

## PDA 기반 포터블 진동 신호 분석기 개발

김동준\*, 박광호\*, 기창두\*\*

### Development of a Portable Device based on PDA for Vibration Signal Analysis

Dong Joon Kim\*, Kwang Ho Park\* and Chang Doo Kee\*\*

#### ABSTRACT

In this study, we developed a portable device which can monitor and analyze vibration signals from machines. This system consists a PDA loading the program for vibration analysis and A/D board for vibration acquisition. A PDA is smaller than the palm of the hand, but it has a powerful computing ability as much as an IBM compatible PC with a Pentium 100MHz CPU. The A/D board developed in this study supports LAN interface using TCP/IP communication protocol. The application program for vibration analysis includes signal processing module, fault diagnosis module, data store module, and plot display module. MS visual embedded C++ 3.0 was used to developed the program.

**Key Words** : Personal digitizer assistant(개인 정보 단말기), Signal vibration analysis(진동신호 분석), FFT, Probability density(확률밀도), Machine monitoring(기계 모니터링)

#### 1. 서론

산업의 발전과 시장경제의 가속화에 따라 기계 설비도 고출력, 고성능, 초고속, 경량화 되고 있다. 그러한 발전이 가속화될수록 기계의 구조 역시 복잡해지게 되고 설비의 유지관리 측면에서 많은 문제가 발생하게 되며 예기치 않은 고장으로 인한 생산중단(Down-time)에 의해 생산성 감소나 품질관리에 악영향을 초래할 수 있다. 또한 안전적인 면에서는 원자력 발전소에서 사용되는 기계의 부작용으로 인한 사고로 발전소 주위뿐 아니라 상당히 넓은 지역까지 큰 재난을 초래할 수 있다. 따라서 이

러한 심각한 문제를 유발하는 고장의 발생을 사전에 방지하기 위한 기술의 중요성이 부각되었다.

설비의 고장진단을 분석하기 위해 대상설비에 서 발생하는 진동, 음향, 온도 등의 상태량 등이 이용되며, 이 상태량 중에서도 진동신호는 설비의 상태를 해석하는데 가장 유용하다. 진동은 기계고장에 따라 증가하며, 수리에 의하지 않고 감소하는 법이 없고, 기계상태에 대한 가장 많은 정보를 내포하고 있으며, 기계결함을 초기에 알려주는 정확한 상태량으로서 많은 연구가 되고 있다.<sup>(1)(2)(3)(4)(5)</sup> 이러한 진동신호 측정을 위해 다양한 진동계측기가 있으나 이들 대부분은 휴대가 불편한 단점

☞ 2002년 4월 18일 접수  
\* 전남대학교 기계공학과 대학원  
\*\* 전남대학교 기계시스템공학부

이 있다. 이런 단점을 극복하기 위해서 휴대가 간편한 진동분석기 등이 개발되고 있으나 기존의 포터블 분석 시스템은 운영 체제가 내장되어 있지 않고 전용 하드웨어에 LCD를 내장한 형태로 개발되어 있어 주파수 분석과 같은 디지털 신호처리 기능이 없이 단지 순간 진동 신호의 크기를 단순히 표시해 주는 기능만을 가지고 있다. 본 연구에서는 PDA를 기반으로 하여 휴대가 간편하면서도 기존의 포터블 신호 수집기의 단순한 기능을 극복하여 현장에서 다양한 신호처리를 통해 진동신호에 대한 분석과 기계의 상태를 진단할 수 있는 PDA기반의 포터블 진동 신호분석기를 개발하였다. Fig. 1은 PDA기반의 진동신호분석기의 전체 구성을 나타낸다.

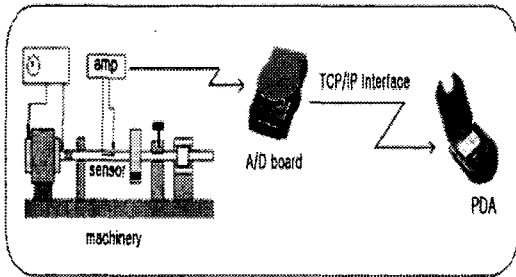


Fig. 1 Schematic of a signal analysis system

## 2. 신호분석기 시스템 구성

### 2.1 시스템 개요

신호분석기의 구성은 기계설비에 변위, 가속도 등의 센서와 연결하여 기계설비에서 발생하는 진동 신호를 취득 할 A/D보드와 취득된 진동 데이터를 처리하는 프로그램이 설치되는 PDA(Personal Digital Assistant)로 구성되어 있다. A/D 보드와 PDA사이의 정보와 데이터 교환을 위해 TCP/IP 프로토콜을 이용하였다.

