

여자시스템 제어 및 진단기법 개발

신만수, 류호선, 이주현, 임익현, 김봉석, 송성일
 한전 전력연구원

The Development of Control & Diagnostic Technique for Digital Excitation System

Shin Man-su, Ryu Ho-sun, Lee Ju-hyun, Lim Ick-hun, Kim Bong-seok Song Seong-il
 KEPCO KEPRI(Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - This research is developing the technique of troubleshooting in digital excitation system of nuclear power plant. and the design technique of excitation system is thought to be advanced through this research. Especially, the development of simulator enables to accumulate digital control technique, more analysis for excitation system algorithm, etc helps to develop other nuclear power plants.

로 제어기 및 정류기를 구성하였다. 그 시뮬레이터 구성 전략은 현장과 최대한 똑같이 구현하는 것인 관계로 정류기는 축소형으로 제작하였으나 설계전압은 현장과 같게 구성하였다. 제어 시스템(또는 제어 카드)로 입력되는 각종 입출력 신호들을 현장과 같게 구성하였다. 다음은 그 분석내용에 대한 것이다.

1. 서 론

분석한 발전기 여자 시스템은 DSP(Digital Signal Processor)를 사용한 외국산 디지털 제어 시스템으로 각종 아날로그 및 디지털 입력 신호를 받아서 기능블록 형태의 소프트웨어 프로그램방식으로 구성되어 있다. 본 시스템은 발전기 계자 전류량을 조정하여 발전기 단자전압과 무효 전력 제어 외에 제어대상인 발전기에 대해서 전기적 또는 열적 특성 보호와 제한 운전을 수행한다. 분석 대상 디지털 제어시스템은 제작자가 시스템 제어기의 하드웨어와 소프트웨어 핵심 기술을 개방하지 않은 폐쇄형 방식으로 운용자가 시스템 제어기의 하드웨어와 소프트웨어에 대한 기술 해석에 제한을 받아 왔다. 한편 발전기 여자시스템은 수십 볼트의 낮은 전압으로 제어되는 약전 디지털 부분과 수천 암페어의 대전류 정류기로 구성된 시스템으로 발전소의 모든 시스템이 정상적으로 기동되어 운전이 되는 상황에서 마지막으로 기동되는 시스템이다. 즉, 발전소의 다른 모든 시스템이 정상운전이 되는 상태에서 시스템의 건전성이 확인된다는 것을 의미한다. 발전소가 정지된 상태에서 여자시스템만을 단독으로 기능시험을 실시하기 위해서는 그 동안 가부하(Load Bank) 등을 이용하여 제한적으로 검증을 해 왔다. 본 연구에서는 특별히 설계 제작된 시뮬레이터가 그 기능시험을 거의 실제 운전애 가까운 수준으로 구현한 내용을 보여준다.

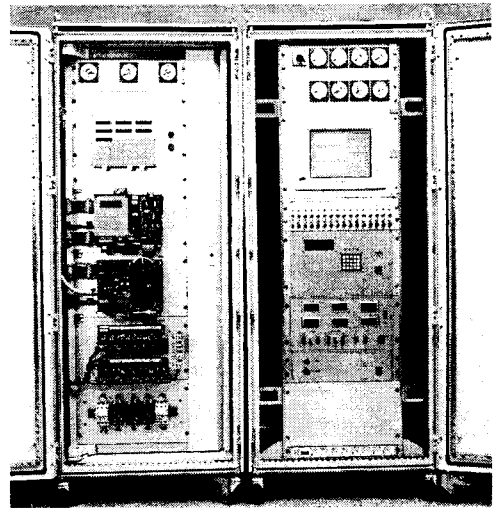


그림 1. 여자시스템 오프라인 진단용 시뮬레이터

2. 본 론

대상 발전소에 적용된 외산 발전기 제어시스템에 대한 오프라인 진단용 시뮬레이터를 그림 1과 그림 6처럼 구성하여 제어 알고리즘 등을 분석하였다. 본 시뮬레이터 구성은 발전기를 모델링한 후 별도의 모의 발전기 장치, 이것과 연관된 아날로그 및 디지털 신호 발생장치, 축소형 여자 변압기와 가부하(Load bank) 장치 등으로 되어 있다. 다시 정리하면, '여자시스템 오프라인 진단용 시뮬레이터'(이하 시뮬레이터)는 현장 발전기 제어시스템을 유사하게 구성한 제어기(축소형 정류기 포함) 1대와 발전기와 계통을 모의한 시뮬레이터 판넬 등으로 요약할 수 있겠다. 참고로 현장 제어시스템은 제어기와 정류기가 총 3대로 구성되어 있으나, 경비 절감 목적으로 1대

2.1 초기 제어 프로그램 다운로드

제작도면과 현장 연결 사항을 최종 점검하고 TCCB(제어 연산카드) 등의 점퍼를 확인 정정하여 제어 프로그램을 다운로드하였다. 다운로드 후 TCCB 카드와 관련된 것으로 추정되는 고장코드가 취임되었는데 실패 TCCB로 교체 후 고장 코드가 제거되었다.

