

전력계통안정도해석용 발전기제어계의 대표값선정에 관한 연구

문 영환 성 기철
한국전기연구소

권 태원 송 석하
한국전력공사

A Study on the Typical Value of Generator Control Systems for Power System Stability Analysis

Young-hwan Moon Ki-Chul Seong

Tae-Won Kwon Soek-Ha Song

KERI

KEPCO

ABSTRACT - A Generator Control Systems data is complicated by the existence of a wide variety of Control system types and by the fact that the values of key parameters may depend upon the generator types and operating conditions. This paper describes the typical value determination methods for generator control systems using response ratio test and step response test. It can be a practical way to provide and verify data for real power system analysis.

아래의 3가지 항목에 대한 검토를 하여야 한다.

- ① 발전기 및 제어시스템의 기본사양을 검토한다.
- ② 수집된 Data 또는 시험기록을 분석한다.
- ③ 계통특성에 적절하도록 대표값을 Tuning한다.

발전기제어계의 종합응동특성을 검증하기 위해 필요한 자료는 다음과 같다.

1. 서 론

전력계통의 동특성을 해석하기 위하여는 정확한 Data의 확보가 선행되어야 한다. 일반적으로 발전기제어계 관련 Data들은 개발단계에서 결정되지만 경년변화 및 보수등으로 그 특성이 변화되며 또한 오래된 발전기들은 자료가 미미하거나 부족한 경우가 대부분이다. 이와 관련하여 현장시험을 통해 발전기제어시스템의 계정수값들을 얻기위한 연구가 수행된 바 있다.(1)

그러나 수행당시의 전력사정으로 인해 시험을 할 수 없었던 발전소는 수집된 자료를 기본으로 하여 제작처에서 제시한 Data를 사용하거나 또는 대표값으로의 사용이 불가피하다. 그러나 제어모델에 따라 대표값이 다르며 그것을 적용하는 발전기의 리액턴스와 운전조건에 의해 제어특성이 변하기 때문에 매우 복잡한 문제이다.

따라서 본 연구에서는 제어방식에 따른 모델선정 방법을 검토하였으며, Data의 부족으로 인해 대표값을 적용할 경우 Step Response Test 및 Response Ratio Test를 통하여 제어시스템이 가져야하는 조건에 적절한 Data의 Tuning 방법에 대해 고찰한다.

2. 발전기제어계 Data 검증

발전기 및 제어계의 종합응동특성을 파악하기 위하여는

종 별	필요 Data
발전기	발전기 계정수, 포화특성 곡선, V-곡선
여자기	여자기 계정수, 포화특성 곡선, 시험기록
조속기	조속기 계정수, 시험기록

그러나 노후 발전소는 상기와 같은 발전기제어계에 관한 자료가 미미하거나 없는 것이 대부분이다. 따라서 아래와 같은 흐름도에 의해 발전기제어계의 Data를 검증하였다.

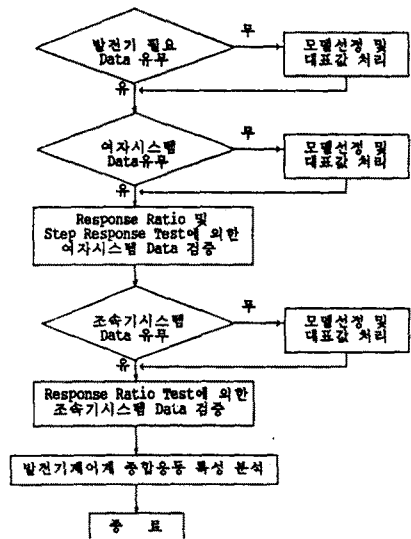


그림 2.1 발전기제어계 Data 검증 흐름도

2.1 여자시스템 Data의 검증

여자시스템의 모델을 평가하는 방법으로 IEEE Power Generation Committee에서는 대신호시험 및 소신호시험을 추천하고 있다.(2) 후자는 시간영역 해석과 주파수영역 해석으로 분류된다. 여자시스템에 대한 대신호시험의 주요 평가지수는 頂上전압(Ceiling Voltage)과 Voltage Response Ratio를 들 수 있다. 이 두 지수 사이는 대표값일 경우 다음 표 2.1과 같은 관계가 있다.(3)

