

RTDS를 이용한 PSS 현장 설치 모의 시험

허진\*, 김동준\*, 문영환\*, 신정훈\*\*, 김태균\*\*  
 한국전기연구원\* 한전전력연구원\*\*

The trial installation test of PSS to Power Plant  
 using Real Time Digital Simulator

Jin Hur\* Dong-Joon Kim Young-Hwan Moon Jeong-Hoon Shin Tae-Kyun Kim  
 KERI KEPRI

**Abstract** - Before a developed digital Power System Stabilizer(PSS) is installed to real power system, an efficient trial test for installing PSS is needed. In this paper, the performance of developed digital PSS for a single hydro-turbine generator and infinite bus system has been investigated using Real Time Digital Simulator(RTDS) in order to install PSS to real power system practically. The test system was composed of RTDS, three phase voltage/current amplifier and the PSS and the test scheme provided a very efficient way to verify the design and control performance of a PSS to be applied to real power system. The trial installation test through AVR 3% step test and three fault analysis may be guaranteed to install PSS to real power system.

1. 서 론

전력수요의 증가로 전력계통이 대규모화되고 발전기의 속용여자시스템이 급속하게 확대, 적용됨에 따라, 계통의 안정도 마진이 감소되고 있다. 따라서 정태안정도의 향상과 계통의 제동능력 향상을 도모하기 위하여 대책기술의 하나인 고성능의 PSS를 개발하고 이를 최적으로 계통에 적용할 수 있는 기술개발이 요구되고 있다. 전력계통안정화장치(Power System Stabilizer: PSS)는 일반적으로 전력계통의 작은 변화로 나타나는 지속성 동요를 감쇄시키기 위하여 적용된다. PSS는 전력계통에서 나타나는 0.1~2.0 Hz의 전력진동에 대하여 안정화 보조신호를 발생시켜 발전기 여자시스템의 자동전압조정장치(AVR)에 부가하여 이를 효과적으로 억제하도록 함으로써 전력계통의 정태안정도(Small Signal Stability)를 향상시키는 경제적인 수단이 되고 있다. 한전전력연구원과 다년간의 공동연구를 통하여 디지털 PSS를 개발하고 올해 초 무주 양수 발전소 1호기 및 2호기에 성공적인 설치와 더불어 현재 운용 중에 있다. 국내 최초로 개발된 PSS는 우리나라의 Analog AVR 방식의 발전기의 표준이 되도록 IEEE 규격과 추천사항에 부합하는 세계 최고 수준의 성능을 구현하였다. 특히 개발된 범용 디지털 PSS는 상품화가 가능하도록 필요한 모듈 구성과 운전환경, 보호 및 진단기능 등을 선정하여 최선의 시스템을 이루도록 기본설계를 가지고 있다. 이러한 설계와 성능평가를 위하여 Benchmark용 PSS를 도입하여, 개발 실적품은 실시간 전력계통 시뮬레이터를 이용하여 제어기의 성능분석을 이미 완료하였다.<sup>1),2)</sup>

실시간 디지털 시뮬레이터인 RTDS(Real Time Digital Simulator)를 이용한 개발 PSS의 특성 시험은 PSS가 설치된 무주-양수 발전소(1호기 및 2호기)를 1기 무한모선 계통으로 모델링하여 3상 단락사고와 AVR 3% 스텝시험을 적용하여 실시간으로 PSS의 성능 및 기능을 분석하였다. 개발 PSS용 무주 양수 발전소에 설치하기에 앞서 최종적인 PSS의 성능 시험은 RTDS를 이용하여 앞서 모의된 시험을 적용하여 이득(gain)별 PSS의 응답특성을 분석하였고 장시간 운전을 통하여 기기의 결합성 및 응답특성의 안정성 여부 확인

을 통하여 현장에 설치될 수 있도록 모의시험을 수행하였다. 본 논문에서는 개발 PSS의 현장 설치 시험에 앞서 RTDS를 이용하여 무주 양수 발전소를 모델링하고 실시간으로 다양한 상정사고를 모의하여 PSS의 성능분석 및 현장설치 시험에 선행적인 충분한 모의 시험 결과와 현장 설치를 위한 실제적인 시험방법을 제시한다.