2.2 단독 제어기 및 정류기 구성

현장 시스템과 다르게 제어기와 정류기가 구성된 관계로 몇 가지 프로그램 상에서 파라미터를 변경했는데, 바로 다병렬 운전을 단독 운전으로 변경하는 부분이다. 그런 부분을 찾아서 수정하는데 많은 시행착오를 겪었다.

2.3 수동 운전(MVR)과 자동운전(AVR) 정상화

먼저 시뮬레이터가 정상으로 가동되기 위해서는 현장과 유사하게 구성된 코어 판넬(제어기 및 정류기 판넬)이 수동 운전이 가능해야 하는데 여러 가지 예측하지 못한 현상들이 나타나는 관계로 정상화 시키는데 상당한 시행착오를 겪었다. 예상하지 못한 사항이 발생할 때마다 제한적으로 제공되는 지침서를 통해서 주요 제어 파라미터의 변화 추이를 관찰하는 방법으로 해석했다.

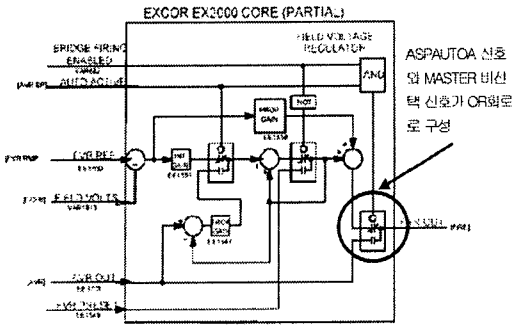


그림 2. 수동 조정기(MVR, FVR)

결국 위 그림과 같이 다병렬 운전을 단독 운전으로 변경하는 과정에서 일부 신호의 미입력으로 비정상적인 제어신호가 송출되었으나 강제입력을 주는 방법 등으로 정상화하고 시뮬레이터 판넬 정상화와 함께 자동운전 모드도 정상화하였다.

2.4 주요 운전 검증

여자시스템의 주요 운전 사항을 운전지침서에 의거하여 재검증하였다.

2.4.1 자동 운전(AVR)과 수동운전(FVR)

자동운전모드에서 기동을 하여 무부하 정격 계사전압 유효기와 발전기 정격 단자전압 확립을 확인하였다. 또한 수동운전모드(FVR)로 기동하여 기 설정된 95%의 무부하 정격 계사전압 유효기를 확인하였다. 모드 절체시의 과도 현상 유무를 확인하였다.

자동운전모드에서 발전기 단자 전압 상승 및 하강조작을 실시하여 운전범위 등을 다음 표와 같이 확인하였는데, 시뮬레이터 판넬과 연계되어 AVR 모드에서 수행되었고 부하 상태는 계통병입 직전(또는 직후) 상태이다.

표 2. 발전기 단자 전압 운전 범위 확인(1pu=22.00kV)

점호명령[cnt]	발전기전압[kV]	계사전압[V]	비고
768	21.99	111	
2171	23.29	159	ASPVHZA 동작
-970	20.57	56	ASPUELA 동작
-579	20.89	67	ASPUELA 해제

2.4.2 과여자 제한 운전(OEL, FCR)

모의 계통병입된 상태에서는 시험하지 못하고 분리기(Shunt)에 임의의 신호를 인가하여 시험을 실시하였다.

표 3. On-line OEL 시험(AFFL = 3508[Adc])

Shunt [mV]	계사전류 [Adc]	OEL 반환시 [sec]	OET 반환시 [sec]	계사전류 [p.u.]
64	3745	220	300	1.07
66	3862	85	110	1.10
68	3980	70	85	1.13
70	4098	55	60	1.17
71	4157	48	50	1.19
71.9	4209	48	48	1.20
72	4215	43	44	1.20
100	5938	10	10	1.69

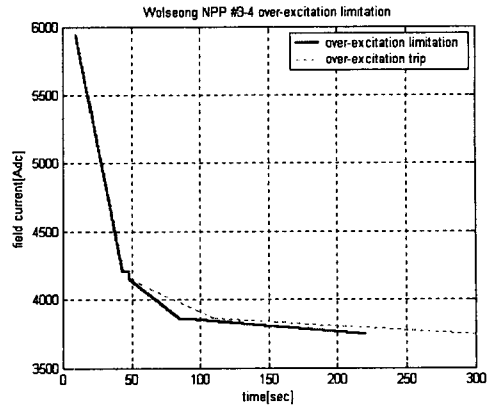


그림 3. 부족여자 제한과 트립 곡선

2.4.3 부족여자 제한 운전(UEL)

