

## 발전소 과도상태 지능형 감시시스템 개발

김종석, 정일석  
전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

### 요 약

발전소 운영자는 운전 시작시점에서 수명 종료시점까지 발전소 과도상태 종류별 횟수가 설계 제한치를 넘지 않도록 감시하여야 하며 이를 위해서는 발전소 운전 과도상태 기록유지가 필요하다. 그러나 현재와 같은 발전소 운전 Strip Chart나 Log Sheet를 이용하는 방식으로는 과도상태 발생여부 판단이 어려울뿐만 아니라 카운팅 자체에도 많은 시간이 소요되어 좀더 편리한 방법의 도입이 필요하다. 본 연구에서는 발전소 주전산기의 운전 데이터를 이용한 과도상태 데이터 수집 및 지능형 과도상태 판단방법을 개발하여 시범 적용하였다. 과도상태 데이터 수집은 전송되는 데이터와 이전 데이터를 비교하여 변화가 있을 시에만 데이터 압축방식을 이용하여 저장하였고, 최대/최소온도, 최대/최소압력, 온도/압력기울기 등의 운전데이터를 기 설정된 과도상태의 전체 변수와 비교하여 오차율 범위내에 들면 동일한 과도상태로 판단하였다. 원자로 냉각재 계통의 온도 및 압력과 같이 계기 오차가 비교적 작은( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) 운전변수는 과도상태 판단이 용이하나 오차가 큰 운전변수의 경우에는 과도상태 판단을 위한 보다 상세한 알고리즘의 개발이 필요하다.

### 1. 서론

원자력 발전소의 압력용기는 수명기간동안의 건전성을 보장하기 위해 운전중 발생하는 과도상태 종류별 발생횟수를 제한하고 있으며 이러한 과도상태의 형태별 제한횟수는 발전소 최종안전성분석보고서<sup>1)</sup>에 명시되어 있다. 따라서 발전소 운영자는 운전 시작시점에서 수명 종료시점까지 발전소 과도상태 종류별 횟수가 설계 제한치를 넘지않도록 감시하여야 하며 이를 위해서는 발전소 운전 과도상태 기록유지가 필요하다. 그러나 현재와 같은 발전소 운전 Strip Chart나 Log Sheet를 이용하는 방식으로는 과도상태 발생여부 판단이 어려울뿐만 아니라 카운팅 자체에도 많은 시간이 소요되어 좀 더 편리한 방법을 도입할 필요가 있다.<sup>2)</sup> 전력연구원에서는 발전소 수명기

간 중 발생하는 과도상태 데이터를 발전소 주전산기의 운전변수를 통해 수집하고 과도상태 형태별 발생횟수를 자동 카운팅하기 위한 방법론을 연구하였다. 본 논문에서는 진행중인 “발전소 과도상태 지능형 감시 시스템”의 개발현황과 주요기능을 소개하였다.

## 2. 발전소 과도상태 감시시스템 개발 현황

국외의 과도상태 감시 및 피로분석 시스템에는 웨스팅하우스의 WESTERM<sup>3)</sup>, EPRI의 FATIGUE PRO<sup>4)</sup>등이 있으나 과도상태를 자동으로 카운팅하는 기능은 EPRI의 FATIGUE PRO 2.0 버전에만 있다. 국내에서는 한국전력기술(주) 및 원자력연구소에서 On-Line 용력 및 피로계수 계산 프로그램을 개발한 바 있다. 그러나 이들은 용력분석이 필요한 특정 부위의 온도 데이터를 취득하여 용력 및 피로해석을 수행하므로 국부 피로분석에는 적합하나 발전소 주전산기의 운전변수를 이용한 전체 과도상태 발생을 감시할 수 없는 단점이 있다.

## 3. 데이터 수집 및 분석 방법

Fig.1은 “발전소 과도상태 지능형 감시시스템”의 하드웨어 구성 및 과도상태 분석 흐름을 도식화한 것이고 감시시스템의 단계별 기능인 데이터 수집, 과도상태 분석, 원격 과도상태 감시의 상세내용은 다음과 같다.

