

대형 화력발전소EX2000 여자시스템 PSS 튜닝 :
Part 2-현장 튜닝시험 및 검증

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

PSS Tuning of EX2000 Excitation System in Thermal Plant:
Part II-Site Tuning Test and Validation

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 on-site PSS Tuning Test of EX2000 excitation of Dangin T/P #4. The on-line 2% AVR step test in 500MW was performed by setting PSS gain from 0 to 15 by 3 increase. The time-domain measured data was also analyzed by DFT analysis. Finally, the measured data was replicated and verified by running the time-domain dynamic simulation.

1. 서 론

본 논문은 Part I에서 설계된 EX2000 여자시스템 최적 PSS 파라미터를 현장 PSS 튜닝시험에서 검증하는 것을 기술한다. 현장 PSS 튜닝 시험은 당진화력 4호기 EX2000 여자시스템을 대상으로 수행되었다. 당진화력 4호기 EX2000 여자시스템은 건설당시부터 PSS 블록이 없이 운전되었다. 따라서 이 EX2000 여자시스템 PSS를 정상화하기 위해서 새롭게 PSS 블록을 추가하였다. 현장 튜닝시험은 설계된 파라미터를 입력하고 100% 부하에서 이득을 증가하여 2% AVR 스텝시험을 수행하였다. 현장 PSS 튜닝시험에서 측정된 결과는 발전기 출력(Pe) 스펙트럼 분석과 측정된 결과의 재모의 등으로 분석되어 재검증하였다.

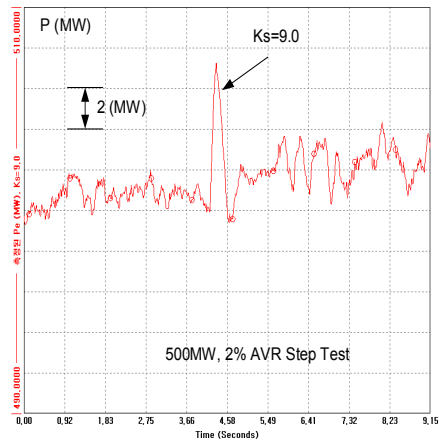
2. 본 론

2.1 현장 PSS 튜닝시험

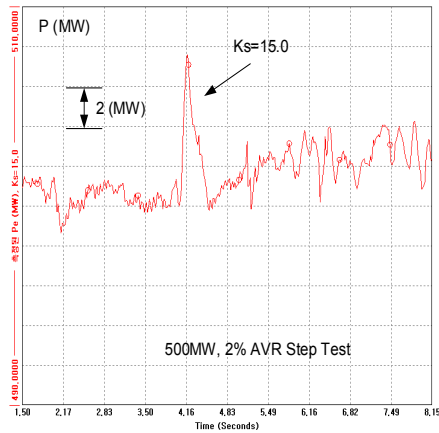
현장 튜닝시험은 설계된 파라미터를 입력하는 단계, 무부하 2% AVR 스텝시험, 50 % 부하에서 PSS 파라미터 체크 단계, 100% 부하에서 이득을 0, 3, 6, 9, 12, 15로 증가하여 2 % AVR 스텝시험 단계 등으로 이루어 졌다.

2.1.1 500MW, 온라인 2% AVR 스텝시험

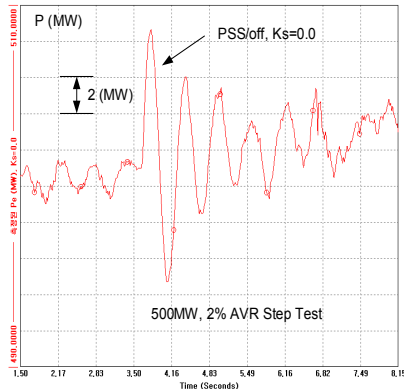
100 %부하에서 온라인 2% AVR 스텝시험은 PSS 이득을 0에서부터 3씩 증가하면서 사전 모의결과와 비교하였다. 측정된 스텝결과는 모의결과와 잘 일치하여 이득을 15까지 증가하여 스텝시험을 수행하였다. 현장에서 조정된 Engineering Value(EV) 값 이득은 모의상의 Per Unit(PU) 값과 다르며, PU 값으로 환산하면 약 2배 정도 값을 갖는다. 그림 1은 PSS가 없는 경우의 2% AVR 스텝시험 결과를 보여준다. 약 4과 정도의 동요를 보여준다. 그림 2는 이득을 K=9.0 EV로 증가하였을 때 스텝 응답 결과이다. 약 1과 정도의 전력동요를 보여주며 제동특성이 우수하다. 그림 3은 이득을 Ks=15 EV까지 증가했을 때의 시험결과를 보여준다. 그림 2처럼 지역모드(local mode) 제동특성이 우수하다. 현장 이득 15 EV는 Per Unit 값 이득으로 환산하면 약 30 PU정도 해당한다.



