

발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터에서의 Vibration Monitoring System 개발

박신열, 이명수, 유현주, 홍진혁
한국전력공사 전력연구원

Development of Vibration Monitoring System of Simulator for Power Plant

Shin-Yeol Park, Myeong-Soo Lee, Hyeon-Ju Yoo, Jin-Hyuk Hong
Korea Electric Power Research Institute

ABSTRACT

한전은 국가경제 성장에 따라 늘어나는 발전설비에 대한 운영효율의 향상과 고장발생의 예방, 사고시 운전원들의 운전능력 배양 등을 목적으로 운영요원 훈련용 시뮬레이터를 국산화 개발하여 운영하고 있다. 훈련용 시뮬레이터를 구성하는 시스템들 중 발전소 안전계통과 발전소 감시계통을 시뮬레이션하는 PPC (Plant Processing Computer) 시스템이 있다. VMS (Vibration Monitoring System)는 PPC의 여러 계통들 중 하나로서 발전소의 터빈, 발전기, 펌프 등의 진동을 감시하는 시스템이다. 본 논문에서는 시뮬레이터의 VMS를 개발하기 위해 적용한 시뮬레이션 모델 알고리즘, 그리고 모델에서 계산된 진동값을 PC의 모니터에 나타내는 Display 시스템 등에 대해 기술하고자 한다.

1. 서론

실제 발전소에서 운영중인 VMS는 터빈, 발전기 등의 주요기에 부착된 각종 센서들에 의하여 측정된 값들이 VMS 시스템으로 보내져 PC의 화면에 출력되지만, 시뮬레이션 환경에서는 Math 모델에 의하여 계산된 기기의 회전수, 부하, 윤활유 온도, 배어링 온도, 스팀 질 등의 값을 LAN를 통하여 VMS용 PC로 보낸다. VMS 모델은 이 값을 입력으로 진동값을 계산한 후에 VMS Display 시스템에서 이들 값을 각종 그래프 형태로 표시하며, 계산된 일부의 데이터는 시뮬레이터 호스트로 전송되어 다른 모델에서 이들을 사용한다.

본 논문에서 기술하는 시뮬레이터의 VMS 모델은 Modeling Techniques Handbook (MTH)을 기준으로 개발하였으며, Display 시스템은 발전소에서 입수한 VMS 시스템의 그래픽 화면을 토대로 하여 Windows 98 환경에서 Visual C++의 MFC를 이용하여 발전소 VMS와 거의 유사하게 구현하였다.

2. 발전소의 VMS 구성

본 논문에서 제시하는 시뮬레이터에서의 VMS를 소개하기에 앞서 실제 발전소에서의 VMS를 소개하고자 한다. 발전소의 VMS는 미국의 Bently Nevada 사에 의해 개발되어 국내의 여러 발전소에 운영중에 있으며 그 구성도는 <그림 1>과 같다. 원리는 발전소의 터빈, 발전기 등의 기기에 감지기를 부착하여 측정된 데이터가 Monitor System, Communication Processor를 통해 Data Acquisition S/W가 실행되고 있는 Windows NT 컴퓨터에 저장된다.

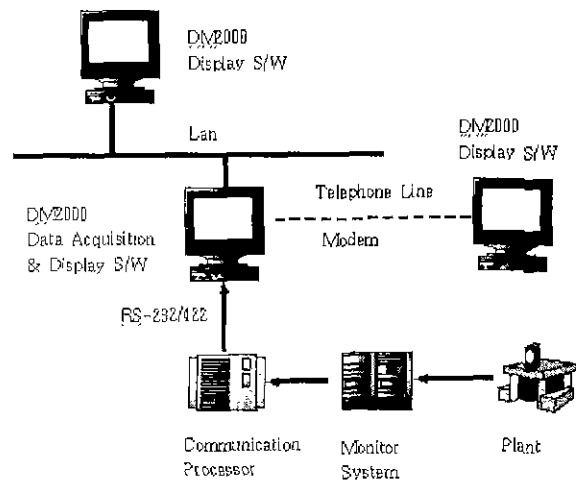


그림 1. 발전소 VMS 구성도

이렇게 저장된 데이터는 Display S/W에 의해 PC의 화면에 표시되는데, Display S/W는 Data Acquisition S/W가 설치된 Windows NT 컴퓨터 혹은 별도의 Windows PC에서 동작하며, 별도의 Windows PC에 Display S/W가 설치된 경우에는 LAN이나 모뎀을 이용하여 Data Acquisition S/W에 연결한다. PC의 화면에 제공되는 정보들은 터빈, 대

형 팬, 펌프 등의 진동상태를 표시하는 값들로 약 18종류의 그래픽 형태로 표시되는데, 이들 진동 값들은 각 기기의 속도, Metal 및 윤활유 온도, 부하 등의 상태에 따라 결정된다.

