

소음·진동의 신호 처리

김 윤 석*

(브뤼엘 앤드 케아 코리아㈜)

1. 머리말

소음·진동은 이제 특정 엔지니어들만이 다루는 분야에서 벗어나, 많은 사람들이 쉽게 접근하는 보편적인 분야로 변모하고 있다. 따라서 이에 소음·진동을 주 업무로 다루고 있는 엔지니어들은 소음·진동의 각종 현상을 보다 명확하고, 체계적으로 이해하는 것이 필요하다. 또한 다양한 신호 분석기들이 제공하여주는 각종 응용기법을 적절히 이용하여 소음·진동 현상을 보다 효과적으로 분석, 이해할 수 있도록 해야 할 것이다.

신호분석과정은 신호의 종류에 따라 입력 방법에서부터 신호의 증폭, 필터 설정, 샘플링, 분석기 설정 그리고 보고서 출력까지 일련의 과정으로 연결되어 있다. 따라서 어느 한 부분을 소홀히 하여도 신뢰할 수 없는 결과를 만들 수 있다. 신호처리 과정 중 어느 한 부분만 이라도 적절치 못한 처리는 전체 분석과정의 정도와 신뢰성을 감소시킨다. 이로 인한 잘못된 결과는 시간적, 금전적으로 막대한 손실을 초래하거나 나아가 예기치 못한 사고로 이어질 수도 있다. 따라서, 일반적으로 신호의 분석과정에서 범할 수 있는 실수를 최소화하고 보다 정확히 신호를 처리하기 위하여, 측정용 센서의 선정에서부터 신호의 입력, 분석기의 주요

설정 등을 소개하고자 한다. 그리고 디지털 필터 분석기의 신호처리 과정과 푸리에 방식에 의한 주파수 분석 과정을 소개하면서 주의하여 다루어야 할 부분을 함께 소개하였다.

신호·분석방법은 신호의 종류에 따라 그 분석 방법이 다양하다. 신호는 시간의 경과에 따라 통계적 특성이 변하지 않는 정상신호(stationary)와 비정상신호(non-stationary signal)로 구분할 수 있으며, 정상신호에는 예측 가능한 주기신호(deterministic signal)와 비주기 신호(random signal)로 구분되어진다. 비정상신호에는 시간에 따라 연속적 신호(continuous signal)와 제한된 시간에 발생하는 신호(transient signal)로 나누어 볼 수 있다. 따라서 신호분석은 신호의 종류에 따라 적절한 방법으로 측정 및 분석을 해야 한다

2. 측정용 센서의 선정

소음·진동 측정용 센서는 그 종류가 다양하여 측정에 임하는 이들에게 우선 당혹감을 줄 수도 있다. 그러나 제품 사양서(specification)들을 살펴보면 어렵지않게 이해할 수 있으며, 적절한 센서를 선택할 수 있을 것이다. 소음·진동 측정용 센서 중 진동신호를 측정할 경우의 예를 들어보면 측정 대상물의 상태를 먼저 정확히 파악한 후 사용할 센서를 결정하여야 한다. 즉 측정 표면의 온

* E-mail : yskim@bksu.co.kr

도, 측정물체의 질량 그리고 측정하고자 하는 주파수 범위 등을 고려하여 설정하여야 한다.

측정표면의 온도가 상온이 아닌 고온일 경우 반드시 사용하고자 하는 센서의 허용 온도 범위인가를 확인해야 한다. 왜냐하면, 대부분의 진동 측정용 센서의 구조는 그림 3과 유사하며, 여기에 사용되는 압전재료(piezoelectric material)와 같은 소재는 일정 시간 이상 고온에 노출될 경우 압전 세라믹이 소극(depolarize)을 시작해서 그 감도가 영원히 변화된다. 이 경우 소극이 심하지 않을 시에는 재조정하여 사용할 수 있으나, 심할 경우는 측정용 센서로서의 기능을 상실하게 된다. 따라서 측정표면의 온도를 무시하고 사용하거나 감도가 변형된 센서를 사용하였을 경우 신호처리과정의 입력 최초 단계에서부터 오류를 가지게 되어 뒤에 이어지는 신호처리 과정에서 사용되는 신호들을 신뢰할 수 없게 된다. 측정 표면의 온도 변화 또한 온도과도(temperature transient) 현상에 따라

출력의 변화를 가져온다. 이 현상은 매우 낮은 레벨이나 저주파 진동을 측정할 경우 문제가 되기 때문에 유념하여야 한다.

