

# 제진대(Isolation Pad)의 진동허용규제치에 기준한 동특성(動特性) 규명에 관한 연구

°백재호\*, 이흥기\*, 서항석 \*\*

## A Study on the Verification of Dynamic Properties on the basis of Vibration Criteria of Isolation Pad

Jae-Ho Baek, Hong-Ki Lee, Hang-Seok Seo

### ABSTRACT

In order that precision equipment using high precision industrial operate normally, vibration criteria of expected area that equipment be set up is micrometer level, that method is a trust design for apply to in field, when there attend to quantifiable method. Hence, semi-empirical method that using on the basis of experimental data about undefined information( properties of vibration source, dynamic properties of structure, etc.,) for prediction of vibration response make the use of dynamic structure design of semiconductor & TFT-LCD in the inside and outside country. Like this, for doing an optimal design of dynamic about structure, it is best important to get trust data that apply to semi-empirical method that is method of prediction vibration level. In this paper, on the basis of experimental data which was offered by a manufacturing company of precisin equipment that plan to set up in semiconductor factory, we predicted vibration response on expected area that equipment be set up.

### 1. 서론

반도체 공장 및 TFT-LCD등 초정밀 산업 공장 구조물에서는 초기 설계시에 사람이 느낄수 없는 마이크로 미터( $\mu\text{m}$ ) 수준의 미진동 제어를 요구하며, 이를 위해서는 구조물의 동적해석, 진동원 유틸리티의 배치, 진동 전달특성 및 방진, 제진 기술과 진동의 정밀한 동적 실험, 측정/분석 기술로 집약되는 Total Engineering Technique가 필요하다.

미진동 제어는 정성적인 접근방법으로는 신뢰성이 부족하여 현장에서 적용하기가 곤란하여, 반드시 정량성이 확보된 구조설계 및 예측기법과 진동 제어 기술이 요구되어 진다. 이에, 해석기법으로 불확실하거나 복잡한 구조물에 대해서는 동적실험을 수행하여 구조물 동특성, 각종 유틸리티등의 진동원에 대한 동하중을 확보함으로써 구조물에서 발생하는 진동예측시에 적용하는 준경험적 기법(Semi-Empirical Methdo)을 국내·외에서 적용하

고 있다.

본 논문에서는, 반도체 공장에 설치예정인 정밀 장비(SCANNER)에 대한 진동특성(동하중 : 실험 데이터) 및 설치예정 장소의 구조물 동특성(실험 데이터)을 이용, 준 경험적 기법에 적용하여 구조물에서의 진동응답을 예측하여 진동허용규제치와 비교하고, 진동허용규제치를 만족할 수 있는 구조물 동특성 허용규제치를 재규명해 보고자 한다.

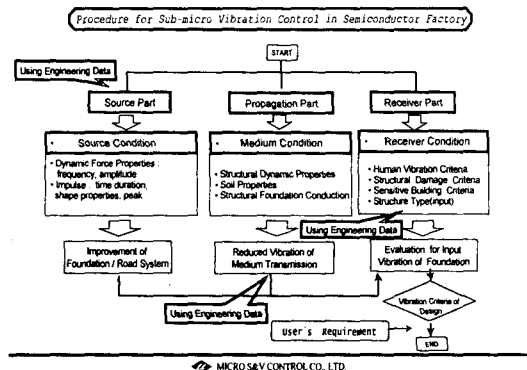


Fig. 1.1. 준경험적 기법을 적용한 반도체 공장 미진동 제어 절차서

\*. RMS TECHNOLOGY CO., LTD.

\*\* RMS ENG CO., LTD.

## 2. 장비의 진동허용규제치 및 구조물 동특성 허용규제치

장비의 진동허용규제치라 함은 외부에서 임의의 일정수준 이상의 진동이 장비로 전파되면 장비의 정상가동이 곤란함을 의미하는 것으로, 장비의 설치 예정장소에서 일정수준 이하의 진동수준을 요구되는 진동을 나타낸다. 또한, 구조물의 동특성은 임의의 일정수준의 동하중이 구조물에 가해졌을 때 구조물에서 발생하는 진동레벨이 어느정도인가를 나타내는 것으로 Receptance, Mobility, Accelerance 등이 있으며 대표적으로 Mobility라고 일컬어 진다.