### 2.2 PDA

PDA는 컴퓨터의 기본이 되는 중앙연산처리장치(CPU), 운영시스템(Operating system), 메모리(Memory) 등을 가지고 있고 입력장치로 터치 액정과 펜을 사용하고 있는 펜 컴퓨터 종류로써 노트북

보다 더 작은 초소형 컴퓨터라고 할 수 있다. 또한 PDA는 응용프로그램을 추가로 설치하거나 제거가 가능하고 일반 PC와 유사한 Display 환경을 제공하며 그 크기도 작아 휴대성이 용이하여 어디에도 쉽게 휴대가 가능하다. PDA의 운영 프로그램인 Windows CE는 Windows 95/98과 유사하여 사용자 인터페이스가 편리하고 PC와의 연결이 쉬워 데이터 전송이 용이하며, 적외선 통신, TCP/IP 등 다양한 통신 프로토콜을 지원한다. 하드웨어는 x86 CPU, MIPS CPUs, SH4 및 Strong ARM과 같은 여러 종류의 32 비트의 마이크로프로세서를 지원하여 다양한 하드웨어 시스템에 적용이 가능하다.

Table 1 PDA specifications

| Item         | Specification                  |
|--------------|--------------------------------|
| Process      | 206MHz Intel StrongArm SA-1110 |
| Memory       | 32MB ROM / 32MB RAM            |
| Display      | 640 ×480, 256 Color TFT LCD    |
| Interface    | LAN, IrDA, USB, CDMA, RS-232C  |
| OS           | Windows CE 3.0(HPC 2000)       |
| Size, Weight | 102mm×128mm×22mm / 299g        |
| Power        | Main Li-ion battery(10hrs)     |

본 연구에서 사용한 PDA는 현재 제품화된 것 중에서 가장 넓은 화면(640 ×480 Pixel)을 제공하는 사이버뱅크사의 PC-EPhone으로 크기는 102mm×128mm×22mm(가로×세로×높이)이고, 운영시스템은 Microsoft Windows CE 3.0이다. Table 1은 PDA의 사양을 나타낸다. 신호분석 프로그램 개발에는 MS Embedded Visual C++ 3.0을 이용하였다.

### 2.3 PDA용 A/D보드

기계설비에서 발생하는 진동 신호를 취득하기 위해서는 A/D보드는 필수적이다. 그러나 기존의 A/D 보드는 PDA를 지원하지 않아 LAN 인터페이스 방식의 A/D 보드를 직접 제작하였다. LAN를 이용한 데이터 전송은 RS-232C나 USB 등의 통신 방식에 비해 구현하기는 어렵지만 데이터 전송 속도

가 빠르므로 짧은 시간에 많은 데이터를 전송해야 하는 본 시스템에 적합하다.

Table 2 A/D Board specifications

| Item          | Specification |
|---------------|---------------|
| Channel       | 4             |
| Resolution    | 16bits        |
| Sampling Rate | Max 500KHz    |
| Interface     | LAN           |

