핵연료교환기 진단 시스템 개발

강권우, 은성배*
한남대학교 정보통신공학과
*한남대학교 정보통신공학과

Development of a diagnostic system for a fuelling machine

Gwon-u Kang, Seong-bae Eun*
Dept of Information Communication, Han-nam University
*Dept of Information Communication, Han-nam University

요 약

핵연료교환기는 매일 일정량의 연료를 교체해 주어야 하는 중수로 원전의 특성상 작동이 빈번한 장비로 원활한 원자로 운전에 중요한 역할을 담당하고 있다. 이에 따라 핵연료교환기 점검시에 정비이력 관리 및 기기 이상 진단 기능을 추가하여 점검의 신뢰성을 높이고자 한다. 진단 시스템은 제어신호 및 진단신호 저장을 통하여 점검 상태에 대한 이력 관리가 용이해지고, 신호처리를 이용한 이상 분석을 통하여 기존에 확인 할 수 없는 이상신호를 확인 할 수 있다.

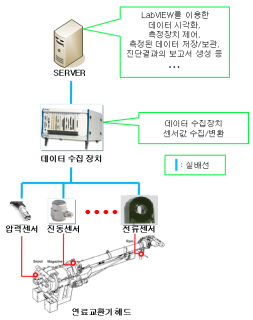
1. 서론

중수로 원자력 발전소를 많이 보유하고 있는 캐나다에서의 핵연료교환기[1]에 대한 진단은 정비실에서 작동 모사 장치를 이용하여 직접 핵연료교환기를 운전시키면서 핵연료교환기의 주요부분의 작동 여부만을 확인하는 방법으로 수행되었다. 이 방법은 핵연료교환기가 원자로내에서 핵연료를 교체하는 역할을 수행하기 전에 작동성을 점검하는 유용한 방법이기는 하지만 핵연료교환기의 점검시 상태에 대한 정확한 정보를 제공하지는 못한다. 따라서 핵연료교환기 점검시 효율성을 높여줄 핵연료교환기 진단 시스템의 개발이 필요하다.

2. 진단 시스템의 구성 및 기능 정의

1) 진단 시스템의 구성

진단 시스템은 아래와 같이 구성된다.



(그림 1) 진단 시스템의 구성

- SERVER : DAQ(Data acquisition)로부터 수집된 데이터를 LabVIEW를 이용하여 저장 및 신호처리 한다. 결과를 그래픽, 도표, 트랜드 등으로 시각화하고, 취득 데이터를 DBMS를 이용하여 저장하고 이력 관리를 한다.
- DAQ(Data acquisition) : DAQ는 데이터 수집 장치로써 부착된 센서의 값을 수집한다. 수집된 값을 SERVER에 전달한다. 데이터 수집시 원정보를 정확히 전달하기 위하여 충 분한 빠르기로 데이터를 측정해야 한다.
- 센서 : 연료교환기 헤드에 부착되어 압력신호, 진동신호, 위치신호, 전류신호를 측정한다. 정보의 왜곡이나 유실을 방지하기 위하여 실배선(hard-wire)으로 연결한다. 센서 부착시 Stud 등을 이용하여 탈부착이 용이하고 연료교환기 헤드에 영향을 주지 않도록 한다.

2) 진단 시스템의 기능

진단 시스템은 아래의 기능이 필요하다.

- 소프트웨어
· 신호의 취득 시작 및 정지(Auto 및 Manual 지원)
· 신호의 전처리 (Filtering, Enginnerig Unit 변환 등)
· 취득 데이터의 저장 및 이력관리(DBMS)
· 이상 진단에 필요한 신호처리 알고리즘 적용
· 진단 결과의 보고서 생성
· 취득 데이터의 Capture