구조물의 진동응답은 두 개의 주된 동적인자에 의하여 결정된다. 첫 번째로 진동을 발생시키는 장비에서 발생하는 동하중(Dynamic Load)의 특성(시간이력, 주파수 성분)과 둘째로 동하중을 받는 구조물의 동특성(Dynamic Properties : Mobility)의 상호작용(interaction)에 의하여 결정된다.

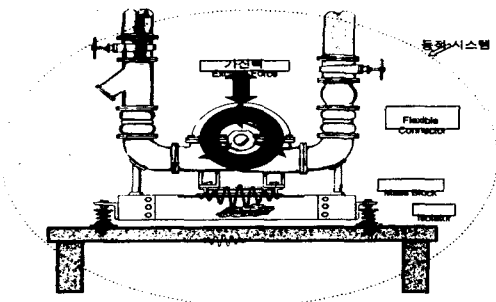


Fig. 2.1 Dynamic Load & Structure System

본 논문에서 다룬 정밀장비는 정하중이 약 7.5Ton으로 바닥구조물에 3지점 지지하는 구조(Fig. 2.2)를 갖으며, 여기서 발생하는 동하중 특성(Fig.2.3)은 크기가 50[N], Time duration은 약 76[msec]이다. 장비가 설치되고자 하는 예정장소에서 요구되어지는 진동허용규제치 및 동특성허용규제치는 Fig. 2.4, 2.5와 같다.

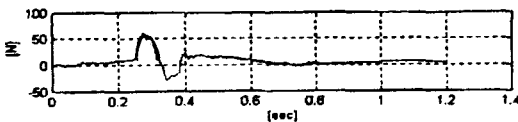


Fig. 2.3 Time History Data about Dynamic Load of Precision Equipment

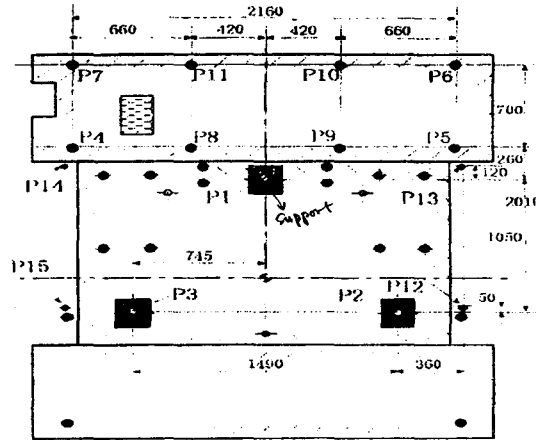


Fig. 2.2 장비의 동하중 측정 지점(P1, P2, P3)

