

高精密裝備의 振動許容規制値 仕樣에 關한 研究

°이홍기*, 박해동*, 김두훈*, 김사수**

A Study on the Specification of Vibration Criteria of Sensitive Equipment

Hong-Ki Lee, Hae-Dong Park, Doo-Hoon Kim, Sa-Soo Kim

ABSTRACT

In the case of a precision equipment, it requires a vibration free environment to provide its proper function. Especially, lithography and inspection devices, which have sub-nanometer class high accuracy and resolution, have come to necessity for producing more improved giga class semiconductor wafers. This high technology equipments require very strict environmental vibration standard in proportion to the accuracy of the manufacturing, inspecting devices. The vibration criteria of high sensitive equipment should be expressed in the form of 'exactness' and 'accuracy', because this is made basic data in the use of building structure design. This paper made a study on the specification of high sensitive equipment and proposed a contents of the specification.

1. 서론

정밀산업의 대표적인 분야는 초고집적의 메모리 칩을 생산하는 반도체 공장과 반도체 생산 공정에 사용되고 있는 정밀장비를 제작하는 산업분야일 것이다. 기가급(giga class)의 메모리칩(DRAM)을 생산하기 위해서는 0.23~0.1 μ m 이하의 회로 선폭을 가공할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 현재, 연구 단계에 있는 테라급(tera class)의 메모리칩에서는 이 보다 정밀한 가공기술이 필요할 것으로 예상된다. 이러한 고집적 반도체 제품의 가공과 검사를 위해서는 가공 선폭(線幅) 이상의 분해 성능을 가진 고정밀의 생산, 검사 장비가 필요하다. 특히, 레이저 빔을 사용하여 웨이퍼(wafer)에 미세 패턴(pattern)을 형성시키는 노광 장비는 웨이퍼 최소 가공 선폭의 1/5~1/20 수준의 정밀도가 요

구되고 있으며 이러한 정밀도의 향상은 내외부로부터 입력되는 진동에 더욱더 민감한 영향을 받게 된다.^{(1),(2)} 고정밀 장비가 설치, 운용되는 건물의 진동 환경은 필연적으로 강화될 수밖에 없는 실정이다. 그러나 양산을 위한 반도체 공장의 건물은 수 백미터 이상으로 거대할 뿐만 아니라 복잡하고 다양한 재료를 사용하고 있기 때문에 정량적인 진동제어(sub-micro vibration control)를 어렵게 하고 있다.^{(3),(4),(5),(6)} 현재, 기가급 메모리칩의 양산을 위한 생산공장을 건설할 경우, 노광장비(lithographic exposure tool)가 설치되는 청정구역(clean room)에서 진동허용규제치(external vibration criteria)가 진동가속도 0.1gal[half peak], 진동변위 0.1~0.2 μ m[half peak] 이하의 수준이 될 것으로 예상된다. 이러한 진동값은 건물 주구조물(主構造物)에서 무진동(無振動) 상태를 요구하고 있는 것과 같이 극한적으로 낮은 진동 수준이기 때문에 이를 성취하는 것은 매우 어려운 과제이다. 복합 재료와 복잡한 경계 조건을 가진 대

* 유니슨산업(주) 유니슨기술연구소

**부산대학교 조선해양공학과

형 콘크리트와 철골 구조물에서 기존의 동적 해석을 통하여 서브 마이크 수준의 진동 응답을 정량적으로 정밀하게 예측, 평가하는 것은 거의 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 시도되고 있는 하나의 방안으로 해석적으로 모델링하기 어려운 구조물의 초기 물성치는 동적 실험을 통하여 결정하고 이를 해석의 기본 데이터 활용하는 방안이 국내의 기가급 반도체 공장의 미진동제어에 시도되고 있다.^{(4),(5),(8),(9),(10),(11)} 대체적인 방향은 동적 실험과 해석 그리고 경험식을 복합적으로 사용하는 'semi-empirical method'라는 진동제어 절차가 최근 일부 연구자에 의하여 제안되고 있다.⁽¹²⁾ 이미, 기가급 반도체공장에서 소음으로 기인하는 미소한 진동을 예방하기 위하여 소음허용규제치(external noise criteria)를 고려한 청정구역의 설계가 요청되는 단계에 이르고 있다. 고정밀장비가 정상적인 성능을 발휘하기 위한 진동 환경을 구성하기 위해서는 Fig. 1과 같이 제작과 설치, 운용이라는 세 가지의 관점이 있다.