표 2.1 여자시스템의 Response Ratio에 대한 頂上전압

Response Ratio	여자시스템의 頂上전압	SCR Exciter
0.5	1.25 - 1.35	1.20
1.0	1.40 - 1.50	1.20 - 1.25
1.5	1.55 - 1.65	1.30 - 1.40
2.0	1.70 - 1.80	1.45 - 1.55
4.0	...	2.0 - 2.10

표에서 알 수 있듯이 여자의 Ceiling Voltage를 일단 알면 전형적인 Voltage Response Ratio를 추정할 수 있다. 여자기 모델에 대한 Ceiling Voltage 및 Voltage Response Ratio가 결정되면 이것을 target으로 하여 여자기 모델의 검증 및 Tuning에 이용한다.

Voltage Response Ratio는 발전기 여자시스템의 응답속도의 정도를 표시하는 지수로서 이는 여자시스템의 입력전압을 정격으로 유지시킨 상태에서 출력전압이 Ceiling에 이를 정도로 기준전압을 상승시킬 경우 응답특성을 파악하는 것으로 Response Ratio의 정의는 아래 그림과 같다.

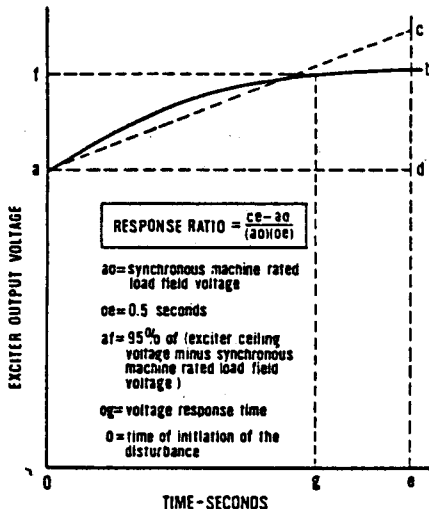


그림 2.2 Response Ratio의 정의

Response Ratio값의 크기에 따라 응답속도를 분류하면 표 2.2와 같다.

표 2.2 Response Ratio의 분류

Response Ratio	0.5이하	느린 응답	DC 및 AC형 여자시스템
	0.5~2	비교적 빠른 응답	
	2 이상	빠른 응답	Static형

여자시스템에 대한 소신호시험으로서 시간영역 해석법이 있으며 이는 발전기 단자를 개방한 상태에서 기준전압에 Step 시험신호를 입력하여 발전기 단자전압, 계자전압등의 출력응답을 구하여 이로부터 지연시간, 상승시간, 오버슈트 크기, 定整시간등과 같은 평가지수를 조사한다. 이러한 평가지수의 정의를 그래프상에 도시하면 그림 2.3과 같다.

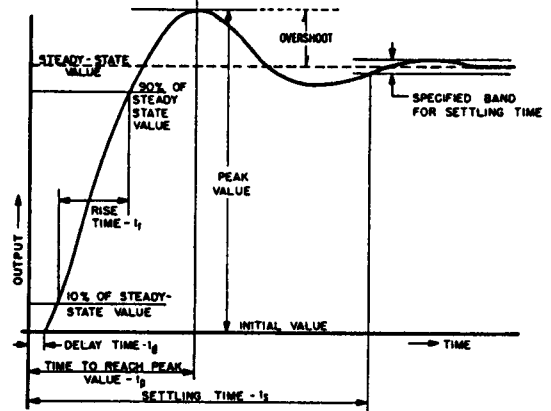


그림 2.3 Step 입력에 대한 폐루프 제어시스템의 응답

상용 소프트웨어인 PSS/E(4)를 이용하면 여자시스템에서의 대신호 시험인 Response Ratio Test 및 소신호 시험인 Open Circuit Setpoint Step Test를 할 수 있다. 통상, R.R.을 구하여 제이제가 적절하게 응동하는가를 검증한후, Step Response결과로부터 여자시스템의 응답속도 및 정상상태 오차(발전기 단자전압) 및 시스템의 안정도를 고려하여 제정수를 Tuning한다.