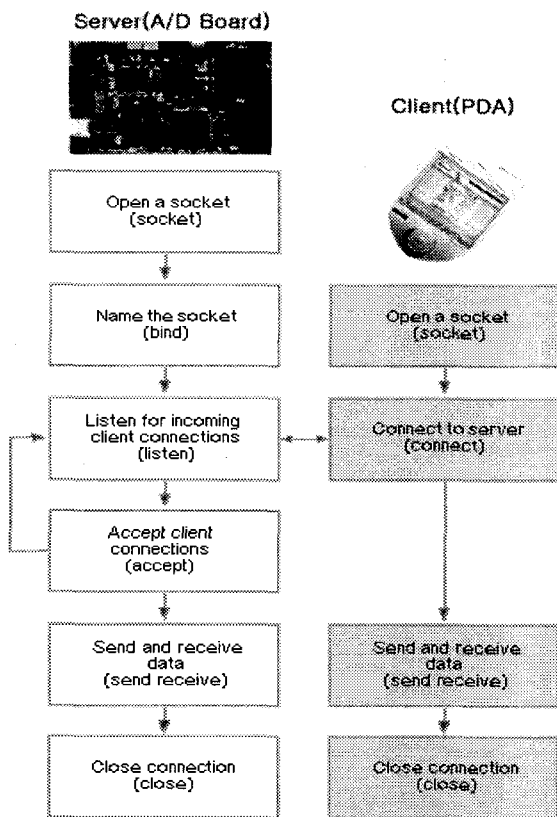


Fig. 2 The interaction between A/D board and PDA using TCP/IP protocol

### 3. 진동 신호 분석 프로그램 구성

### 3.1 프로그램 개발 개요

본 진동신호 분석 프로그램은 비주얼한 실행 환경을 가지고 있으며, 시간함수도표와 같은 단순 신호처리 루틴을 포함하여, 기계설비의 고장진단을 위한 다양한 신호분석 기능 그리고 기계설비의 진동경향을 파악할 수 있는 저장기능을 가지고 있어 기존의 포터블 신호수집기 및 신호분석기의 기능을 동시에 갖추고 있다. Fig. 3은 진동신호 분석 프로그램의 주요기능을 나타내고 있다. 본 프로그램은 A/D 보드와의 커뮤니케이션을 위하여 Application Protocol Parser를 개발하여 탑재하였으며 다양한 Plotting을 지원하기 위해서 Plot Manager를 개발하였다. 또한 취득된 데이터들의 저장을 위하여 Data Manager를 모듈화 하였으며 간이 진단을 가능하게 하기 위해서 Fault Diagnosis Engine을 탑재하였다.

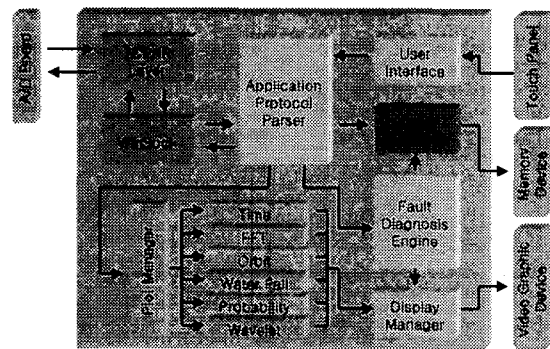


Fig. 3 Schematic diagram of signal analysis modules

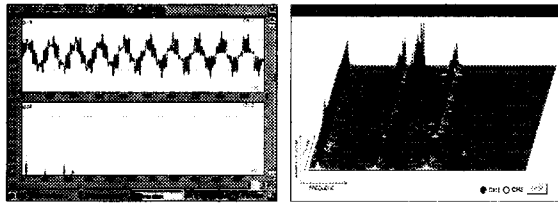
Table 3 Software development environment

| Item      | Specification                  |
|-----------|--------------------------------|
| DEV. Tool | MS Embedded Visual C++ 3.0     |
| SDK       | Handheld PC 2000 SDK           |
| PDA OS    | Windows CE 3.0                 |
| PC OS     | Windows 98                     |
| Processor | 206MHz Intel StrongArm SA-1110 |

### 3.2 진동신호 모니터링 기능

시간함수 도표(Fig 4(a)의 위)는 진동 그래프

중 가장 기본적인 형태로서 기계에서 발생하는 진동을 그대로 볼 수 있도록 옮겨 놓은 아날로그 형태의 그래프이다. 시간함수 도표는 변환과정에서 필요한 정보가 없어지지 않고 가장 원본에 가까운 진동으로 볼 수 있다. 스펙트럼 도표(Fig. 4(a)의 아래)는 복합적인 진동을 여러 개의 단일한 진동으로 분류해내는 작업을 수행하며, 특정 진동 주파수에서 나타나므로 주파수 성분을 점검하여 특정 기계의 고장 원인을 확인하는데 이용할 수 있다<sup>(1)(4)(5)</sup>. 폭포도표(Fig. 4(b))는 스펙트럼을 시간대 별로 중첩해 놓은 일종의 추세도표로 볼 수 있다. 하지만 일반 추세도표와는 달리 모든 스펙트럼의 변화를 한눈에 볼 수 있기 때문에 모든 정보를 다 갖고 있다고 할 수는 없지만 가장 많은 정보를 포함하고 있는 도표라 할 수 있을 것이다.



(a) Time, Spectrum plot (b) Waterfall plot

Fig. 4 Time, Spectrum and Waterfall plot

궤도 도표는 2개의 변위계를 90°로 설치하여 축의 움직임을 직접 측정하는 것으로서 각각의 변위계에서 나오는 진동 값은 축의 움직임을 실제의 변위로 나타낸다<sup>(1)(8)</sup>. 본 프로그램에서는 축이 그리는 궤적의 형태와 방향을 정량화 하기 위해 SDI (Shape and Directivity Index) 지수를 이용하였다<sup>(7)</sup>.