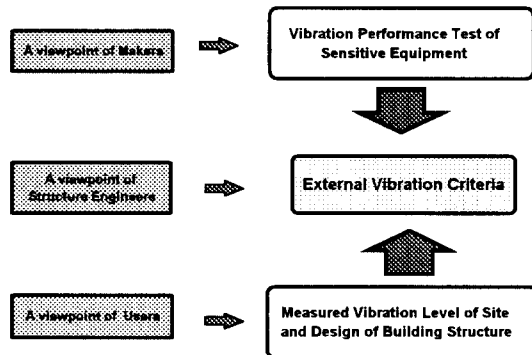


Fig.1 An external vibration criteria point of view.

장비의 운용성을 향상시키기 위하여 장비 자체의 내진과 방진 성능을 무한정 향상시키는 것에는 기술 및 경제적인 문제가 따르기 때문에 제작자는 고정밀장비가 설치되는 구조물의 진동이 가능한 낮은 환경을 요구하고 있다. 그러나 진동에 대한 건물 설계 규제치가 엄격하면 할 수록 건설 경비는 기하급수적으로 늘어나기 때문에 장비를 운영하는 사용자 입장에서는 어떠한 진동 환경에서도 정상적으로 성능이 보장되는 장비를 요구하게 된다. 구조 설계자는 이러한 두 가지 관점을 합리적으로 만족시켜 주어야 하는 새로운 과제를 가지게

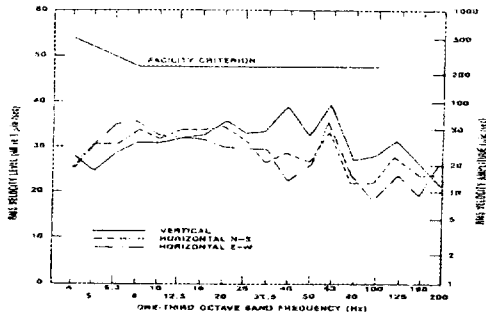
되었다. 건물의 정량적인 구조의 동적 설계를 위해서는 초기 설계 단계에서 고정밀장비가 요구하는 진동 특성과 설치 환경을 표현하는 진동허용규제치를 제작자에게 엄밀하고도 정확한 데이터로 요구할 필요가 있고 이를 바탕으로 하여 합리적인 건물의 진동설계기준을 구조설계자는 사용자에게 제시해야 한다. 설계 초기단계에서부터 정성적인 진동허용규제치를 가지고 장비 제작자가 사용자에게 과도한 진동환경을 요구하는 것은 건설비의 과다한 지출과 공사 기간의 지연이라는 문제점을 제기하고 있다. 이러한 문제를 사전에 예방하기 위하여 진동허용규제치는 정확하고 명확한 절차와 용어로서 표현되어야 한다. 이러한 중요성에도 불구하고 현재까지 이러한 문제에 대한 국내외의 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 본 논문에서는 기존에 사용되고 있는 고정밀장비의 진동허용규제치의 표현 양식의 문제점을 분석하고 '정확성'과 '정밀성'을 기반으로 하는 새로운 사양(specification)을 제시하고자 한다.

