

차세대 TFT-LCD 노광기 기초의 구조물 동강성허용규제치 결정

A Study on the Dynamic Stiffness Criteria of Exposure Equipment for next TFT-LCD Fab

○김강부* · 박해동* · 강현승* · 이흥기*

Kang-Boo Kim, Hea-Dong Park, Hyun-Seung Kang and Hong-Ki Lee

Key Words : Vibration criteria(진동허용규제치), Exposure Equipment(노광장비), Inertance(진동응답특성곡선)

ABSTRACT

최근 정밀장비의 진동허용규제치 및 동강성허용규제치는 제작사가 사용자에게 반드시 제출해야 하는 하나의 사양으로 정착되고 있지만, 대부분 국내외의 장비 제작자가 제시하는 진동허용규제치는 부정확할 뿐만 아니라 통일된 양식을 갖추고 있지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 장비제작사에서 제시하는 동하중에 의한 기준과 진동측정을 통한 평가 동하중에 따른 기준으로 노광기의 기초에서 진동허용규제치를 만족시키기 위한 건물의 요구 이너턴스를 평가하여 차세대 노광기에 대한 정량적인 동강성규제치를 제안하였다.

1. 서 론

진동에 민감한 생산설비를 위한 공장을 설립할 경우 설계 초기단계에서 공정에 사용되는 정밀측정/검사장비의 진동허용규제치를 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 진동허용규제치를 만족하기 위한 구조물의 설계는 반드시 사용하는 장비의 동하중을 고려한 설계가 요구되어 지며, 노광기와 같이 대형의 이동질량을 가진 장비는 기존의 방식으로 검토하는 보편적인 LCD 공장의 동하중에 비해 상당히 높은 동하중을 유발하므로, 건물의 진동허용규제치를 만족하는 설계를 위해 장비제작사에서 동하중 또는 건물의 요구 이너턴스(required inertance)를 제시하여야 건물의 동적설계가 가능하게 된다. 본 연구에서는 A사의 차세대 노광기의 동적특

성을 평가하고 장비기초에서 발생하는 동하중을 장비제작사에서 제시하는 동하중에 의한 기준과 진동측정을 통한 평가 동하중에 따른 기준으로 노광기의 기초에서 진동허용규제치를 만족시키기 위한 건물의 요구 이너턴스를 평가하며, 이들 기준과 장비제작사에서 제시하는 기준과 비교하였다.

2. 구조물동강성규제치

2.1 동적설계 방향

구조물의 강성과 관련된 내용은 일반적으로 정적(靜的)인 문제와 동적(動的)인 문제의 관점에서 접근이 이루어진다. 구조물의 정적인 문제는 하중에 대한 허용응력에 대한 문제로 접근하는 반면에 동적인 문제는 구조물의 진동응답에 의존하고 있기 때문에 분명히 다른 접근방법을 가지고 있다. 일부 진동응답이 중요하지 않는 구조물에 대하여 동적인 인자(因子)를 정적 인자로 치환하여 고려하는 방법이 사용되고 있지만, 이것은 본질적으로 다른 차원의 문제이다. 이것은 구조 설계엔지니어 관점에서는 구조물에 미치는 정적인 요소와 동적인 요소 사이의 상대적인 기여도 문제로 귀결된다. 구조물의 진동응답의 크기는 진동원의 특성과 구조물의 동적 강성사이의 상관관계에 의하여 결정되기 때문에 진동을 발생시키는 원인이 없거나 구조물의 동적 강성에 비하여 작을 경우는 진동 응답문제는 무시되고 정적으로 치환하는 고려의 대상이 될 수 있다. 그러나 동적인 기여도가 정적인 하중에 대하여 일정 수준 이상이 될 경우는 동적인 응답 문제로 접근해야한다. 따라서, 구조물과 정밀장비의 동적인 문제를 정량적으로 접근하기 위해서 반드시 필요한 자료는 진

* 알엠에스 테크놀로지(주)
E-mail : rmstech@rmstech.cokr
Tel : (041) 556-76, Fax : (041) 556-7803

동 발생 장비의 동적 하중과 구조물의 동적 특성에 대한 정보, 그리고 장비의 진동허용규제치이다. 문제는 정밀장비의 동하중에 대한 명확한 정보를 장비 제작자가 사용자와 구조 설계자에게 제공하고 있는가라는 점이다. 이러한 관점에서 장비 제작사에서 제시하는 동하중에 의한 기준과 진동특성을 통한 평가 동하중에 따른 기준에 대하여 평가하고 정밀 장비 기초 구조물의 동적설계 방향을 제시하여야 한다.

