

부하변동에 따른 발전기 특성해석

김 종 겹

Characteristics Analysis of Generator by Load Variation

Jong-Gyeum Kim

Key words : Load variation(부하변동), 소수력(Small Hydro-Power), 동기 발전기(Synchronous Generator), 토크 특성(Torque Characteristics)

Abstract : 본 논문은 신재생에너지의 한 분야로서 청정에너지인 소수력 발전 시스템을 운영시 수용가 부하의 변동에 따른 발전기의 특성변화를 해석한 것이다. 모의에 사용된 동기발전기-전동기가 부하의 변동에 따라 토크, 속도, 전류 등이 어떤 영향을 받는지 전자계 과도해석 프로그램을 사용하여 나타내었다.

1. 서 론

우리나라는 에너지 사용량의 97[%]를 외국으로부터 수입하여 사용하고 있으므로 정부에서는 신재생 에너지 보급을 늘리기 위해 여러 가지 발전 시스템을 개발 보급하고 있다. 국내에서 소비되는 대부분의 에너지를 외국에서 수입하고 있는 우리나라로서는 국내의 남아 있는 수자원을 이용한 수력발전은 귀중한 국산 에너지로서 기대가 될 수 있다.

정부에서는 제2차 신재생에너지 개발 기본계획(03.09)에 의해 소수력 발전설비를 '03년도에 8MW를 건설하고, 매년 10MW를 건설하여 '12년에 90MW 규모를 건설하여 총 설비용량이 498MW가 되도록 계획하여, 지난 3년간에 계획은 28MW로 잡았지만 실제로는 10개소에 7.9MW만 건설하여 목표치에 28%정도만 달성하였다. 목표에 대한 실적비율이 낮은 이유로는 여러 가지가 있지만, 가장 큰 원인으로는 주기적인 계획대비 점검과 개발에 장애가 되는 원인을 찾아 해결하려는 자세가 부족한 것도 하나의 이유가 될 것이다.

현재 대규모 소수력 발전에 적합한 지점의 건설은 거의 완료되어 21세기에는 중소규모의 발전소 개발이 중심을 이룰 것으로 생각된다. 중소규모라고 해도 그 평균출력은 약 4,500kW, 이 규모의 수력발전은 4인 가족으로 약 5,000세대의 전기를 공급할 정도가 된다. 우리나라의 경우 아직 남아 있는 수자원이 1,500MW 정도로서 개발은 귀중한 국산 에너지 확보 측면에서 큰 힘을 발휘할 것으로 생각한다.

소수력의 경우 청정에너지원으로 다른 신재생 에너지에 비해 국내 부존잠재량이 높아 개발치가

높지만 아직 개발되지 않고 잠재되어 있는 에너지가 1.5[MW]정도가 된다고 알려져 있다[1]. 소수력 발전설비는 3,000[kW]미만으로 정의되었지만, 2003년 관련법의 개정으로 1만[kW]이하의 수력발전설비를 말하는 것으로서 국내 대부분의 발전설비가 이에 해당된다.

전력을 생산하는 발전기에는 동기발전기와 유도발전기가 사용되고 있다. 소용량의 발전소에서 여자원을 쉽게 구할 수 있는 경우 유도발전기가 사용되지만, 그렇지 못한 경우에는 동기발전기를 사용하여 발전하는 경우가 대부분이다. 유도발전기는 유도전동기와 같은 구동원리로 회전속도가 동기속도 이상일 경우 전압의 발생을 이용한 것으로서 우리나라 소수력 발전소의 많은 곳에서 설치 운영되고 있다. 그러나 발전소 용량이 클 경우 동기발전기 운전방식을 채택하는 경우도 많은 편이다. 발전기를 운전하여 전력을 생산하기 위해서는 여자원을 필요로 한다. 이 여자원을 자체적으로 공급하는 경우와 계통연계시스템을 이용하는 경우가 있다. 본 연구에서는 계통연계를 이용하여 여자원을 공급받는 것으로 해석하였다.

발전된 전력을 계통에 연결할 때 3상 4선식 선로에 연결하여 사용하는 편리하다. 3상 4선식 계통에서는 단상 및 3상 부하가 함께 사용되므로 각 상의 전류분담이 일정하지 않을 경우 발전기에 전압 불평형이 발생할 수 있다. 전압 불평형은 전류 불평형으로 이어져 기기의 손실증가와 동기발전시스템의 경우 맥동 토크의 발생으로 소음증가 및 베어링의 마모를 발생시킬 수 있다[2,3].