2. 진동허용규제치의 문제점

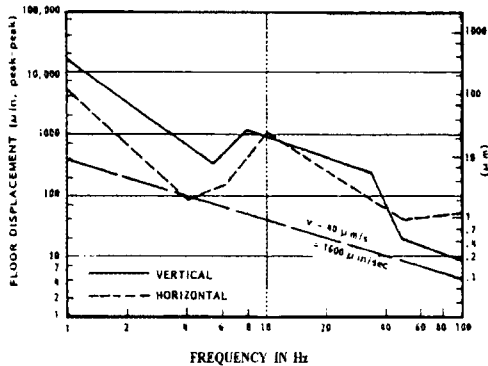
2.1 현황

과연, 정밀장비에서 진동허용규제치는 어떻게 표현하는 것이 가장 합리적이고 정확하게 나타낼 수 있는가. Fig. 2, Table 1에서와 같이 대부분 정밀장비 제작자로부터 제시된 진동허용규제치는 어떠한 통일된 양식을 찾을 수가 없다. 이러한 주된 이유는 정밀장비와 건물에 대한 미진동의 제어가 고정밀 군사용 전자장비와 반도체 산업의 발달과 맥락을 같이하고 있기 때문에 시간적으로 천이 하다는 점과 관련 분야의 특수성으로 인하여 외부로 알려진 전문가가 비교적 적다는 점을 일차적으로 지적할 수 있다. 그러나 무엇보다도 정밀 장비들은 기계, 광학, 원자 수준의 제어기술등 각 분야의 요소 기술과 응용 기술들의 복잡하고 다양한 조합에 의하여 필요한 기능과 성능을 얻을 뿐이 아니라 설치, 운영되는 위치가 건축 구조물이기 때문에 매우 복잡한 동적인 문제가 광범위하게 관련되어 있기 때문에 체계적인 연구를 더욱 어렵게 하고 있다. 일부 반도체 공장에 대한 미진동 제어를 전문적으로 수행하고 있는 Amick, Gordon과 같은

연구자들이 이에 대한 체계적인 연구와 진동허용규제치의 통일된 사양의 필요성을 언급하고 있다.⁽⁷⁾ 그리고 초기 반도체 산업을 주도한 미국을 중심으로 1980년대 Ungar 등에 의하여 제안된 BBN-criterion이라는 정밀장비의 진동허용규제치를 지금까지 활용하여 왔다.⁽¹³⁾ 그러나 1980년대에 비하여 반도체 집적도가 1000배 이상 향상되고 장비의 분해능이나 정밀도가 극도로 높아진 1990년대에 BBN-criterion을 사용하기에는 정밀성과 정확성에 문제가 있다. 그리고 BBN-criterion의 관점이 진동허용규제치를 결정하는 장비 제작자의 편의성을 고려하여 작성된 것이기 때문에 사용자의 관점이 도외시한 점이 없지 않다.



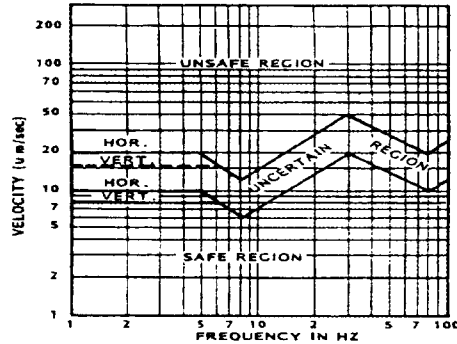
(a) Representative floor vibration data measured in operating facility with basement (Class 1 submicron facility with a basement)⁽⁷⁾



※ Allowable floor vibration for Mann Type 4800 DSW Wafer Stepper, with standard isolation table, as specified by manufacturer on basis of vibration test. Solid curve corresponds to horizontal, dashed curve to vertical floor vibration. Line represents

constant velocity which is lower bound to curves. (Floor vibration specification from GCA Corporation Technical Note "Floor Vibration Environment for the Mann Type 4800 DSW Wafer Stepper.")

(b) Allowable floor vibration for Mann Type 4800 DSW wafer stepper⁽¹³⁾



※ Allowable floor vibration for Philips Electron Beam Pattern Generator Beamwriter EBPG-4, as specified by manufacturer (from installation conditions manual-4822-874-80301). Lower bound to dividing line between safe and uncertain operating regions is $6 \mu\text{m}/\text{sec} = 240 \text{ in}/\text{sec}$.

(c) Allowable floor vibration for Philips Electron beam pattern generator beam-writer EBPG-4⁽¹³⁾

Fig. 2 Example of vibration criteria for vibration sensitive equipment

2.2 진동허용규제치의 문제점

현재까지 사용되고 있는 진동허용규제치의 특징과 문제점을 파악하기 위하여 기본적으로 진동을 어떻게 표현하고 있는가를 몇 가지 정리할 필요가 있다.

- 진동의 단위(units of vibration)⁽⁷⁾ : 진동 현상의 크고 작은 특성은 진동 크기(vibration amplitude)로 표현한다. 이러한 진동 크기는 가속도(acceleration, a), 속도(velocity, v), 변위(displacement, d)를 사용하고 각각은 주파수(f)를 매개로 하여 아래와 같은 관계가 있다.

