

여자 제어시스템의 안정도 및 정수추정에 관한 연구

류호선\*, 이주현\*, 정창기\*, 임익현\*, 김경철\*  
전력연구원\*, 홍익대학교\*

A study on the parameter identification & stability analysis of the excitation system

H.S.Rhew\*, J.H.Lee\*, C.K.Jung\*, I.H.Lim\*, K.C.Kim\*  
KEPRI\*, Hong-ik University\*

**Abstract** - A performance test has been conducted on the dual channel excitation system. In this paper a description of the improved control system with detailed design concept is given. Field tests were done to estimate the system performance as well as to obtain the model parameters. We can get the Excitation model parameters by simulation based on the field test value and algorithm of parameter estimation identification. With model parameters, Excitation system stability was also verified in this paper.

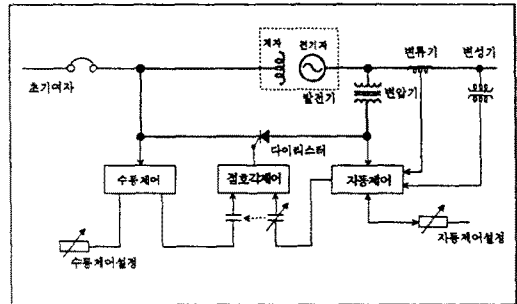
1. 서 론

현재 가동중인 화력 발전소는 대략 60여개가 있는데 발전소의 준공일시 및 제작사가 다르기 때문에 각각의 특성이 전부 다르다고 해도 과언이 아니다. 실제 연구원이 설계자료를 분석한 발전기 여자 제어 시스템의 모델은 시운전시의 파라미터 조정과 장기운전 및 유지보수로 인한 노화로 파라미터 변화가 있어 모델 정수가 정확하지 못하다. 따라서 소신호의 성능평가 시험과 더불어 적정 모델추정이 필요하다. 모델추정 방법이 여러 가지가 있으나 가장 많이 쓰이는 LSM, PSM를 이용하여 영동화력 #1에 설치된 시스템에 대하여 모델화 작업 및 여자 시스템의 안정도를 분석하였다. 여자시스템은 크게 전압 제어 폐회로와 전류제어 폐회로로 구성되어 있는데 전류제어 신호는 여자전류 요구신호와 여자전류 제한신호와 같은 제어신호 처리와 발전기 회전제자의 열적 보호를 위한 과여자 전류제한 그리고 부족여자 제한기능을 수행한다. 본 논문에서는 각 모듈별 파라미터 설정 값에 따른 여러 영향을 분석하고 안정도를 해석하여 시스템의 안정한 운전에 기여하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전압원 정지형 여자시스템 (직접여자형)

영동화력 #1에 설치된 직접여자 형태의 정지형 여자제어시스템은 [그림1]에서 보는 바와 같이 발전기 단자로부터 변압기를 통하여 여자전원을 공급받으며, 제어 정류기에 의해서 제어된다. 일부 소내 보조 모선으로부터 변압기를 사용하여 공급받을 수도 있으나 주로 동기발전기의 단자로부터 여자용 전원을 인가 받고 있다. 이 시스템은 발전기 단자로부터 여자용 따라 거강압 변압기를 통하여 전원을 공급받음에의 무시할 정도의 작은 시정수를 가진다. 그림에서 보는 바와 같이 제어 방법은 자동제어와 수동제어로 구분되고 있으며 정상 운전 상태에서는 자동제어로 운전된다. 자동제어를 위해서는 변성기(PT)와 변류기(CT)를 통하여 단자 전압과 부하 보상 궤환신호를 입력받아 자동제어 설정기와 비교하여 발전기 단자전압을 제어하도록 동작된다.



[그림1] 전압원 정지형 여자시스템 (직접여자형)

2.2 시스템 정수추정

2.1에서 설명된 직접여자형 여자시스템을 자동모드 운전에 놓은후 제어부분에서 시스템의 STEP TEST를 실시하고, 여기서 얻어진 Data를 분석하여 구하고자 하는 수학적 모델 정수를 추정하였다.