3. Model Algorithm

초기 발전소의 VMS는 PC의 DOS 환경에서 실행되는 단순 그래픽 형태였으나, 현재의 VMS는 PC의 Windows NT 환경에서 실행되는 구현이 복잡한 User-Friendly 그래픽 형태를 취하고 있다. 이를 시뮬레이션 하기 위해서는 VMS 로직 알고리즘이 필수적이나 VMS에 대한 자료는 Bently Nevada사의 고유자산으로 획득할 수 없는 자료이다. 따라서 시뮬레이터의 VMS는 S3 Technologies사의 MTH에 소개된 Vibration 알고리즘을 적용하였다[3]. MTH의 Vibration 알고리즘을 소개하면 다음과 같다. 시뮬레이션 모델에서 진동값을 계산하기 위해서는 다음과 같은 요소를 고려 대상으로 한다.

- 속도(Speed), 부하(Load), 편심도(Eccentricity)를 고려한 정격 운전시 진동
 - 임계속도(Critical speed)에 의한 진동의 증가
 - 윤활유(Lube oil) 온도의 저하나 베어링 온도의 상승에 의한 진동의 증가
 - 증기내 습분율 증가(Low steam quality)에 의한 진동의 증가
 - 고진동(High vibration)의 Malfunctions

시뮬레이션 모델은 위의 요소들을 합제한 값을 사용하며, 다음 식으로 표현된다. TEMP_n에 대한 계산 방식은 3.1~3.4에서 언급하는 바와 같다. -

$$V = (1.0 + TEMP1 + TEMP2 + TEMP3 + TEMP4) * (K_{53} * N + K_{54} * load + K_{55} * E)$$

여기서 :

- K₅₃, K₅₄, K₅₅ = 진폭상수
- TEMP1, TEMP2, TEMP3, TEMP4 = 현상 효과
- N = 터빈속도 (rpm)
- load = 증기 힘 (Btu/sec)
- E = 편심도 (mils)

3.1 임계속도

모든 터어빈은 다양한 속도 즉, 임계속도에서 기계의 공명주파수 (Resonant Frequency)에 의해 진동값이 증가한다. 터어빈은 모든 속도에서 진동값을 최소화하고, 운전에 요구되는 속도에서 임계속도를 가질 기회를 최소화하도록 설계된다. 임계속도의 진동 요소는 다음과 같이 시뮬레이션 된다.

$$X = K28 * (1.0 - ((K29 - N) / K30)^2)$$

$$IF (X.LT.0.0) X = 0.0$$

$$Y = K31 * (1.0 - ((K32 - N) / K33)^2)$$

$$IF (Y.LT.0.0) Y = 0.0$$

$$TEMP1 = X + Y$$

여기서 :

- K28 = 상수 - 임계속도 #1 진폭 (mils)
- K29 = 상수 - 임계속도 #1 (rpm)
- K30 = 상수 - 임계속도 #1 대역폭 (rpm)
- N = 터빈속도 (rpm)
- K31 = 상수 - 임계속도 #2 진폭 (mils)
- K32 = 상수 - 임계속도 #2 (rpm)
- K33 = 상수 - 임계속도 #2 대역폭 (rpm)
- TEMP1 = 임시저장값 - 진동의 임계속도

3.2 윤활유 온도저하와 베어링 온도 상승

윤활유 온도저하는 일반적으로 큰 위험은 아니지만 고진동을 초래할 수 있다. 또한 베어링 온도상승도 정상 이상으로 진동을 일으킬 수 있다. 이들에 대한 시뮬레이션은 다음과 같이 수행한다.

$$X = K34 * (K35 - T_{oilin})$$

$$IF (Y.LT.0.0) X = 0.0$$

$$Y = K36 * (T_b - K37)$$

$$IF (Y.LT.0.0) Y = 0.0$$

$$TEMP2 = X + Y$$

여기서 :