부족여자 제한시험은 여자 시스템을 자동모드(AVR) 상태에 두고, 시뮬레이터를 EX2000 Core 추종모드로 하였다. 마지막 시험점을 제외하고는 시험 시작점을 발전기 단자전압 1pu로 하였고 터빈 출력을 0[pu], 0.3[pu], 0.6[pu], 0.9[pu], 1[pu]로 하였다. 터빈 출력 1.2[pu]는 시뮬레이터 용량 관계상 수행하지 못했다. 745[MW], -114[MVAR] 지점에서 시험시 UEL 동작할 때 계사전압 190-200V 동요현상 발생했으나 실제 발전기 계통에서 발생하지 않을 것으로 보인다.

표 4. 부족여자 제한시험

발전기전압 [Vac]	유효전력 [MW]	무효전력 [MVAR]	터빈출력 [pu]	전기자 전류 [%]	계사전압 [Vdc]	계사전류 [Adc]
20520	10	-220	0.0	28	60	55
20690	254	-231	0.3	44	84	101
20990	493	-208	0.6	69	137	201
21600	745	-114	0.9	92.5	200	300
22180	822	-40	1.0	99	218	358

UEL 소프트웨어 알고리즘 예는 $P \cdot \text{kap} - Q - Vt \cdot Vt \cdot \text{kv}t > 0$ 에서 동작하는데, 상기 시험에서 보듯이 발전기 전압이 1[pu] 보다 떨어지면 UEL 동작치는 전형적인(1pu에서 정정된) UEL보다 무효전력이 큰 값에서 동작된다.

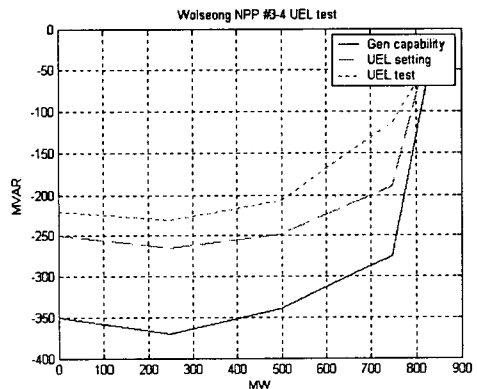


그림 4. 월성원자력 3-4호기 UEL 시험 결과

2.4.4 최종 점호 명령 신호

다음 그림과 표에서 보듯이 최종 점호 명령 counts와 계사전압과의 상관 관계는 계사전압이 0[Vdc] 이상에서는 선형성을 보이며 특히 FIRCMD[Cnts]가 0[Cnt] 이상에서는 정비례관계에 있음을 확인할 수 있다. 본 시험은 FVR 모드에서 수행되었고, 80%의 VFNL에서 120% VFFL까지 상승시 120초 정도 소요됨을 확인하였다.

표 5. 최종 점호 명령 신호 분석

FIRCMD [cnts]	계자 전압 [Vdc]	MFLDADJ [cnts]	FLOPO [cnts]	비고
-11776	9	3014	0	FLDMOD = 33024
-6096	-5	-145	-6096	FLDMOD = 0
-4312	0	-4	-4297	FLDMOD = 0
-10	84	2229	-3	FLDMOD = 0
348	96	2538	316	FLDMOD = 0
899	114	3014	907	FLDMOD = 0
1097	120	3170	1100	FLDMOD = 0
7116	443	11720	7145	FLDMOD = 0
8483	532	14077	8483	FLDMOD = 0
11775	755	20000	11773	FLDMOD = 0

