

진동 시험 기법의 적용에 관한 고찰

A Study on Application of Vibration Testing Method

이창훈†
Chang-Hoon Lee

Key Words : Vibration Testing Method

ABSTRACT

Review of practical vibration test methods those applied in various industrial fields - such as automotive industry, electrics and electronics industry, defense industry and aerospace industry - is described on this paper. Swept sine test, random vibration test and advanced vibration techniques are explained according to their parametric values and also application fields of each test method are suggested by the characteristic of each method. For more proper application of each test method, standardized test specifications should be always reviewed and revised according to the transition of environmental factors.

1. 서 론

현대 산업의 거의 모든 분야, 이를테면 전기/전자 산업, 자동차산업, 항공우주산업 등의 다양한 분야에서 생산되는 제품들은 대부분 신뢰성의 문제에 직면해 있다. 여전히 제품의 안정성 및 내구성, 그리고 사용자에 위해를 가할 수 있는가 하는 안전성 문제에 대한 신뢰성은 제품의 기본적인 성능 요건 중에 하나라고 볼 수 있으며, 최근의 추세로는 이러한 기본적인 부분뿐만 아니라 사용자의 감성적인 부분과 생산자의 경제적인 목적까지 더해져서 신뢰성의 개념은 보다 더 복잡하고 다양해지고 있다.

진동에 대한 제품의 신뢰성 또한 과거의 획일적인 개념에서 벗어나 다각화된 신뢰성의 개념에 맞춰 여러 가지 형태로 진보해 왔으며, 좀더 실질적이고 효과적인 진동 시험의 기법들이 각 산업의 분야에서 응용되고 있다.

제품에 인가되는 대표적인 진동 하중의 형태는 회전 기계나 왕복 행정을 갖는 기계 장치들로부터 발

생하는 정현파 하중, 차량 주행 시 발생하는 랜덤이나 transient 하중, 충돌이나 폭발에 의한 충격 하중 등으로 매우 다양하게 나타나는데, 과거에는 대부분 주파수가 결정되어진 정현파 하중에 대한 시험 위주로 제품의 신뢰성을 평가하는 수준이었으나 시험 장비의 수준이 상당히 높아진 근래에 와서는 이러한 다양한 형태의 하중을 직접 재현하는 것이 가능해짐에 따라 시험의 사양들도 실제 상황에 매우 근접한 수준으로 변이되어왔다.

또한 진동 시험의 경우, 단순한 내구성 시험 뿐만 아니라 제품의 개발 단계에서 설계의 타당성을 확인하기 위한 검증 기능을 함께 수행하게 되었으며, 이로 인해 제품의 신뢰성을 향상시키기 위한 설계 변경 등 폭넓은 분야에서 그 유효성을 확보할 수 있게 되었다.

본 논문에서는 전통적인 진동 시험의 기법과 진보적인 진동 시험의 기법들이 갖는 특징 및 각 시험 사양의 검토 시 주의해야 할 내용에 대해서 경험적 관점에서 알아보고자 한다.

† 교신저자; 비회원, (주)GU
E-mail : chlee@gu21.com
Tel : 031-715-4144, Fax : 031-715-4145

2. 진동 시험의 종류와 적용

2.1 Swept sine test

(1) Swept sine test의 개요

Swept sine test(정현파 소인 시험)은 시간에 따라서 주파수가 변화하는 가진력을 피시험체에 인가하는 시험으로서, 시험의 사양은 다음과 같은 주요 매개변수들로 구성된다.

① 주파수의 범위

피시험체의 실제 사용 환경이나 운용 환경에서 지배적으로 발생하는 주파수의 범위로 주어지는 것이 타당하지만, 그 외 주파수 응답 특성을 구하는 등 실험적인 접근에서는 임의로 설정될 수도 있다. 표준화된 시험 사양에서는 사용 환경 및 피시험체의 종류에 따라서 주파수 범위는 미리 결정되어져 있으며, 경우에 따라서 그 범위가 세분화되어 지기도 한다.

② 진동의 크기

변위, 속도, 가속도의 물리적 운동에 대한 매개변수로 그 크기가 주어진다. 저주파수 대역에서는 주로 변위가 지배적인 매개변수로 작용을 하게 되며, 고주파수로 올라갈수록 가속도 값이 지배적으로 나타난다.

③ Sweep rate

Sweep rate는 Fig 1에서와 같이 Logarithmic sweep과 Linear sweep으로 나누어지는데, oct/min의 단위를 갖는 logarithmic sweep이 일반적이다. Linear sweep (주로, Hz/sec)의 경우에는 저주파수에서의 진행률이 매우 빠르기 때문에 해당 주파수에서의 응답 특성이 파악되기 전에 주파수가 증가 또는 감소해버리는 경우가 발생할 수 있다. 즉, 저주파수에서의 주파수 응답 특성을 파악하기가 매우 어려워지므로 광대역 주파수를 sweep하는 경우에는 linear sweep은 적합하지 않다.