- K34 = 상수 - 윤활유 온도효과 진폭 (1/° F)
- K35 = 상수 - 진동의 증가시 윤활유 온도 감소 (° F)
- T_{oilin} = 베어링 유입 유온 (° F)
- K36 = 상수 - 베어링 온도효과 진폭 (1/° F)
- K37 = 상수 - 진동증가시 베어링 온도 상승 (° F)
- T_b = 베어링 메탈 온도 (° F)

TEMP2 = 임시저장값 - 윤활유 온도저하와 베어링 온도상승

상수 K₃₄, K₃₅, K₃₆, K₃₇ 는 변동 조정 가능하며 특정한 자료가 없음.

3.3 증기내 습분율 증가

스팀 터어빈 속으로의 물 유입 (Water induction)은 빨리 조치하지 않으면 큰 위험이 된다. 증기내 습분율 증가에 따른 첫 번째 징후로서 보통 터어빈에 고진동이 발생한다.

$$TEMP3 = K38 * (K39 - X)$$

$$IF (TEMP3.LT.0.0) TEMP3 = 0.0$$

where :

TEMP3 = 임시저장값 - 진동에 대한 증기내 습분율 증가 요소

$$K38 = 상수 - 습증기 효과의 진폭 (mils)$$

K39 = 상수 - 습증기의 낮은 증기질에 의한 진동상승 (무차원)

$$X = 증기 질(Quality) (무차원)$$

3.4 고진동 Malfunction

Malfunction은 정의된 Malfunction 원인에 기초하여 각각의 시뮬레이터에 대해 규격화 되어있다. 고진동 Malfunction은 메어링의 중간지점에서 최대진폭을 보인다고 가정한다. 7개의 메어링이 있는 증기터빈에서는 다음과 같은 Malfunction 절차에 의해서 구현된다. .

```

DO I = 1, 7
IF (MALF) THEN
  J = ABS(I-4)
  TEMP4(I) = K40 * (1/(1.0 + J**2)) * SEVERITY
ELSE
  TEMP4(I) = 0.0
END IF
END DO
  
```

여기서 :

TEMP4 = 임시 저장값 - 고진동 Malfunction 값 (mils)

K40 = Malfunction Cause and Effect 문서로부터 얻는 상수.

4. Display 시스템

시뮬레이터의 VMS는 시뮬레이션 컴퓨터로부터 일정 주기마다 측정된 아날로그 값(속도, 부하, 윤활유 온도 등)을 받아서 Vibration, Alarm 조건, Trend 등을 계산하고 Display 시스템에서 그 상태를 표시한다. VMS 모델은 Windows 98, NT에서 실행되며 계산된 일부 데이터는 Main 터빈과 BPP 터빈 시스템에서 참조하기 위해 시뮬레이션 호스트 컴퓨터로 전송된다. <그림 2>에 표시된 바와 같이 VMS는 여러 개의 태스크들로 구성되어 있으며 각각의 기능은 다음과 같다.

4.1 Data Gathering Task

Data Gathering 태스크는 Global Memory의 VMS 관련 정보들을 읽어서 매초 단위로 VMS 컴퓨터의 Scan 태스크로 보내는 일을 하며, Scan 태스크로부터 갱신된 정보를 전달받아서 Global Memory의 해당영역을 갱신시키는 일을 수행한다.

4.2 Communication Task

VMS 시스템은 Windows PC에서 실행되고 Global Memory는 시뮬레이션 컴퓨터에 존재한다. 이와 같이 서로 다른 컴퓨터에 존재하는 태스크간에 메시지를 송수신하기 위해 LAN을 이용한다. 이때 Communication 태스크는 TCP/IP 통신을 이용하여 메시지를 송신 또는 수신하는 역할을 수행한다.

4.3 Scanning Task

Scanning 태스크는 Data Gathering 태스크로부터 전달

되어지는 정보들을 읽어서 CVT(Current Value Table)를 갱신시키고 Calculation 태스크로부터 갱신된 정보들을 읽어서 Data Gathering 태스크로 다시 전달하는 기능을 수행한다.

