

대형 화력발전소 EX2000 여자시스템 PSS 튜닝 : Part 1- 최적 PSS 파라미터 설계

김동준, 문영환, 김성민*, 김진이**, 황봉환**, 조종만**
전기연구원, 동서발전*, 전력거래소**

PSS Tuning of EX2000 Excitation System in Thermal Plant: Part I- Optimal PSS Parameter Design

D.-J. Kim, Y.-M. Moon, S.-M Kim, J.-Y. Kim, B.-H. Hwang, J.-M. Choi
KERI, EWP, KPX

Abstract - This paper describes the optimal PSS parameter design for the PSS of EX2000 excitation system. The suggested tuning technique uses the model-based PSS tuning method which have three steps: generation system modeling, determination of PSS parameters, and on-site test. Using this method, the PSS parameters of EX2000 system in Dangjin T/P #4 was designed and verified by linear analysis program, PSS/E, and EMTDC/PSCAD.

1. 서 론

최근 세계적으로 전력계통에 대형정전 사고가 발생하고 수 십억불의 직간접적 사회적 손실이 발생하자 국내에서도 광역정전사고 방지를 위한 몇 개의 연구가 심도 있게 진행되고 있다. 발전회사와 전력거래소도 별도로 대형정전사고를 방지하기 위한 한 방안으로 500 MW 이상 발전 시스템의 미튜닝된 계통안정화장치(이하, PSS)를 건전성 시험을 통하여 정상화하고 있다.

국내 대형화력 발전소에서 사용되고 있는 대표적인 여자시스템 중 하나는 EX2000 시스템이다. 이 시스템은 디지털 여자시스템으로 AVR의 모든 제어블록이 디지털로 구현되어 있다. 마찬가지로 PSS도 디지털 블록으로 구현되어 있고 2개의 입력(주파수, 전력)을 사용하여 전력동요를 제동한다. 이 EX2000 시스템 PSS 모델은 IEEE에서 추천하는 PSS2A 모델과 같고 성능이 우수하다. 그러나 국내에서 설치된 2000년 이전의 EX2000 여자시스템의 PSS는 대부분 미튜닝된 채로 사용하지 않고 있었다.

EX2000 여자시스템의 PSS2A 모델은 주파수와 발전기 출력을 사용하는 이중 입력 PSS이다. 주파수(f)를 입력으로 하는 PSS 기능은 1.0Hz의 광역모드에서 전력진동을 제공하고, 발전기 출력(Pe)을 입력으로 하는 PSS는 지역모드를 제동하는 데 매우 효과적이다. 따라서 PSS2A 모델은 넓은 주파수 영역에서 뎀핑 토르를 제공할 수 있다.

본 논문은 총 2개의 논문으로 이루어져 있고, 본 Part I에서는 당진4호기 미튜닝된 EX2000 여자시스템의 PSS 정수를 최적으로 설계하는 것을, 그리고 Part II 논문에서는 현장 튜닝시험과 검증하는 것을 기술한다.