Table 1. The vibration criteria of vibration sensitive equipment⁽¹⁶⁾

ITEM \ Descrip.	Vibration Criteria (allowable vibration)	Performance	Remarks
AFM (Atomic Force Microscopy)	- Frequency range 0.5~10Hz displacement <0.2 μ m, frequency range>10Hz velocity 60 μ m/s,	Resolution : 0.5Å	.Model:PSI Auto Probe M5, Park Scientific Instruments .Dimension : Main Stage 500(w) \times 130 (d) \times 1900(h)
Microbeam Ion Gun	- Velocity less than 6.35 μ m/s over the range 1 to 100Hz as measured with one-third octave bandwidth (Based on BBN Criteria D)	Beam diameter : 150Å	.Model:06-650, Physical Electronics .Dimension : main unit 500(w) \times 130 (d) \times 1900(h)
SEM (Scanning Electron Microscope)	- 1Hz : less than 2.5 μ m p-p 2Hz : less than 1.5 μ m p-p 3Hz : less than 2.0 μ m p-p 5Hz : less than 3.0 μ m p-p 10Hz upward :less than 3.0 μ m p-p For the 1 Hz to 10Hz range, carry out interpolation on the allowable values via connecting smooth lines.	Resolution : 0.6nm Magnification :250~1,000,000	.Model:HITACHI S-500 .Dimension: main unit 890(w) \times 1030(d) \times 1600(h) .Weight :385kg

$$a = 2\pi f v = (2\pi f)^2 d$$

일반적으로 정밀 미진동에 사용되는 가속도 단위는 gal (cm/s^2), 속도 단위는 $\mu m/s$, 변위 단위는 μm 를 주로 사용하지만, 필요한 경우 여러 가지 공학적인 단위를 사용하고 있다. 그리고 정현파 (sinusoidal wave)에서 진동 크기도 아래 Fig. 3과 같이 peak-to-peak(p-p), zero-to-peak(peak), root-mean-square(rms)로 나타내고 있지만 이들도 상호 변환되기 때문에 큰 문제는 아니다. 그리고 현실적으로 다루는 진동 크기는 최소에서 최대 사이의 폭이 1000배 이상의 차이가 있기 때문에 종축의 척도는 선형 척도(linear scale) 보다는 대수 척도(logarithmic scale)를 주로 사용하고 있다. 이와 더불어 진동 크기 자체를 아래 식을 이용하여 데시벨(dB)로 표현하기도 한다. 이때, 기준치(reference amplitude)를 명확히 할 필요가 있다.

Vibration level(dB)

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{\text{measured amplitude}}{\text{reference amplitude}} \right)$$

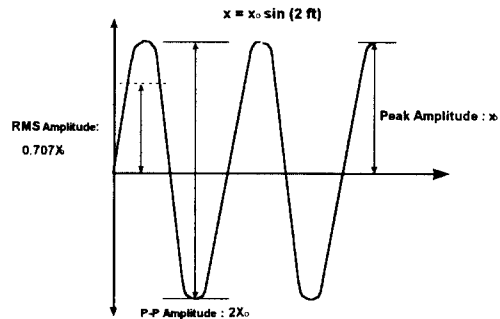


Fig. 3 Common ways of stating simple sinusoidal vibration amplitude

진동 크기는 직교좌표계에서 종축에 나타나는 물리량이고 이와 함께 횡축에서는 시간이나 주파수 향으로 나타내는 것이 일반적이다. 물론, 스펙트럼 분석 데이터는 주파수의 횡축을 가지게 되며 진동을 측정 방법과 조건에 따라 다양한 주파수 밴드(frequency band)를 가진 신호분석이 이루어지고 있다. 이러한 주파수 밴드 폭(frequency band widths)에는 일정 밴드 폭(constant band width)과

비례 밴드 폭(proportional band width)이 있고 비례 밴드 폭으로는 지수비례를 가진 1/1옥타브 밴드와 1/3옥타브 밴드가 많이 사용되고 있다. 일반적으로 일정 밴드 폭과 협대역(narrow band width)은 FFT(Fast Fourier Transformation) 장비를 이용하여 주파수 분석을 수행할 경우에 나타나고 비례 밴드 주파수 폭은 주파수 필터(filter)를 이용하여 실시간(real time) 신호 분석 시에 이용되는 밴드이다.