### 3.1 데이터 수집

고리 1호기 발전소의 OACS/HDSR (Operation Aid Computer System/History Data Server)은 매 10초마다 원격 감시망 호스트 컴퓨터에 발전소 운전 데이터를 전송하며, 이 데이터는 RS232C 통신포트를 통해 각 사무실의 단말기(PC)로 전송된 후 그래픽 화면 및 파일로 출력된다. “발전소 과도상태 지능형 감시 프로그램”은 매 1분마다 이 운전데이터 파일에서 특정 운전변수(온도, 압력 등)만을 읽어 과도상태 데이터 파일로 저장한다. 매 1분마다 읽어들이지는 운전변수는 항상 이전 시간의 운전변수와 비교하여 계측 오차범위를 넘지 않거나 동일한 값이면 과도상태 데이터 파일에 저장하지 않도록 하는 데이터 압축기법을 사용함으로써 저장용량을 축소시킬 수 있다. 모든 과도상태 데이터 파일의 이름은 저장일자 형태로 저장되어(98-03-20.dat) 향후 과도상태 데이터 조회를 손쉽게 하였다.

### 3.2 과도상태 분석

발전소의 설계 과도상태는 FSAR에 정상 상태(Normal condition) 14개와 비정상 상태(Upset Condition) 13개로 분류되어 있다. “발전소 과도상태 지능형 분석 프로그램”에서 수집된 운전데이터를 바탕으로 과도상태 발생여부를 판단하기 위해서는 4단계의 과정을 거치게 되는데 먼저 운전데이터 파일의 데이터 갯수를 읽어 과도상태가 존재하는지 여부를 파악하고, 최대/최소

온도, 최대/최소압력, 온도/압력 기울기를 계산한 다음, 설계변수와 운전변수를 비교하여 오차율을 계산하고 오차율이 판정범위내에 들 때 과도상태 데이터베이스에 자동입력한다.

### 3.3 원격 과도상태 감시

본 과도상태 감시시스템에서 수집된 데이터는 과도상태 카운팅 결과와 과도상태별 설계 응력을 조합하여 오프라인으로 CUF(Cumulated Fatigue Usage Factor)를 계산하기 위한 것이므로 실시간 피로계산을 위한 그린함수를 사용하지 않았다. 그러나 시스템 설치 후 설계 과도상태 목록에 들어있지 않은 새로운 과도상태가 발생하면 이에 대한 응력을 계산하고 과도상태 감시시스템의 데이터베이스에 추가하여야 하므로 감시결과에 대한 주기적 확인을 위한 원격 감시기능이 필요하다. 원격 감시는 한국전력의 사내 인트라넷 LAN망을 이용하여 전력연구원에서 고리 1호기 과도상태 감시용 PC로 접속한뒤 과도상태 감시결과를 확인할 계획이다.

## 4. 지능형 과도상태 감시 전산 프로그램 구성

### 4.1 Hareware 및 Software 구성

발전소 OACS로부터 데이터를 받아내는 시스템은 Sun workstation이며 10초단위로 과도상태감시 PC에 발전소 운전변수를 전송한다. 지능형 과도상태 감시프로그램은 Windows 95용 한글 VisualBasic 5.0으로 개발되었고 과도상태 운전데이터 자동인식을 위한 지능 알고리즘은 VisualBasic에서 자체 제작하여 사용한다. 향후 이 지능 알고리즘 부분은 NeuroWin(인공지능 신경망용 상용 DLL)로 전환하여 과도상태 진단속도를 향상시킬것이다.

### 4.2 화면구성

“발전소 과도상태 지능형 감시시스템”의 주요화면은 사용자 관리를 위한 초기화면, 과도상태 감시용 데이터 수집 화면, OACS데이터 및 수집된 과도상태 데이터 편집화면, 과도상태 데이터를 지능적으로 분석하여 과도상태 종류를 판단하게 해주는 화면으로 나누어진다. Fig.2에서는 (a) 본 프로그램의 주화면 및 (b) 발전소 과도상태 지능형 분석 프로그램 화면을 나타내고 있다. 본 감시시스템은 대부분 시스템 내부에서 작동하여 화면으로 나타나지 않으나 오류 데이터 수정 및 새로운 과도상태 수동 분석을 용이하게 하기위해 그래프 및 데이터베이스 입출력 화면을 추가 제작하였다.