<그림 2> 온라인 2% AVR 스텝시험인 경우 출력 (Ks=9.0 EV)



<그림 3> 온라인 2% AVR 스텝시험인 경우 출력 (Ks=15.0 EV)



<그림 1> 온라인 2% AVR 스텝시험인 경우 출력 (w/o PSS)

2.1.2 이득여유 시험

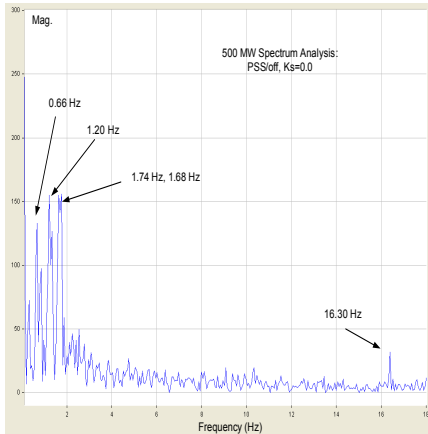
이득 15 EV에서 스텝시험 결과 발전기 계자전압(Efd)에서 제어모드(Control mode)의 동요가 관찰되었고 단자전압(Vt)에서도 약간의 동요(hunting)가 관찰되었다. 그래서 이득을 Ks=17 EV으로 놓고 정상상태 특성을 관찰하였다. 단자전압 동요와 계자전압의 특성이 더 나빠졌다. 보통 이득결정은 제어모드가 불안정해지는 이득의 1/3배정도로 잡거나 1/2배의 이득으로 설정한다. 제어모드가 불안정해지는 정도의 이득은 고유치 해석에서는 분석되지 않았고, 문헌상에서는 EX2000 시스템에서 약 60 PU 정도에서 관찰된 보고가 있다. 특히 현장에서 단자전압의 동요(hunting) 문제와 제어기 모드의 완전한 불안정(unstable) 현상을 판단하기는 어렵다. 그리고 너무 높은 이득시험은 시스템에 위험(risk)을 줄 수 있다. 따라서 최적 PSS 이득결정은 제어모드의 동요가 눈에 뜨게 관찰되는 시점의 이득에서 마진을 6 dB(1/2배)로 결정하는 것이 바람직하다. 실제 이득여유는 6 dB보다 훨씬 높다.

2.2 현장 PSS 튜닝시험 결과 분석

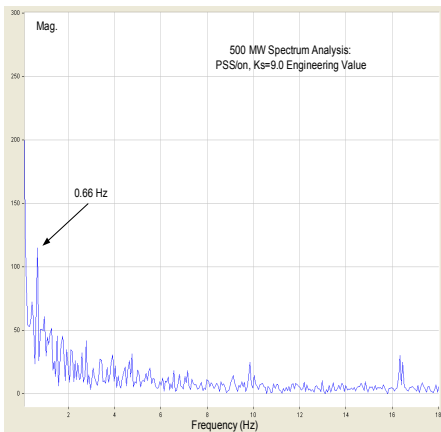
측정된 결과는 설정된 PSS 파라미터가 지역모드 제어에 매우 효과적임을 보여준다. 그러나 측정된 시간영역 데이터로는 PSS가 다른 모드에 어떤 영향을 주는지는 알 수 없다. 이런 이유로 본 논문은 이득에 따른 측정된 정상상태 발전기 출력(Pe)을 스펙트럼 분석하였다. 또한 측정된 결과를 재모의하여 모델정수와 모의결과를 재검증하였다.

