

## 소음 • 진동계측기의 구조와 주요 개발기술 동향

2005. 05

윤 대 원  
(오토시스)

# 소음 · 진동계측기의 구조와 주요 개발기술 동향

## 개 요

국내의 소음진동공학은 눈부신 발전을 이룩해왔으나 관련측정기기의 개발은 선진외국에 비하여 상대적으로 등한시 되어온 것이 사실이다. 계측기의 경우 전자 공학적 기술요소와 신호처리공학, 센서 기술 및 리얼타임 O/S 등의 대단히 복합적 기술을 요구하는 까닭에 많은 기술적 경험과 인적재원이 필요한 기술 분야라 할 수 있다. 또한, 소음진동계측기의 기술요소가 복잡한 까닭에 보다 정확한 소음 진동 계측 데이터를 취득, 분석하기 위하여는 그 내부구조를 정확히 이해 할 필요가 있다.

특히, 눈부신 전자분야의 기술발전에 힘입어 소음진동계측기의 구조도 크게 변화되고 있는 것이 사실며, 디지털신호처리를 프로세서의 고속화에 힘입어 종래에는 처리가 불가능했던 연산처리가 실시간 처리로 가능해지고 있으며, FPGA(Filed programable Gate Array)의 경우 종래 DSP에서 프로그램처리에 의해서 가능하던 FFT 알고리즘마저도 보다 고속으로 실시간 처리할 수 있게 되었다.

본 자료에서는 소음·진동계측기기의 기술동향과 계측실무에서 꼭 알아 두어야할 계측기기의 특성에 대해서 다루고자 한다.

### 1. 소음 · 진동계측기 일반적인 구조

일반적으로 소음·진동 계측기의 구조는 센서 전원 공급부, 신호 증폭부 및 각종 필터 등으로서 아날로그 회로를 구성하고 있다. 일단, 아날로그 신호처리를 통과한 신호는 a/d 변환기를 통하여 디지털 데이터로 변환되어 각종 연산 알고리즘을 수행하게 된다. 연산 알고리즘은 주로 디지털신호처리 전용 프로세스에 의하여 고속처리 된다.

이러한 일련의 과정은 신호를 샘플링하기 위한 각종 조건신호에 따라 엄격히 처리되는데, 이 부분은 주로 timing control 부에서 처리하게 된다. 이 경우 외부 트리거 신호와 tacho 신호에 의하여 제어되며, 현재 설정된 주파수 범위와 연관되어 작동 한다.

특히, 이러한 외부 신호 연결 시에는 신호의 전기적 특성을 명확히 이해하고 계측기와 의 전기적 특성과의 matchig 여부와 요구되는 측정정도를 정확히 파악하고 있어야 한다. 예를 들어 tacho 신호에 과도한 노이즈 성분이 포함된 경우에는 회전체위상 측정시 위상측정오차를 발생시키는 주 요인으로 작동하게 된다.

이렇게 샘플링된 신호는 연산 프로세서에 의해 필요한 신호처리 알고리즘을 수행하게 되는데 이 과정에서는 신호의 샘플링속도보다 연산 속도가 더 빠른 경우에는 실시간 처리가 가능하나, 이반대의 경우에는 실시간처리가 불가능하므로 계측기의 실시간 처리가능한 주