2.2 조속기시스템 Data의 검증

조속기시스템은 크게 나누어 조속기와 터빈으로 구분할 수 있다. 현재 국내에 설치되어 있는 것으로는 기계식과 전자식이 있으며, 이에 대한 제정수는 발전기의 종류에 따라 다르므로 IEEE에서는 Steam Turbine, Gas Turbine 및 수력으로 분류하고 있다.(5)

조속기시스템은 조속기 Response Ratio Test로 속도조정을, 조속기의 이득 및 시정수를 검증/Tuning할 수 있다.

이는 부하를 지정(0.8pu)하고 부하가 Step(0.1pu)으로 변

동할 경우 터빈속도와 기계적출력의 동요를 분석하는 방식이다.

그리고 조속기시스템은 여자시스템에 비해 응답이 느리므로 Steam Turbine에서는 5초이상, Gas Turbine이나 Hydro Turbine의 경우는 15초 이상을 Simulation하여야 한다.

3. 사례연구

발전기제어계에 대한 자료가 없을 경우

발전기 데이터 및 발전기 제어계 사양이 없을때는 대표값을 적용해야 한다. 발전기가 Round Rotor Type 및 Salient Rotor Type에 따라 아래 표와 같은 대표값을 사용한다.

표 3.1 GENSAL

T_{do}'	5.0
T_{do}''	0.05
T_{qo}''	0.05
H	
Speed Damping	0.0
X_d	X_d
X_q	$0.75X_d$
X_d'	$0.35X_d$
$X_d''=X_q''$	$0.25X_d$
X_1	$0.1X_d$
S(1.0)	0.1
S(1.2)	*

표 3.2 GENROU

T_{do}'	5.0
T_{do}''	0.05
T_{qo}'	1.0
T_{qo}''	0.05
H	
Speed Damping	0.0
X_d	X_d
X_q	$0.96X_d$
X_d'	$0.15X_d$
X_q'	$0.25X_d$
$X_d''=X_q''$	$0.11X_d$
X_1	$0.05X_d$
S(1.0)	0.1
S(1.2)	*

여자시스템에 대해서는 정확한 모델을 추정할 수 없으므로, 간단 모델로서 SEXS(Simplified Excitation System)모델을 사용할 수 있다. 이 모델의 전형적인 데이터 및 전달함수는 그림 3.1 과 같다.

계정수	대표값
T_A/T_B	0.1
T_B	10.0
K	100.0
T_E	0.1
E_{MIN}	0.0
E_{MAX}	*

주) E_{MAX} = rated load E_{fd} x 2.5 ~ 3

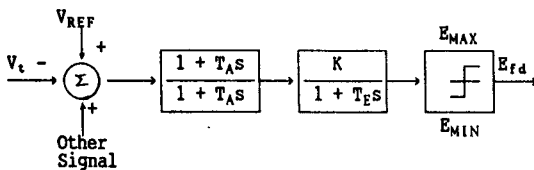


그림 3.1 여자시스템의 모델 및 대표값 (SEXS Model)

이상과 같은 전형적인 발전기 데이터 및 SEXS 모델을 B 화력발전소에 적용하여 보았다.

이 화력발전소의 발전기의 Rotor는 Round 형식이므로 발전기 모델은 GENROU로 하고 표 3.2와 같은 대표값을 적용하였다. 동기 리액턴스 X_d 는 한전 계통운용 자료집의 1.6616으로 하여 이 값에 의해 나머지 값을 X_d 와의 상관관계로부터 계산하여 처리하였다.

B 화력의 경우도 R.R. = 0.5에 맞도록 응답특성을 조정할 필요가 있다. 본 시험에서는 계단과 응답 시험신호의 크기를 0.05 PU로 설정했다. R.R.은 E_{FD} 의 limiter 값에 민감하게 반응하므로 2.5 - 3 P.U 내에서 적절히 Tuning 시킨다. R.R.에 의해 Tuning된 결과는 아래 표 3.5와 같다.

