

원자력 터빈 제어시스템 개발 현장 적용

우주희, 정창기, 김병철, 최인규
한국전력공사 전력연구원

Application of Turbine Control System for Nuclear Power Plant

Woo Joo-Hee, Jeong Chang-Ki, Kim Byung-Chul, Choi In-Kyu
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 국내 원자력 터빈 발전소의 아날로그 전기식 터빈제어시스템을 국내 기술에 의해 디지털 삼중화 제어시스템으로 개조하여 현재 성공적으로 운전되고 있다. 적용된 시스템의 구성 및 기능에 대해서 설명하고, 시운전 결과에 대해서 간략히 언급하고자 한다.

1. 서 론

터빈 제어시스템은 계통 사정에 따라 여러 가지 제어 밸브를 자동으로 조정하여 계통 주파수를 정격으로 유지하며, 비상사태 발생시 터빈을 안전하게 정지하기 위한 설비이다. 외국의 경우에는 '80년대 초반에 터빈 전용의 아날로그 제어 방식을 시작으로 '80년대 후반에는 디지털 제어 방식까지 연구개발 함으로서 기술이 급격히 발달하였고, '90년대 초반에는 제어 시스템의 신뢰성 향상을 위하여 삼중화된 구조의 터빈 제어 시스템으로 기능이 향상되었다. 또한, 현재 발전시장의 추이를 감안하면 터빈 분야의 경쟁력 확보는 필수 불가결한 요소로 판단되며, 특히 터빈 제어시스템 분야의 기술 자립은 터빈의 기계설비와 패키지로 공급하므로써 부가 가치 창출 측면에서 그 필요성이 절실하며 선진국의 기술이전 기피현상으로 시급히 확보해야 할 핵심 기술이다.

고리원자력 1호기가 1978년 상업 운전된 이래 24년간 운전된 노후화 설비로서 전력연구원이 터빈제어 시스템을 개조한 결과에 대해 본 논문에서 소개하고자 한다. 전력연구원이 현장 설치한 디지털 터빈제어시스템은 주제어 모듈과 입출력 보드는 기존에 상용화된 제품을 사용하였고, 제어 알고리즘 및 운전원 화면 구성을 위해서 범용의 프로그램을 선정하여 제어 프로그램과 운전 조작 시스템을 현장 여건을 고려하여 개발한 후, 터빈을 기동하여 발전기를 계통에 병입한 후, 전 부하까지 출력을 증발하는 운전과정 및 밸브 시험, 부하차단시험, 과속도 비상 정지시험, 부하추중운전 등의 시운전 결과를 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 적용 대상 발전소의 터빈 제어시스템 개요

적용대상 발전소의 기존 제어시스템은 아날로그 제어기 모듈로서 각 기능별로 15종 (Run Up Module, Valve Control Module, On Load Test Module 등)이 있다. 기존 시스템은 1970년 후반에 도입된 모듈로서 최근의 제어시스템에 비해 각종 교정 및 정비가 불편하고, 운전중 여러 제어변수의 감시 및 조정이 힘들고, 운전 데이터의 이력 제공 기능이 없다. 아래의 표에 기존 시스템과 개발된 시스템을 간략히 비교하였다.

	기존 시스템	개발된 시스템
제어 방식	아날로그 전기식 조속기	- 디지털 전기식 조속기
운전 조작반	다이얼, 누름버튼	- 범용 GUI 프로그램을 탑재한 윈도우즈 기반 (컴퓨터 조작)
제어 구성	아날로그 전기회로 구성	- 윈도우즈 기반의 Function Block 구성 (기능 추가 편리) - 기존 설비 철거에 따른 필요한 제어로직을 개발

2.2 개발된 시스템의 구성 및 기능

터빈제어시스템의 구성은 그림 1과 같이 두 분야로 나눌 수 있다.