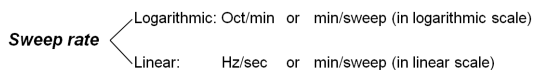


Fig 1 Sweep rate

④ Sweep 회수 또는 시험 시간

전체 구간을 sweep하는 회수를 지정하거나 설정

된 sweep rate로 경과하는 시간을 지정하는 방법으로 시험의 시간을 결정한다.

(2) Swept sine test의 적용

Swept sine test는 진동 시험의 기법 중에서 기본적으로면서도 대표적인 것으로, 수많은 분야에서 응용되고 있다. 특히, 동일 시간에 단일 주파수로 가진을 하는 특징을 갖고 있어 시스템의 주파수 응답 특성을 파악하는 데 적당하다. 따라서, 이 시험은 대부분의 시험 사양 중에서도 기본 단계에서 수행되며, 피시험체의 공진점 등을 검출한 후 연계적으로 고정 주파수 시험(fixed sine test)을 수행하는 경우가 많다.

회전 기계나 동력 전달 계통의 부품 등 주로 자동차 관련 부품에 대한 시험에 적용되며, 그 외에도 공진점 검출이 필요한 제품의 시험에 응용된다.

정현파 시험 중 주파수를 변화시키지 않는 시험을 고정 주파수 시험(fixed sine test)라고 하는데, 일정한 정현파 하중을 받는 경우에 내구성 시험으로 응용되는 경우가 많다.

그 외에도 정현파 하중이 지배적으로 나타나는 하중에 대한 내구성 시험 사양들도 많이 있으나, 내구성의 경우는 환경 시험인 만큼 다음에서 설명하는 random vibration test가 보다 더 실효성이 있다고 볼 수 있다.

2.2 Random vibration test

(1) Random vibration test의 개요

자연계에 존재하는 거의 모든 진동은 순수한 정현파 진동 보다는 랜덤 진동에 가까우며, 평가 대상인 피시험체가 노출되는 환경은 더욱 그러할 가능성이 많다.

랜덤 진동은, 한번에 하나의 주파수로만 진동을 인가할 수 있는 정현파 가진에 비해 주파수 구간에 포함된 무한개의 주파수로 한꺼번에 진동을 가함으로써 각 주파수에 대한 응답의 상호작용까지 파악을 할 수 있는 특징이 있다.

① 주파수의 범위

정현파 소인 시험의 경우와 마찬가지로 랜덤 진동 시험 사양의 주파수 범위는, 측정된 환경의 주파수 스펙트럼 범위로 결정된다. Fig 2에서는 전형적

인 랜덤 진동 시험 사양의 PSD 곡선을 보인다.

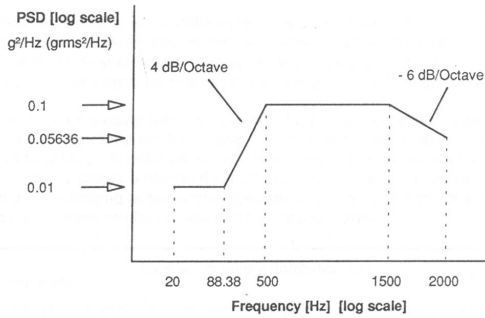


Fig 2 Example of random vibration profile

② 진동의 크기

측정 및 분석된 파워스펙트럼 밀도(PSD; Power Spectral Density)로 랜덤 진동의 크기는 정의되며, 평균값(RMS)은 PSD의 면적값으로 계산된다. (Fig 3)

규격화된 랜덤 진동의 사양들은 실제 스펙트럼의 복잡한 형태나 스펙트럼 라인의 개수를 간소화시킨 envelope의 형태로 되어 있다. 이러한 스펙트럼은 실제 동적 거동 상태와 다소 오차가 발생할 가능성이 있어, 요즘은 실측 스펙트럼을 가공하지 않고 그대로 진동 시험에 이용하는 경우도 있다.

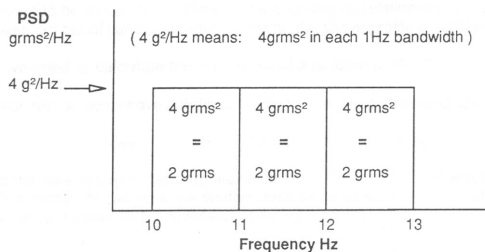


Fig 3 RMS value of random profile (PSD)

③ 시간

주파수를 변화시켜야 하는 정현파 가진과는 달리, 랜덤 진동은 매 순간 스펙트럼 구간 내의 모든 주파수를 포함하기 때문에 단순히 경과 시간 만으로 시험의 수행 시간을 정의한다.