BBN laboratories INC.의 Ungar 등에 의하여 제시된 정밀 장비의 진동허용규제치인 Fig. 5의 BBN-criterion curve의 종축도 1/3옥타브밴드를 사용하고 있으며 이러한 이유로는 아래 두 가지 사항을 지적하고 있다.

- 1/3옥타브 밴드는 정밀장비의 응답 주파수 폭을 '근사적'으로 잘 나타낼 수 있으며 또한, 장비의 진동허용규제치를 결정하기 위하여 진동 발생 장치로 가진(加振)할 경우 근접한 주파수 성분의 영향을 잘 고려할 수 있다.

- 1/3옥타브 밴드는 일반적인 측정, 분석 장비를 이용할 수 있는 주파수 밴드이다.

여기서 1/3옥타브 밴드의 사용이 장비의 응답 특성을 '근사적'으로라는 표현하고 있는 것에서도 보듯이 BBN-criterion curve에서 분류하고 있는 진동허용규제치가 종축이 정밀하지 않다는 것을 암시하고 있다.⁽¹⁵⁾

ISO 8569 : 1989(E)에서는 정밀장비(shock-and-vibration sensitive electronic equipment)의 관심 주파수를 0.1~1000Hz로 범위를 정하고 있다.⁽¹⁶⁾ 그러나 BBN-criterion curve에서는 주파수 범위를 4~100Hz를 사용하고 있으며 이러한 이유를 아래와 같이 정리하고 있다.

- 대부분 정밀장비의 민감한 주파수 영역이 8~100Hz에 있으며 주된 장비의 내부공진 주파수는 15~40Hz 범위에 있기 때문이다.⁽⁷⁾

- 일반적으로 Fig. 4와 같은 구조의 정밀 장비에서 방진시스템은 고주파일수록 외부 진동 절연 효

과가 크기 때문에 100Hz 이상은 무시해도 좋기 때문이다.⁽¹⁵⁾

그리고 횡축은 진동 속도를 대수 척도에 데시벨 단위와 MKS 단위를 Fig. 5와 같이 동시에 사용하고 있다.

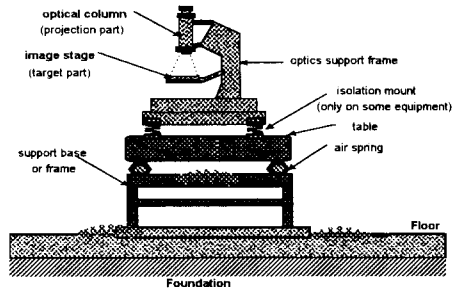


Fig. 4 Typical piece of optical vibration sensitive equipment

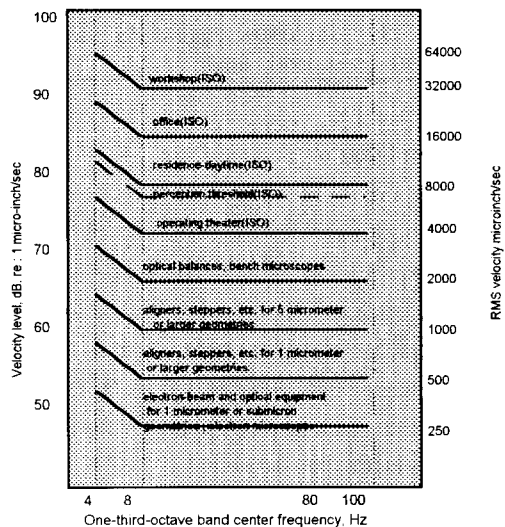


Fig. 5 Floor vibration criteria for equipment used in the production of integrated circuits (BBN criteria)^{(7),(8)}

Fig. 2, Table 1에서 볼 수 있듯이 진동허용규제치를 제시한 제작사 별로 사용한 양식과 방식이 모두 다르다는 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 각 제작사에서 정밀장비의 진동허용규제치를 결정하는 진동성능시험의 방법과 절차가 모두 다르다는

것을 의미하고 있다. 진동허용규제치는 초기 구조물 설계 단계뿐만 아니라 기존 건물에 장비를 설치할 경우 진동 측정 데이터와 비교하는 기준 자료이기 때문에 부정확한 절차와 다양한 양식의 진동허용규제치는 현장 진동 측정, 분석을 어렵고 애매모호하게 하는 요인이 되고 있다.