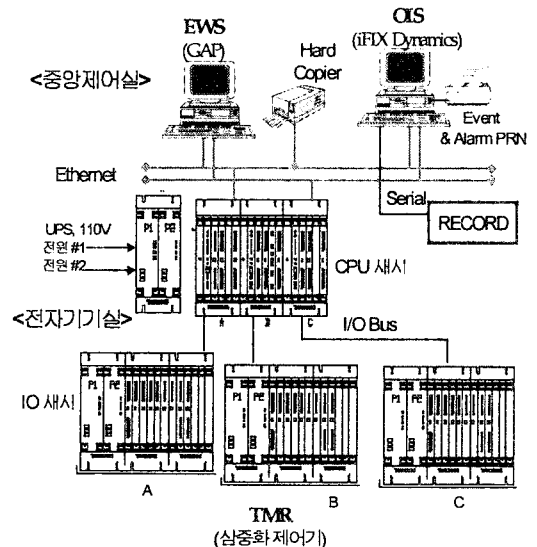


그림 1. 적용된 터빈 제어시스템의 구성도

하나는 전자기기실에 설치된 삼중화 제어기인 TMR(Trippl Modular Redundancy)구조의 상용화된 PLC가 있다. TMR은 제어로직 및 각종 자기진단 기능을 수행하는 CPU 모듈, 현장의 각종 센서로부터 신호를 입력받고 현장의 각종 기기를 구동하기 위한 신호를 출력하는 입출력 모듈(AI : Analog Input용, AO : Analog Output용, DI : Digital Input용, DO : Digital Output용, Counter : Pulse Input용, Actuator Driver : 밸브 구동

용)과 운전원 조작시스템과 통신을 위한 모듈 등으로 구성되어 있다. 또 다른 하나는 중앙제어실에 설치된 운전원 조작 및 감시시스템이 있다. 발전 운전원들이 GUI(Graphic User Interface)에 의해 각종 현장기기를 구동할 수 있는 OIS(Operator Interface Station)와 발전 정비원들이 TMR 및 OIS를 유지 보수하기 위한 EWS(Engineering Work Station)이 있다. TMR과 운전원 조작반은 Ethernet으로 이중화 구현되어 있다.[2] 또한 외부 기기(레코더 등)와의 인터페이스를 위해 OIS의 직렬 통신 포터를 이용하여 운전원들에게 제공하고 있다.

EWS는 발전 정비원이 TMR의 현재 이상상태 여부를 확인하며, 제어로직을 작성하고 다운로드하며 운전중에 제어변수를 감시 및 조정할 수 있는 기능을 제공해 준다. IBM 호환 컴퓨터로 구현하며 Windows 2000을 운영체제로 하며 TMR 제작사에서 제공해주는 전용 소프트웨어인 "GAP" 이라는 프로그램을 사용한다. GAP은 제공된 각종 기능 블럭(Function Block)을 사용하여 사용자가 원하는 제어 알고리즘을 구현하도록 해주는 프로그램이다.

OIS는 발전 운전원들이 발전소 현장의 운전상태를 감시하며 각종 구동기의 동작을 GUI에 의해 가능하도록 해준다. IBM 호환 컴퓨터로 구현하며 Windows 2000을 운영체제로 하며, GUI를 위한 프로그램은 Intellution사의 "iFix"를 사용하여 구현하였다.[3]

2.3 제어시스템의 현장 적용 결과

전력연구원에서 터빈제어시스템을 개발, 제작 및 설치 완료 후, 기동전 모의시험을 수행하여 전체 제어시스템의 건전성을 확인한 후 터빈의 최초기동을 실시하였다. 터빈 승속중에는 고압 터빈축의 바이패스 밸브 (HPSV, 4개)에 의해 터빈으로 유입되는 증기의 양을 제어하고, 발전기 출력 증감할 시에는 고압 터빈축의 조속 기능을 가지는 밸브 (HPGV, 4개)에 의해 이루어진다.

2.3.1 터빈 승속

저속 회전 상태인 터빈에 증기를 공급하여 1400rpm, 1700rpm, 1800rpm으로 단계적으로 승속하여 각각의 속도에서 진동, 팽창, 편심 등의 중요 운전 변수를 관찰한 후 이상이 없음을 확인하였으며, 터빈속도 1800rpm, HPSV 개도 1%를 유지하였으며 별도의 절차에 의하여 시행하였다. 아래 그림은 약 45분 동안 관련 변수들의 그래프를 보여주고 있다.