그리고 측정 대상물체의 질량을 고려하여 센서를 선택하여야 한다. 왜냐하면 측정 지점에 센서를 부착하면 그 센서 차체의 질량이 측정점에 부가되어 진동의 크기와 주파수의 변화를 가져온다. 따라서 일반적으로 측정 센서의 질량은 부착하고자 하는 지점의 동적질량(dynamic mass)의 1/10을 넘지않아야 한다. 그러나 센서의 구조상 부피와 질량이 작을수록 압전 재료가 작아짐으로 이에 따라 측정 감도가 상대적으로 낮아진다. 측정 환경에서 주변의 잡음이 많을 경우, 예를 들면 케이블과 분석기 내부의 전기적 잡음 등으로 획득하고자 하는 신호의 크기에 비하여 잡음이 많이 포함될 경우 이를 줄이기 위하여는 먼저, 이중 절연피

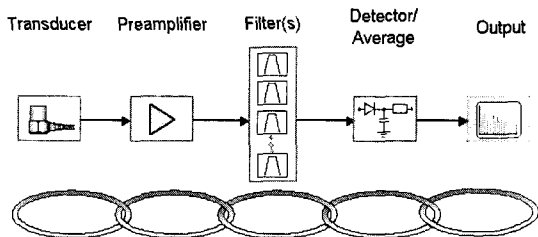


그림 1 신호의 처리의 연결고리

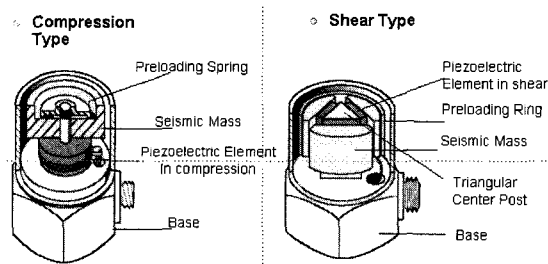


그림 3 가속도계 센서의 구조

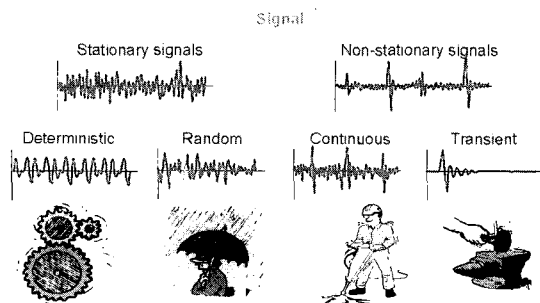


그림 2 신호의 종류

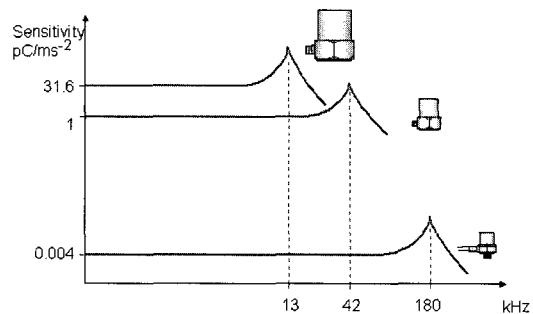


그림 4 가속도 크기에 따른 감도와 측정 주파수 범위

특집 신호처리

복이 되어있는 케이블을 이용하고, 분석기의 접지 상태를 확인한 후, 적절한 크기의 감도를 가지는 센서를 선택하여 사용해야 한다. 그리고 센서의 크기 또한 측정지점의 동적질량과 환경을 고려하여 선택되어야 한다.