본 연구에서는 동기 발전기로 사용하는 경우 계통의 부하의 변동에 따라 동기발전 시스템이 어떤 특성변화를 하는지를 모의하였다.

2. 동기발전 시스템 해석

본 연구에 사용한 동기 발전 시스템의 구조는 그림 1과 같다[4]. 그림 1에서 동기 발전기와 전동기 사이의 질량 관계를 나타내는 비틀림 상수와 기계적인 시스템의 점성 댐핑도 고려하였다.

동기발전기의 운전을 위한 전동기는 그림 1에 나타낸바와 같이 무한 버스의 전력 회로망으로부터 공급받는다. 여자전압은 일정하게 하였고, 발전기 부하는 3상 등가 R-L 부하로 나타내었다. 해석에 사용된 전동기와 발전기의 파라미터는 표 1과 같다.

부하변동에 따른 영향의 크기를 확인하기 위해 부하변동이 없는 경우와 있는 경우를 각각 모의하였다.

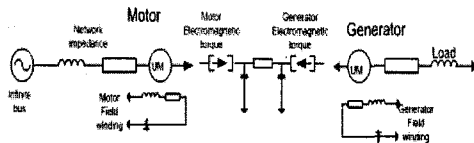


그림 1 Diagram of a motor-generator

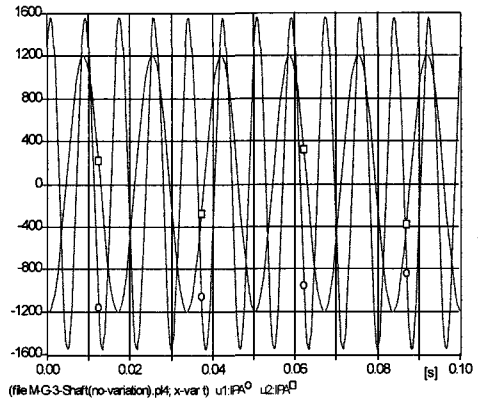
표 3 Machine data

1) Rating	Motor	Generator
Three phase MVA	50	45
Stator line voltage kV	12	12
Frequency	60	60
Number of poles	6	12
2) Parameters		
D-axis synchronous reactance X_d	1.05[pu]	1.12[pu]
Q-axis synchronous reactance X_q	0.8[pu]	0.9[pu]
D-axis transient reactance X_d'	0.25[pu]	0.30[pu]
D-axis sub-transient reactance X_d''	0.16[pu]	0.20[pu]
Q-axis sub-transient reactance X_q''	0.22[pu]	0.24[pu]
Armature leakage reactance X_l	0.15[pu]	0.18[pu]
Stator resistance R	0.005[pu]	0.008[pu]
Inertia constant H	1.10[sec]	1.20[sec]
3) Time constants		
D-axis open-circuit transient T_{do}'	6.4	8.5
D-axis short-circuit subtransient T_{do}''	0.032	0.036
Q-axis open-circuit subtransient T_{ϕ}''	0.050	0.060

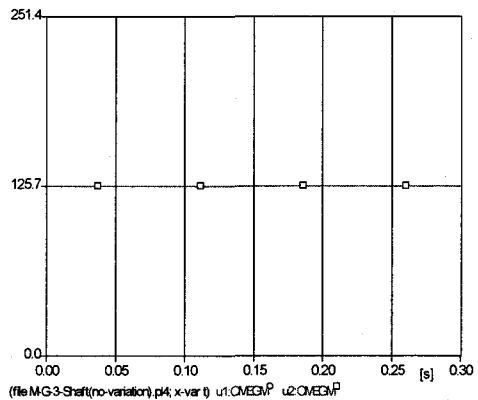
2.1 일정부하의 운전시 동작 특성

부하 변동이 없는 일정한 조건에서의 전동-발전기 동작특성은 그림 2와 같다. 그림 2에서 u1은 발전기 부분이고, u2는 전동기 부분이다.