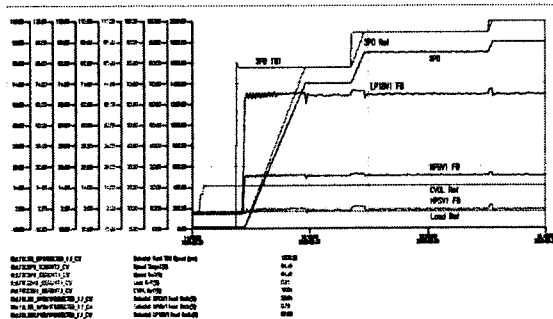


그림 2. 터빈 승속 결과

2.3.2 전기식 과속도 시험 및 재 기동

전기식 과속도 비상정지 설정값을 105%로 설정하고

HPSV를 이용하여 속도를 상승시킨 결과 터빈속도 105%에서 정지됨을 확인하였다. 전기식 과속도 비상정지 장치에 의하여 터빈이 트립되어 속도가 1300rpm 정도로 감소하였을 때, 재 승속하여 터빈을 1800rpm으로 유지하한 결과를 아래 그림(약 18분간)에서 보여주고 있다. 재 기동시에도 HPSV가 터빈 속도제어를 잘하고 있음을 보여주고 있다.

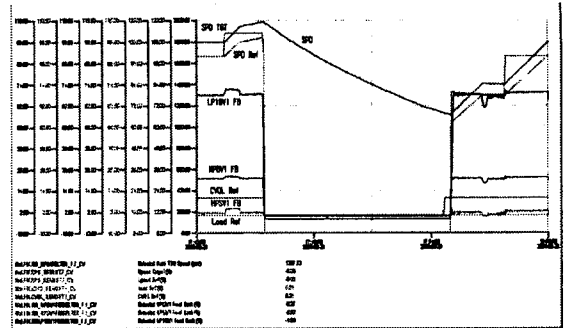


그림 3. 전기식 과속도 시험 및 재 기동 결과

2.3.3 초기부하 확립 운전

터빈 속도가 1800rpm을 유지하는 상태에서 발전기 제어계통에서 수동으로 계통병입을 실시하였으며 약 60MW를 형성하였다.

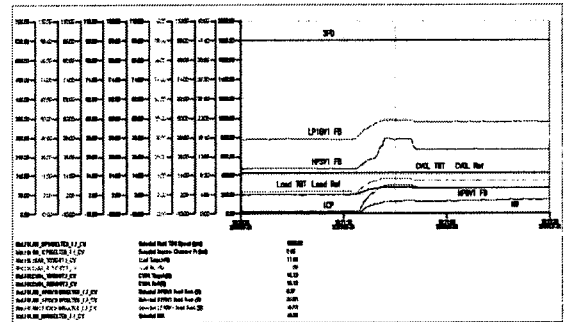


그림 4. 초기 부하 확립 운전 결과

2.3.4 출력 증발

초기부하를 형성한 후 운전원이 설정한 부하율로 부하설정값을 75%까지 조절하여 발전기 출력을 증가시켰다. 약 16시간동안의 결과를 아래 그림에서 보여주고 있다.

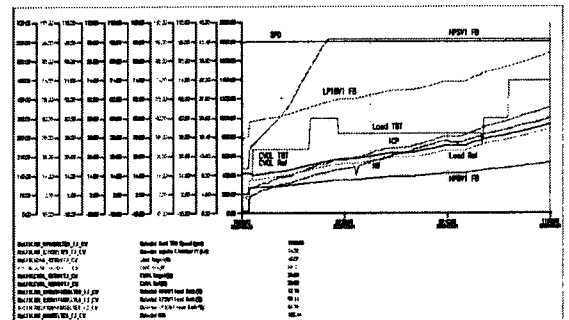


그림 5. 출력 증발 운전 결과