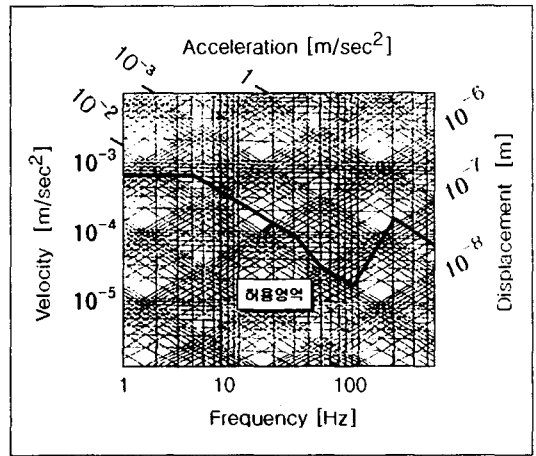


Fig. 2.4 제진대에서의 진동허용규제치

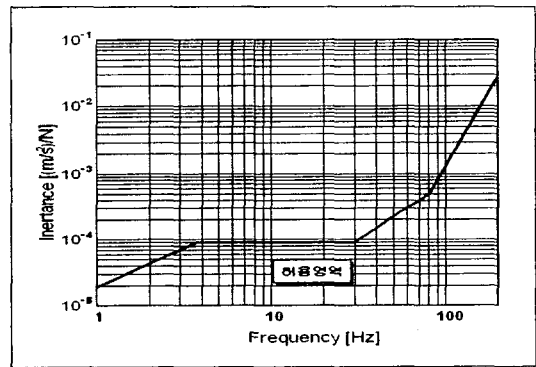


Fig. 2.5 제진대에서의 동특성 허용규제치

## 3. 진동측정 및 동특성 실험

### 3.1 격자보와 제진대 구성

청정실(Clean Room)이 필요한 공정을 가진 공장 구조물은 청정실 내의 공조를 원활하게 하기 위해서 격자보(Sub-Structure) 형태로 되어 있으며, 정밀장비 설치를 위해서 요구되어지는 영역만큼 격자보위에 제진대(Isolation Pad)를 설치하고, 제진대의 레벨링(Leveling)을 위해서 고무패드를 격자보와 제진대 사이에 삽입하는 것이 기존에 설치되던 일반적인 방법이다.(Fig. 3.1, 3.2)

본 논문에서 다룬 청정실의 격자보와 제진대의 구성은 정밀장비 자체에서 발생하는 동하중(Dynamic Load)으로 기인하여 기존 제진대로서는 요구되어지는 동특성 허용규제치를 만족할 수 없는 구조이기 때문에 강성을 증가시키고자 Fig. 3.3 과 같이 격자보(Sub-Structure)에 에폭시를 이용하여 제진대(Isolation Pad)를 고정시킨 구조이다.

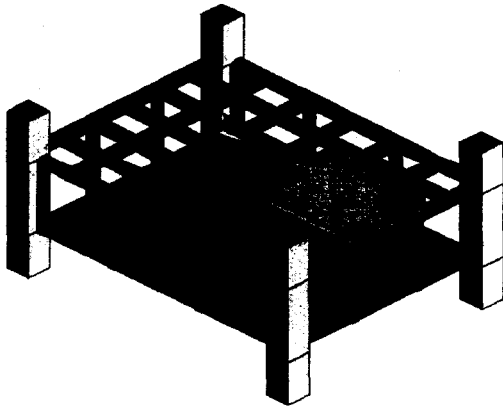


Fig 3.1 격자보 및 제진대 구성 개념도 I (Basic)

### 3.2 진동측정 및 동특성 실험

제진대에서 진동상태를 진동허용규제치와 비교 하고자 암진동측정을 수행하였으며(Fig. 3.5), 동특성허용규제치를 만족하는지 확인하고자 Impact Hammer를 이용하여 동특성 실험을 수행하였다.(Fig 3.6) 진동측정 및 동특성 실험에는 Fig 3.4 와 같은 절차서에 따라 수행되었다.

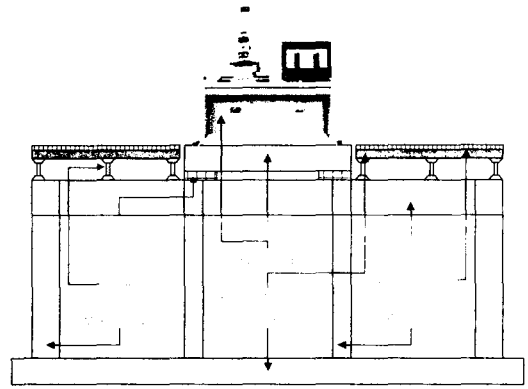


Fig 3.2 격자보 및 제진대 구성 개념도II(Previous)

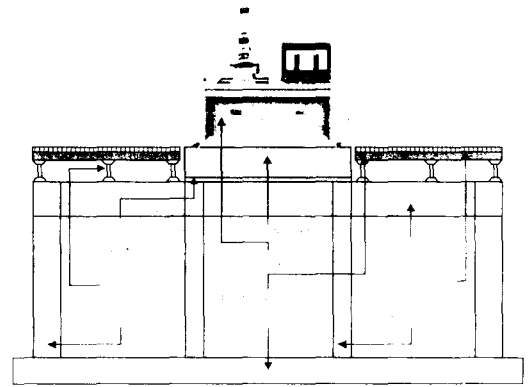


Fig 3.3 격자보 및 제진대 구성 개념도III(Now)