2.2 구조물동강성규제치

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

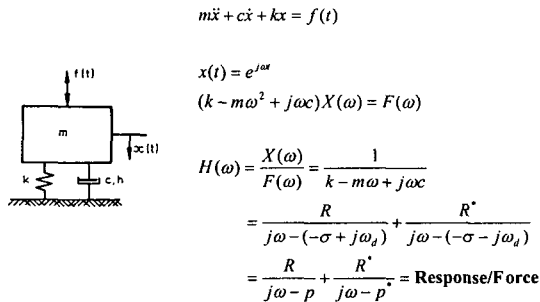


Fig 2.1 주파수 전달함수(Frequency Response Function)

표 2.1 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

장비 제작사에서 제시한 노광기 기초 구조물에서 유지되어야 할 진동허용규제치 및 동특성허용규제치는 Fig 2.2와 Fig 2.3과 같다.

표 2.2 Vibration criteria of exposure equipment

Description Item	Vibration criteria (rms amp.)	비 고
노광기	1~5Hz : 0.1gal이하 5~100Hz : 1μm이하 (수직, 수평 동일)	속도 30μm/s(5Hz) BBN Criteria class B : 25μm/s

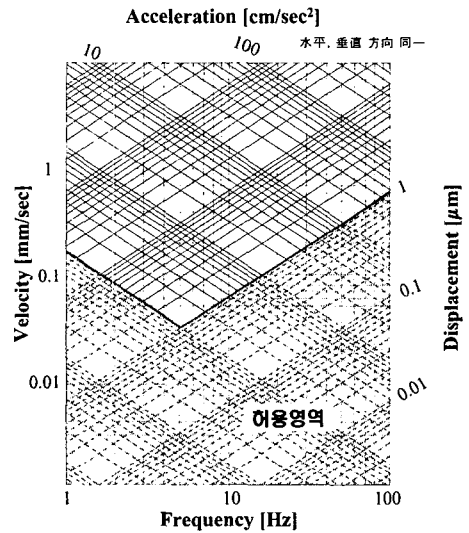


Fig 2.2 Vibration criteria of exposure equipment

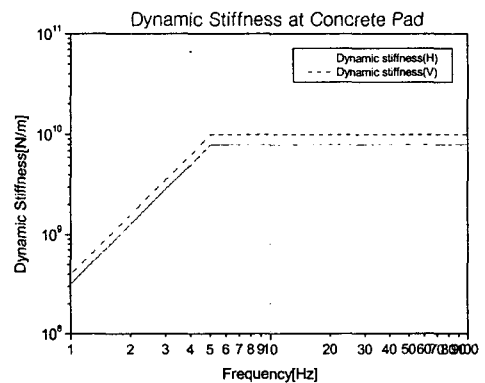


Fig 2.3 Dynamic stiffness of exposure equipment

3. 노광기의 동적 특성

장비 제작사에서 제시한 장비 가동시 장비기초의 동강성 규제치를 평가하기 위하여 노광기의 동적 특성을 파악하고 진동 측정에 의한 장비기초에서 요구되는 이너턴스 (inertance)를 비교하였다.

3.1 노광기의 이동질량에 의한 관성력

노광기는 Fig 3.1과 같이 6개의 Mount로 지지되며, 장비내 Plate stage의 궤적에 의해 관성력이 발생된다. 장비의 전체 하중은 80ton이며, 고유진동수는 수직 6~8Hz, 수평 2.5~3.5Hz 이며, Mount의 최대 반발력은 500kpa로 설계되어 있다. 장비의 무게중심과 거리는 Fig 3.2와 같다.