센서의 측정주파수범위와 감도는 센서의 구조상으로 상반되는 관계를 가지고 있다. 특히 고주파 영역에서는 각 센서들의 측정 상한 주파수를 알 수 있어 쉽게 선정할 수 있다. 그러나 저주파 영역에서는 비록 대부분의 센서가 측정 주파수 범위를 포함하고 있지만, 크기에 따라 감도의 차이가 있다. 건축 및 지반진동 등의 저주파 신호를 측정하기 위하여는 최대한 감도가 높은 센서를 사용하여야 한다.

이 이외에도 센서의 부착방법에 대하여 세심한 주의를 기울여야 한다. 일반적으로 자석과 밀랍 (bees wax)을 이용하여 쉽게 부착하여 사용할 수 있다. 그러나 이러한 부착방법은 측정부위에 센서의 고착정도에 따라 측정 가능한 상한 주파수가 제한되기 때문에 이를 초과한 영역에 대한 값은 신뢰할 수 없다. 자석을 이용할 경우, 그 부착력이 자력에 의존함으로써 측정 지점은 자력이 잘 작용하는 지점이어야 한다. 또한 부착면은 평평한 지점을 선정하고 그 지점을 깨끗이 한 후 부착하면, 고착력이 증가되어 높은 주파수 영역까지 신호를

받을 수 있다. 그리고, 밀랍 (bees wax)을 사용할 경우 온도가 높아지면 부드러운 부착력이 떨어짐으로 그 사용 온도를 40 °C 까지로 제한하고 있다. 주기적으로 진동 신호를 측정하는 지점의 경우는 나사못을 이용할 수 있도록 탭을 만들어 센서를 고착하는 방법을 이용하면, 고정 강성이 증대되어 높은 주파수까지 측정이 가능하다. 또한, 재측정 시 항상 동일한 위치에서 측정하게 됨으로 신호의 변화량을 정확히 비교할 수 있어 유용하게 활용할 수 있다.

3. 앰프의 설정

전치 증폭기의 적절한 사용과 설정은 신호를 보다 유용하게 만들어준다.

- 신호 증폭으로 신호 대 잡음 비(signal to noise ratio : S/N)를 향상
- 임피던스를 낮게 변환하여 분석기 입력단자에 적합
- 센서의 감도 조정기능
- 적분회로를 이용한 속도, 변위로의 변환
- 상한, 하한 주파수 필터 설정