2. 본 론

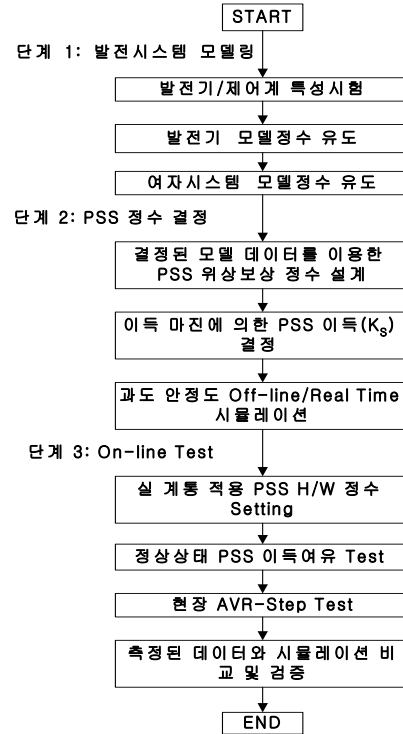
2.1 Model-Based PSS 튜닝 기법

PSS 튜닝에 대한 기본개념은 60년 만에 중요 논문[1]이 발표 되어 쉽게 이해를 도모했으나 실제 현장 튜닝방법은 지금까지도 새로운 방법 등이 제안되고 있다. 본 논문에서 제안하는 방법은 그림 1은 모델링을 기본으로 하는 튜닝방법이다. 단계 1에서는 검증된 모델 정수를 이용하여 발전시스템을 모델링 한다. 검증된 모델정수는 발전기/제어계 특성시험을 통하여 얻을 수 있다. 만약 튜닝 하고자 하는 발전시스템에 검증된 모델 데이터가 없다면 간단한 특성시험을 통하여 최소한 발전기 계자시정수(Td0'), 발전기 관성정수(H), 그리고 여자의 과도이득(transient gain)을 측정된 데이터로부터 도출해서 검증해야 한다.

단계 2에서는 결정된 모델정수를 이용하여 선형 해석, 비선형 과도안정도 해석, 그리고 EMTDC를 이용하여 축진동 모드 해석 등을 수행한다. 선형해석을 통해서 위상보상 정도를 분석하고 PSS 이득증가에 대한 고유치 궤적을 구하여 최적 이득정수를 잠정적으로 설정한다. 비선형 과도안정도 해석에서는 PSS/E와 같은 과도안정도 프로그램을 이용하여 AVR 스텝시험, 송전선로 임피던스가 증가할 때 뎀핑 정도 분석, 3상 단락사고 분석 등을 수행한다. 이와 같이 모의함으로써 설계된 PSS 정수의 강건성을 검증할 수 있다. EMTDC 프로그램을 이용해서는 설계된 축진동 제거 notch 필터를 확인할 수 있다. PSS2A 모델에서는 기계적 신호를 사용하지 않기 때문에 notch 필터가 낮은 차수로 설계된다.

이렇게 설계된 모델 정수는 단계 3에서 현장시험을 통해서 검증하게 된다. 현장시험에서는 설계된 정수가 제대로 동작되는지 2% AVR 스

템시험을 통해서 확인한다.



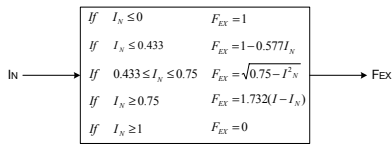
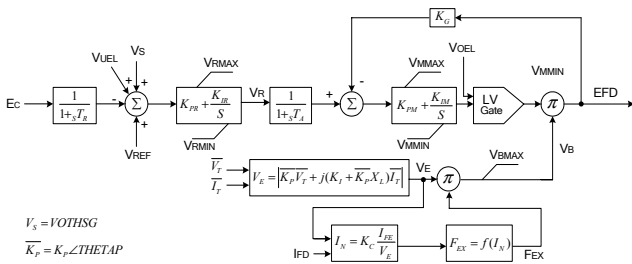
2.1.1 EX2000 여자시스템 모델링

PSS 정수를 튜닝하기 위해서는 발전기, 여자시스템, 그리고 PSS를 모델링 해야 한다. EX2000 여자시스템은 PSS/E 프로그램은 ESST4B 모델을 사용하여 모델링 된다. ESST4B 모델의 구성은 PI 제어기, MVR용 PI 제어기, 그리고 여자기 변압기 모델로 구성된다. 정상적인 운전 상태에서는 MVR PI 제어기는 사용되지 않는다. PI 제어기는 non-winding 제한치를 갖는다. 기존의 아날로그 모델 EXST3은 winding 제한치를 갖도록 되어 있다. EX2000 PI 제어 정수는 AVR의 과도이득(transient gain)이 약 20 PU정도 갖도록 PI 정수치가 튜닝된다. 당진화력 4호기의 발전시스템 모델링은 동일사양의 보령화력 6호기의 발전시스템 모델 데이터를 사용한다. 보령화력 6호기 모델정수는 2000년 12월에 발전기/제어계 특성시험을 통하여 도출하고 검증한 값이다. 실제 당진화력 4호기의 현장 PSS 튜닝시험에서 측정된 데이터는 모델결과와 잘 일치하였다.

