

주파수 전달함수를 이용한 차세대 TFT-LCD FAB 구조물의 동적설계 A Study on the Structural Dynamic Design of TFT-LCD FAB using Frequency Response Function

°박해동* · 김강부* · 이홍기* · 전중균*

Park Hae-Dong, Kim Kang-Boo, Lee Hong-Ki and Chun Chong Keun

Key Words : Vibration Criteria(진동허용규제치), Structural Dynamic Design(구조물 동적설계), Frequency Response Function(주파수 전달함수), Inertance(이너턴스), Dynamic Force(동하중)

ABSTRACT

TFT LCD 생산 공정에 사용되는 정밀측정/검사/생산장비가 위치하는 바닥의 진동문제는 크게 장비자체의 가동에 의한 것과 장비외부의 가진원에 의해서 정밀장비의 바닥에 진동이 발생하게 된다. 이러한 진동문제는 건물을 설계 시공하는 건축사의 입장에서는 장비 가동전 건물 인수시 진동문제에 관심이 있으나 장비를 운영하는 사용자의 입장에서는 장비 가동전의 진동문제와 더불어 장비 가동시 장비내부의 진동원에 대해서도 진동대책을 요구하게 된다. 따라서 양자의 진동문제 해결을 위해서는 정밀장비 주변의 진동원에 대한 동하중 설계자료와 함께 장비 가동시 바닥에 진동을 발생시키는 진동원인 장비에 대해서 동하중을 파악하여야 한다. 장비기초의 단위하중에 대한 진동응답을 표현하는 주파수 전달함수는 이러한 동하중과 바닥의 진동허용규제치를 동시에 표현하는 요소로 기존의 정밀장비가 요구하는 장비바닥의 진동허용규제치와 함께 동하중을 유발하는 장비기초에서는 반드시 구조물의 동강성 허용규제치를 이용한 구조물의 동적설계가 요구된다.

1. 서 론

TFT LCD 생산공장의 유리기관의 대형화는 LCD 구조물의 크기 증가와 함께 생산장비의 대형화가 요구되고 있어 진동측면에서는 구조물의 진동을 취약하게 하는 반면 LCD 생산장비에서 유발하는 진동은 장비가동시 발생하는 관성 질량의 증가로 인한 더 큰 가진력이 구조물에 전달되고 있어 구조물의 설계자 입장에서는 새로운 개념의 동적설계법이 요구되고 있다. 장비의 대형화로 인한 장비 가동시 진동 발생문제는 약 4세대 이전의 LCD fab에서 주변 진동원의 크기에 비해 상대적으로 낮은 수준으로 구조물의 동적설계가 크게 고려치 않았던 요소이다.

진동에 민감한 생산설비를 위한 공장을 설립할 경우 설계 초기단계에서 공정에 사용되는 정밀측정/검사장비의 진동허

용규제치를 평가하고 이를 만족할 수 있는 환경을 구현할 수 있는 청정실(Clean Room)의 sub-structure구조에 대한 동적(動的) 특성을 검토할 필요가 있다. 정밀장비의 진동에 직접적인 영향을 주는 제진대의 특성은 제진대의 규격과 이를 지지하는 빔, 격자보, 격자보 지지구조물, 건물기초의 구조특성과 이들 주변에 위치하는 진동유발장비와 자체진동의 특성등의 상관관계에 따라 장비의 진동이 결정된다. 진동의 발생은 이를 유발하는 진동원에 따라 결정되어지므로, 동일한 구조물이라도 사용장비의 가진특성에 따라 진동응답의 수준이 달라지게 된다. 따라서, 구조설계자의 입장에서 진동 허용규제치를 만족하기 위한 구조물의 설계는 반드시 사용하는 장비의 동하중을 고려한 설계가 요구되며, 대형의 이동 질량을 가진 생산 검사장비는 기존의 방식으로 검토하는 보편적인 LCD 공장의 동하중에 비해 상당히 높은 동하중을 유발하므로, 건물의 진동허용규제치를 만족하는 설계를 위해 장비제작사에서 동하중 또는 건물의 주파수전달함수인 요구 이너턴스(required inertance)를 제시하여야 건물의 동적설계가 가능하게 된다. 본 연구에서는 기존의 fab 구조에 대한 격자보에서 주파수 전달함수의 크기를 해석과 실험을 통한 LCD 및 반도체 구조물 fab의 요구 동적설계값의 경향을 비교하였다.