측정 지점의 센서로부터 입력된 신호는 일반적으로 매우 낮은 전기 신호이기 때문에 이 신호가 분석기까지 가는 도중, 케이블 선로상으로 유입될

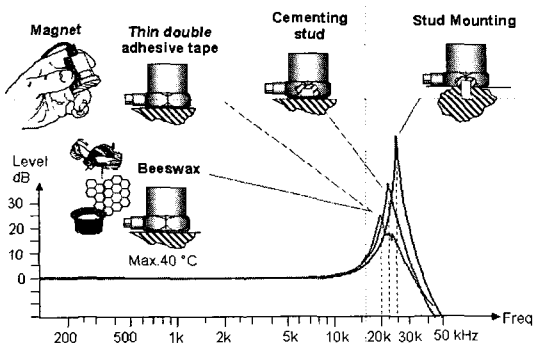


그림 5 센서의 부착방법에 따른 측정 주파수 범위

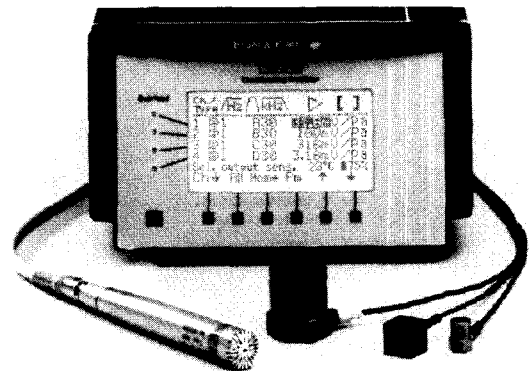


그림 6 소음·진동 측정용 앰프

수 있는 잡음성분이나 분석기 내부의 자체 전기적 잡음 등이 혼합되어 함께 샘플링 될 수 있다. 따라서 센서에서 출력하는 신호성분을 잡음성분과 혼합 되기 전에 전치증폭기를 이용하면 신호를 최대한으로 높여 전송함으로써 신호 대 잡음 비(signal to noise ratio : S/N)를 향상시킬 수 있다. 그리고 센서의 출력 임피던스는 일반적으로 매우 높기 때문에($G\Omega$) 이를 분석기에 연결할 때에는 입력단자의 임피던스가 센서의 임피던스 보다도 충분히 더 높아야만 가능하다. 따라서 일반적으로 분석기의 입력단자에 신호를 입력하기 위하여는 전치증폭기를 이용하여 낮은 임피던스로 변환하여 줌으로써 일반 분석기의 입력단자에 적합하게 사용할 수 있다.

입력되는 센서마다 고유의 감도(sensitivity)를 가지고 있다. 이것을 일정한 크기의 감도(즉, 1 Volt/ ms^2 또는 10 Volt/ ms^2)로 변환하여 신호를 저장하거나 그 크기를 비교할 경우 더욱 편리하게 사용할 수 있다. 또한 적분회로의 사용은 가속도로 입력된 신호를 속도나 변위 값으로 볼 수 있어 현장에서 사용하기가 더욱 편리하다.

고역통과 필터(high pass filter), 저역 통과 필터(low pass filter)의 적절한 설정은 케이블로 유입된 저주파 잡음신호를 제거할 수 있으며, 센서의 선형 주파수 범위 밖에 있는 신호들의 간섭을 피할 수 있다.

4. 입력신호의 감도와 동적범위 설정

일반적으로 주파수 분석기를 이용하여 신호를 처리 할 때 디지털방식이 가지고있는 제약 사항에 따라 몇 가지 오류가 발생하게 된다. 이를 최소화 하기 위하여 적절한 장비 설정과 처리과정이 필요하다. 이를 위하여 입력되는 신호를 최대한으로 유효하게 분석할 수 있도록 아래와 같이 센서의 감도와 동적 범위(dynamic range)를 적절히 설

정한 후 신호처리가 진행되도록 해야 한다.

- 입력 신호의 센서 감도를 분석기에 입력하여 신호의 절대적 크기를 알 수 있도록 한다.
- 입력 신호를 적절한 크기로 조정(input range)하여 분석기의 동적 범위(dynamic range)를 적절하도록 맞추어 신호 대 잡음 비(S/N ratio)를 높인다.

5. 샘플링(Sampling)

분석기에서 입력된 신호의 처리 중 가장 먼저 진행되는 과정은 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 것이다. 연속적인 신호를 일정간격의 값으로 변환하는 이산화(discretization)과정으로 신호를 일정 시간간격으로 구분하여 각 구간의 값을 하나의 값으로 이산화 하는 것을 샘플링(sampling)이라 한다. 그리고 그 각 구간에 들어있는 신호의 크기에 대한 이산화를 양자화라 한다. 이렇게 각 시간과 크기를 이산화 처리한 것을 디지털 신호라고 한다.

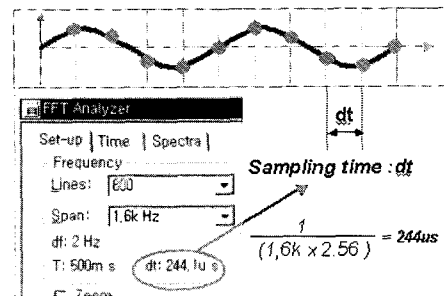
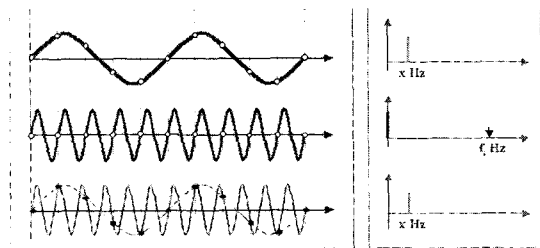


