = \frac{\left(\frac{W_s}{3}\right)}{I_s^2} \quad (11)$$

$$R_r = r_{br} - R_s \quad (12)$$

고정자와 회전자에 대한 리액턴스(X_{21})는 구속시의 임피던스에서 구속시의 저항을 빼면 된다.

$$X_{21} = \sqrt{Z_s^2 - r_{br}^2} \quad (13)$$

식 (13)에서 구한 전체 임피던스를 가지고서 회전자의 형태에 따라 고정자와 회전자의 리액턴스를 구하면 된다.

그래서 본 연구에서는 표 2에서 제시한 기동 및 최대 토크를 고려할 경우 NEMA B에 해당되는 것으로 간주하여 고정자와 회전자의 리액턴스는 각각 구속시험으로부터 구한 리액턴스(X_{21})를 각각 0.4와 0.6 만큼 배분하였다[10].

$$X_{ls} = \frac{4}{10} \times X_{21} \quad (14)$$

$$X_{lr} = \frac{6}{10} \times X_{21} \quad (15)$$

표 2의 시험 데이터를 사용하여 주문자가 제시한 정격 출력의 발생여부를 해석하기 위해 식 (6)~(15)로 계산한 유도발전기의 파라미터는 표 3과 같다.

표 3 유도발전기 파라미터

Table 3 Induction generator parameters

파라미터	Values
고정자 저항 R_s	0.217Ω
회전자 저항 R_r	0.355Ω
고정자 리액턴스 X_{ls}	1.132Ω
회전자 리액턴스 X_{lr}	1.698Ω
철손 저항 R_{Fe}	567.188Ω
자화 리액턴스 X_M	45.949Ω

4. 유도발전기 출력 및 효율 계산

실제 발전기 효율 검증을 위해서는 유도발전기에 대한 공장 시험성적서가 준비되어야 하고, 이 시험성적서로 유도발전기의 파라미터 산출이 먼저 이루어져야 한다. 구해진 파라미터를 가지고서 회전속도 조정에 따라 전력 및 효율의 변화와 현장에서 수차의 회전수 조정에 의해 전력 및 효율의 비교 검정이 이루어져야 한다. 이때 회전수의 조정에 따라 가장 높은 효율이 발생하는 포인트를 찾아내는 것이 매우 중요하다.

그림 5는 표 3의 자료를 가지고서 슬립의 변화에 따라 전동기와 발전기로 운전할 경우 피상전력(S_{IG}), 유효전력(P_{IG}) 그리고 무효전력(Q_{IG})의 크기를 나타낸 것이다. 전동기 운전 영역에서 피상전력이 발전기로 운전할 경우보다는 약간 높

게 나타난다. 이는 발전기로 운전할 경우 자화에 필요한 무효전력의 크기가 전동기로 운전할 경우보다 약간 높기 때문이다[3]. 또한 무효전력은 전동기로 운전하거나 발전기로 운전할 경우 반드시 필요한 성분으로 방향 반전은 없지만, 유효전력은 전동기로 운전할 경우에 대해 발전기로 운전할 경우 극성이 반전됨을 알 수 있다.

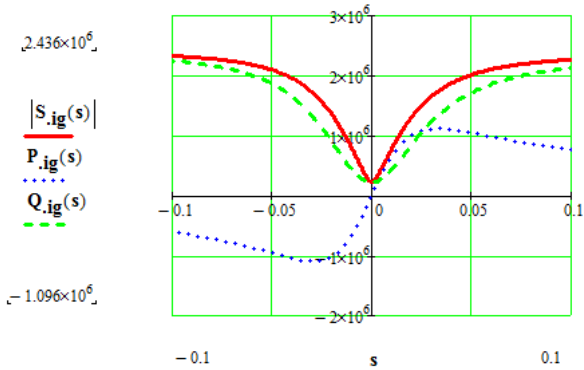


그림 5 피상전력, 유효전력, 무효전력
Fig. 5 Apparent power, active power, reactive power

표 1의 발전기 제원을 가지고 산출한 표 3의 파라미터를 이용하여 정격회전속도(725[rpm]) 전후에서 전력 및 역률을 비교 분석하면 다음과 같다.

표 4 전력 및 역률 비교

Table 4 Comparison of Power and power factor

구분	제시값	계산 결과[rpm]			
		724.	725.	726.	725.
유효전력[KW]	490	455	476	490	480
무효전력[kVAR]	325	326	336	343	338
피상전력[KVA]	588	560	583	598	588
역률[%]	83.3	81.3	81.6	81.9	81.8

표 4에서 제시된 값은 표 1에서 수차 발전기 제원에서 구한 것이고, 4가지 계산 결과는 공장시험에서 제시한 파라미터를 가지고서 발전기의 파라미터를 구한 다음 회전속도의 변화에 따라 구한 것이다. 계산값 중에서 정격회전속도에서의 값에서 유효전력은 약간 낮지만, 무효전력을 약간 높으므로 역률은 약 2%가 낮다. 그러나 회전속도를 726.16rpm으로 조금 높여 계산한 결과 제시한 유효전력은 정격과 동일하지만 무효전력이 약간 증가하여 피상전력은 조금 높아진다. 또한 발전기 단자에서의 피상전력을 정격과 같도록 운전할 경우(725.054rpm) 정격보다는 유효, 무효 전력 등이 조금 높다. 표 2에서 부하시험을 할 때의 슬립(-0.661%)에 해당되는 회전속도(724.7592rpm)에서 계산한 전력은 제시한 값보다는 전체적으로 약간 작은 값을 나타내었다.