2.2.1 발전기 출력 Spectrum 분석

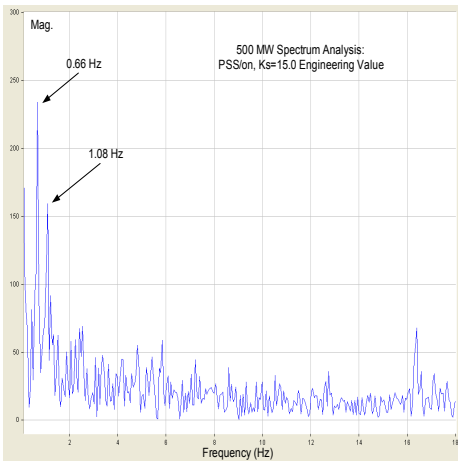
그림 4는 PSS가 없는 경우 발전기 출력(Pe)을 이산후리에 변환(DFT)을 이용하여 주파수 스펙트럼 분석한 것이다. 0.66 Hz의 광역모드, 3개의 지역모드, 그리고 16.3 Hz의 축진동 모드를 보여준다. 그림 5는 이득을 $K_s=9.0$ EV인 경우 스펙트럼 분석 결과이다. 지역모드가 모두 사라졌고, 광역모드의 크기가 줄어들었다. 그림 6은 이득을 15 EV까지 증가인 경우의 결과로서 1Hz보다 낮은 모드에 대해서는 효과적이지 않음을 보여준다. 최적 이득은 $K_s=9.0$ PU로서 지역모드에 매우 효과적이며 광역모드까지 제동하는 특성을 보여준다.



〈그림 4〉 발전기 출력(Pe) 스펙트럼 분석 (w/o PSS)



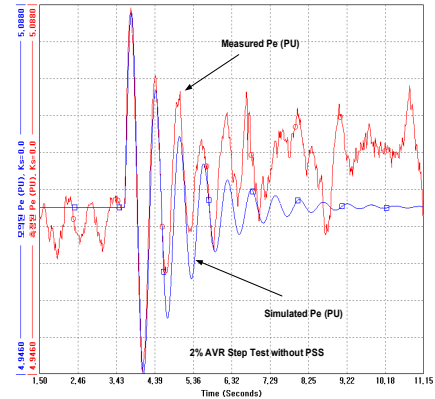
〈그림 5〉 발전기 출력(Pe) 스펙트럼 분석 ($K_s=9.0$ EV)



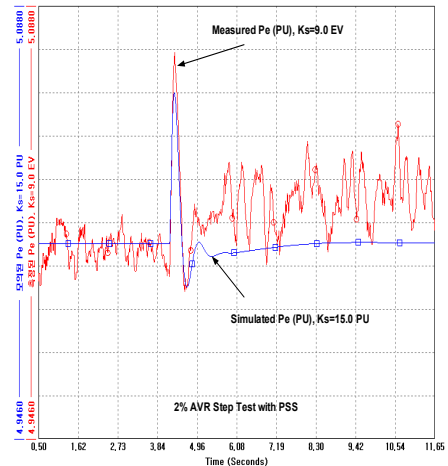
〈그림 6〉 발전기 출력(Pe) 스펙트럼 분석 ($K_s=15.0$ EV)

2.2.2 측정결과와 시뮬레이션

제한된 PSS 튜닝 마지막 단계는 측정된 결과를 똑같은 운전조건으로 하여 모의하는 것이다. 그림 7처럼 PSS가 없는 경우 모의에 사용된 모델 데이터는 측정된 결과와 잘 일치한다. 단, AVR의 PI 이득은 사전 모의에서는 3.97 PU 였으나 측정된 결과를 재모의 할 때는 5.70 PU로 조정하였다. 이것은 여자시스템이 중부하시에 과도이득이 증가되는 현상으로 판단된다. 그림 8은 PSS가 있는 경우의 결과를 비교한 것이다. 현장 이득 $K=9.0$ EV는 모의상의 PU이득 $K_s=15.0$ PU의 모의결과와 잘 일치한다.



〈그림 7〉 스텝시험 모의결과 및 측정결과 비교 (w/o PSS)



〈그림 8〉 스텝시험 모의결과 및 측정결과 비교 ($K_s=9.0$ EV)

3. 결 론

본 논문은 설계된 EX2000 여자시스템 최적 PSS 파라미터를 당진 화력 4호기 여자시스템을 대상으로 현장 PSS 튜닝시험을 수행하였다. 현장 PSS 튜닝시험은 설계된 파라미터를 입력하고 100% 부하에서 이득을 0, 3, 6, 9, 12, 15로 증가하여 2% AVR 스텝시험을 수행되었고 최적 이득을 결정하였다. 튜닝시험에서 측정된 결과는 사전에 모의된 결과와 잘 일치하였다. 또한 측정된 결과를 주파수 스펙트럼 분석하여 PSS가 광역모드와 지역모드 제동에 효과적임을 확인하였다. 마지막 단계로서 측정된 결과를 시간영역 과도안정도 프로그램을 이용하여 재현함으로써 사용된 모델데이터를 검증하고 모의결과를 재검증하였다.

[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, January 1981, pp.184-198