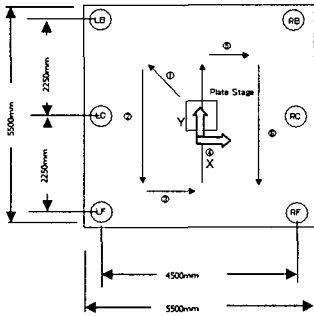


Fig 3.1 장비 기초의 위치 및 plate stage의 궤적

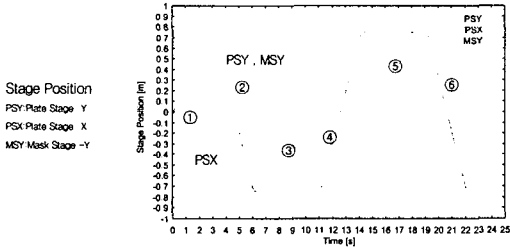


Fig 3.2 Plate 및 mask stage의 시간이력 경로

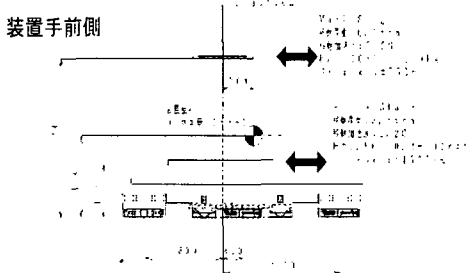


Fig 3.3 노광기의 동적모델

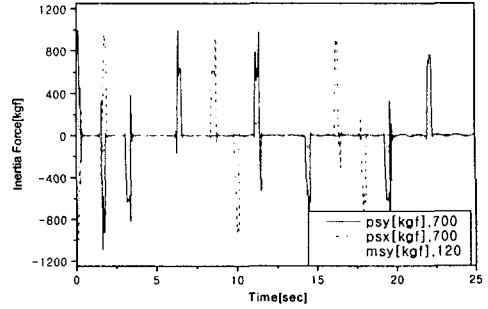
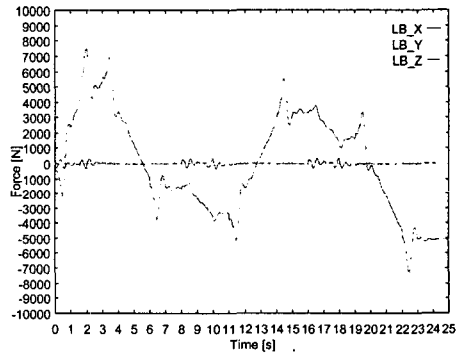


Fig 3.4 Plate 및 stage의 관성력

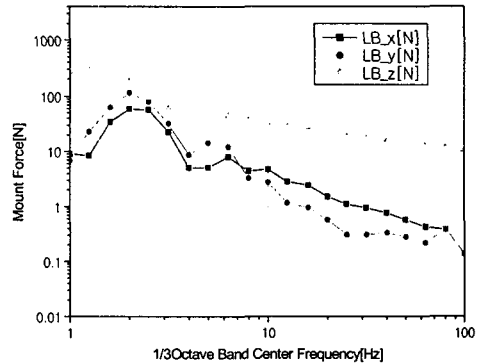
3.2 장비제작사의 동하중에 의한 Inertance

(1) 가진력의 주파수 특성

장비 제작사에서 제시한 시간이력 장비기초 마운트의 동하중에 대한 주파수 분석 결과는 Fig 3.5와 같다.



(a) 시간이력 동하중



(b) 주파수 영역 동하중

Fig 3.5 장비 기초 LB에서의 동하중 특성

(2) 장비제작사의 동하중에 의한 Inertance

주파수별 진동허용규제치를 만족하기 위한 건물의 요구 이너턴스(Inertance)는 장비의 동하중에 따라 결정되며, 장비제작사에서 제시한 동하중의 주파수분석 결과를 고려한 노광기 설치 기초(건물)의 요구 이너턴스는 그림 2.8과 같다. 수직방향의 이너턴스가 낮게 나타나고 있으며 수평방향은 노광방향인 y축이 저주파수에서 낮게 나타나고 있다. 장비의 기초인 건물의 이너턴스가 낮다는 것은 구조적으로 더욱 엄격한 동적 설계가 요구됨을 의미하고 있다. 또한 장비제작사에서 요구한 1차 동적설계안과 비교하면 약 100배 이상의 높은 이너턴스로 나타나고 있으며, 2차 수정안 보다는 2-10배정도 높은 건물의 동특성을 요구하고 있다.