그림 7 중첩(aliasing) 현상과 샘플링 간격

특집 신호처리

샘플링 과정에서 고주파수의 성분이 저주파로 중첩(aliasing) 되어 나타나는 현상이 발생할 수도 있으나, 최근의 신호 분석기들은 대부분 소음·진동에서 다루는 주파수의 범위를 훨씬 상회하여 샘플링 할 수 있는 성능을 제공하고 있다. 따라서 별도의 설정이 없이도 측정하고자 하는 주파수 범위, 즉 가장 높은 주파수(nyquist frequency) 만 설정되면 이 주파수의 2배 이상의 샘플링과 antialiasing 필터의 작동으로 중첩현상을 제거하도록 설정되어 있다. 그러나 이러한 기능이 없을 경우에는 적절한 필터를 설정하거나, 샘플링 주파수를 분석 하고자 하는 주파수의 2.56배가 되도록 설정한 후 사용하여야 한다.

6. 주파수 분석

6.1 디지털 필터 분석기

주파수 분석을 위하여 일반적으로 사용되는 방식에는 디지털 필터를 이용하는 방법과 푸리에 변환을 이용한 분석 방법이 있다. 디지털 필터분석기에 사용되는 필터는 일정 비율 대역폭(constant percentage bandwidth)분석에 유용하며, 대수 주

파수축에 대하여 균일한 분해능을 가지고 넓은 범위에 대하여 사용이 가능하다. 따라서 일반적으로 소음 신호의 주파수 분석에 많이 사용된다.

디지털 필터에 의한 신호처리과정을 살펴보면 우선 입력 직후 아날로그 저역 통과 필터를 이용하여 중첩(aliasing) 현상을 제거한 후 A/D 변환기를 통하여 아날로그에서 디지털신호로 변환된다. 이 디지털신호는 대역통과 필터부와 저역통과 필터부로 동시에 보내진다. 대역통과 필터부에서는 가장 높은 주파수대역부터 밴드 필터가 동작하고 이들 각 3개의 밴드필터 유니트에서는 각각 2 pole 씩 조합 처리하여 총 6 pole 로 처리된 신호를 한 개의 밴드 대역을 통과한 값으로 처리된다. 다음 대역의 처리를 위하여 동일한 과정을 거친다. 한편 저역통과 필터부에서는 2개의 저역필터 유니트에서 각각 2 pole 씩 조합처리하여 3회 반복 후 총 12 pole로 저역통과된 신호를 대역통과 필터부로 보내주어 다음 대역의 신호처리를 진행한다. 각 밴드필터로 처리된 신호는 RMS 검파기로 검파되어 각 밴드 중심주파수 별로 출력하게 된다.

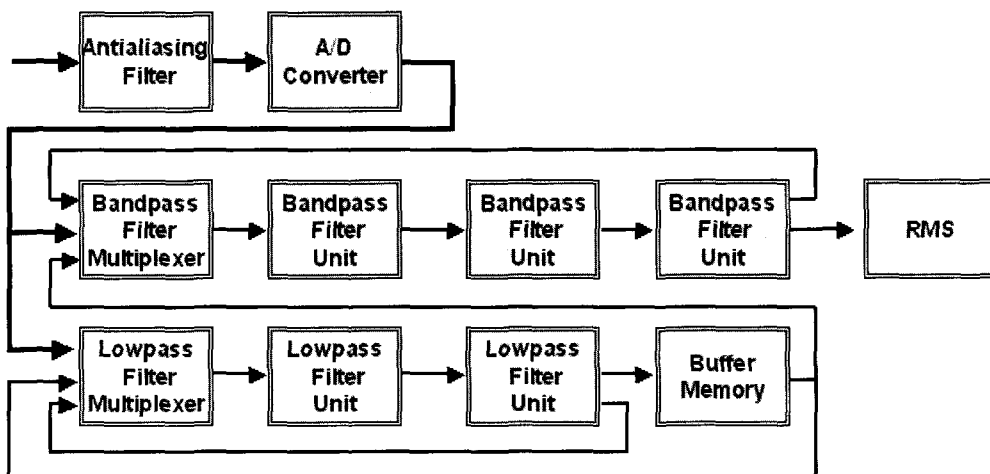


그림 8 디지털 필터 분석기의 진행도

6.2 고속 푸리에 변화(Fast Fourier Transform)

고속 푸리에 변환(fast Fourier transform)에 의한 신호의 처리방식은 블록 단위로 진행함에 따라 몇 가지 유의하여 신호처리를 해야 하는 번거로움이 있다. 하지만 신호에 대한 위상정보를 알 수 있어 신호의 상관관계(correlation)나 기여도(coherence), 전달 함수 등을 이용할 수 있어 시스템 분석에 유용하게 사용되어진다.