* 알엠에스 테크놀로지(주)
E-mail : rrmstech@rmstech.cokr
Tel : (041) 556-76, Fax : (041) 556-7603

** 선문대학교 기계공학부

2. 정밀장비의 진동특성

2.2 진동허용규제치

서브 마이크로(sub-micrometer)의 정밀 가공, 생산, 검사 공정을 가지는 반도체, LCD, PDP와 같은 건물의 설계는 건물 내부에 설치 운영되는 정밀 장비의 진동허용규제치에 대한 명확한 정리와 정량화가 필요하다. 장비 자체의 진동원을 가지고 있을 경우는 진동허용규제치 외에도 구조물의 진동응답과 관련된 구조물 동특성허용규제치에 대한 정보가 필요하다. 이것은 진동허용규제치를 만족시킬 수 있는 구조물의 특성을 정의할 뿐만 아니라, 장비에서 발생하는 동하중(dynamic load)으로 기인하는 진동도 동시에 진동허용규제치를 만족시켜 줄 것을 요구하는 것이다. 이것은 매우 중요한 의미를 가지고 있는 것으로서 앞으로 이러한 장비가 설치되는 FAB은 구조물 동특성허용규제치를 만족할 수 있는 구조를 가지도록 격자보와 제진대를 초기 설계단계에서부터 고려해야한다는 것이다. 이것은 FAB 구조의 건물 방식을 결정하는 문제까지 관련하고 있기 때문에 차후에 건설되는 PDP, LCD, 및 반도체공장은 기존의 구조물에 대한 근본적인 검토와 평가가 필요하다.

표 2.1 정밀장비의 진동허용기준치

Item	Descr.	Vibration Criteria
노광기 (CANON, DECO)		. MPA7500 : 0.05gal below (2, 6Hz) . DECO : 0.03gal below(3Hz 이하), 2gal 이하(30Hz 이상), 3-30Hz 비례
TITLER		. 허용진동 : 50 μ m(10Hz) 이하, 장비 절연 필요
X10-레이저 측정기		. 진동 : 0.5gal (1-200Hz) 이하 . 소음 : 50dB (1-200Hz) 이하
X11-두께측정기		. 진동 : 6.35 μ m/s (1-100Hz) 이하 . 소음 : 80dB (450-500Hz) 이하
Y081-AFM		. 진동 : 0.1gal (1-80Hz) 이하 일 경우 noise level: 1.5-3 nm(p-p) . 소음 :
Repair (KUBOTEC)		. 진동 : 2 μ m(0-3.5Hz), 0.15gal (3.5-10Hz), 0.015mm/s(10Hz 이상) 이하

2.2 구조물 동강성규제치

노광기와 같이 진동원이면서 진동에 피해를 받는 장비는 장비 기초의 동적설계를 위해서 두가지 허용치를 반드시 제시하여야 한다. 첫째는 진동허용규제치이며, 두번째는 구조물의 동강성규제치이다. 전자는 외부 진동 및 장비 자체의 진동으로 인한 장비 기초의 진동응답이 이를 만족해야 한다는 것이고, 두번째는 장비 자체 진동원으로 인한 구조물의

진동응답이 진동허용규제치를 만족하기 위한 장비 기초의 동강성규제치가 결정되어야 한다는 것이다. 이러한 구조물의 동강성규제치는 구조물의 동특성을 확인함으로써 알 수 있으며, 이는 주파수 전달함수(FRF)의 역수관계(Inverse)로 표현할 수 있다.

표 2.2 General Vibration Criteria (BBN-criterion)

Descr. Class	Facility Equipment or Use	Vibration Criteria	
		4-8Hz RMS Acc.	8-80Hz RMS Vel.
일반적인 진동환경	일반 작업장	4gal (변위 16 μ m)	800 μ m/s
	사무실	2gal (변위 8 μ m)	400 μ m/s
	거주지 및 Computer System	1gal (변위 4 μ m)	200 μ m/s
정밀진동 Class : A	100배 정도 현미경, 로봇, 수술실, Operators room, 일반연구실 기타	0.5gal (변위 2 μ m)	100 μ m/s
	400배 정도 현미경, 측정실 Optical or Other Balance Optical Comparators, 전자장비, 생산설비 등 * 검사, Probe Test, 생산 지원설비 및 장치	0.25gal (변위 1 μ m)	50 μ m/s
정밀진동 Class : B	400배 이상 현미경, 정밀, 안과, 신경계 수술실, 방진설비를 갖춘 광학장비, 반도체 생산설비 등 * Aligner, Steppers 등 3m 이상 선폰 노광장치	0.13gal (변위 0.5 μ m)	25 μ m/s
정밀진동 Class : C	3000배까지 전자현미경 Magnetic Resonance Imagers, 반도체 생산설비 * Aligner Steppers 등 1 μ m 선폰 노광장치 : 1M DRAM 정도	0.06gal (변위 0.25 μ m)	12 μ m/s
정밀진동 Class : D	30000배이상 전자현미경 Mass Spectrometer 세포이식 장치, 반도체 생산설비 * Aligner, Stepper 등 1/2 μ m 선폰 노광장치 : 4M DRAM 정도	0.03gal (변위 0.12 μ m)	6 μ m/s
정밀진동 Class : E	Unisolated laser and Optical research System, * Aligner, Stepper 등 1/4 μ m 선폰 노광장치 : 64M DRAM 정도	0.015gal (변위 0.06 μ m)	3 μ m/s