표 3.5 R.R.에 의한 SEXS Model의 Tuning

계정수	Tuning 전	Tuning 후
T_A/T_B	0.1	0.1
T_B	10.0	10.0
K	100	100
T_E	0.1	0.1
E_{MIN}	0	0
E_{MAX}	2.5	2.73
R.R.	0.12232	0.5

위의 표에서 알 수 있듯이 Tuning전의 응답은 원하는 R.R. = 0.5에 비해 매우 느린 0.122이다. 이를 E_{FD} limiter를 변경하여 0.5로 Tuning 하였다.

5% Step Response시험결과, Tuning후의 응답특성이 Tuning전에 비해 거의 변동이 없었으며 2초가 경과한 후에도 발전기 출력전압 1.054(p.u.)로 목표치인 1.05(p.u.)를 초과하고 있다. 이는 안정화 역할을 하는 lead/lag 시정수와 Regulator 이득(K)의 적절한 setting이 이루어지지 못한 데 그 원인이 있다. 따라서 목표치에 따라가도록 Lead Time Constant T_A 를 2로 하고 Lead성분이 증가됨에 따라 발생하는 오버슈트를 억제하기 위해 (2차계의 경우 감쇄정수를 증가시키는 것과 동일 효과) Regulator Gain K를 100에서 80으로 Tuning하였다. 이를 정리하면 표 3.6과 같다.

표 3.6 The Result of SEXS Model Tuning

계정수	Tuning 전	Tuning 후
T_A/T_B	0.1	0.2
T_B	10.0	10.0
K	100	80
T_E	0.1	0.1
E_{MIN}	0	0
E_{MAX}	2.5	2.73
R. R.	0.12232	0.5

위의 Tuning 결과를 적용하여 Step Response 시험을 simulation하면 그림 3.3에서 볼 수 있듯이 응답시간이 개선되었으며, 또한 목표치인 1.05(p.u.)에 수렴되어 보다 더 정확한 결과를 구할 수 있었다.

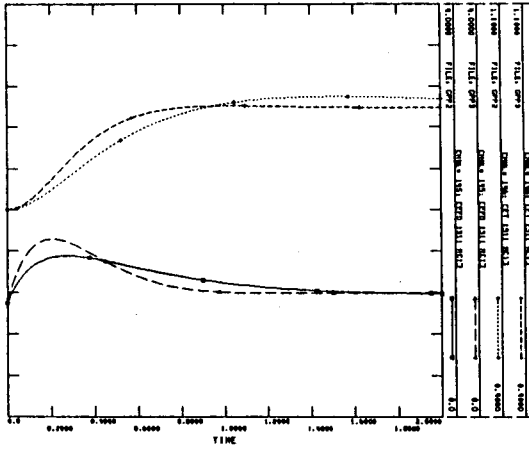


그림 3.3 B화력의 경우 여자시스템의 Step 응답시험 결과

4. 결 론

발전기제어계의 Data를 보다 정확하게 구하기 위하여 현장 시험을 통하여 측정데이터를 분석함으로써 계정수들을 선정 하였으며, 현장사정이 어려워 시험을 할수 없었던 발전소는 자료분석을 통해 계정수들을 구한바 있다. 그러나 오래된 발전소의 경우 자료가 미흡하였으므로 이를 대상으로 발전기제어계 특성정수를 선정/검증할 수 있는 방법을 연구함으로써 전력계통 안정도해석에 도움을 줄 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 오 태규, 문 영환, 최 경선, 권 태원, 류 승현, "발전기 제어계 동특성시험 및 수리모형 수립", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp. 379-382, 1991.
- (2) "IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control System", IEEE Std. 421A-1978.
- (3) P. M. Anderson & A. A. Fouad, "Power System Control and Stability", The IOWA State University Press vol 1, 1977.
- (4) "PSS/E Power System Simulator Program - Operation & Application Manual", Power Technologies Inc., 1987.
- (5) IEEE Committee Report "Dynamic Models for Steam and Hydro Turbines in Power System Studies", IEEE Trans., vol. PAS-92, Nov./Dec. 1973.