푸리에 변환에 의한 신호처리 방법은 블록 단위로 시간신호를 메모리 버퍼에 담고, 이를 분석하는 과정에서 누설(leakage)현상이 발생하게 된다. 이것은 분석기가 신호를 연속적으로 무한히 받아 처리할 수 없기 때문에 일정 시간 T(time record

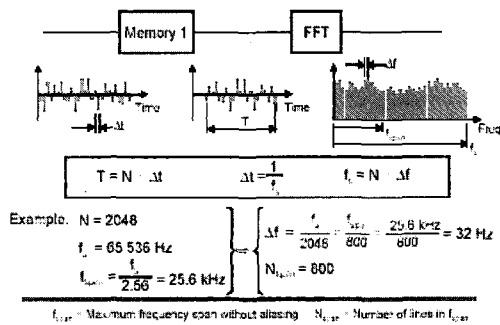


그림 9 주파수 분석 설정 요소들의 상호관계

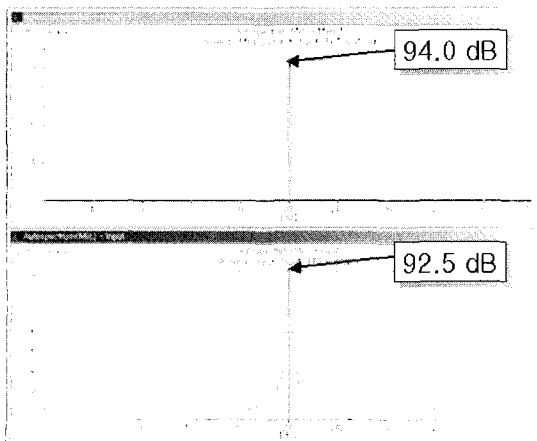


그림 10 누설(leakage)현상

length)만큼만 메모리 버퍼에 저장하게 된다. 저장된 시간 신호를 반복 처리하는 과정에서 시작점과 끝점이 매끄럽게 연결되지 못할 경우 불연속점이 발생하게 된다. 이러한 불연속점은 주파수 영역에서는 무수히 많은 주파수의 성분으로 나타나게 되며, 실제로 존재하는 입력신호 크기가 줄어들고, 그 줄어든 양 만큼의 에너지가 다른 주파수로 누설(leakage)되는 것과 같은 현상이 나타나게 된다.

이러한 누설현상은 신호에 따라 적절한 창함수(window function)를 분석 시간 T(recorder length)에 곱하여 주어 양끝단을 부드럽게 연결 처리함으로써 줄일 수 있다.

창함수의 선택은 신호를 시간축 상에서 신호의 변화를 먼저 살펴보고 진행하여야 한다. 일반적으로는 hanning w창을 많이 사용하고 있지만 과도신호(transient signal)의 경우는 trigger와 같은 기능을 이용해야 한다. 그렇지 않을 시에는 메모리 버퍼(time record length)의 적절한 위치에 임으로 지정하여 신호를 저장할 수 없다. 따라서, 이와 같은 과도신호의 경우는 에너지가 크게 집중된 시점이 정규 분포형태의 창함수의 경사면과 집할

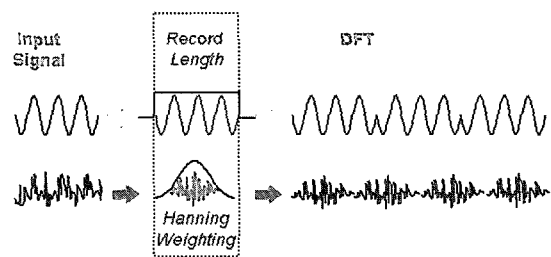


그림 11 창 함수(window function)의 적용

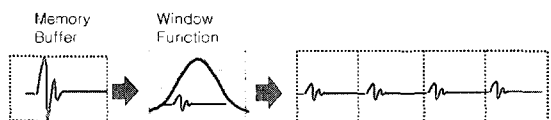


그림 12 과도신호의 잘못된 창 함수의 적용 예

수도 있다. 이 경우 에너지가 삭감되어 신호의 손실을 가져온다.