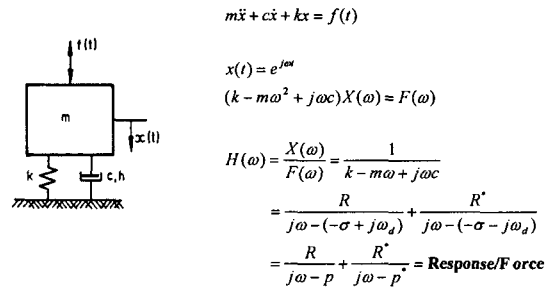


그림 2.1 주파수 전달함수(Frequency Response Function)

표 2.3 주파수 전달함수와 역전달함수의 정의

Response Parameter R	Standard R/F	Inverse F/R
DISPLACEMENT	RECEPTANCE ADMITTANCE COMPLIANCE DYNAMIC FLEXIBILITY	DYNAMIC STIFFNESS
VELOCITY	MOBILITY	MECHANICAL IMPEDANCE
ACCELERATION	INERTANCE ACCELERANCE	APPARENT MASS

3. C/R구조 특성에 의한 동적 특성

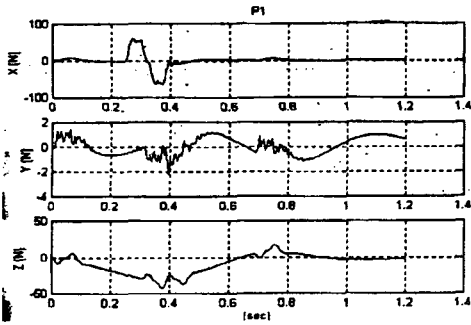


그림 2.2 ES3반도체 노광기의 바닥 동하중

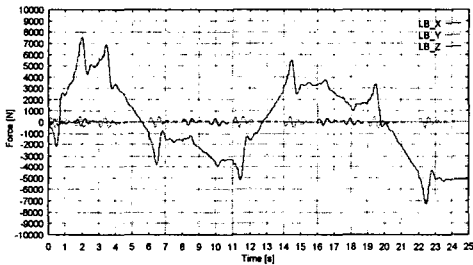
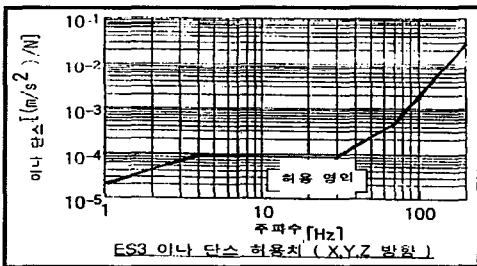


그림 2.3 LCD 노광기의 바닥 동하중



CANON ES3-SCANNER Dynamic Stiffness Criteria

그림 2.4 반도체 노광장비 기초의 동강성 규제치

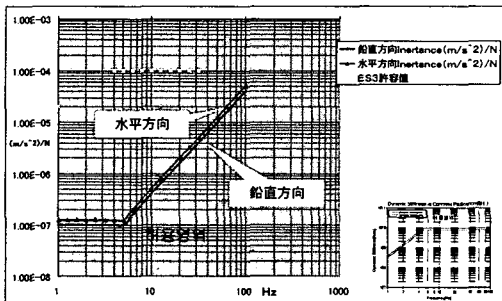


그림 2.5 LCD 노광장비 기초의 동강성 규제치

TFT LCD 생산 공장의 정밀장비는 생산 유리기관의 대형화로 인해 장비의 크기증가는 fab의 기둥간격을 점차 증가하는 경향이 되고 있다. 최근의 국내 fab은 건물의 주기동간격이 거의 20m가 요구되고 있으며, 단일건물내에 C/R이 복층 구조를 형성하고 있어 진동측면에서는 아주 불리한 특성의 구조가 건축되는 동시에 정밀장비의 대형화는 장비가동시 발생하는 관성력이 기하급수적으로 증가하게 되어 기존세대의 fab에서 문제시 되지 않은 새로운 개념의 구조물 동적설계가 요구되고 있다.