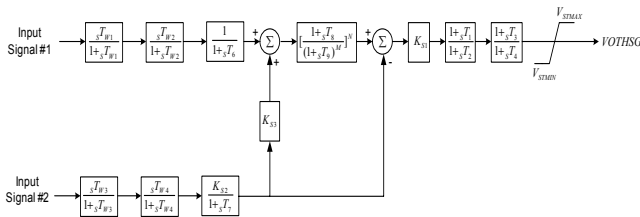
EX2000 여자시스템 PSS는 발전기의 PT와 CT에서 측정된 발전기 출력과 주파수를 입력으로 한다. 입력에 사용되는 주파수는 발전기 과도임피던스(Xq') 배후 전압의 주파수이다. 입력신호에 대한 블록은 내부적으로 구현되어 있어 사용자가 변경할 수 없고, TW는 모두 한 개의 값으로 동일하게 적용된다. 마찬가지로 Ramp Tracking 필터의 차수도 분모가 5차이고 분자가 1차로 고정되어 있다. 그리고 그림 2의 PSS2A 모델과 다르게 2단의 축진동 모드 제거 필터가 끝부분에 있다. 표 1은 당진화력 4호기의 EX2000 여자시스템 PSS에 들어가는 정수를 보여준다. 1번째 축진동 모드는 16.3 Hz로 첫 번째 축진동 제거 고유주파수는 15.8 Hz이고 두 번째 축진동 제거 고유주파수는 0.5 Hz 높은 16.83 Hz이다. 이렇게 함으로써 16.3 Hz에서 가장 낮은 이득을 갖는다.

〈표 1〉 최적 PSS 파라미터 설계치 (당진4호기 EX2000)

정수	값	정수	값
Xq'	0.382	PSS Lead2	0.20
TW	2.0	PSS Upper limit	0.05
H	3.44	PSS Lower Limit	-0.05
PSS Lag1	0.02	1st Torsional Rejection Filter	15.83 Hz
PSS Lead1	0.20	2nd Torsional Rejection Filter	16.83 Hz
PSS Lag2	0.02		



〈그림 1〉 ESST4B 여자시스템 모델



〈그림 2〉 PSS2A 모델

2.2 최적 모델정수 설계

발전시스템의 모델링이 되면 최적 PSS 모델정수는 선형해석, 시간영역 과도안정도 해석, 그리고 3상 순시치 모의를 통해서 결정한다. 선형 해석에서는 위상보상 해석과 고유치 해석을 통해서 정수를 선택한다. 시간영역 과도안정도 해석에서는 AVR 스텝시험 모의, 3상 단락사고 모의, 송전선로 임피던스 증가 등을 모의하여 PSS 정수의 강건성을 검증한다. 마지막으로 3상 순시치 프로그램인 EMTDC를 이용하여 축진동 필터의 정수를 검증한다.

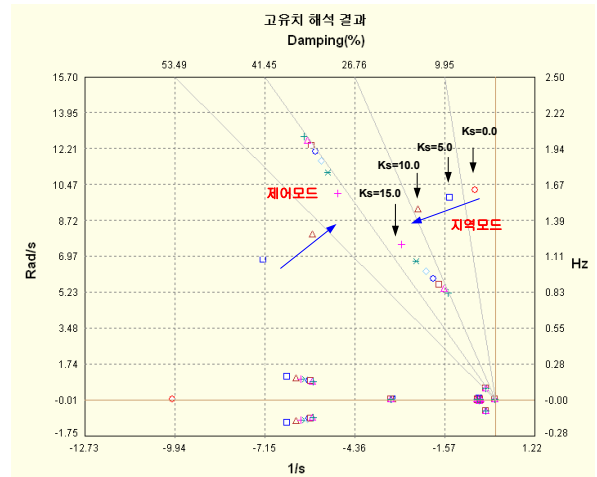
2.2.1 선형해석

선형해석에서는 발전기 출력 500 MW, 송전선로 20% 임피던스에서 PSS에 의해서 보상된 위상이 부족보상인가 확인한다. 고유치 해석은 PSS 이득을 증가시켜 고유치 제적을 관찰하여 설계치 이득정수를 결정한다. 그림 3은 이득증가에 따른 지역모드와 제어모드를 보여주고 있다. 이득이 증가할수록 지역모드의 댐핑율은 증가하나 제어모드는 불안정영역인 오른쪽으로 이동한다. PSS 이득은 제어모드와 지역모드의 댐핑율이 같은 점인 약 15 PU에서 결정한다. 최종 이득은 현장시험을 통하여 결정한다.