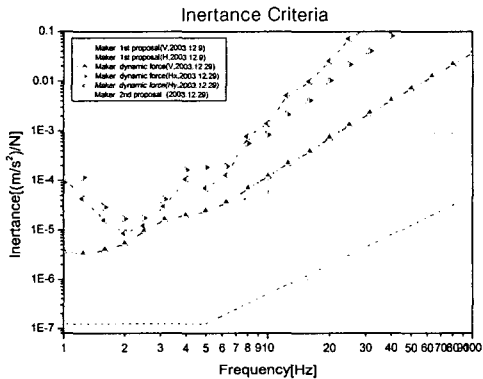
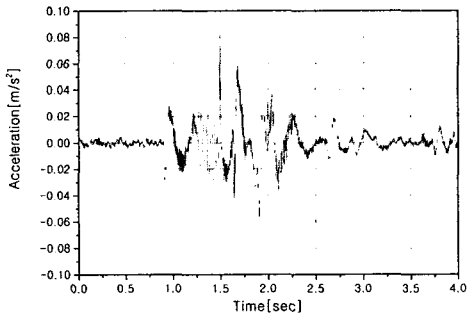


Fig 3.6 장비제작사의 동하중에 의한 장비기초의 요구 inertance

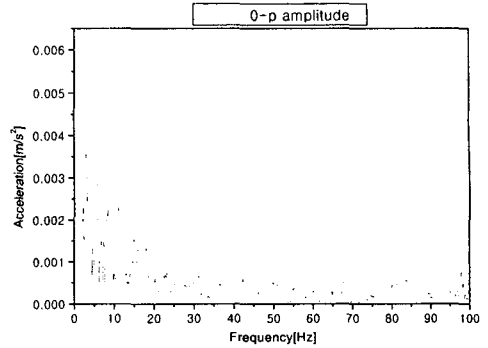
3.3 측정에 의한 장비기초 요구 Inertance

(1) 장비 예측 Dynamic Force

현재 가동 중인 노광기에 대하여 측정한 데이터를 입력원으로하여 장비 기초 마운트에서 발생하는 동하중을 산출하였다.



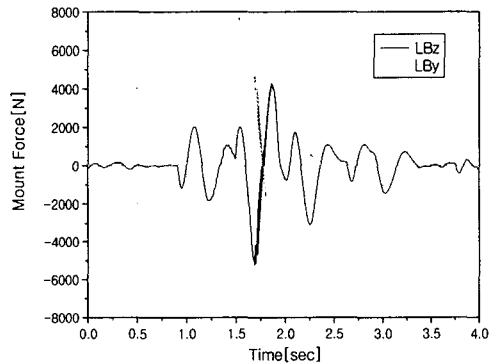
(a) 시간이력 가속도



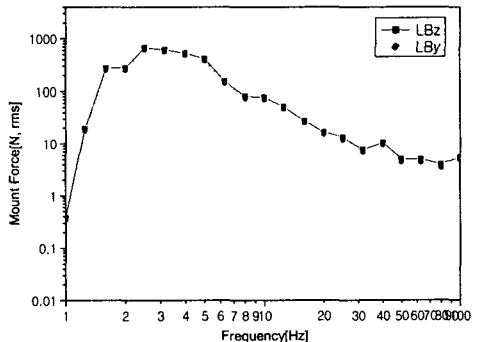
(b) 주파수 분석 data

Fig 3.7 노광기 정반에서 측정된 진동 가속도

장비의 기초 마운트에서 발생하는 시간이력 동하중과 주파수 분석한 결과는 Fig.3.8과 같다



(a) 시간이력 동하중



(b) 주파수 영역 동하중

Fig 3.7 장비 기초 LB에서의 동하중 특성

(2) 진동 측정에 의한 장비기초 요구 Inertance

진동 측정에 의한 MPA 8500 장비의 장비 기초에 대한 동하중을 계산한 후 장비기초 빌딩의 노광기 기초에 대한 요구 이너턴스를 구하였다. 수직과 수평방향의 이너턴스 차이는 미소하게나마 수직방향이 낮게 나타나고 있으며 2-5Hz사이에서는 건물의 요구 이너턴스가 아주 엄격한 수준인 $1.56 \times 10^{-6} (m/s^2)/N$ 으로 나타나고 있다.