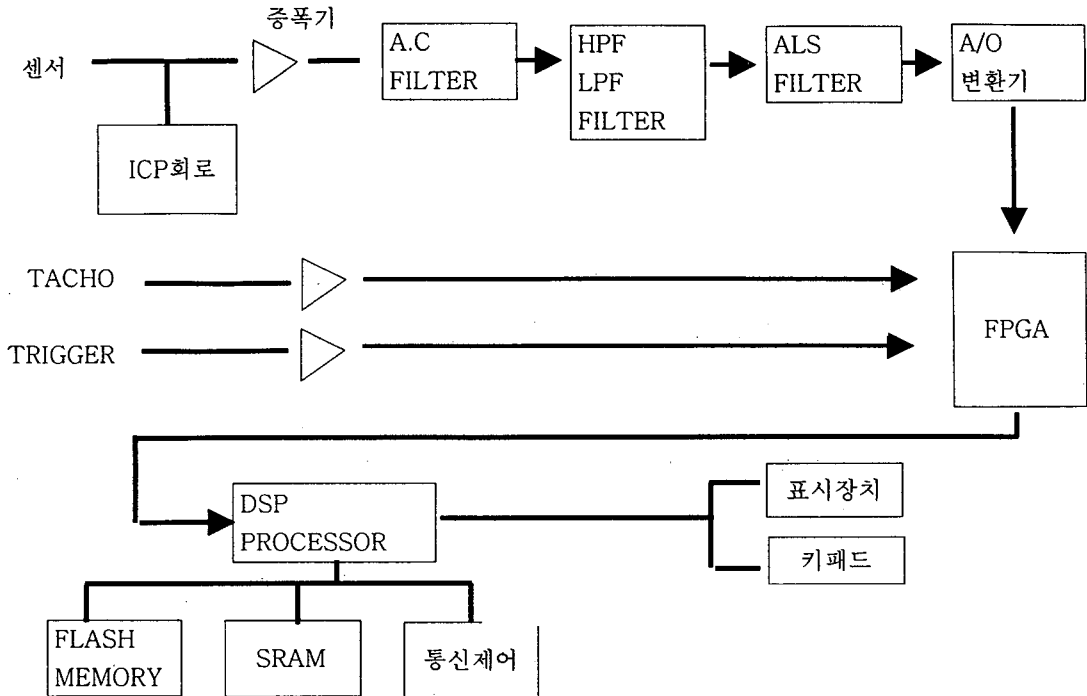


그림 1 소음진도계측기의 내부 구성도

과수범위를 항상 확인 해두어야 한다. 실제로 연산프로세스는 신호처리알고리즘 처리 시간 뿐 아니라 화면상에 데이터를 디스플레이 하고, 외부장치로 데이터를 전송하는 등의 시간도 소요하고 있다고 보아야한다.

알고리즘수행이 완료된 데이터는 장착된 표시장치에 fft 결과 및 time data를 그래프형태로 display 하게 된다. 표시장치의 경우 최근에는 lcd 형태의 것이 주종을 이루며 color tft lcd 가 주로 채택되고 있다. 휴대용의 것으로는 이 경우 전원소비가 과다해 지므로 사용시간의 제한을 받게 된다고 보아야 할 것이다. 그러나 앞으로는 oled 방식의 lcd 가 상용화 될 것으로 보아 보다 저 전력화된 휴대용측정기가 상용화 될 것으로 보인다.

## 2. 센서신호와 신호증폭회로의 특성

신호의 전원공급과 미세한 센서신호를 증폭하게 되는 증폭회로는 대단히 중요하다. 계측기의 측정정도를 결정하는 첫 번째 관문이 여기에 달려있기 때문이다.

측정코자하는 신호의 최저 값이 증폭단의 회로 노이즈에 의해 손상되지 않아야 하기 때문에 특히 큰 다이내믹레인지의 신호 측정 시에는 측정기 입력단의 노이즈레벨은 충분히 낮아야하며 필요시 수 마이크로볼트 수준이 요구된다.

또한 신호의 크기에 따른 레인지의 변환 기능과, 변환에 따른 신호의 왜곡현상이 발생치

않도록 설계되어야한다 .또한 휴대용의 경우에는 소모 전력이 최소화되도록 관련 회로를 설계하여야한다.

센서신호의 전원 공급부는 센서의 종류에 따라 각기 달리 전원이 공급된다.

ICP type 의 경우에는 정전류 형태의 전원이 공급 된다 .따라서 외부에 센서를 위한 별도의 전원 공급회로가 필요치 않다. 그러나 이 경우 입력회로가 일종의 저주파필터로 구성되므로 수 hz 이하의 저주파특성을 측정코자 할 경우에는 적당치 않다고 보아야 할 것이다.

근간에는 소음진동 측정기의 아나로그 회로부가 대체로 소형화되는 추세이다.

여기에는 아나로그 IC의 고집적화와 a/d 변환기의 고기능화의 추세에 힘입은 바 크다고 하겠다.

24bit a/d 변환기의 경우 신호의 처리범위가 120 db 이상으로서 종래의 12bit 의 것에 비해 50~70db 이상 측정범위가 확대되었다 .따라서 여러 단의 증폭회로가 불 필요하게된 것을 일례로 들 수 있다

### 3. 아나로그신호의 필터링

신호에는 항상 원치 않는 노이즈 신호가 혼입되어있으므로 이들 노이즈신호의 처리도 대단히 중요하다. 그 첫 번째가 증폭회로에 의해서 발생하는 것과, 센서자체에 유기된 노이즈신호, 60hz 전원 노이즈 등으로 구분 할 수 있으며, 그 외에도 의도적인 신호정형을 위한 필터링회로가 요구 되는 것도 있다.

이러한 것으로는 A, C-weight filter, envelope processig을 위한 low-pass 또는 high-pass filter 등이 여기에 속한다.

antialias filter 는 주파수 분석을 위한 nyquist rate 조건을 충족시키기 위한 것으로서 측정주파수 범위의 가변시마다 해당 필터의 차단 주파수가 자동으로 설정되어 fft 해석시 대역범위 밖의 고주파 성분이 혼입되는 것을 방지하게 된다. 일반 pc 용 a/d 카드를 이용한 fft 해석을 하는 경우 antialias filter 내장여부를 꼭 확인하고 사용할 필요가 여기에 있다.