- SDI = -1 : 후방 원운동
- 1 < SDI < 0 : 후방 타원 운동
- SDI = 0 : 직선 운동
- 0 < SDI < 1 : 전방 타원운동
- SDI = 1 : 전방 원운동

Fig. 5는 축의 거동을 보다 명확하게 볼 수 있는 1X 성분과 전체신호의 궤적을 동시에 나타낸 궤도

도표이다. 그리고 불규칙한 진동신호에 대해서도 신호분석이 가능하도록 웨이블릿 도표(Fig. 6(a))와 확률밀도함수 도표(Fig. 6(b))를 추가하였다. 웨이블릿 도표는 원 신호를 이산 웨이블릿 변환 후 고주파수 성분과 저주파수성분을 동시에 나타낸 그래프로서, 신호 내에서 급격하게 변하는 시간에 대한 정보를 구할 수 있다<sup>(9)(10)</sup>.

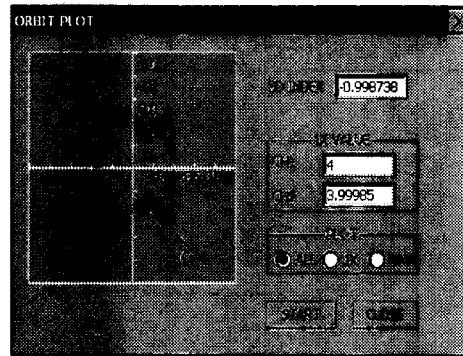
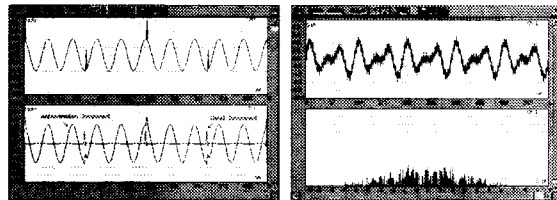


Fig. 5 Orbit plot

확률밀도함수(Probability density function)는 주어진 진동신호 값이 일어날 수 있는 확률을 표현해주는 함수<sup>(1)(11)</sup>로써 본 논문에서는 히스토그램으로 확률밀도함수를 근사적으로 나타냈다.



(a) Wavelet plot (b) Probability plot

Fig. 6 Wavelet and Probability plot

#### 4. 신호 분석기의 성능 검사 실험

본 논문에서는 개발된 신호분석기의 성능을 두 가지 방식의 실험을 통하여 검사하였다. 먼저 신호 발생기(Pulse generator)를 이용하여 신호분석기에 임의의 펄스를 입력하여 취득되는 신호가 입력된

펄스와 일치하는지를 검사하였다. 다음으로 로터키트(Rotor-Kit)를 이용하여 실제 환경에서의 사용 가능성을 점검하였다.

Fig. 7은 신호발생기를 이용하여 신호분석기로 테스트 한 결과이며 입력 펄스는 5Hz, 50Hz, 100Hz로 저 주파 대역에서 테스트를 하였다. 테스트 결과 시간영역과 주파수영역 모두 입력 펄스와 일치하는 값을 보여주었다.

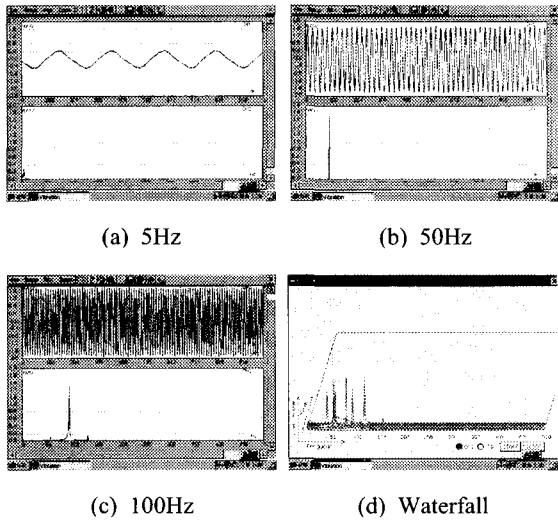


Fig. 7 Experimental results of pulse-generator

위와 같은 실험을 통하여 신호분석기의 객관적인 성능에 대한 평가를 내렸으며 다음으로 실제 환경에 적용 가능한지를 시험하기 위해서 Fig. 8의 로터키트(Rotor-Kit)를 사용하였다. 또한 SA390을 사용하여 신호분석기의 해석 결과를 비교 검증하였다.

실험은 로터키트의 축에 2g의 질량을 추가하여 불평형을 발생시키고 축 상단에 캡센서를 장착하여 센서로부터 취득되는 변위값을 신호분석기와 SA390으로 분석하였다. Fig. 9는 각각 1000RPM, 1500RPM, 2000RPM에서 취득된 신호로서 좌측이 SA390 데이터이며 우측이 개발된 신호분석기의 데이터이다. 현재 SA390과 신호분석기를 동기화 시킬 방법이 없기에 두 장치에서 취득된 신호가 약간의 시간차를 가지고 있다.