3. 진동허용규제치 사양의 조건과 방향

정밀 장비에서 진동허용규제치의 중요한 관점은 정확성과 정밀성에 있기 때문에 이에 대한 원칙을 바탕으로 사양이 결정되어야 한다. 진동허용규제치를 어떻게 표현할 것인가라는 문제는 진동허용규제치를 결정하는 방법과 사용에 대한 정확한 인식이 필요하며 진동허용규제치가 갖고 있는 여러 가지 측면을 고려하여 정밀장비의 진동허용규제치의 양식을 결정해야 하는 것이 바람직하다. 아래에는 정밀장비의 진동허용규제치의 사양이 갖추어야 할 조건을 정리하였으며 이를 바탕으로 하여 BBN criterion curve에 사용된 사양과 문제점을 서술하고 본 논문에서 제시하고자 하는 사양과 비교, 분석하여 장단점을 논의하였다. 아래에는 기본적으로 정밀장비의 진동허용규제치가 갖추어야 할 조건과 사양을 정리하였다.

- 정밀장비의 특성으로 인하여 진동허용규제치는 가능한 정밀하고 정확해야 한다는 대원칙에서 출발해야 한다.
- 진동허용규제치는 이를 사용하는 사용자와 구조 설계 엔지니어의 입장을 우선적으로 고려하여 결정해야 한다.
- 진동허용규제치를 결정하는 장비 제작사의 입장도 충분히 고려하여 결정한다.
- 진동 크기는 명확히 정의된 단위를 사용해야 한다.⁽⁷⁾(units : displacement, velocity, accelerometer)
- 진동 크기의 상태가 무엇인지 명확히 서술해야 한다.⁽⁷⁾(amplitude state : rms, p-p, peak)

- 진동허용규제치를 사용할 수 있는 주파수 범위를 명확히 제시해야 한다.⁽⁷⁾ (frequency range)

- 진동을 측정해야하는 주파수 밴드를 명확히 해야한다. 물론, 주파수 밴드는 장비의 내부감쇠(internal damping)와 랜덤이나 정현파 진동에서 실제적인 응답을 고려하여 결정되어야 한다.⁽⁷⁾ (frequency resolution : narrow, 1/1, 1/3octave band etc.)

- 일반적으로 장비가 설치되는 건물에 나타나는 진동이 시간적으로 불규칙한 특성을 가지므로 측정에 대한 통계적인 처리를 할 경우 이를 진동허용규제치에 어떻게 적용할 것인가를 명확히 서술할 필요가 있다.⁽⁷⁾ (vibration time signal)

아래에는 위에 제시한 요건을 바탕으로 하여 각 항목에 대한 일반적인 원칙과 BBN-criterion curve에서 사용한 내용을 비교, 분석하였다.

(가) 진동 크기 : 현재 생산되고 있는 기가급(giga class)의 반도체의 경우 서브마이크로(sub-micrometer)라는 극한적으로 미세한 진동을 다루고 있기 때문에 측정 오차를 줄이고 정확도를 향상시키기 관점에서 본다면 물리량의 변화가 큰 것을 사용할 필요가 있다. 단적으로 이러한 관점에서 본다면 저주파수 영역에서는 진동 변위를 사용하고 고주파수에서는 진동 가속도를 사용하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 유의(有意) 주파수 영역이 장비 제작자, 사용자, 구조 설계 엔지니어가 관련하고 있는 진동 환경 조건에 따라 달라지기 때문에 저주파수와 고주파수의 경계를 일률적으로 결정하는 문제가 용이하지 않다. 그리고 장비의 진동허용규제치와 비교하기 위하여 설치 장소의 진동을 측정할 경우 상호 합리적인 일치가 어려울 것으로 예상된다. 정밀 장비의 진동 문제는 각각의 기능을 수행하는 위치의 상대변위가 중요하다. 즉 HDD는 헤드와 미디어 사이의 상대변위, 마스크, 어라인너, 스테퍼 등 레이저를 사용하는 장비나 광학, 전자현미경은 투사부와 피사체 사이의 상대변위에서 문제가 발생하기 때문에 진동허용규제치도 진동 변위로 나타내는 것이 바람직하다.(BBN-

criterion curve : 진동 속도 : $\mu\text{m/s}$ 표시)