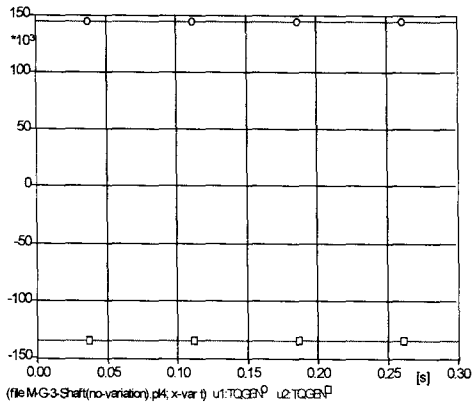
정상적으로 부하를 운전할 경우 동기 전동기와 발전기 고정자에 흐르는 전류는 그림 2(a)와 같이 일정한 값을 가진다. 발전기의 고정자에 흐르는 전류값이 전동기에 흐르는 전류값에 비해 약간 높게 나타나고 있다. 그러나 그림 2(b)와 같이 일정한 부하의 운전시 전동기와 발전기의 각속도는 125.7[%]로 일정하다. 이와 같은 운전 상태에서의 토크는 각각 1.451×10^5 와 -1.3524×10^5 [Nm]로서 운전동안 일정한 값을 유지함을 알 수 있다. 그림 2(d)에서와 같이 기동 후 정상운전에 접근함에 따라 비틀림 성분의 값은 점차 줄어들음을 알 수 있다.