2. 개발 PSS 모의 시험 개요

개발 PSS를 무주 현장에 설치하기 전에 RTDS를 이용하여 기본적인 성능시험과 현장설치를 위한 모의 시험을 수행하였다. 본 시험은 전력 증폭기를 사용하여 PSS 입력 신호인 전압 110 V, 전류 4.23 A 크기(현장 PT, CT 신호레벨)를 그대로 재생함으로써 현장과 동일한 시험환경을 제공한다. PSS 성능시험을 위한 결선은 그림 1과 같다. PSS 페루프 시험을 위한 결선도에 나타낸 바와 같이 RTDS의 단위 큐비클에 장착된 D/A 변환기를 이용하여 RTDS 내부에서 계산된 디지털 신호를 0~1 V 크기의 아날로그 신호로 내보낸 후 전력 증폭기를 이용하여 실제 크기를 재생, 개발된 PSS로 입력되고 이 신호에 의해 발생하는 0~5 V 크기의 PSS 출력제어 신호가 다시 단위 큐비클에 장착된 A/D 변환기를 거쳐 구성된 모의계통으로 다시 피드백(feedback)되는 페루프(Closed-Loop) 시험이다.

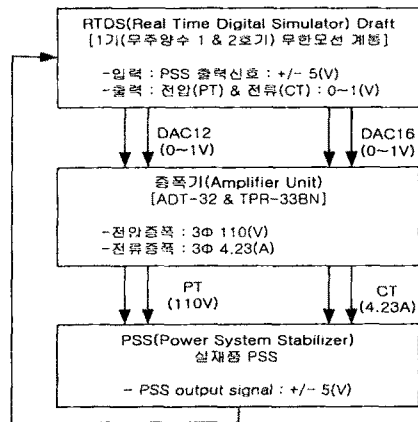


그림 1. PSS 페루프 시험을 위한 결선도

2.1 RTDS를 이용한 무주 양수 발전소 모델링

RTDS의 Draft 모듈을 이용하여 무주 양수 발전소를 모의한 1기 무한모선 모의 계통을 그림 2에 나타내었다. RTDS에서 모의된 계통은 기준용량이 343 MVA이고 정격출력은 300 MW, 발전단쪽의 단자전압은 18 kV이다. 성능시험을 위한 상정사고는 무한모선 쪽에서 3상 단락사고를 적용할 수 있도록 구성하였고 여자기

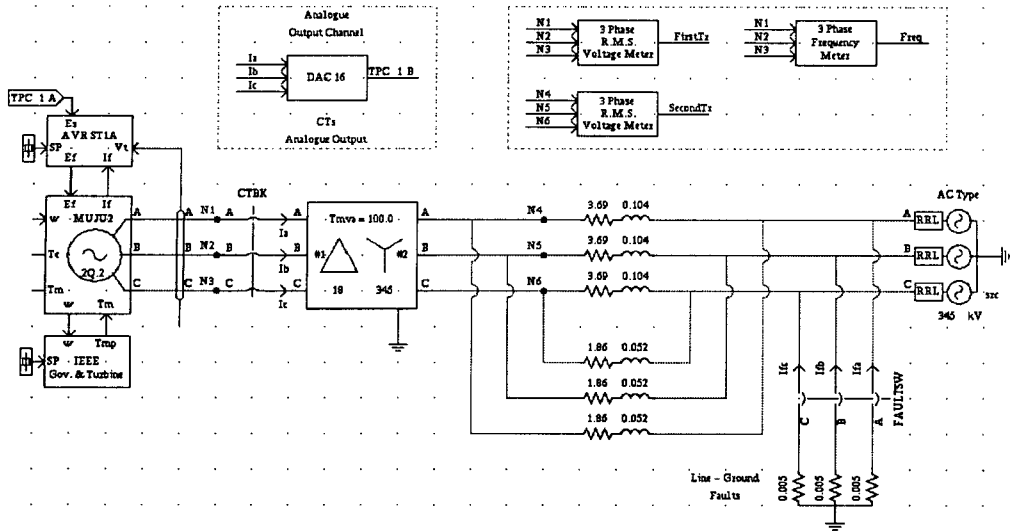


그림 2. PSS 성능 시험을 위한 우주 양수 발전소 모델링

시스템 시험을 위한 기준전압(Vref)은 RTDS의 RunTime 모듈에서 적용 할 수 있도록 구성하였다. RTDS의 Draft 모듈에서 구현된 모의계통은 두 가지 역할을 한다. 기본적으로 PSS의 아날로그 신호를 RTDS의 TPC(Tandem Processor Card) 1A로 입력받아 다양한 상정사고를 통하여 PSS의 성능시험을 수행한다. 또한 PSS의 입력신호인 PT, CT 생성을 위한 증폭기의 입력 전압 0~1 V를 출력한다. 그림 2에서 3상 노드 전압(N1~N3)은 전압 증폭기의 입력전압을 형성하고 3상 전류(Ia~Ic)는 전류 증폭을 위한 입력전압으로 사용된다. 그림 2에서 우주양수 1호기 및 2호기를 모의한 계통의 파라미터 입력은 실제 발전기 특성시험을 통한 발전기와 여자기 파라미터를 입력하여 실제 운전계통과 동일한 조건으로 구성하였다.