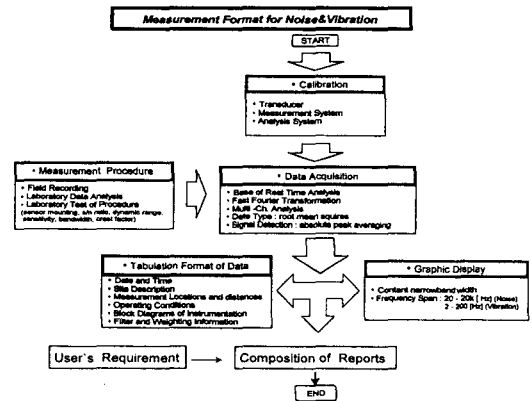


Fig. 3.4 소음/진동 측정/분석 절차서

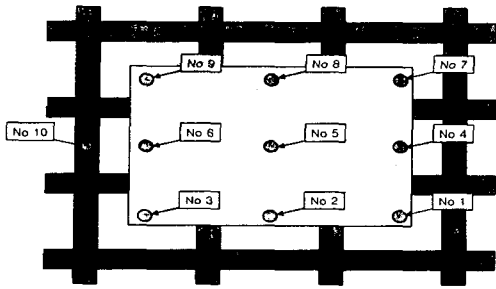


Fig. 3.5 동특성 실험 및 압진동 측정지점

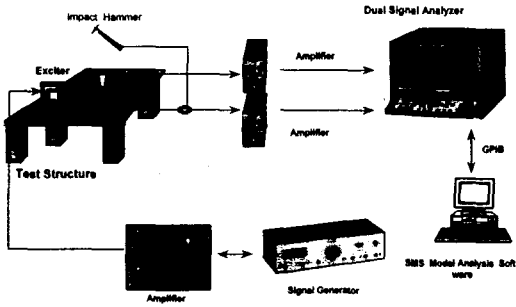


Fig. 3.6 동특성 실험장치 구성도

### 3.3 진동측정 및 동특성 실험결과

- 압진동 측정결과 : 제진대에서 압진동을 측정된 결과 주파수별로 상이하지만 최대 약 1/15 이하 수준으로 진동허용규체치를 충분히 만족하고 있다.(Fig. 3.8) 그러나, 여기서는 정밀장비에서 발생하는 동하중으로 기인하여 설치예정 구조물에서 발생하는 진동에 대한 영향을 제외된 상태이다. 동하중으로 기인하는 진동영향성을 확인하고자 동특성 실험을 수행하였다.



그림 3.7 제진대의 동특성 실험 전경(Large Impact Hammer Test)

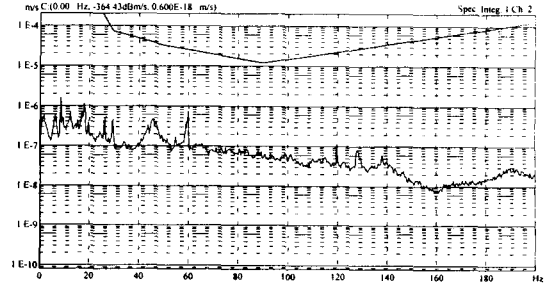


Fig. 3.8 압진동 대표 속도 주파수 분석 그래프 I  
(Red Line : Vibration Criteria)

- 동특성 실험결과 : 제진대에서 동특성 실험결과 45~50[Hz] 부근에서 모드형 동특성이 나타났으며, 장비제조사에서 제공한 동특성허용규체치를 최대 약 10배 초과하고 있는 수준이다.