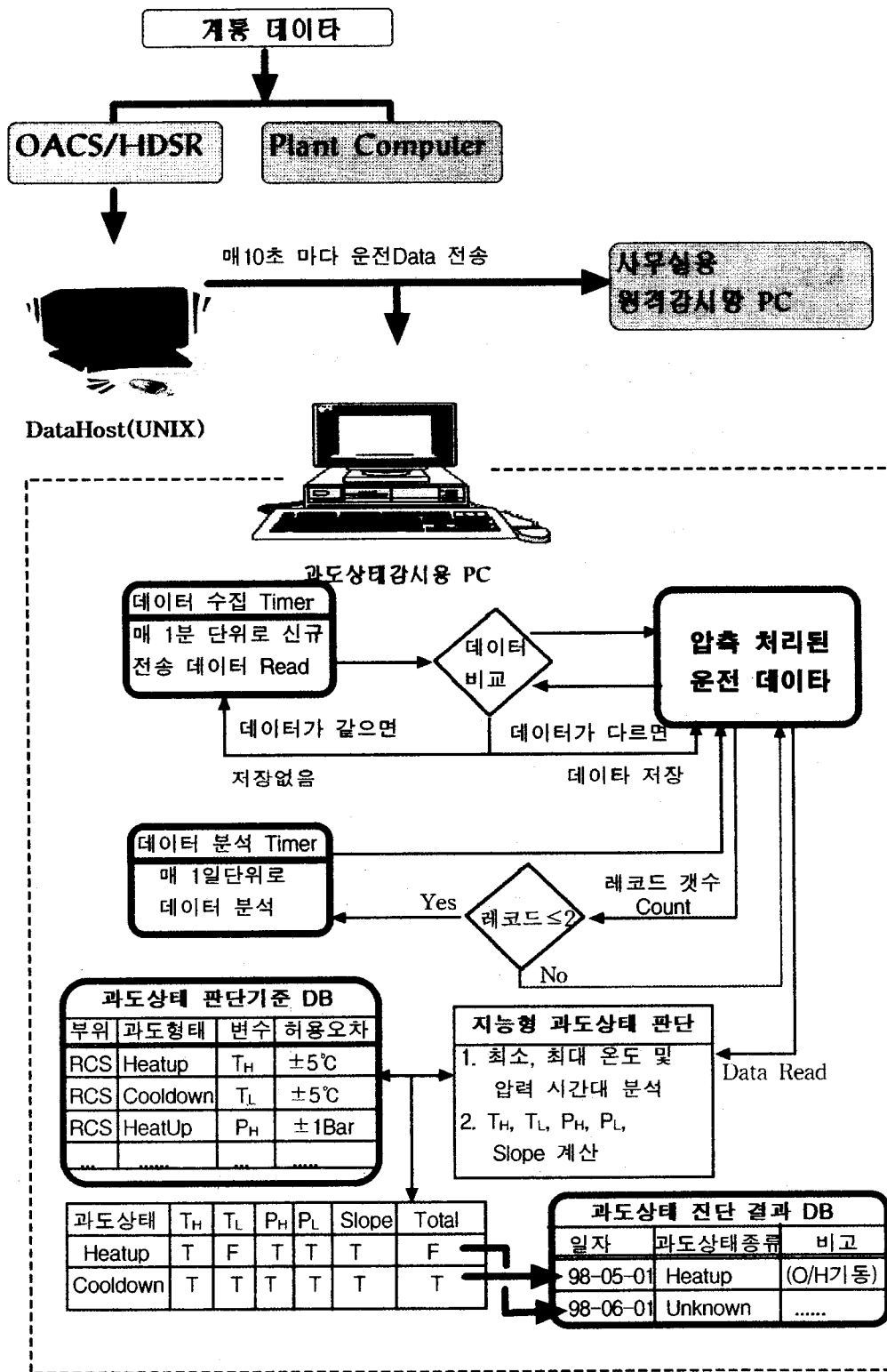
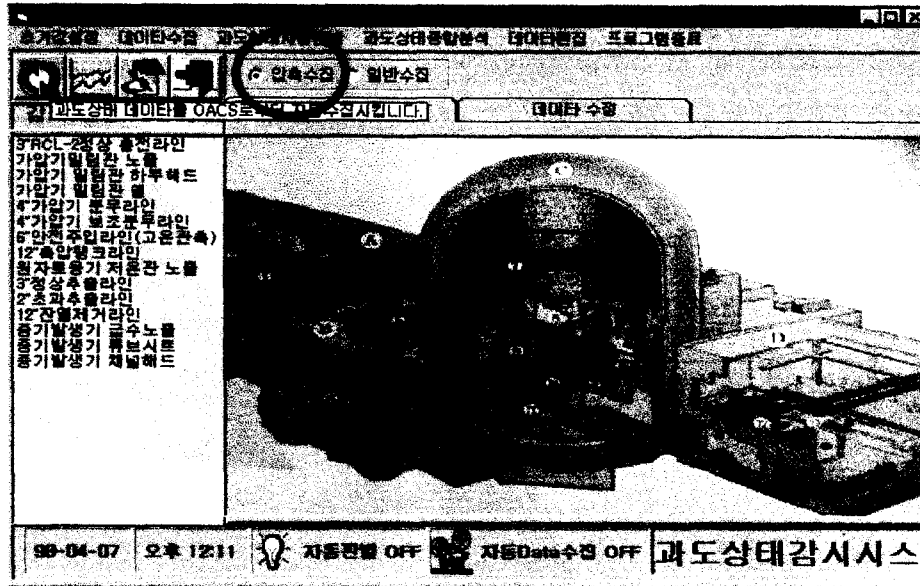
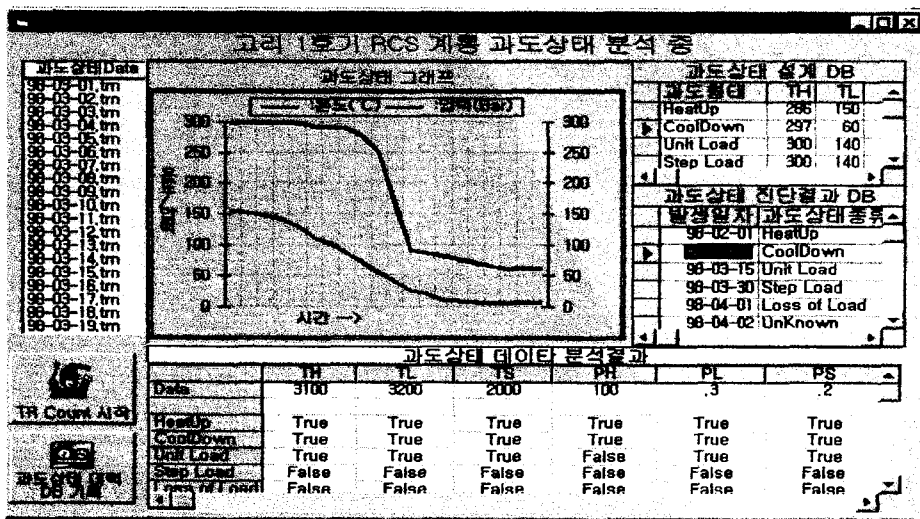