(나) 진동 크기의 상태 : 외부에 전달되는 진동과 진동허용규제치가 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 외부의 진동의 통계적인 특성에 따라서 진동 분석의 형식과 표현이 다른 방식을 사용하는 것이 일반적이지만, (가)항과 동일한 이유로 물리적 척도가 큰 p-p가 합리적이다.(BBN-criterion curve : RMS)

(다) 진동허용규제치를 사용할 수 있는 주파수 범위 : 원칙적으로 필요한 범위만큼 결정하는 것이 바람직하지만 정밀장비의 특성을 고려한다면 BBN laboratories INC.와 Gorden이 제시한 이유가 합리적이다.(frequency span of BBN-criterion curve : 4~100Hz)

(라) 진동을 측정해야 하는 주파수 밴드 : 이 부분은 이론의 여지를 갖고 있을 뿐만 아니라 정밀성과 명확성을 동시에 추구해야 할 부분이다. 물론, 원칙적으로 주파수 밴드는 장비의 내부 감쇠(internal damping)를 고려하여 결정되어야 하지만 정성적인 문제가 아니라 정량적인 문제이기 때문에 일률적으로 결정하는 것은 어려운 일이다. 비례 밴드 폭과 일정 밴드 폭을 사용할 것인가, 비례 밴드 폭에서도 1/1옥타브 밴드를 쓸 것인가, 1/3옥타브 밴드가 아니면 더 높은 분해능을 가진 협대역 폭을 쓸 것인가, 혹은 일정 밴드 폭에서 주파수 분해능을 어떻게 할 것인가를 결정하는 것은 어려운 일이다. 이 부분은 장비의 진동허용규제치를 어떻게 결정할 것인가라는 문제와 밀접한 관계가 있다. 정확성이나 정밀성 측면에서 본다면 당연히 일정 밴드 폭에서 분해능이 좋은 방향으로 주파수 밴드 폭을 결정해야 한다. 1/1이나 1/3옥타브 밴드를 사용할 경우 진동허용규제치를 결정하기 위하여 이와 동일한 밴드 폭으로 가진하고 응답을 측정하는 진동성능시험을 수행해야 하기 때문에 진동 가진 밴드 폭내의 가장 민감한 응답을 발생시키는 주파수에 의하여 지배되기 때문에 진동허용규제치가 실제보다 엄격해지는 경향을 보이게 된다. 안전계수 차원에서 이를 용인한다면 그것은 기가급의 반도체와 같은 공장을 진동제어 할 경우 그것에 상

응하는 많은 경비를 지출해야 하는 불 합리를 정밀 장비 사용자에게 요구하는 것이 된다. 또 진동허용규제치를 결정할 때 측정이나 분석에 사용되는 밴드 필터의 성능이 이상적이지 않기 때문에 유의 주파수가 필터 폭의 외각 부분에 놓여질 때에는(예:1/3옥타브의 중심주파수가 80Hz에서 하한과 상한 주파수는 각각 71, 88Hz)이므로 이러한 주파수 근방에 장비의 유의할 수 있는 공진(共振)이 있을 경우) 의외의 결과를 얻게 된다. 그러나 진동허용규제치를 일정 밴드 폭을 사용할 경우 장비를 가진하는 주파수를 고분해능으로 하고 진동 크기를 조절하는 작업은 많은 노력과 시간이 필요하기 때문에 무계획하게 가장 좋은 분해능으로 진동허용규제치를 찾을 것을 요구하는 것은 어려운 일이다. 여기서 결론은 일정대역 폭을 사용하고 장비의 감쇠(damping)를 고려하여 최저의 주파수 분해능으로 진동허용규제치를 진동성능시험을 통하여 결정하고 이러한 과정에 대하여 명확히 명시하는 것이 바람직하다. 그리고 정밀 장비가 설치, 운영되는 현장 측정도 이러한 주파수 분해능과 주파수 폭을 사용하고 DC(zero Hz) 근방의 저주파 성분과 같은 필요 없는 데이터는 제거한다. 그러나 어떤 이유든 정밀장비의 진동허용규제치는 정밀하고 정확한 방향으로 주파수 분해능을 결정해야 한다.

4. 결 론

Table 2, 3에는 상기에서 논의한 내용을 BBN-criterion curve에 사용된 사양과 본 논문에서 제안한 사양을 비교, 정리하였다.