(2) Random vibration test의 적용

랜덤 진동은 대표적으로 제품의 수송 환경에서

많이 나타난다. 과거에는 안전 문제와 직결된 제품, 이를테면 방위산업 제품이나 자동차 부품 등에 대한 시험이 대부분이었다면, 요즘은 전자제품과 같은 각종 소비재의 운송 환경에 대한 신뢰성 평가도 한 줄기를 이루고 있다. 예를 들어 실 사용 환경에서는 거의 진동에 대한 평가가 필요 없는 백색 가전의 경우도 운송 환경에서 나타나는 진동에 대해 필수적으로 시험 평가를 수행함으로써 제품의 신뢰성을 보장할 수 있게 되는 것이다. 하지만, 이러한 랜덤 진동의 양상, 특히 운송 환경 진동은 천편일률적으로 적용이 되어서는 안된다. 후진국이나 개발도상국의 도로 사정, 차량과 같은 운송 수단의 상태 등이 선진국의 그것과 같을 수 없기 때문이다. 과거의 운송 환경 진동의 사양도 마찬가지로 현대의 것과 같을 수 없기 때문에 환경의 변화에 대한 사양의 개정도 반드시 필요하다고 볼 수 있다. (Fig 4)

그 외에도 대부분의 진동 내구 시험 사양으로 랜덤 진동 스펙트럼이 이용되고 있다.

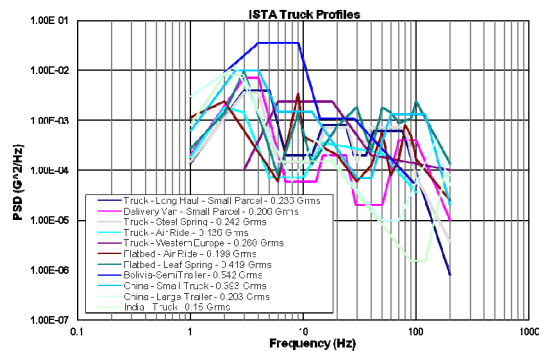


Fig 4 ISTA Truck profile (random vibration)

2.3 Mixed-mode vibration test

(1) Mixed-mode vibration test의 개요

앞서 살펴본 바와 같이 제품에 인가되는 진동 하중은 크게 정현파 진동과 랜덤 진동으로 나누어 볼 수 있다. 특히 랜덤 진동은 스펙트럼 밀도 함수의 개념으로 대부분의 진동 하중을 포괄적으로 나타낼 수 있는 특징을 갖고 있다. 하지만, 이러한 광대역 랜덤 진동만으로 그 가진원의 특성을 표현할 수 없는 경우도 있는데, 이 절에서는 정현파 진동 및 랜덤 진동이 복합적으로 나타나는 mixed

mode vibration에 대한 시험 기법에 대해서 알아보고자 한다.

① Sine on Random

광대역 랜덤 진동에 다수의 정현파 진동이 더해진 복합적인 형태의 진동이다.

이러한 진동은 헬리콥터(Fig 5, 6), 자동차 배기계통 등 회전 기계와 조합된 복합적 구조물에서 나타난다.

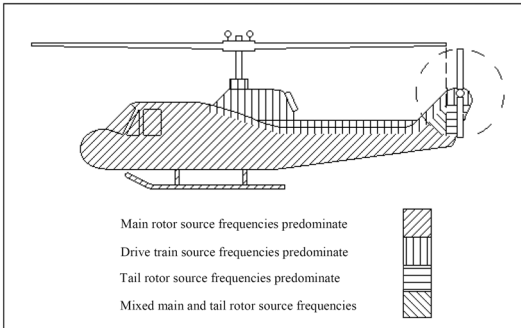


Fig 5 Helicopter vibration zones (MIL-DTS810F)

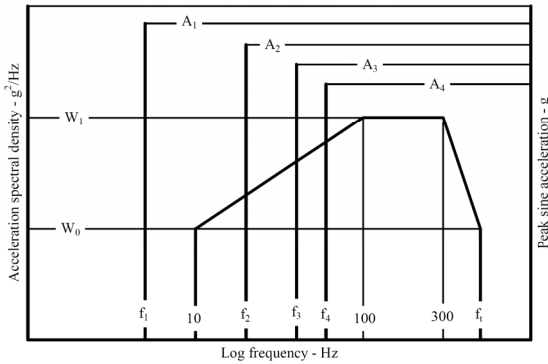


Fig 6 Helicopter vibration exposure (MIL-STD810F)

② Random on Random

광대역 랜덤 진동에 다수의 협대역 랜덤 진동이 더해진 복합적인 형태의 진동이며, 프로펠러를 동력원으로 하는 항공기에서 나타난다 (Fig 7).