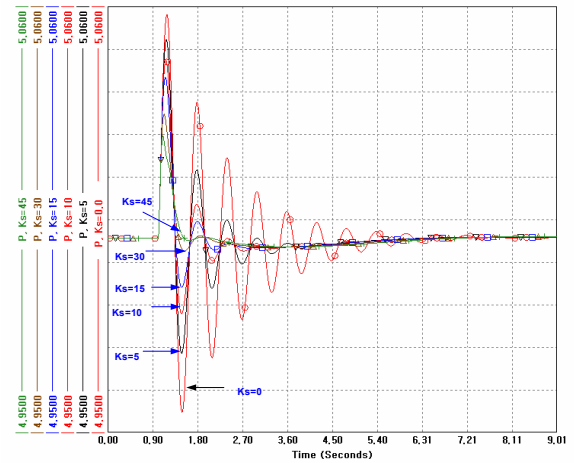
2.2.2 과도안정도 해석

선형해석에서 결정한 PSS 정수는 시간영역 비선형 과도안정도 프로그램을 이용하여 다양한 운전조건에서도 강건하게 동작하는지 검증한다. 그림 4는 500 MW에서 PSS 이득을 증가시켜 가면서 3% AVR 스텝시험을 모의한 것을 보여주는데 이득이 증가할수록 댐핑율이 증가한다. 이득이 15 PU 이상일 때는 이득증가에 비해 댐핑율이 크게 증가하지 않는다. 이러한 결과는 선형해석 결과와 잘 일치한다. 다음으로 송전선로 임피던스가 발전기 용량의 20%, 40%, 60%일 때 3% AVR 스텝시험을 모의하여 효과적이지 확인하였다. 그리고 3상 단락사고를 모의하여 극단적인 사고에 대해서도 안정한 지 모의하였다. 마지막으로 PSS 출력 제

한치에 대한 특성을 3상 단락사고를 모의하여 최적 한계치를 결정하였다. 해석 결과는 EX2000 여자시스템의 PSS 출력 제한치는 5%로 하는 것이 안정적이면서 효과적임을 보여준다.



〈그림 3〉 이득증가에 따른 고유치 궤적



〈그림 4〉 이득 증가에 따른 3% AVR 스텝시험 (500 MW)

2.2.3 축진동 해석을 위한 EMTDC 모의

EMTDC 모의에서는 발전기 축 시스템 모델과 PSS의 축진동 제거 2단의 notch 필터를 모델링하여 축진동에 문제가 없는지 확인하였다. 설계된 축진동 필터는 축진동 모드에 덜 민감하게 되어 3상 단락사고 모의에서 축진동 필터가 없는 경우보다 더 안정적이다.

3. 결 론

본 논문은 국내 대형 화력 발전기에 설치된 EX2000 여자시스템의 PSS 정수를 튜닝하기 위한 최적 설계기법을 기술하였다. 제안된 방법은 모델링 기반으로 한 튜닝기법으로 검증된 데이터를 이용한 발전시스템 모델링하고, 최적 정수설계를 위한 선형해석과 비선형 과도안정도 해석, 그리고 3상 순시치 시뮬레이션 해석을 통하여 PSS 정수를 설계하고 검증한다. 제안된 방법은 당진화력 4호기의 EX2000 여자시스템 PSS를 설계하고 검증하는데 사용하였다.

[참 고 문 헌]

[1] F.P. deMello, C.Concordia, "Concepts of Synchronous Machine Stability as Affected by Excitation Control", *IEEETrans.* Vol.PAS-87,June,1969,pp.316-329
 [2] Larsen, E.V. and D.A. Swann, "Applying power system stabilizers, Part I, II, and III", *IEEETrans.*,Vol.PAS-100,No.6,June,1981,pp.3017-3046
 [3] P.Kundur, D.C.Lee, H.M.Zein El-Din, "Power System Stabilizers for Thermal Units", Analytical Techniques and On-Site Validation", *IEEETrans.* Vol.PAS-100,No.1,January1981,pp.184-198