일반 a/d 변환기를 사용할 경우 antialias filter 의 구조는 대단히 복잡한 구조를 갖게 된다.

적어도 6~8차계의 아나로그 필터를 요구하게 되기 때문이다. 그러나 최근의 a/d 변환기의 경우 이 필터로서 2차계 정도의 필터를 사용하여도 충분할 수 있게 되었다. 이 경우 over sampling 기법에 의한 a/d 변환을 하여 입력 필터의 차수를 낮출 수 있기 때문이다.

또한 a/d 변환기 내에는 down sampling을 위한 digital decimation filter를 내장하고 있어 측정기의 각종 아나로그 회로를 간략화 할 수 있게 된 요인 중의 하나가 되었다.

전원에 의한 60hz 노이즈는 유도전동기의 소음진동 측정시의 측정코자 하는 주파수와 일치하는 경우가 대부분 이어서 별도의 필터에 의해서 제거하는 것이 불가능하다고 보아야 할 것이다. 물론 60hz 성분이 분석코자 하는 신호성분이 아니라는 확신이 있을 경우에는 band reject filter에 의한 제거가 가능하지만 대부분의 경우 이 성분은 측정의 방해 요소가 된다고 보아야 할 것이다. 따라서 측정기 제작 시 측정기 자체의 60hz 노이즈 성분을 충분히 저감시키는 대책이 필요하다. 그러나 측정기의 전원을 배터리로 사용치 않는 경우를 제외하면 이 성분을 완전히 제거하기는 어려우나 -100 ~ 120 db 이하로 억제되어한다.

이와 관련하여 측정기 내부에는 다양한 형태의 전원이 사용되는 바 이들 전원에 의한 노이즈 성분도 측정결과 값에 영향을 미치게 된다. 특히 이들 전원 노이즈는 주로 dc/dc 변환기의 스위칭 노이즈로서 수 khz ~ 수백 khz 영역의 노이즈를 발생 시킨다. 측정기의 노이즈상태를 간단히 확인할 수 있는 한 가지 방법으로, 입력 단을 단락시킨 다음 증폭기의 이득을 최대로 설정한 상태에서 화면상의 fft 값이 측정대역 내에서 얼마인가를 확인 하여볼 수 있다.

신호필터링의 경우로서는 A, C-weight filter, low-pass, high filter 등을 늘 수 있다. 이들 필터를 아날로그 회로로 구성할 경우 적어도 4~8 개의 opamp와 수십 개의 저항과 캐패시터를 필요로 하게 된다. 여기에서 채널 수가 늘어나면 회로의 복잡도와 면적은 비례적으로 늘어나고 소모 전력도 크게 증대되고 회로의 구성의 복잡도에 따른 노이즈 발생원도 많아진다고 보아야 한다. 따라서 이러한 아날로그 필터를 대폭 감소시키는 것이 필요하고, 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 기술 환경이 마련되고 있다.

특히 fpga의 경우 거의 모든 형태의 filter를 내부에 구성할 수 있으며, 메모리소자 및 연산소자를 복합적으로 한 개의 칩에서 구성하는 것이 가능하게 되었다.

그 외 에도 fpga는 연산속도가 dsp 보다 더 효과적으로 수행될 수 있는 구조덕분에 거의 대부분의 filtering을 실시간 처리가 가능하다. 이러한 이유로 최근의 계측기는 더욱 고속화 되고 소형화 되는 추세에 있다

#### 4. A/D 변환기와 다이내믹레인지

a/d 변환기는 연속된 아날로그 센서신호를 디지털신호로 변환하는 장치이다. 따라서 최종적으로 측정신호의 정밀도는 a/d 변환방식과 기법에 크게 좌우된다. 소음진동 분야의 측정신호는 일반적으로 수십 Khz 대역을 다루고 있다.

대체로 이 대역의 신호는 audio 신호 대역과 일치 하는 경향을 보인다고 할 수 있다.

따라서 샘플링 속도면에서는 rf 신호에 비해 높지 않으나 신호의 변화폭(Dynamic Range)은 대단히 큰 특성을 갖는다고 보아야 할 것이다.

측정 상에 요구 되어지는 다이내믹 레인지가 90db 정도인 경우 16 bit a/d 변환기로 샘플링하면 충분하나 이 이상의 것이 요구 될 경우도 종종있어 24 bit a/d 변환기를 사용하는 경우도 크게 늘어나고 있다. 아마도 다이내믹 레인지가 큰 측정기를 사용할 경우 입력신호의 크기 변화에 따른 레벨설정에 대한 오류를 최소화 할 수 있고 측정 정도를 크게 향상 시킬 수 있다.