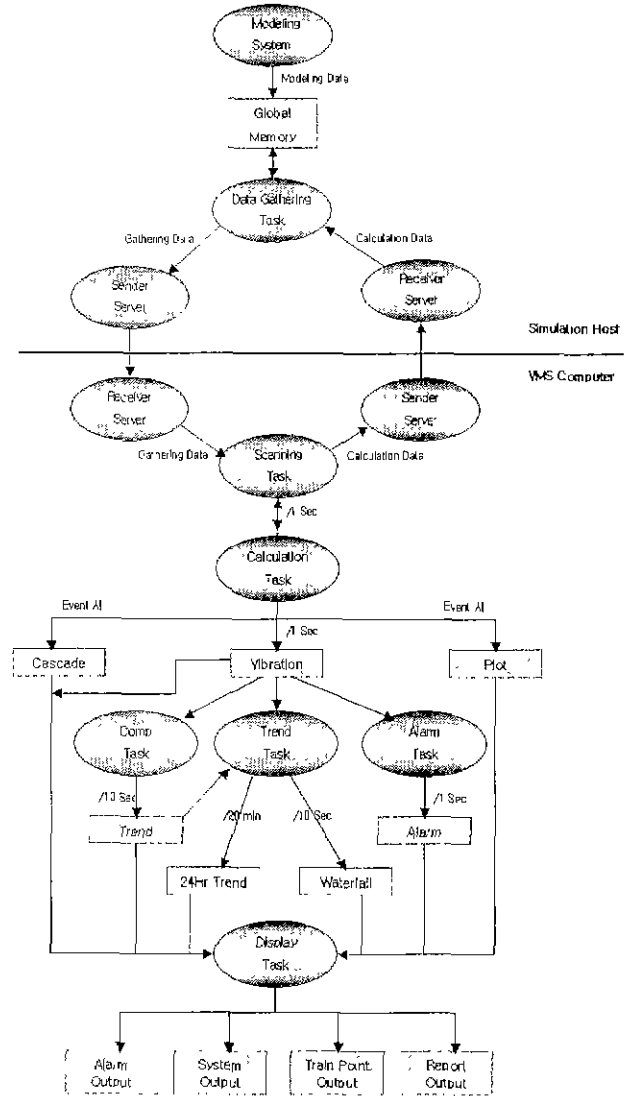


그림 2. S/W Configuration

4.4 Calculation Task

CVT에서 측정된 아날로그 값(속도, Malfunction 등)을 읽어서 Display 태스크에서 사용할 변수(Point)들에 대한 동적 진동값(Dynamic Vibration Value)을 1초당 한 번씩 계산하여 공유 메모리(Vibration)에 기록한다. Display 태스크로부터 Event가 발생하면 Vibration을 읽어서 정적 진동값 (Static Vibration Value)을 계산하여 공유 메모리 (Plot 및 Cascade)에 기록한다. 정해진 계산 간격에 따라 계산된 값을 Scan 태스크에 전송한다.

4.5 Compute Task

태스크에 정해진 계산 간격에 따라 Vibration을 읽어서 Trend에 대한 최대값, 최소값, 평균값을 계산하여 공유 메모리인 Trend에 저장한다.

4.6 Trend Task

Trend 태스크에 정의된 시간간격에 따라 Trend 파일을 읽어서 Trend 그래프의 Display에 사용할 24Hour Trend 파일에 기록한 후 공유 메모리인 Trend의 내용을 제거한다. Trend 시간 비율에 따라 Vibration을 읽어서 Waterfall Display에 사용할 Waterfall 파일에 기록한다.

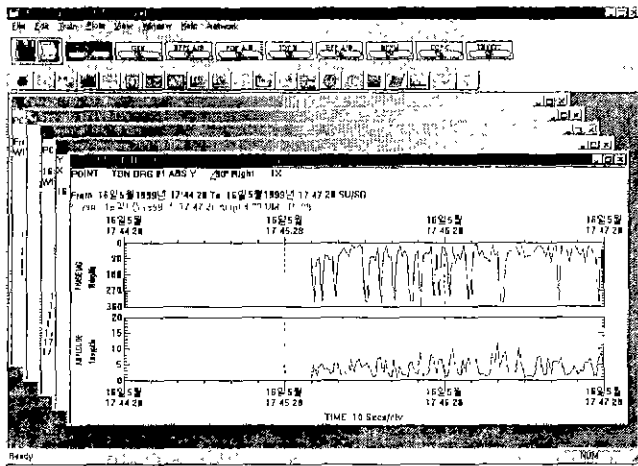


그림 3. VMS Main Window

4.7 Alarm Task

Alarm 태스크에 정의된 시간간격에 따라 Vibration을 읽어서 변수(Point)들에 대한 Alarm 및 Rpm을 계산하여 공유 메모리 (Alarm, Rpm)에 기록한다. Alarm Events List Display에 사용하기 위해 Alarm이 발생할 때마다 Alarm Events List 파일에 기록한다.