표 4에서의 계산 결과 표 2에서 제시한 값과 완전하게 일치하지 않는 이유는 풍손 등의 일부 손실을 계산에 고려하

지 않았고, 시험시의 속도가 정격속도에 일치하지 않을 수 있기 때문이다. 실제 그림 5에서와 같은 시뮬레이션 결과에서 약간의 속도변화에도 전력은 민감하게 변할 수 있기 때문이다.

그림 6은 표 3의 파라미터를 사용하여 회전속도에 따른 유도발전기의 효율을 분석한 것이다. 여기서는 풍손과 표유부하손에 대한 부분은 고려하지 않았다.

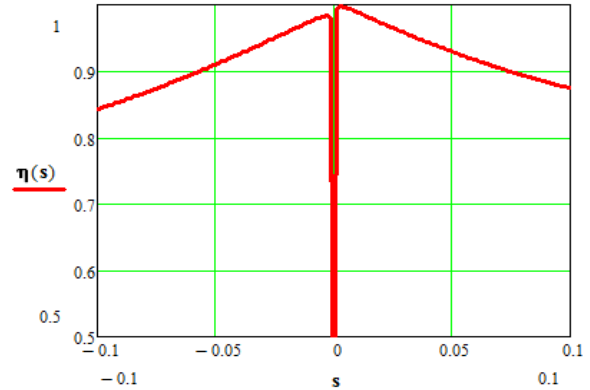


그림 6 유도발전기 효율 곡선
Fig. 6 Efficiency curve of Induction generator

그림 6에서 알 수 있듯이 전동기 동작 모드에서 동기속도에 가깝게 운전하는 경우보다 발전기 동작 영역에서 운전할 경우 효율은 다소 낮게 나타났다. 그러나 발전기 운전영역에서 동기속도에 가깝게 운전할수록 효율은 높게 나타남을 알 수 있다. 본 해석에서 제시한 발전기의 회전속도를 725[rpm](slip=-0.6944)로 회전할 때 회전체 손실을 고려하지 않을 경우 효율은 97.9%로서 요구한 성능 보증값인 94.1[%]보다는 약간 높다. 일반적으로 풍손 등 회전체의 손실이 출력의 3%에 해당되는 점을 감안할 경우 제시한 효율과 계산한 효율의 거의 일치하게 된다.

5. 결 론

본 연구에서는 소수력 발전소에 사용되고 있는 유도발전기에 대해 주문자가 제시한 정격에 대해 공급자가 설계 제작한 발전기가 현장에서 설치 운전할 경우 정확한 출력을 낼 수 있는지를 사전에 확인할 수 있는 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 사용자가 제시한 주문 사양서를 가지고서 제작한 유도발전기의 시험 성적서를 사용하여 파라미터를 구한 다음 등가회로도에 적용하여 발전기를 정격속도와 정격속도 근처에서 운전할 경우 전력 및 효율의 변화를 분석하였다.

해석 결과 유도발전기는 제시된 사양대로 현장에서 정확하게 일치된 출력을 내는 경우도 있지만, 실제로 약간의 회전속도 변화에 출력 및 효율의 변화는 아주 민감하게 변화하는 것을 알 수 있었다.

본 연구결과는 향후 유도발전기의 회전속도 변화에 따른 특성 해석에 도움이 될 것이다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 강릉원주대학교 교수 연구년 연구 지원에 의하여 수행되었음

References

- [1] 2012 New & Renewable Energy, MOKE & KEMCO
- [2] Research Report of Korea Rural Community Corporation, "A Study for Characteristics Analysis and High Efficiency Operation of Small Hydro Power Plants", 2012. 12
- [3] Jong-Gyeum Kim, Young-Jeen Park, Il-Jung Kim, Young-Kuk Kim, "Characteristics Analysis of Induction Generator with a Change in Rotor Speed", KIEE, Vol.60, No.12, pp.2225-2229, 2011. 12
- [4] Jack J. Fritz, "Small and Mini Hydropower Systems", McGraw-Hill Book Company, USA, 1984.
- [5] K. S. Pankaj, J. P. Nelson, "Application Guidelines for Induction Generators," in Proc. International Conference on Electrical Machines and Drives, Milwaukee, Wisconsin, May 18-21, 1997, Paper WC1/5.1 - WC1/5.3.
- [6] M. Godoy Simoes & Felix A. Farret, "Renewable Energy Systems-Design and Analysis with Induction Generators", CRC Press, 2004
- [7] Jong-Gyeum Kim, "Characteristics Analysis of 3-phase Induction Generator at the Unbalanced Load Operation", KIEE, Vol.56, No.3, pp. 123-128, 2007.9
- [8] Y. J. Wang and S. Y. Huang "Determination of the performance extreme values of a three-phase induction motor using a graphical method", International Journal of Electrical Engineering, Vol. 16, No.2, pp.101-109, 2009.
- [9] IEEE Std 112-2004, "IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators"
- [10] NEMA MG 1-2011 "Motors and Generators", NEMA Publishes

저 자 소 개



김 종 겸 (金宗謙)

1961년 10월 3일생. 1984년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1996년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~현재 강릉원주대학교 전기공학과 교수. 현재 당학회 평의원

Tel : 033) 760-8785

E-mail : jgkim@gwnu.ac.kr