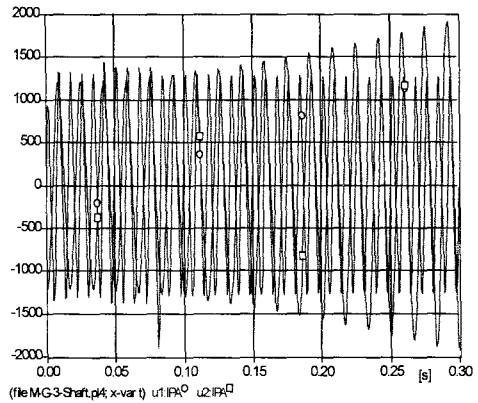
(a) 고정자 전류



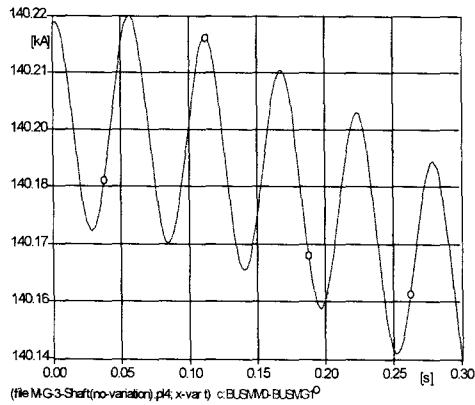
(b) 각속도



(c) 토크

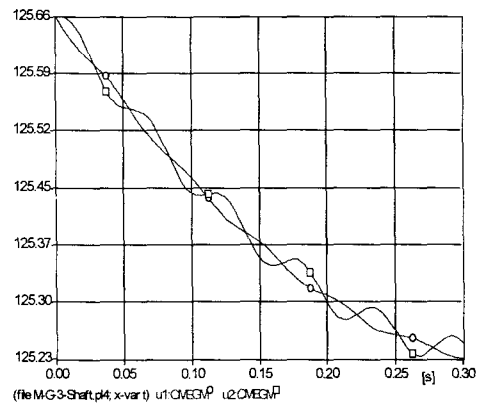


(a) 발전기 및 전동기 전류값



(d) 비틀림 축에서의 성분

그림 2. 일정한 부하에서의 동작특성

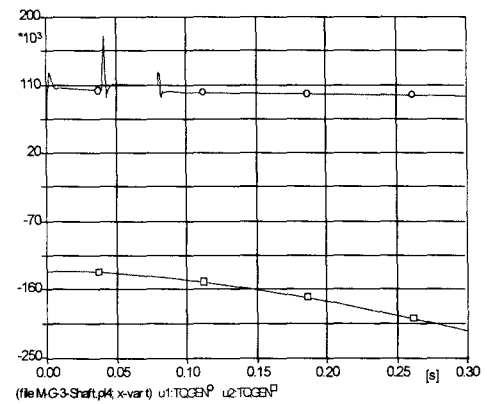


(b) 각속도

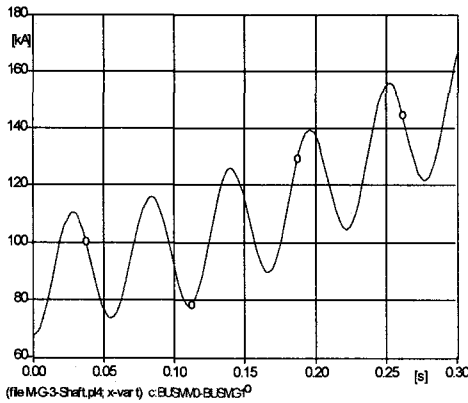
2.2 가변부하의 운전시 동작 특성

부하용량이 큰 산업용 부하의 경우 3상 전원을 이용하기 때문에 부하 불평형율이 낮게 운영되는 경우가 많지만, 일반 수용가의 경우 단상 및 3상 부하를 함께 사용하고, 사용하는 시간 빈도가 다르기 때문에 부하의 불평형이 높아 전압 불평형율도 높은 편이다. 이와 같이 부하의 변동 조건하에서 부하에 전원을 공급하기 위한 발전기의 동작특성 변화를 확인할 필요가 있다.

부하의 변화시 특성변화는 그림 3과 같다. 부하는 시동 후 일정한 기간 동안만 변화시켰다.



(c) 토크



(d) 축비틀림

그림 3. 부하의 변동시 동작 특성

그림 3(a)에서와 같이 부하가 약간 감소한 동안에 발전기의 고정자 전류의 크기는 약간 증가하였지만 부하가 처음과 같은 상태로 환원될 경우 전류값은 다시 일정하게 된다. 그러나 전동기의 고정자 전류는 약간씩 증가함을 알 수 있다. 고정자에서의 전류값은 처음에는 발전기 쪽이 전동기보다 약간 높지만, 운전시간이 지속됨에 따라 역전됨을 알 수 있다.

그림 3(b)에서와 같이 일정한 부하에서의 각속도에 비해 부하의 변동시 발전기와 전동기의 각속도는 거의 비슷하게 감소함을 확인할 수 있다. 이 각속도의 변화는 발전기와 전동기의 관성모멘트와 부하에서의 변화에 약간의 역할에 영향을 받은 것이다.

그림 3(c)의 토크 특성곡선에서 시간의 경과에 따라 전류값 증가와 각속도 감소에서 알 수 있듯이 전동기의 토크는 점차적으로 증가되지만, 발전기의 토크는 부하의 변동시 순간적으로 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 발전기의 축에 큰 무리를 가할 수 있는 정도의 크기로 생각할 수 있다.

그림 3(d)에서와 같이 축비틀림의 변화에서는 시간의 경과에 따라 점차 증가함을 알 수 있다. 이는 일정한 부하를 운전하는 그림 2(d)의 결과와는 달리 부하의 변동 등에 의해 점차적인 증가와 진동폭이 넓다는 것을 나타내고 있다. 따라서 부하 변동시 발전기의 축에 미치는 영향이 매우 높다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

신재생에너지의 보급 확대를 위한 정부에서는 다양한 에너지원의 개발과 보급에 심혈을 기울이고 있다. 소수력 개발후 운영시 사용되는 발전시스템에서 부하의 운전패턴에 따른 영향을 모의하였다. 소수력 발전소에 사용되는 발전기는 유도형과 동기형이 있지만, 본 연구에서는 발전기의 여

차원으로 동기전동기를 사용하되, 계통 연계형으로 운전하는 것을 모의하였다.

모의결과 일정한 부하를 운전하는 경우 발전기 특성에는 문제가 없지만, 부하의 변동시 많거나 큰 경우 발전기와 전동기의 축에 큰 무리가 가해짐을 확인할 수 있었다.

References

- [1] 이경배, 김영규, 백두현, 이은용, "국내 소수력 발전기술현황과 전망", 대한전기학회 2003 하계학술대회 논문집 B권, pp.762~764, 2003.07
- [2] 김종겸 외 3인, "불평형 전압 운전시 유도전동기의 동작특성 해석", 대한전기학회 논문지, 53(B), No.6, pp. 372-379, 2004.06
- [3] R. H. Daugherty, "Analysis of Transient Electrical Torques and Shaft Torques in Induction Motors as a Result of Power Supply Disturbances", IEEE Trans on PAS, vol.101, no.8, pp.2826-2836, Aug 1982.
- [4] H. K. Lauw, W.S. Meyer, "Universal Machine Modelling for the Representation of Rotating Electric Machinery in an Electromagnetic Transient Program", IEEE Trans on PAS, vol.101, no.6, pp.1342-1351, Jun 1982.