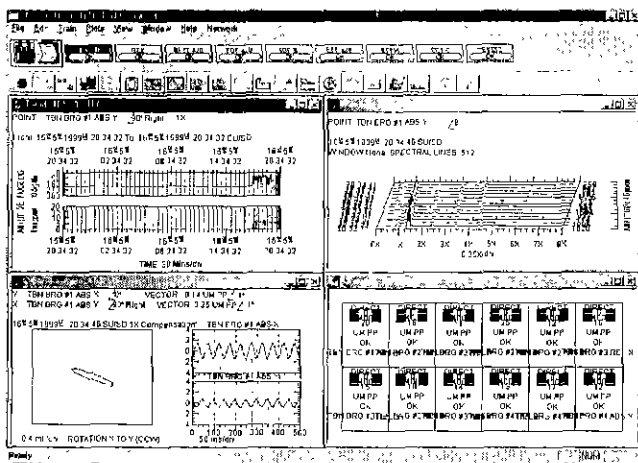


그림 4. Graph Display 예

4.8 Display Task

<그림 3>은 개발된 VMS 프로그램을 실행시켰을 때 가장 먼저 나타나는 주화면을 나타낸다 Display 태스크는

지금까지 설명한 각 태스크에서 계산한 진동값을 읽어서 표현하고자 하는 모든 그래프를 독립된 Sub-window 형태로 나타낸다. <그림 3> 및 <그림 4>에서의 같이 시뮬레이터의 VMS는 필요한 그래프를 그리기 위해 각 Train에 있는 변수를 선택하고, 이들의 특성을 설정하고, 이들을 원하는 그래프 형태로 출력하는 등의 여러 종류의 기능이 있다.

5. 결론

본 논문에서는 발전소의 VMS의 개요, 시뮬레이터에서의 VMS를 개발하기 위해 적용한 시뮬레이션 모델 알고리즘, 그리고 모델에서 계산된 진동값을 PC의 모니터에 나타내는 Display 시스템 등에 대해 기술하였다. 개발된 시뮬레이터용 VMS는 고리원자력발전소, 보령화력 발전소, 태안화력 발전소의 시뮬레이터에 설치되어 운영 중에 있다. 처음 개발 당시의 VMS는 주요 기기에 대한 속도만을 고려하여 진동 값을 계산하였기 때문에 발전기 부하, 윤활유 온도에 관계없이 터빈 진동이 일정하게 표시되는 등의 문제점이 발생하였다. 현재의 시스템은 이러한 문제점을 보완하기 위해 속도뿐만 아니라 부하, 윤활유 온도, 베어링 온도, 증기 특성을 고려하여 개선되었다. 발전소의 VMS는 진동상태를 약16종류의 그래픽 형태로 표시하지만, 시뮬레이터의 VMS는 Bar 그래프, Orbit 그래프 등 약11종류의 그래프만 구현되어 있어서, 향후에 구현을 위한 알고리즘이 만들어지면 개선해야 할 여지가 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이용관의 9명, "발전소 운전원 훈련용 모의제어반 국산화 개발적용 [최종보고서]", 전력연구원, 1998, September.
- [2] 손승환의 18명, "발전소 운전원 훈련용 모의제어반 국산화 개발적용 [외부위탁본 최종보고서]", 삼성전지, 1998, September.
- [3] S3 Technologies, Columbia, Maryland "Modeling Techniques Handbook", pp 23-17~23-22, 1995, May.
- [4] 박신열, "보령화력 모의제어반 VMS 개발결과 보고서", 전력연구원, 1996, September
- [5] 박영환, "태안화력 모의제어반 VMS 개발방안", 삼성전지 S/W 개발2그룹, 1997, December