- 하드웨어
· 이상 신호 진단을 위한 센서 설치
· 진단 정보의 손실 없는 빠른 샘플링

· 연료교환기 헤드의 변형 및 손상 없는 센서 부착

3. 이상 신호 측정 및 신호처리

진단 시스템은 이상 신호 분석[2]을 위하여 압력신호, 전류신호, 진동신호를 측정한다. 압력신호는 압력센서를 유압모터 양단에 설치하여 입력압·토출압을 측정한다. 입력압·토출압의 차압에 의하여 유압모터의 정상 동작 및 이상을 확인 할 수 있다. 전류신호는 솔레노이드 밸브 제어신호라인에 라인의 절단이 필요 없는 CT(Current Transformer)를 설치하여 전류를 측정하고, 솔레노이드 밸브의 실효값을 계산하여 동작시 제어전류 및 상태 변화시의 Inrush-Current를 분석하여 솔레노이드 밸브의 정상 동작 및 이상을 확인 할 수 있다. 진동신호는 기어 및 베어링의 진동 신호 측정을 위하여 자석 STUD를 제작하여 부착하였다. 진동 신호는 FFT(Fast Fourier Transform)와 Wavelet[3] 변환을 통하여 신호를 분석한다. FFT를 이용하여, 기어 및 베어링의 회전 주파수를 측정하고, 주기적인 이상 신호를 분석한다. Wavelet 변환을 이용하여 기기의 순간적인 이상 신호를 분석한다.

4. 진단 시스템 구현

아래와 같이 진단 시스템을 개발하였다. 개발된 진단 시스템은 Data Acquisition, Data Analyzer, Trend View, About 탭으로 구분되어지며, 각각의 기능은 다음과 같다.

(그림 2) 진단 시스템 초기 화면

- Data Acquisition : 데이터의 취득 및 저장을 관리하는 탭이다. 신호의 취득 시작 및 정지(Auto 및 Manual 모드)와 정비 정보 설정(Plant, Select Test)을 할 수 있다. 아날로그 입력 신호는 (6개의) 그래프, 디지털 신호는 램프의 ON/OFF로 실시간 입력을 확인 할 수 있다.
- Data Analyzer : 취득되어 저장된 데이터를 재생하고, 신호 처리하는 탭이다. 신호의 특성에 맞게 원신호를 보여주고, 원신호를 FFT, Wavelet, RMS, 차압으로 신호처리한 결과를 보여준다. 신호 처리된 결과는 이상 진단 분석에 필요한 정보 제공한다.
- Trend View : 취득되어 저장된 데이터를 (최대) 4개 재생하여 동일한 시간축에서 원신호를 비교하는 기능을 제공한다. 비교를 통한 신호의 경향을 분석한다.
- About : 프로그램 관련 정보를 설정 및 확인하는 탭이다. 취득 데이터를 저장할 저장위치 및 백업 위치에 대한 설정 기능이 있고, 데이터 취득 모듈의 Slot#, 샘플링 속도 등의 채널 정보를 확인 할 수 있다.

4. 진단 시스템 검증

진단 시스템의 검증을 위하여 고장시뮬레이터를 제작하였다. 고장 시뮬레이터는 볼베어링[4] 진동 측정 모듈을 제작하였다. 검증 결과는 아래의 표와 같다.

<표 1> 베어링 특성 측정 결과

결함 부위	발생 주파수 Hz(rpm)	차수와 하모닉스[Hz]
외륜 결함	39 Hz (2313 rpm)	2.5차 39, 77, 116
내륜 결함	68 Hz (4092 rpm)	4.5차 68, 136, 205,
볼 결함	25 Hz (1520 rpm)	1.7차 25, 51, 76, 101,
참고) n = 7(Number of balls) B_d = 5 mm(Ball diameter) P_d = 18 mm(Pitch diameter) θ = 0°(contact angle) rpm = 915 (회전속도, rev/min.)		

위의 결과와 같이, 진단 시스템을 이용하여, 베어링의 회전 속도, 외륜 결함, 내륜 결함, 볼결함 일때의 주파수와 하모닉스가 이론적인 값과 차이가 없음을 확인하였다.

4. 결론

진단 시스템은 취득 데이터의 저장 및 분석이 용이하여 점검의 효율성을 높일 수 있다. 그러나 진단 시스템의 정확한 시스템 검증을 위해서는 실제 연료교환기 설비에 대한 측정이 필요하다.

참고문헌

[1] “핵연료 교환설비”, 월성원자력본부, 2000년
[2] “중수로 운전 성능 향상 기술 개발”, 과학기술부, 2004년
[3] 이남용, 김윤영, 1999, “웨이블렛이란?”, 한국소음진동공학회, Vol. 9, No. 5, pp. 867-875
[4] 김진수, 2003,“진동 신호처리에 의한 볼 베어링 고장진단”, 성균관대학교 기계설계학과 석사학위논문