따라서, 이러한 경우의 신호에 대하여는 사각창 함수(rectangular window function)를 사용하거나, 창함수를 적절히 증첩하여 사용하여 신호의 손실을 막을 수 있다.

분석기의 표시 창에는 설정한 주파수 df 간격으로 분석된 신호의 값을 표시하고 있다. 따라서 실제의 신호가 표시 간격사이에 묻힌 경우는 부득이 제대로 된 값이 나타날 수 없다. 이러한 현상을 picket fence effect 라하며, 이는 해상도를 더 높

여 재측정하거나 적절한 창 함수를 선택 함으로서 해결할 수 있다.

7. 실시간 분석(Real-time Analysis)

매 순간 입력되는 신호는 메모리 버퍼에 일정량 T (recording time)이 저장되며, 저장된 신호는 처리 분석하는데 일정시간 T_c (calculation time)가 소요된다. 분석기의 연산 속도가 빨라 신호처리에 걸리는 시간 T_c 가 메모리의 저장시간 T 보다 작게 걸릴 경우를 신호의 손실이 없이 분석이 이

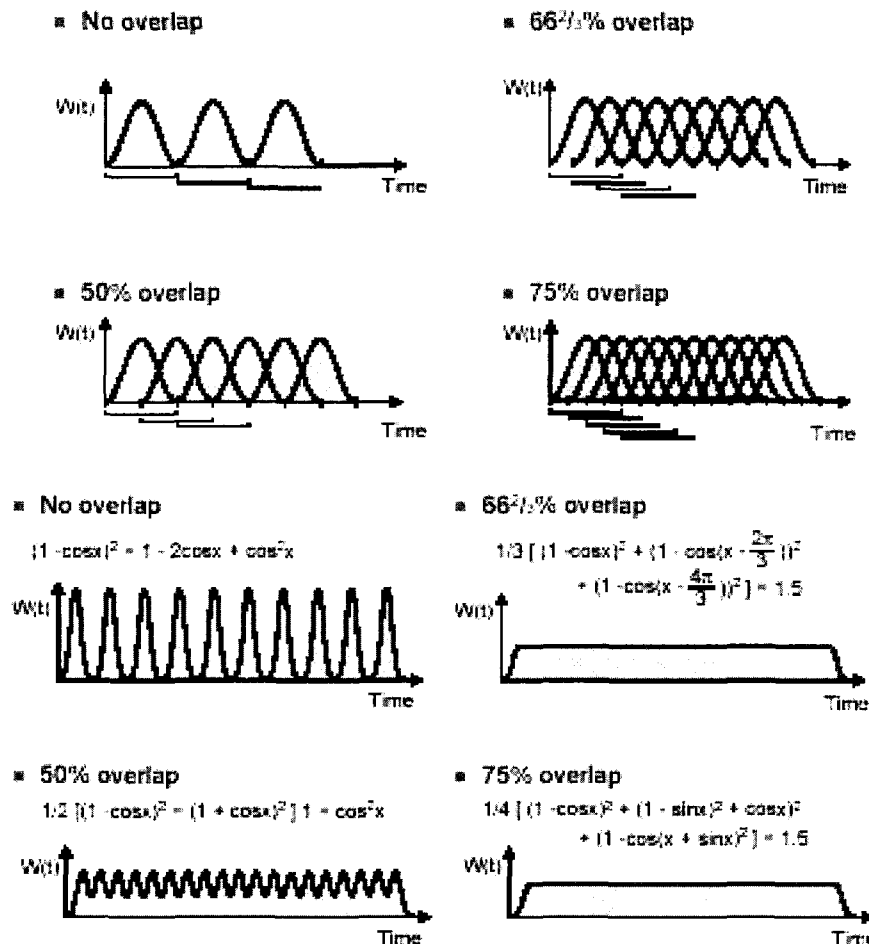


그림 13 창 함수의 중첩(overlap)