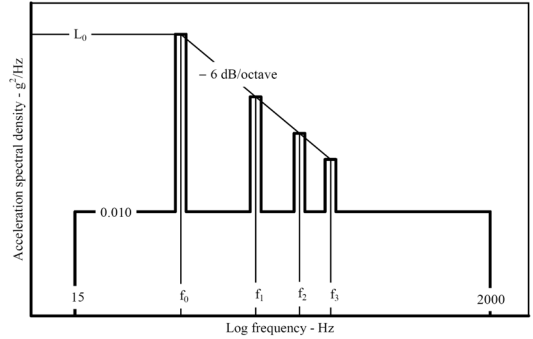


Fig 7 Propeller aircraft vibration exposure (MIL-STD810F)

(2) Mixed mode vibration test의 적용

상기 유형의 진동 시험 사양은 다소 특수한 형태로서, 보편적으로 적용되는 것은 아니다. 하지만, 실제 진동을 모사하는 것이 그 첫번째 목적인 진동 시험의 측면에서 본다면 각각의 진동 시험을 별개로 수행한 경우와 두가지 이상의 진동이 중첩된 하중으로 시험한 경우는 전혀 다른 조건이라고 볼 수 있으며, 결과 또한 두 경우가 다를 것으로 판단된다.

2.4 Field data replication

(1) Field data replication의 개요

환경에서 나타나는 진동은 랜덤 진동 뿐만 아니라 비주기적인 transient 이벤트를 포함하는 경우도 발생한다. 즉, 충격과 같이 갑자기 가속도가 증가 또는 감소하는 형태의 운동도 나타날 수 있는데, 이러한 진동은 주파수 분석을 통해 PSD를 구하게 되면 해당 이벤트는 속성은 사라지게 된다. 따라서, 스펙트럼을 구하기 보다는 시간영역 신호를 그대로 진동 시험에 이용하는 것이 더 타당하다. 또한, 규격화된 진동 시험 사양이 없는 경우에도 실제 진동 하중을 측정하여 시험에 적용하는 방법도 고려해 볼 수 있다.

이러한 시험 방법을 field data replication 또는 road simulation이라고 한다.

Field data replication에서 주의할 사항은, 측정된 가속도 데이터를 가공하지 않은 상태로 진동 시험에 적용해서는 안된다는 것이다. 가속도 등의 동적 신호 측정 시 필연적으로 발생하는 DC

offset은 속도나 변위로 적분 시 velocity slope나 displacement slope를 생성시키고 이러한 매개변수들은 대부분의 진동 시험기들이 갖는 속도나 변위의 사양 상의 제약을 쉽게 넘어서게 되어 제대로 시험이 진행되지 않기 때문이다. 따라서, 반드시 raw 데이터의 DC offset 성분이나 velocity slope 성분을 high pass filter 등의 신호 처리를 이용하여 제거한 후에 진동 시험용 프로파일을 생성해서 시험을 진행해야 한다.

(2) Field data replication의 적용

시험 사양이 정해지지 않은 피시험체의 진동 영향 평가 및 내구성 시험에 광범위하게 적용을 할 수 있다. 대표적으로 건설기계와 같은 일반적인 차량에서 나타나지 않는 transient 특성을 많이 포함하는 진동 하중에 대해서는 이러한 실측 데이터에 의한 진동 시험이 매우 적합하다.

또한 컨베이어 시스템과 같은 생산설비의 건전성을 평가하고 시스템의 동작에 대한 설비 구성품의 신뢰성 시험에 응용하는 등 일반적인 진동 시험 사양으로 평가가 어려운 분야에 적용할 수 있다.

결 론

이상과 같이 현재 산업의 여러 분야에서 사용되고 있는 진동 시험의 여러 가지 기법의 주요 특징과 적용에 대해서 알아보았다.

진동 시험의 궁극적인 목적은 앞서 논의된 바와 같이 환경에 대한 평가가 큰 부분을 차지한다. 다양한 실험적 접근에 의한 의도적인 기법이나 프로파일의 적용 또한 의미가 있겠지만, 무엇보다도 실제 사용 환경의 명확한 정의와 가진원의 동적 특성 파악이 우선 해야 하겠으며, 그에 따라 알맞은 기법을 적용하고 적절한 프로파일을 정의함으로써 보다 효율적인 진동 시험의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

또한 환경의 변화는 곧 가진원의 변화이기 때문에 규격화된 시험 사양들에 대한 끊임없는 평가와 개정이 필요할 것으로 사료된다.