BBN-criterion curve에 나타나는 진동허용규제치는 정밀장비 개개의 정밀하고 정확한 진동허용규제치가 아니라 장비의 종류와 가공 및 검사 정밀도에 따라 분류하고 다양한 측정 데이터를 이용하여 정리한 것이기 때문에 장비의 개개의 동적 특성이 진동허용규제치 곡선에는 나타나지 않고 간결한 직선 형태로 표현되고 있다.

Table 2 Specification of BBN criterion curves for vibration sensitive equipment^{(7),(15)}

Description	Amplitude Axis	Freq. Axis
Axis Scale	Logarithm	Logarithm
Amplitude Unit	Velocity (dB. re 1 μ m/s)	
Amplitude Shape	RMS	
Frequency Resolution		Proportional Bandwidth (1/3 Octave Band)
Frequency Span		4-100 Hz

Table 3 New proposal specification of vibration criteria vibration sensitive equipment

Description	Amp. Axis	Freq. Axis	Remark
Axis Scale	Logarithm	Linear	
Amplitude Unit	Displacement (μ m) (Velocity, Acceleration*)		※. Frequency resolution decide to consider of internal damping of the equipment.
Amplitude State	Peak to Peak (Peak, RMS*)		
Frequency Resolution		Constant (Narrow Band)	
Frequency Span		4-100 Hz	

참고문헌

- (1) Takafumi Fujita, 超LSI 工場の 振動問題-微振動防振の 技術と 免振技術-, 日本機械學會誌, 弟 89卷 弟809号, pp. 99~104, 1986年4月.
- (2) Hisao Tomita, Isolation Technology for Micro-Vibration in Semiconductor Factories, 精密 工學會 55/12/1989, pp. 36~40, 1989.
- (3) 박상규, 이흥기, 권형오, 실험적 모우드해석을 이용한 방사광 가속기 건물의 진동제어, 한국소음진동공학회, '93 추계학술대회 논문집 pp. 157~161, 1993.
- (4) 이흥기, 김두훈, 권형오, 반도체 공장에서 미진동제어를 위한 격자보의 동적 설계에 관한 연구, 한국소음진동공학회, '94 추계학술대회 논문집 pp. 52~57, 1994.
- (5) 권형오, 박해동, 김두훈, 이흥기, 반도체 공장의 격자보 구조에 대한 동특성해석에 관한 연구, 한국소음진동공학회, '94 추계학술대회 논문집 pp. 58~61, 1994.
- (6) 이흥기, 박해동, 최현, 배기선, 김두훈. 정밀 장비의 미진동제어 기술에 관한 연구(HDD CELL진동 제어), '95 춘계 학술 대회 논문집 p233-239, 1995.
- (7) Hal Amick and Colin Gordon, Specifying and interpreting a site vibration evaluation, MICROCONTAMINATION, pp. 42~53, October, 1989.
- (8) H. K. Lee, S. E. Rhee, Experimental Behaviour Analysis of Double Anti- Vibration System, Journal of KSNVE, Vol. 2, No. 4, pp. 281~ 292, 1992.
- (9) 이흥기, 박상규, 구조물 동특성의 실험적 해석과 응용기술에 관한 연구, 한국소음진동공학회, '93 춘계학술대회 논문집 pp. 40~45, 1993. 5
- (10) 김사수, 박상규, 현명환, 이흥기, 실험적 모우드해석법에 의한 가진력 추정에 관한 연구, 대한조선학회 선박해양구조연구회, 연구발표논문집, pp. 27.1~27.15, 1993.
- (11) 이흥기, 이규섭, 정밀 기기의 미진동제어 기술, 한국소음진동공학회, '91 춘계학술대회 논문집 pp.175~181, 1991. 6
- (12) C. G Gordon, Vibration prediction and control in microelectronics facilities, INTER-NOISE 96, Proceeding Book 1 pp.149~154, August 1996.
- (13) Eric E. Ungar, Vibration control design of high technology facilities, sound and vibration, July, 1990.
- (14) Park Scientific Instruments, PSI products bulletin - facility requirements for Auto Probe M5, release #6 April 18, 1995.
- (15) Eric E. Ungar, Designing sensitive equipment and facilities, mechanical engineering, December 1985.
- (16) MIL-STD-810, Environment Test Methods.