2.2.1 Least Square Method (LSM)

LSM은 가장 널리 알려진 정수 추정기법으로 본

연구에서도 정수의 초기 값을 구하는데 이 방법을 사용하였다. 여자제어 시스템의 각 기능블록은 단일 입력, 단일 출력으로 취급하였으며 [그림2]는 이것을 나타낸 것이다. 각각의 시스템 블록 모델은

$$H(S) = \frac{Y(S)}{U(S)} \quad (1)$$

로 나타내고 여기서 U(S)와 Y(S)는 시스템의 입력과 출력이고 H(S)는 시스템 전달함수이다. 시스템 모델은 시간에 연속 함수인 Laplace 형식 H(S)로 구성되어 있으므로 이를 이산시간 형식인 H(Z)로 변환시킨다. Z변환 기법중 가장 널리 사용되고 있는 Trapezoidal 법칙을 적용하였다. 이 기법은 적용이 용이하고, 정확도가 좋고 직류 이득이 같으며 S-Domain의 전달함수가 안정하며 Z-Domain에서도 안정한 것들이 장점이다.

$$s = \frac{2}{T_s} \cdot \frac{Z-1}{Z+1} \quad (2)$$

여기서  $T_s$ 는 일정한 샘플링 시간이고

Z는 시간지연 천이연산자

이산시간 시스템의 모델구조를

$$Y_i = \phi_i^T \theta + n_i \quad (3)$$

으로 표시할 수 있다.

여기서,

$Y_i$  : 시간 t에서 [ny]차 출력행렬

$\phi_i$  : 시간지연된 입력과 출력의 선형조합

$\phi_i^T$  :  $\phi_i$ 의 transpose matrix

$\theta$  : [n $\theta$ ]차의 미지의 정수

$n_i$  : 외란노이즈

$y_i$ 와  $\phi_i$ 가 주어지므로 시스템 오차 공식[4]은

$$e = (\phi_i^T \phi_i)^{-1} (\phi_i Y_i) \quad (4)$$

으로 추정될 수 있다.

### 2.2.2 Pattern Search Method (PSM)

PSM은 일종의 시행착오 방법의 하나로써 구하고자 하는 정수들을 임의의 초기 값에서 각각 하나씩 변화시키면서 주어진 입력 값과 초기 값의 정수들로 Model의 응답을 구한 다음 실측한 출력 값과 비교하여 오차를 최소화시키는 정수 값을 찾는다. 이 과정이 끝나면 모든 정수들을 한꺼번에 변화시키면서 최소 오차가 되는 정수를 찾는 방법이다. 오차(E)는

$$E = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N |Y_{act} - Y_{sim}| \quad (5)$$

으로 한다.

여기서,

N : 실측한 Data수,  $Y_{act}$  : 실측한 출력값

$Y_{sim}$  : 실측한 입력 Data로 Simulation해서 얻은

출력 값이다. 예를 들면 모델이

$$\frac{Y(S)}{U(S)} = \frac{K}{1+sT} \quad (6)$$

으로 주어질 때, 구하고자 하는 Simulation한 출력 값  $Y(S)_{sim}$ 은

$$\frac{Y(S)_{sim}}{U(S)} = \frac{K}{1+sT}$$

$$Y(S)_{sim}(1+sT) = KU(S)$$

$$Y(Z)_{sim} \left[ 1 + \frac{T(1-Z^{-1})}{(0.5T_s)(1+Z^{-1})} \right] = KU(Z)$$

$$Y_{K \text{ sim}} = \frac{T-0.5T_s}{T+0.5T_s} Y_{K-1 \text{ sim}} + \frac{0.5T_s K}{T+0.5T_s} (U_K + U_{K-1})$$

으로 구한다. 모델이

$$\frac{Y(S)}{U(S)} = \frac{K(1+sT_2)}{1+sT_1} \quad (7)$$

으로 주어지면,

$$Y(S)_{sim}(1+sT_1) = KU(S)(1+sT_2)$$

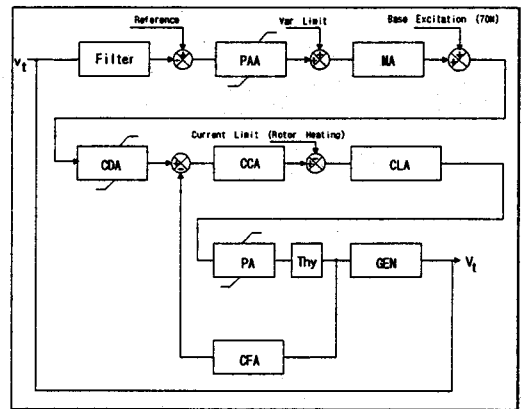
$$Y(Z)_{sim} \left[ 1 + \frac{T_1(1-Z^{-1})}{0.5T_s(1+Z^{-1})} \right] = KU(Z) \left[ 1 + \frac{T_2(1-Z^{-1})}{0.5T_s(1+Z^{-1})} \right]$$

$$Y_{K \text{ sim}} \frac{T_1-0.5T_s}{T_1+0.5T_s} Y_{K-1 \text{ sim}} = \frac{T_2+0.5T_s}{T_1+0.5T_s} KU_K - \frac{T_2-0.5T_s}{T_1+0.5T_s} KU_{K-1}$$

이 된다.