## 2.2 개발 PSS 파라미터 세팅

무주 P/P #1과 #2에 설정된 PSS의 모델은 과도 안정도 프로그램인 PSS/E의 내부모델인 "PSS2A" 모델과 거의 구성도가 같다. 그림 3은 두 가지 입력 값을 갖는 다중-입력 PSS 모델인 "PSS2A" 모델을 보여주고 있다. 본 절에서 사용하는 두 가지 입력신호는 발전기 단자 주파수와 발전기 출력신호이다. 개발 PSS 파라미터 세팅은 PSS 튜닝 프로그램<sup>[3]</sup>인 PWRSTAB을 이용하였고 튜닝된 "PSS2A" 모델정수는 표 1과 같다. 표 1의 정수 n과 M은 일반적으로 사용되고 있는 값으로 설정하였으며, PSS 출력 제한 정수 Lmax와 Lmin은 보수적인 관점에서 제한폭이 ±10%(±0.1 pu)가 되도록 하였다.

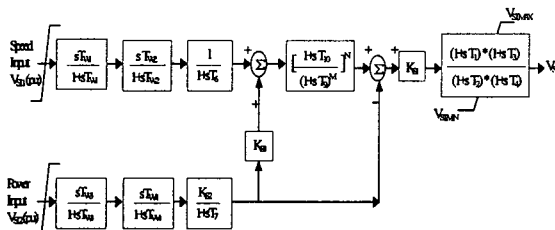


그림 3. 다중 입력을 갖는 PSS2A 모델

표 1. 무주 P/P 2호기 튜닝된 PSS 정수(PSS2A)

| 정수            | 정수 값        | 정수     | 정수 값  |
|---------------|-------------|--------|-------|
| Tw1, Tw2, Tw3 | 2.00        | n      | 1     |
| Tw4           | 0.0(bypass) | M      | 4     |
| T7            | 2.0         | KS1    | 15.0  |
| Ks2           | 0.163       | T2, T4 | 0.02  |
| Ks3           | 1.000       | T1, T3 | 0.12  |
| T10           | 0.440       | LMAX   | 0.10  |
| T9            | 0.110       | LMIN   | -0.10 |

## 3. 개발 PSS 모의 시험 절차

RTDS를 이용하여 실시간으로 PSS의 성능 시험을 위해 그림 4와 같은 순서로 진행한다. 다음의 내용에서 각 단계별 세부사항을 기술하였고 무주양수 발전소 2호기를 대상으로 실험하고 결과를 분석한다.

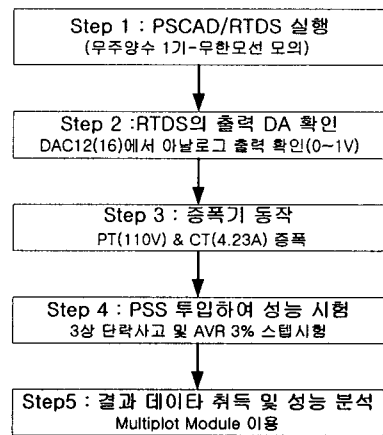


그림 4. PSS 모의시험 절차

### ● STEP 1 - PSCAD/RTDS 실험

RTDS의 Draft 모듈에서 무주양수 발전소 2호기를 모의한 1기 무한 모션 계통을 구성하고 실행한다. 무주양수 발전기 모의시 발전기 및 여자기 정수는 발전기 특성시험 결과 데이터를 기초로 하여 구성한다. RTDS 프

로그 실행 중 RTDS/RunTime 모듈에서 전압과 전류의 출력전압이 0~1 V가 출력되도록 Scaling factor를 조정한다.