진동의 발생은 이를 유발하는 진동원에 따라 결정되어 지므로, 동일한 구조물이라도 사용장비의 가진특성에 따라 진동응답의 수준이 달라지게 된다. 따라서 설계자의 입장에서는 진동허용규제치를 만족하기 위한 구조물의 설계는 반드시 사용하는 장비의 동하중을 고려한 설계가 요구되어지며, 노광기와 같이 대형의 이동질량을 가진 장비는 기존의 방식으로 검토하는 보편적인 LCD 공장의 동하중에 비해 상당히 높은 동하중을 유발하므로, 건물의 진동허용규제치를 만족하는 설계를 위해서는 장비제작사에서 반드시 동하중 또는 건물의 요구 동강성 규제치(required inertance)를 제시하여야 LCD 건물의 동적설계가 가능하게 된다. 따라서 정밀장비 주변의 utility 진동원외에 장비 자체의 진동원과 장비 기초의 엄격한 진동허용규제치를 가지는 장비는 정밀장비가 놓여지는 장비기초에서 이를 만족할 수 있는 C/R 구조의 동강성 허용규제치(주파수 전달함수, point mobility, FRF)의 설계값이 요구된다. 하지만 대부분의 장비 메이커에서는 장비자체의 동하중을 파악치 못해 장비기초에서 요구하는 건물의 동강성 규제치를 제출키 어려운 상황이다. 따라서 fab의 동적설계를 위해 특수한 몇몇 장비에 대한 동하중을 파악하거나 기존 구조물의 fab에서 해석 및 실험을 통한 구조물의 동적설계를 수행하게 된다.

그림 3.1은 반도체 공장의 격자보이며 그림 3.2는 이러한 격자보에 정밀장비를 설치하는 안으로 제진대(anti vibration pad)를 설치한 후 격자보의 진동중폭없이 구현하는 구조이다. 그림 3.3은 격자보의 동강성을 측정하기 위해 impact hammer를 이용한 충격실험 전경이며 그림 3.4는 충격하중에 의한 구조물의 응답을 측정한 실험결과이다.