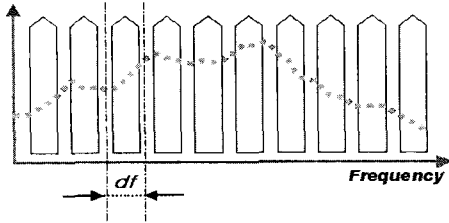


그림 14 Picket fence effect

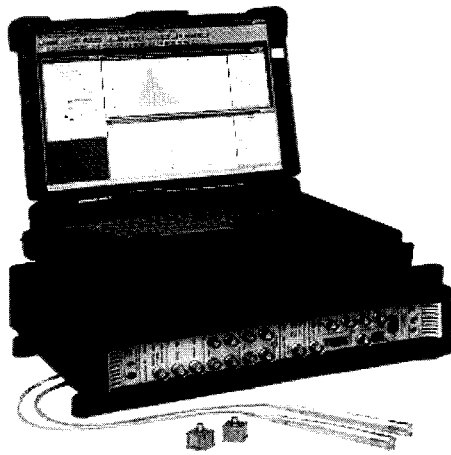


그림 15 신호분석기(Bruel & Kjaer pulse)

루어진다고 하며, 이런 경우를 실시간으로 신호를 처리한다고 한다. 반면 신호 처리시간 T_c 가 메모리 저장 시간 T 보다 많이 걸릴 경우에는 입력되는 신호를 매 순간 일정량의 손실 신호가 발생하게 된다. 그리고 매 순간 신호처리의 결과 값은 T_c 동안 만큼의 지연 후 나타나게 된다.

8. 맺음말

소음·진동에 관한 신호처리의 기법은 다양하게 많은 책자에서 이미 소개되어 있으며, 연구소 및 대학내에서 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 생산 현장의 품질관리분야 등에 종사하는 많은 엔지니어들은 현장실무에 직접 적용할 수 있는 신호 분석의 실무 자료가 부족하다고 느끼고

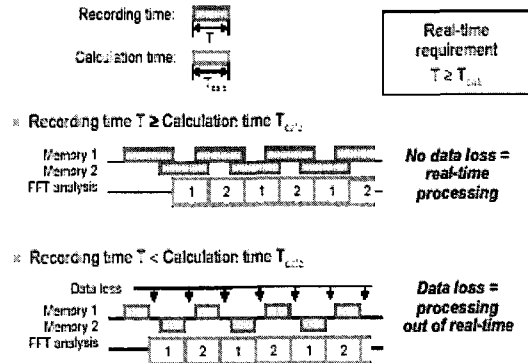


그림 16 실시간 신호처리

있다. 따라서, 현장 실무자들을 위하여 본 특집을 통하여 간략히 신호의 측정과 분석에 도움을 주기 위하여 신호측정위주로 정리하였다. 앞으로는 현장에서 발생하는 각종 소음·진동의 다양한 사례를 체계적으로 정리하여 신호 분석방법과 처리기법을 실무적 정리하여 소개한다면 현장 엔지니어들에게 많은 도움이 되리라 생각한다.

참고 문헌

- (1) R.B.Randall, 1987, "Frequency Analysis," Bruel & Kjaer.
- (2) Mark Serridge, Torben. Licht, 1986, "Piezoelectric Accelerometer and Vibration Preamplifier Handbook," Bruel & Kjaer.
- (3) Gade, S., 1989, "Digital Filter Analysis : Real-time and Non Real-time Performance," Bruel & Kjaer Technical Review NO.2.
- (4) Randall, B., Upton, R., 1978, "Digital Filters and FFT Technique in Real-time Analysis," Bruel & Kjaer Technical Review NO. 1.
- (5) 강창언 1990 "통신 공학" 개문사.
- (6) 한국소음진동공학회, 2002, "소음·진동용어 해설집".