● STEP 2 - RTDS의 출력 DA 확인

Scaling된 값을 이용하여 아날로그 출력 값을 확인한다. RTDS에서 외부기기와의 인터페이스는 후면에 위치한 아날로그 터미널 블록을 통하여 이루어진다. 모의된 1기 무한 모션 계통에서 3상 전압과 3상 전류를 아날로그 신호로 변환하여 DAC12 카드에서 0.648 V의 3상 전압을 그리고 DAC16 카드에서 0.414 V의 3상 전류로 변환된다. 전류의 경우에도 RTDS에서는 전압의 형태로 표현하여 나타낸다.

● STEP 3 - 증폭기 동작

본 연구원이 보유하고 있는 증폭기는 모두 전압의 형태로 입력을 받아 각각 3상의 전압과 전류를 증폭한다. 즉 STEP 2에서 출력된 0~1 V의 전압과 전류를 입력 받아 정확한 증폭비를 고려하여 현장 PT 및 CT 신호 레벨과 동일한 PT(110 V), CT(4.23 A)가 측정되도록 증폭을 한다.

● STEP 4 - PSS 투입 및 성능시험

PSS 성능시험은 3상 단락사고와 AVR 3% 스텝시험을 적용한다. 실제 현장 무주에서 PSS 이득을 크게 설정하지 않기 때문에 0, 3, 4, 5 이득 변화를 적용하여 PSS 성능 시험을 수행한다. 또한 실제 현장에서 장시간 운전에 따른 이상 현상을 분석하기 위해 장시간 운전 모의시험도 병행한다.

● STEP 5 - 결과 데이터 취득 및 파형 분석

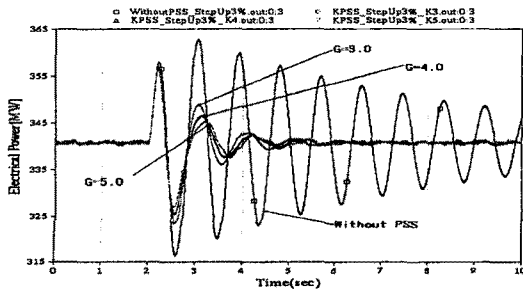
PSS 성능 시험을 위한 모의 결과는 발전기 출력(Pe), 발전기 단자전압(Vt), 계자전압(Efd), 그리고 PSS의 출력을 관찰하여 PSCAD/RTDS의 Multiplot 모듈을 이용해서 결과 데이터를 취득하고 PSS의 성능을 분석한다.

4. 성능시험 결과

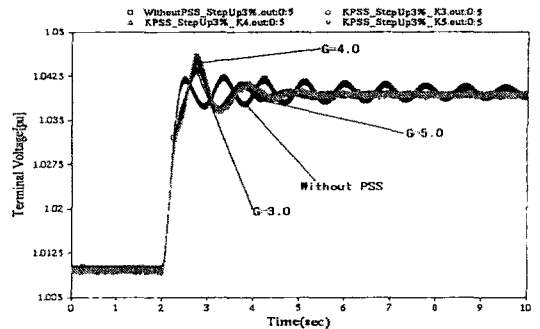
본 논문에서 수행된 PSS의 성능시험은 무주 양수 현장 설치 시험에 앞서 최종 PSS의 성능을 분석하기 위해 3상 단락사고 모의 및 스텝시험(3%) 그리고 장시간 운전 시험을 적용하여 PSS의 성능을 시험하였다. 성능시험은 이득(Gain:0→3→4→5)에 변화에 따라 3상 단락사고와 스텝시험(3%)을 이용하여 PSS 응답특성을 분석하였다.

4.1. AVR 3% Step 시험

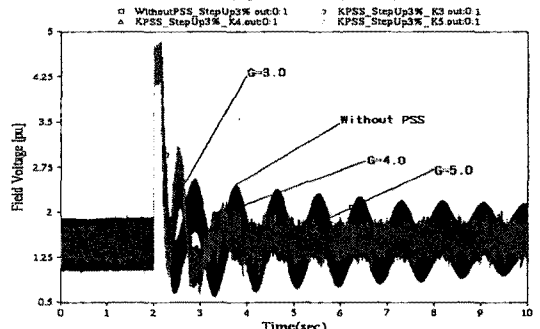
본 시험은 이득을 변경(Gain:0→3→4→5)하면서 이득에 따른 3% StepUp 시험을 통하여 개발 PSS의 응답특성을 분석하였다. AVR 3% 스텝시험 결과를 그림 5에 나타내었다. 제시되는 그림에서 'G'는 설정된 이득(Gain)을 의미한다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 뚜렷한 응답특성과 이득별 댐핑 정도를 확인할 수 있다. 또한 PSS 출력신호 및 계자전압(Efd)의 응답 특성을 통해 안정적인 보조신호 입력을 확인할 수 있다.