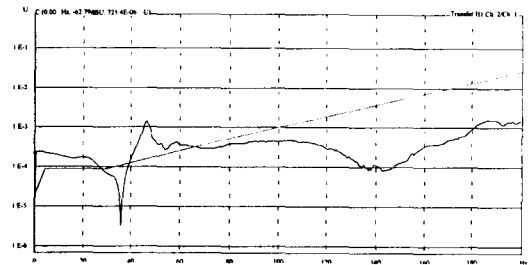


Fig. 3.9 동특성 실험결과 대표 Point Inertance  
(Red Line : Inertance Criteria)

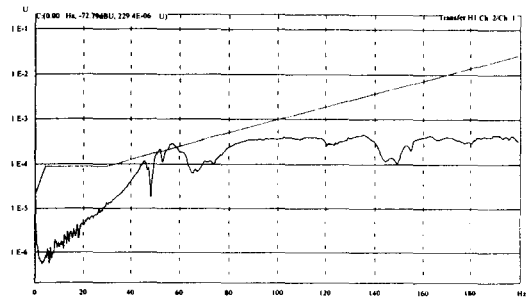


Fig. 3.10 동특성 실험결과 대표 Transfer Inertance  
(Red Line : Inertance Criteria)

## 4. 제진대의 동특성 해석

### 4.1 해석 모델링

정밀장비사 제공된 자료(Fig. 2.3, 2.4)를 근거로 Fig. 4.2와 같은 동하중 추정 데이터를 준경험기법에 준한 FEM 모델링(Fig. 4.1)에 적용시켜 현재 구조물에 설치되어 있는 제진대에서 정밀장비로 기인하는 진동응답(Vibration Response)을 예측하기 위하여 과도응답 해석을 수행하였다. 과도응답 예측시 정밀장비에서 발생하는 충격력 동하중의 입력 위치는 장비의 Foot위치에 상응하는 N1341, N1344, N1350이며 동일 위상(In-Phase)으로 가하였으며, 제진대에서 과도응답 예측은 N1341, N1344, N1350, N1348에서 예측하였다.

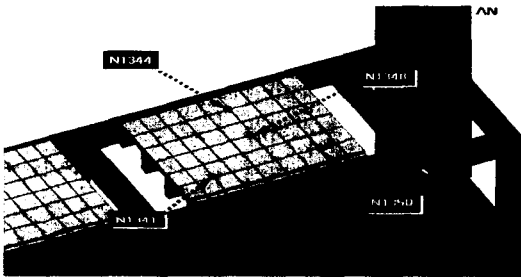


Fig. 4.1 제진대 상부의 과도해석시 동하중 가진절점 및 진동응답 절점

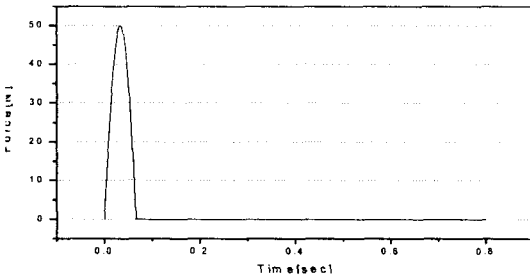


Fig. 4.2 정밀장비의 동하중 시간이력 입력 데이터

### 4.2 동적해석 결과

장비조사에서 제공한 동하중을 기초로 상기 동하중 데이터를 FE 모델링에 적용하여 과도해석(Transient Analysis)를 수행한 결과 시간이력으로 최대  $40[\mu\text{m}/\text{s}]$  수준(Fig. 4.3)이며, 이를 FFT 분석한 결과는 Fig. 4.4와 같다.

예측한 진동속도 주파수분석 데이터와 장비조사에서 제공한 주파수별 진동허용규제치를 비교하여 보면 장비에서 발생하는 동하중으로 기인하는 제진대 진동상태는 진동허용규제치에 약 1/10 이하(Max) 수준으로 나타났다.