### 2.2.3 LSM을 초기값으로 한 PSM

일반적으로 LSM의 응용은 거의 Noise Free System에 한정되어 있다. 그리고 시스템 내에 임의의 외란이 존재할 때는 편향된 추정이 생길 수 있다. 환경 노이즈를 갖는 시스템에서 Identification의 정확도를 개선하고 보다 좋은 PSM 결과를 얻기 위해 LSM을 초기 값으로 한 수정된 PSM을 사용하고자 한다. [그림2]는 여자제어시스템 전달함수블록도이다.



[그림2] 여자제어시스템 전달함수블록도

### 2.2.4 제어시스템 정수추정 파형 비교

측정한 모든 신호는 초기치와 정상상태의 값과의 차로 하고 시뮬레이션을 수행했다. 시뮬레이션 오차는

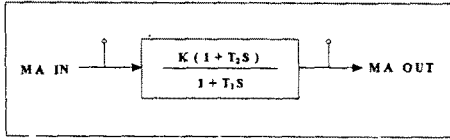
$$E_{Error} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i - Y_s| \quad (8)$$

로 택했으며 여기서,

$Y_t$  : 실측신호

$Y_s$  : 시뮬레이션 결과 데이터이다. 정수분석에 사용된 데이터의 수는 2500/0.5sec이다.

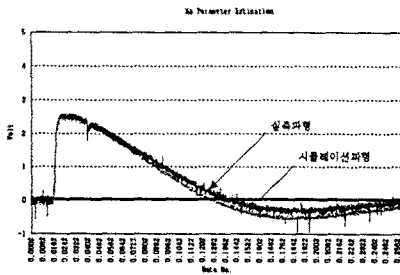
<실례 1 : MA부분>



[그림3] MA 부분 데이터 취득점

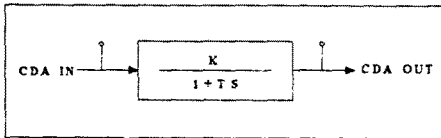
[그림2]에서 보는 바와같이 MA부분 입력신호가 PAA의 출력신호이므로 이신호를 MA입력부분으로 한후 정수값을 구하면 다음과 같다.

$$K = 0.772, T_1 = 0.5795, T_2 = 1.046$$



[그림4] MA 출력신호 비교

<실례 2 : CDA부분>



[그림5] CDA 부분 데이터 취득점

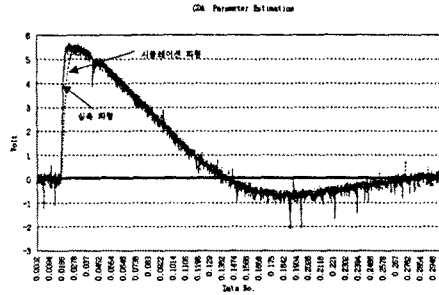
[그림2]에서 보는 바와 같이 CDA부분은 MA의 출력신호가 CDA의 입력신호이므로 이신호를 CDA 입력부분으로 한후 정수값을 구한다.

$$K = 2.181, T = 0.003$$

### 2.3 제어시스템 안정도

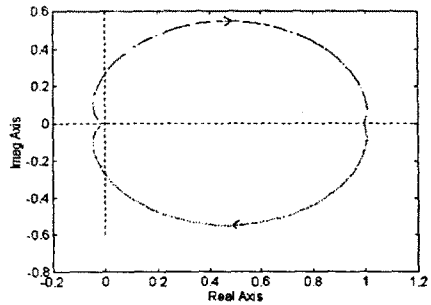
제어시스템 전체 안정도는 전체 전달함수를 구한 후 고전적인 해석방법중의 하나인 Nyquist안정도 판별법을 이용하여 구하였다. 그림에서 보는 바와 같이 제적인  $-1+j0$  점을 감싸지 않고 오른쪽 반평면에 극이 존재하지 않으므로 안정하다는 것이 판

명 된다.



[그림6] CDA 출력신호 비교

[그림7]은 Nyquist 선도를 나타내고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 전체 시스템은 안정한 것으로 판명되었다.



[그림7] 제어루프의 Nyquist선도

### 3. 결 론

이 논문에서 사용된 정수 추정 값은 여러 기법 중에서 정확도가 높은 Least Square Method에서 구한 값을 초기 값으로 하고 Pattern Search Method에서 구했다. 이로 구한 값으로 시스템의 안정도가 허락하는 부분까지 시스템의 속응성을 높이고 각각의 모듈별 증폭기의 정수값을 적정 값으로 조정함으로써 시스템의 안정도에 크게 기여할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] IEEE Standard, "IEEE Guide for identification, testing, and evaluation of the dynamic performance of excitation control system." IEEE std 421.2 1990.
- [2] Lennart Ljung, "System Identification : Theory for the user." 1987.
- [3] P. Kundur, "Power system stability and control. 1993.
- [4] Gilbert strang "Linear algebra and its applications" third edition. 1988.