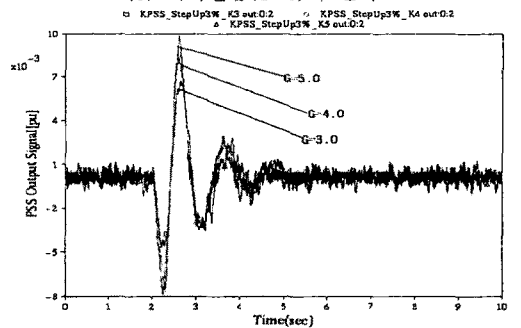
(a) 유효전력(Pe)의 변화



(b) 단자전압(Vt)의 변화



(c) 계자전압(Efd)의 변화

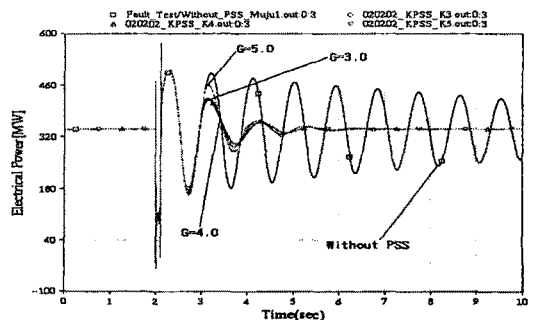


(d) PSS 출력파형

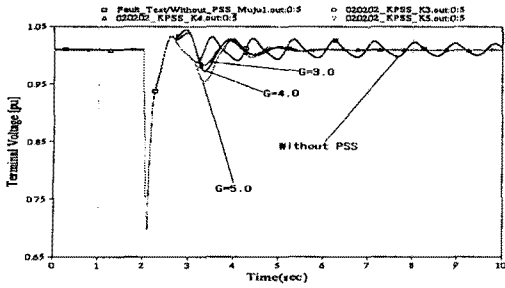
그림 5. AVR 3% StepUp시 PSS 성능 시험 결과

4.2 3상 단락사고(사고시간:0.1sec) 모의 시험

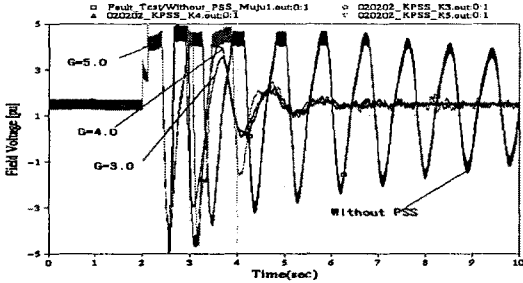
본 절에서는 모의된 계통에 3상 단락사고를 모의하여 PSS의 성능을 분석한다. 3상 단락사고를 0.1초 동안 적용하여 AVR 3% 스텝시험과 동일하게 4가지 출력파형을 분석하였다. 무주양수 2호기에 투입된 PSS의 3상 단락사고 모의 결과를 그림 6에 나타내었다.