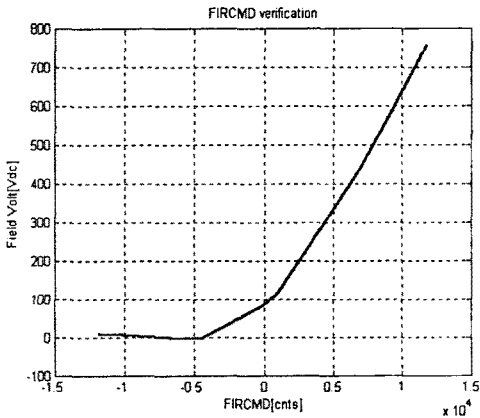


그림 5. 최종 점호 신호와 계자 전압 유기

2.5 동기발전기 오프라인 시뮬레이션 프로그램 개발

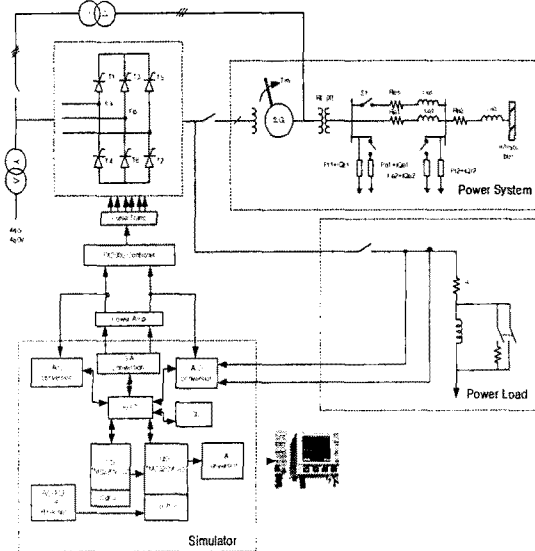


그림 6. EX2000 시뮬레이터 전체 구성도

본 프로그램은 동기 발전기 및 여자 제어기의 다양한 외란에 대한 과도 상태를 해석하고 그 동적 특성을 모의하는 목적으로 제작되었으며 최대한 사용자의 편의를 고려하여 손쉽게 이용할 수 있는 사용자 인터페이스를 장착하였다. 동기 발전기의 모델로는 Standard, SSFR2 모델을 사용 하였고 여자 제어기에는 IEEE type ST4B형의 모델이 사용되었다. 전체 시스템의 구성은 1개의 동기 발전기가 변압기 및 병렬 전송선로를 통하여 무한 모선에 연결되어 있고, 부하는 발전기단과 무한모선단의

두 장소에 연결되어있다.

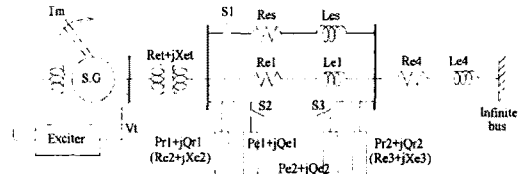


그림 7. 모의 프로그램의 블록 선도

위 그림은 시뮬레이터 소프트웨어 프로천체 시스템의 블록선도를 나타낸 것이다. 본 프로그램의 특징은 다음과 같다. 동기 발전기 및 여자제어기의 외란에 대한 과도 응답을 손쉽게 모의하고 그 결과를 데이터 파일로 저장하거나 그래프로 출력할 수 있다. 편리한 사용자 인터페이스를 이용하여 발전기의 종류 및 발전기, 여자 제어기, 전송선로, 부하 등의 파라메타를 임의로 변경할 수 있다. 5개까지의 외란을 순차적으로 인가할 수 있으며, 프로그램의 모듈화로 다른 형태의 여자 제어기, 전력계통 안정화장치 등을 추가하기가 용이하다.

3. 결 론

경제적 측면에서 살펴보면 터빈 발전기를 무부하(계통 병입 직전 상태) 운전하면서 발전기 전압을 확립하여 여자 시스템의 종합 기능시험을 하던 것을 터빈발전기를 기동하지 않은 정지 상태에서 시뮬레이터를 이용하여 여자시스템을 종합 기능 시험을 실시함으로써 운전상태에서 발생할 수 있는 고장을 사전에 점검하므로 발전정지 가능성을 줄이고 발전소 기동 전력비 등이 절감된다. 국내에서 해결이 어려운 문제점 발생으로 제작사의 기술 지원에 따른 비용 절감 및 문제점의 신속한 해결로 발전소 가동률 향상을 도모할 수 있을 것이다.

기술적 측면에서 살펴보면, 디지털 방식의 제어기술은 고 부가가치 기술로서 선진국에서 기술이전을 회피하고 있으며, 비개방형 소프트웨어 구조로 인해 내부 제어 및 통신 알고리즘에 대한 해석이 불가능하며 이러한 이유로 인해서, 국내에서 운용중인 상당수의 제어기술이 외국 제작사에 전적으로 의존하고 있는 실정이다. 따라서 비개방된 디지털 제어시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 기술을 분석하고 해석함으로써 시스템의 예방 정비를 완벽하게 수행 가능하며 향후 현장에서 해결하지 못하는 유지정비 또는 긴급 고장 복구와 같은 문제점 발생시 국내 기술인에 의한 신속한 사후관리도 가능할 것으로 기대된다.

마지막으로 대상 발전소와 같은 설비를 운용 중인 발전소에 본 기술의 확대 적용될 것으로 기대되며 설비 운용요원의 기술교육을 통한 기술의 확대 전파 전수도 가능하게 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- (1) GEK 103558, GENERREX™-PPS(Potential Power Source) Excitation System, Feb 1995
- (2) GEH-6120 EX2000 Digital Exciter User's Manual, April 1993
- (3) GEH-6121 EX2000 Startup, Adjustment, and Troubleshooting, March 1994
- (4) GE Control System Toolbox 5.2, 1996-1998
- (5) P.Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, p45-166, 1994