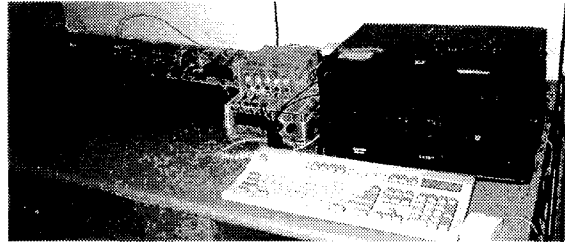


Fig. 8 Experimental set-up for performance comparison

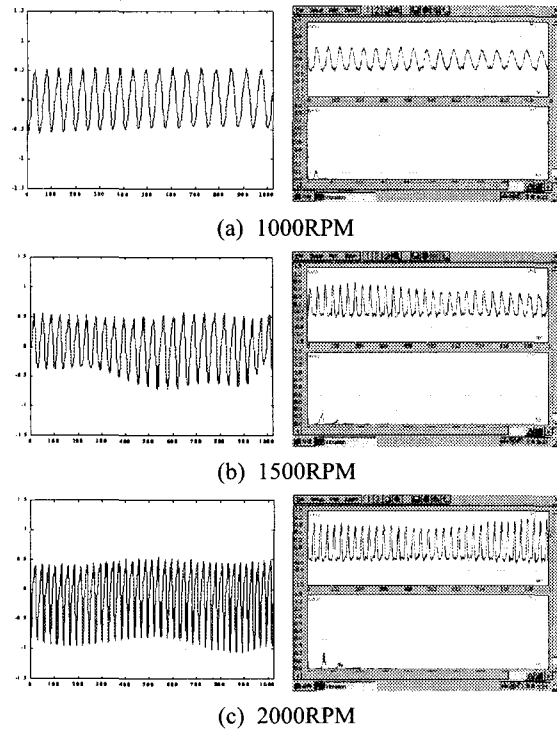


Fig. 9 Experimental results of rotor-kit

## 5. 결론

본 연구에서는 크기가 작아 휴대가 용이하면서 취득된 진동신호를 현장에서 바로 취득, 분석, 간이 고장진단을 수행할 수 있는 PDA 기반 포터블 진동 신호분석기를 개발하였다. 이 포터블 진동신호 분석기는 다음과 같은 기능을 가지고 있다.

- 1) 스펙트럼 도표 등을 포함한 각종 도표들(Time, spectrum, waterfall, orbit, wavelet, probability density function)을 통해 기계 상태 분석 및 이상 진단 수행
- 2) 이산 웨이블릿 변환과 확률밀도 함수를 이용한 불규칙한 진동신호에 대한 분석 기능

Transforms As A Preprocessor," Mechanical System and Signal Processing, II(5), pp. 751~765, 1997.

11. 이문호, "C언어·MATLAB를 이용한 디지털 필터 설계," 대영사, 1997.

## 후 기

본 연구는 2001년도 전남대학교 BK21 사업에 의해 지원되어 수행되었으며, 지원에 대해 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. 牧修市, "진동법에 의한 설비진단의 실제," 일오출판사, 1999.
2. 채장범, "기계의 상태/고장 진단," 한국소음진동공학회지, Vol 6. No. 4, pp. 387~393, 1996.
3. 양보석, "회전기계의 진동에 의한 이상진단 시스템의 개발," 한국소음진동공학회, 춘계학술대회 논문집, pp 350~353, 1995.
4. 배용채, "터빈이상의 진동의 자동 진단 시스템의 관한 연구," 전남대학교 대학원 박사학위 논문, 1995.
5. 김창구, 홍성호, 기석호, 기창두, "Windows NT 기반의 회전기계 진동 모니터링 시스템 개발," 한국정밀공학회 논문집, 2000.
6. 박광호, 김창구, 기창두, "무선인터넷망을 이용한 PDA기반 원격감시 및 제어 시스템 개발," 한국정밀공학회, 추계학술대회논문집, pp.674~677, 2000.
7. 한윤식, 이종원, "방향성 조화 웨이블릿 해석기법," 한국소음진동공학회, 춘계학술대회논문집, pp.267~272, 1998.
8. Don Southwick, "Using full spectrum plots," Orbit, Vol. 14, No. 4, pp. 19~217, Dec. 1993.
9. C.Sidney Burrus, "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms," Prentice-Hall Inc., 1998.
10. B.A Paya, "Artificial Neural Network Based Fault Diagnosis of Rotating Machinery Using Wavelet