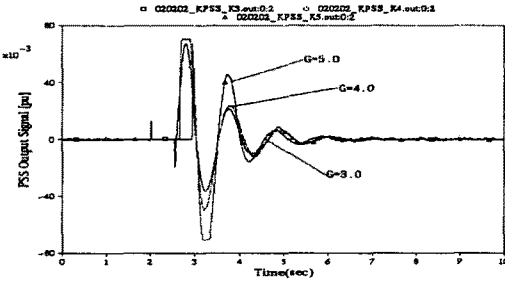
(a) 유효전력(Pe)의 변화



(b) 단자전압(Vt)의 변화

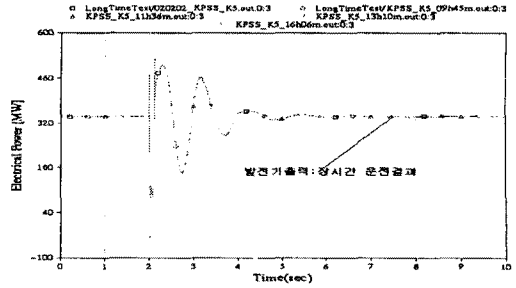


(c) 계자전압(Vt)의 변화

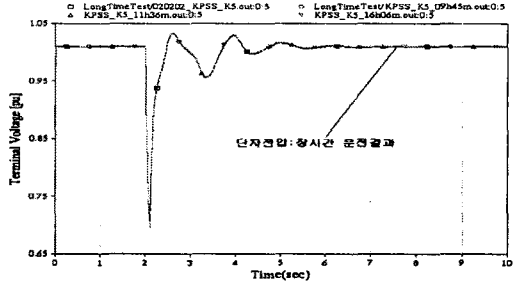


(d) PSS 출력파형

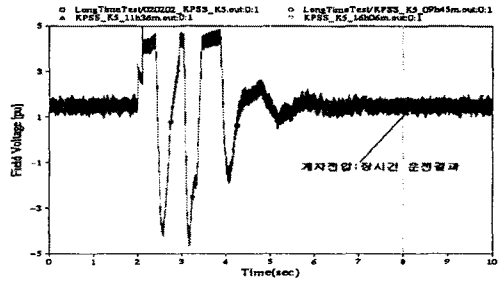
그림 6. 3상 단락사고 시 PSS 성능 시험 결과



(b) 유효전력(Pe)의 변화



(c) 단자전압(Vt)의 변화



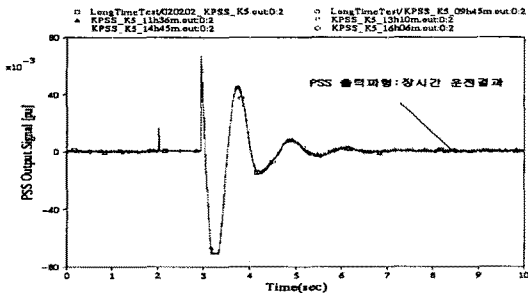
(d) 계자전압(Efd)의 변화

그림 7. 장시간 운전에 따른 PSS 응답 특성 결과

그림 6에서 볼 수 있듯이 PSS 투입 후 뚜렷한 응답특성을 확인할 수 있고 이득별 PSS 출력신호에 따른 뎀핑 특성을 확인할 수 있다.

### 4.3 장시간 운전에 따른 PSS 성능 분석

개발 PSS의 하드웨어적인 안정성 검증에 위해 장시간 운전을 모의하여 PSS의 성능을 검증하였다. 장시간 운전 시험은 1일을 기준으로 오전(09h45m)에 전압 및 전류 신호를 인가한 후 시험을 마치는 오후(16h06m) 시간의 일정으로 진행되었다. 1시간 주기로 3상 단락사고를 모의하여 PSS의 출력파형 및 응답 특성의 변화 유무를 검증하였다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 장시간 운전에도 PSS의 일정한 응답특성을 유지하였다.



(a) PSS 출력파형

## 5. 결 론

본 논문에서는 개발 PSS가 무주 양수 2호기에 투입되었던 2002년 1월28일~31일 기간과 무주 양수 1호기에 투입되는 2월7일~8일 기간에 앞서 RTDS를 이용하여 무주 양수 발전소를 1기 무한 모션으로 모델링하고 실시간으로 다양한 상정사고를 모의하여 이득별 PSS의 응답특성을 분석하였다. 성능시험 결과 PSS가 있을 때와 없을 때의 뎀핑특성이 현저하게 차이가 남으로써 PSS의 성능이 우수하다는 것을 알 수 있으며 이는 기 실시한 현장시험 결과와도 일치하였다. 또한 현장과 동일하도록 장시간 운전을 통하여 기기의 결합성 여부와 응답특성의 안정성 여부를 확인하였고 현장에 투입될 수 있도록 충분한 모의시험과 방법론을 제시하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 허진, 김동준, 문영환, 김태균, 신정훈, "전력계통 안정화장치(PSS)의 성능 분석을 위한 실시간 디지털 시뮬레이터 응용", 대한전기학회 논문지, 제 49권 제 9호, pp. 459-466, 2000.
- [2] 김동준, 문영환, 김태균, 신정훈, 김용학, "PSS 입력신호에 따른 이득여유 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp 1060-1062, 1999.
- [3] 김동준, 문영환, 김태균, 신정훈, "대형계통 AVR/PSS 제어정수 튜닝을 위한 PWRSTAB 프로그램개발", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, pp25-pp28, 1999.
- [4] "Real-Time Digital Simulator Power System Components User's Manual", RTDS Technologies Inc. 1997.