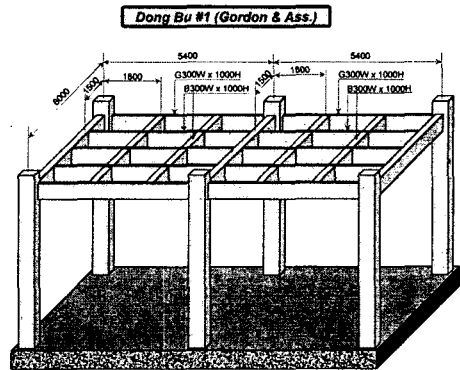


그림 3.1 C/R 격자보구조

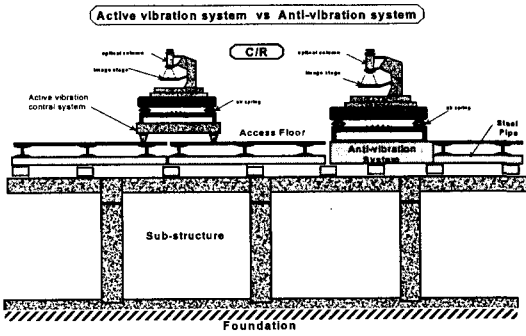


그림 3.2 C/R 내부의 정밀장비 설치 개념도

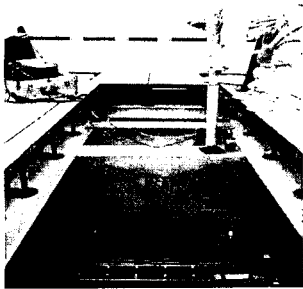


그림 3.3 C/R 격자보 동강성 측정 전경

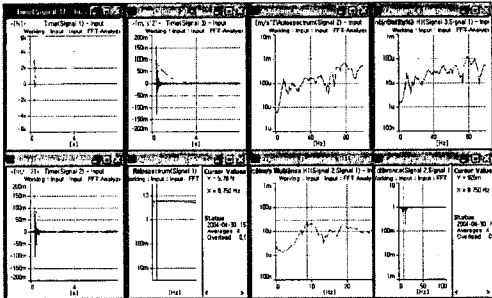


그림 3.4 C/R 격자보의 동강성 측정결과

4. 결론

그림 3.5는 최근 국내의 LCD공장에서 해석 및 실험으로 구한 동강성치이다. C/R 격자보의 주기동사이의 중앙부가 진동에 비교적 취약한 현상이 나타나며 이는 주파수 전달함수 중 바닥 중앙의 점주파수 전달함수(point FRF)가 C/R 구조의 설계기준임을 의미하게 된다. 정밀장비의 진동에 문제가 되는 주파수는 주로 4~80Hz이며 C/R 구조의 1차 굽힘에 의한 고유진동수는 최근 5, 6, 7세대에서 주기동이 멀어짐에 의해 고유진동수가 낮아지는 경향으로 15~8Hz정도에 있어 바닥의 동적 유연성(dynamic flexibility)을 높게 하고 있다. 국내의 fab의 주기동 간격은 6세대 LCD 생산라인이 약 10~14m정도이며 7세대는 14~20m정도로 넓어지나 바닥의 주파수전달함수는 오히려 낮게 요구하고 있다. 대형 진동원인 노광기 설치바닥의 구조물에 대한 이

너티스를 그림 3.5에 나타내었다. 5, 6세대의 LCD공장은 10~20Hz 주파수에서 약 $5 \times 10^{-5} (\text{m/s}^2)/\text{N}$ 이하를, 7세대의 경우는 약 $1 \times 10^{-5} (\text{m/s}^2)/\text{N}$ 이하를 요구하고 있다. 기타 일반적인 영역의 진동을 유발하지 않는 생산 및 검사장비의 C/R바닥은 진동원의 크기가 전 주파수에서 약 10~100N이내이므로 6, 7세대의 정밀생산 검사장비기초에서 요구하는 이너티스는 경험적으로 $5 \times 10^{-4} (\text{m/s}^2)/\text{N}$ 이면 진동문제가 해결가능한 것으로 파악되고 있다.

C/R의 격자보에 설치되는 정밀장비는 가동시 장비 기초인 바닥에 대형의 진동을 발생함과 동시에 바닥 자체의 엄격한 진동허용규제치가 요구되므로 C/R 바닥의 주파수 전달함수인 요구 이너티스가 구조설계에 반영되어야 하며, 또한 장비 개발자는 장비 가동시 발생하는 동하중이나 장비가 설치되는 바닥에서 요구되는 주파수 전달함수의 크기를 구조설계에서 제시되어야 장비자체의 진동문제와 더불어 인접한 정밀장비에 대한 진동문제를 해결할 수가 있게 되며, 응답의 크기인 진동허용규제치와 진동원인 동하중이 공존하는 장비인 경우 장비가 놓여지는 바닥의 동특성인 주파수 전달함수는 C/R의 진동문제를 해결하는 유익한 수단으로 활용되고 있다.

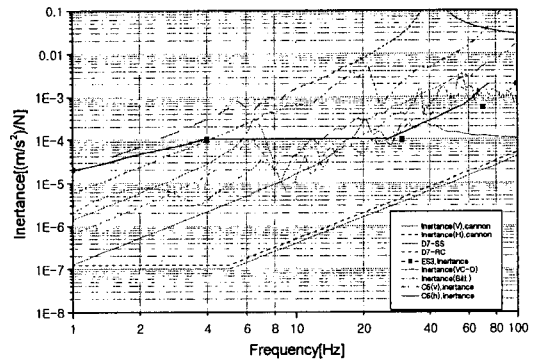


그림 3.5 국내 C/R 격자보의 주파수전달함수

참고 문헌

- (1) Colin G. Gordon, 1991, "Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment", SPIE Proceedings Volume 1610, pp. 71~85.
- (2) Eric E. Ungar, 1990, "Vibration control design of high technology facilities," Journal of Sound & Vibration, Book1, pp. 149~154.
- (3) 백재호, 이흥기, 김강부, 2000, "칩마운트(SMD) 장비의 동하중(動荷重) 발생특성에 관한 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 1913~1917.
- (4) 백재호, 이흥기, 서항석, 2001, "체진대의 진동허용규제치에 기준한 동특성 규명에 관한 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 869~874.
- (5) 백재호, 이흥기, 손성완, 2003, "반도체 클린룸 구조물의 하중측정시스템을 이용한 동특성 개선에 관한 연구", 한국소음진동공학회, 춘계학술대회 논문집 pp. 1099~1106.