Fig. 1 발전소 과도상태 분석절차



【 (a) 과도상태 지능형 감시시스템 주 화면 】



【 (b) 과도상태 데이터를 지능적으로 분석하여 과도상태 종류를 판단하는 화면 】

Fig.2 발전소 과도상태 지능형 감시시스템 주요 화면

## 5. 결 론

발전소 주전산기의 운전 데이터를 이용한 과도상태 데이터 데이터 수집 및 지능형 과도상태 판단 프로그램을 개발하였다. 과도상태 데이터 수집은 전송되는 데이터와 이전 데이터를 비교하여 변화가 있을 시에만 데이터 압축방식을 이용하여 저장하였고, 최대/최소 온도, 최대/최소 압력, 온도/압력 기울기 등과 같은 전체 운전변수의 변화량이 오차율 범위내에 들면 동일한 과도상태로 판단하였다. 원자로 냉각재 계통의 온도 및 압력과 같이 계기 오차가 비교적 적은( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) 운전변수는 과도상태 판단이 용이하나 오차가 많은 운전변수의 경우에는 보다 상세한 알고리즘의 개발이 필요하다. 지능형 감시를 위한 알고리즘은 향후 실제 운전 데이터를 분석하여 보완할 계획이다.

## 참고문헌

- 1) 고리 1호기 FSAR 5.2 Table 5.2-2
- 2) 수명관리 1단계 연구보고서
- 3) 웨스팅하우스 WCAP "Westinghouse Thermal Event Monitoring System Version 2.0"
- 4) Structural Integrity Associates, Inc website("http://www.structint.com/fatpro")