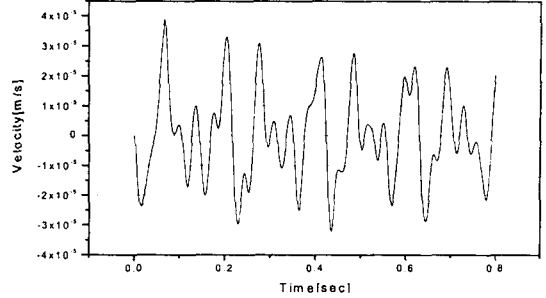


그림 4.3 제진대에서 진동응답 대표 속도 시간이력 그래프

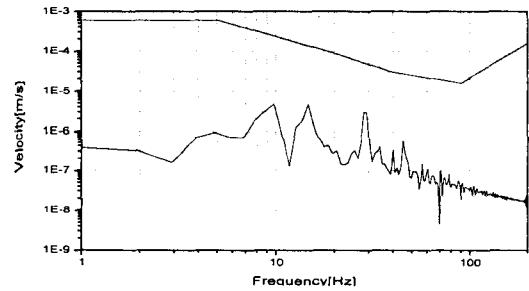


Fig. 4.4 제진대에서 진동응답 대표 속도 주파수 분석 그래프

## 5. 고찰 및 결론

반도체 공장 구조물에 설치되는 각종 정밀장비가 정상가동을 할 수 있도록 하기 위하여 기존에는 정밀장비 설치예정 장소에서 진동허용규제치만을 요구하여왔다. 그러나, 최근들어 설치예정 장소에서 구조물 동특성이 추가로 요구되어 지고 있다. 이것이 의미하는 것은 정밀장비가 정상적으로 가동함으로 인하여 장비자체에서 발생하는 동하중으로 기인하여 구조물에서 발생하는 진동상태도 진동허용규제치를 만족하도록 요구하는 것이다. 이는, 장비가 설치될 구조물을 초기 설계시부터 동적설계가 반드시 고려되어야만 하며, 기존 건설되는 방식에서는 근본적인 검토와 평가가 필요함을 나타낸다. 구조물 동적 설계자는 장비조사에서 제

공하는 진동허용규제치와 동특성허용규제치등을 무조건 신뢰할 수 밖에 없기 때문에 불명확한 자료를 근거로는 구조물 설계시 과도한 설계를 하게 된다. 결국, 구조물 설계시 정확한 검토와 평가를 수행하기 위해서는 장비제조사에서 명확한 자료를 제공할 필요성이 있다.

본 연구에서 수행한 결과를 정리하면 아래와 같다.

- 암진동 레벨 : 정밀장비 설치 예정장소(제진대 상부)에서 암진동 수준은 진동허용규제치의 1/10 이하 수준이다.

- 동특성 레벨 : 정밀장비 설치 예정장소에서 동특성 실험결과 장비제조사에서 제공된 동특성허용규제치를 약 10배 초과하고 있는 실정이다. 이는 장비설치를 할 수 없음을 의미하지만, 지금까지의 설계/축조된 반도체 공장들에서 상기 동특성을 구현하기 어려운 데이터로 판단된다.

이에, 장비제조사에서 제공된 진동원 특성 자료, 실구조물에서 동특성 실험을 통하여 구한 자료를 준경험적 기법을 이용하여 장비가동시 발생하는 진동레벨을 진동허용규제치와 비교한 결과 1/10 이하 수준으로, 장비제조사에서 제공한 구조물 동특성허용규제치는 과대한 것으로 평가된다.

### 참고문헌

- (1) Jens Trampe Broch, 1984, "Mechanical Vibration and Shock Measurement"
- (2) D. J. EWINS, "Modal Testing : Theory and Praticce", 1995, Research Studies Press Ltd.
- (3) 백재호, 이흥기, 김강부, "칩마운트(SMD) 장비의 동하중(動荷重) 발생특성에 관한 연구", 한국소음진동공학회 춘계 학술대회 논문집, 2000, pp. 1913~1917
- (4) 이흥기, 백재호, 김강부, 원영재, "준 경험적 방법을 이용한 충격성 진동에 대한 구조물의 동적 응답의 예측", 한국소음진동공학회 춘계 학술대회 논문집, 2000, pp. 1945~1950
- (5) Colin G. Gordon, "Vibration prediction and Control in Microelectronics Facilities" Proceedings of Internoise 96, Liverpool, England (July, 1996).