또한 a/d 변환기의 샘플링에 따른 LSB 양자화 에러를 dithering 처리하여 향상시킬 수 있다.

이러한 종류의 a/d 변환기는 내부에 샘플링 속도에 비례하는 차단주파수를 갖는 digital filter를 내장하고 있다.

따라서 전단에 antialias filter의 차수를 낮게 하여도 무방하다.

그러나 이러한 종류의 변환기는 샘플링 속도를 순간적으로 가변하는 것이 어려우며 이 경우 여러 가지 고려할 사항이 많다. 따라서 가변 샘플링이 요구되는 회로구성에는 적절치 않으며, 이 경우 고정된 over sampling을 하되 최종신호 처리 시 decimation filtering 하는 것이 가능하다

## 5. FPGA 와 실시간 신호처리

DSP 소자는 신호처리 분야의 기술발전에 혁신적인 역할을 담당해 온 것이 분명하다. 그러나 이 영역을 최근에는 FPGA(field programmable gate array) 라는 디바이스가 잠식하고 있는 실정이다. FPGA는 수십만 또는 수백만 개의 논리 소자를 하나의 칩 안에 내장하고 있고, 이들을 하드웨어 프로그래머어로 프로그램 할 수 있는 프로그램 가능한 논리 소자인 셈이다.

여기에는 메모리소자, 곱셈기, 논리연산자 등을 함께 갖춘 것들도 출시되고 있다. 이것들의 장점은 연산 시간이 공급되는 클럭 속도(수백 메가)에 비례하여 실시간 처리될 수 있으며 알고리즘처리 시간이 가변적이 아니라 항상 일정한 처리 속도를 갖는 특징을 보인다.

또한 필요시 재 프로그램 가능하여 새로운 기능을 원격에서 탑재시킬 수도 있다.

DSP 의 경우 프로그램처리 방식과, 인터럽터 발생 시점에 따라 알고리즘 수행시간이 가변적이고 실시간 처리속도가 FPGA 에 비해 떨어진다고 볼 수 있다.

따라고 고속 실시간 처리가 요구 되는 알고리즘은 FPGA에서 분담하여 처리할 수 있다.

때로는 FFT 연산기능을 FPGA 내에서 가변적으로 수행할 수 있다.

이러한 FPGA 기능의 향상으로 초소형화 고기능화가 가능하게 되었다.

FIR LINEAR FILTER, FFT, HILBERT TRANSFORM, ORDER TRACKING 등의 알고리즘을 FPGA 내부에서 하나의 칩으로 구현할 수 있어 대부분의 아나로그 회로를 간략화 하고

신호처리 속도가 대폭 향상된 보다 저렴한 가격의 소음진동계측기를 개발할 수 있게 되었다. 따라서 휴대용 소음진동 측정기의 기능이 DESK TOP 과거의 동등한 수준의 제품으로 출현될 것으로 보인다.

## 6. 소음진동 측정기의 통신방식

종래의 측정기는 대부분 GPIB, RS-232방식의 통신 방식을 주로 사용하고 있으나, 최근 들어서 이더넷, USB, ZIGBEE 등의 다양한 통신방식을 채택하고 있는 추세다. GPIB 의 경우 통신거리가 수 M 이내로 제한되고, 전용 통신카드를 별도로 필요로 하는 단점과 프로그램하기가 까다로운 점이 있으며, RS-232 통신의 경우에는 통신속도가 수 십 Kbps 이내로 제한된다. 그러나 이더넷 통신의 경우 100 Mbps 의 고속 통신이 가능하고 인터넷상에서도 통신이 가능한 장점이 있다.

그러나 pc상에서 실시간 분석을 요구하는 경우에는 통신패킷의 전달 시점상의 지연 요소가 큰 관계로 사용 시 유의 할 필요가 있다.

이에 비해 usb 통신은 통신지연 요소가 거의 발생치 않아 고속 실시간 데이터 통신에 장점을 갖는다. 이 경우 usb 통신 거리는 수 m 이내로 제한된다.

최근에는 센서모듈, 신호처리모듈 및 무선통신 모듈이 결합된 유비쿼터스형 진동계측기기도 출시되고 있다. 이 경우 저전력화, 저가화 및 무선화의 기술이 필수 사항이다.

무선통신의 경우 zigbee 통신이 유력시 되고 있으며 이 기술의 특징은 측정 유니트가 일정 공간 내에 복수 분산 되어 있을 경우 매우 효과적인 것으로 알려져 있다.

개별 측정기 간의 통신 중계가 내부프로토콜에 의하여 자동으로 이루어지고, 휴지기간에는 거의 저력 소모가 발생치 않는 장점을 갖는다. 따라서 각종 산업설비의 소음진동 모니터링 및 원격설비관리 등이 크게 활성화 될 것으로 보인다.