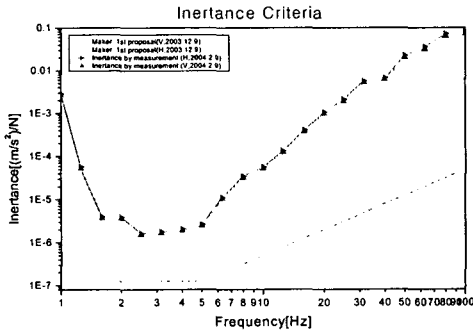


Fig 3.8 진동측정에 의한 장비기초의 요구 inertance

3.4 노광기 기초구조물의 요구 Inertance 비교

자체 진동원을 가진 노광기 기초의 진동은 장비에서 발생하는 동하중과 이를 지지하는 장비 바닥의 요구강성에 따라 진동의 수준이 결정된다. 따라서, 진동허용규제치 0.1gal, 1 μ m의 진동레벨이 결정되기 위해서는 진동원(주파수별 가진력)의 크기가 결정되어야 하며 이 진동원에 따른 장비기초 바닥의 요구 이너턴스가 결정되어진다. 이에 따라 장비제작사에서 제시하는 동하중에 따른 이너턴스와 기존 장비의 진동측정을 통한 차세대 노광기의 마운트 동하중을 평가한 기준을 Fig 3.9에서 비교하였다.

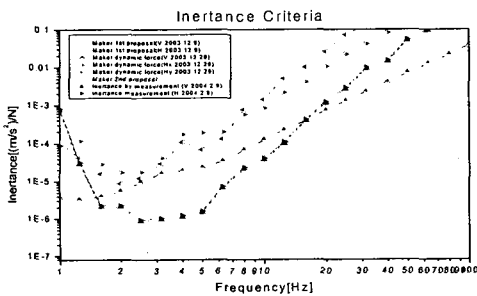


Fig 3.9 노광기의 장비기초 구조물 요구 Inertance 비교

진동측정을 통한 건물의 요구 이너턴스는 장비제작사의 동하중에 따른 이너턴스와 비교하면 2-10Hz 주파수 영역에서 장비제작사에서 평가한 기준보다 더욱 엄격한 건물의 요구 이너턴스를 요구하고 있으며 수직과 수평의 차이가 미미한 경향을 보이고 있다.

4. 결론

진동에 민감한 노광기와 같은 각종 정밀장비를 갖추고 있는 공장구조물에 대한 정량적인 구조의 동적 설계를 위해서는 초기 설계 단계에서 정밀장비가 요구하는 진동 특성과 설치 환경을 표현하는 진동허용규제치 및 동강성허용규제치를 장비 제작사가 사용자에게 엄밀하고도 정확한 데이터로 제시해야 한다. 이는 장비 운용의 신뢰성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 진동허용규제치 및 동강성허용규제치의 불확실성으로 인한 건물의 방진 및 내진 문제를 사전에 예방할 수 있다. 이러한 여러 가지 이유로 최근 정밀장비의 진동허용규제치 및 동강성허용규제치는 제작사가 사용자에게 반드시 제출해야 하는 하나의 사양으로 정착되고 있지만, 대부분 국내외의 장비 제작사가 제시하는 진동허용규제치 및 동강성허용규제치는 부정확할 뿐만 아니라 통일된 양식을 갖추고 있지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 노광장비의 동적특성을 평가하고 장비기초에서 발생하는 동하중을 장비제작사에서 제시하는 동하중에 의한 기준과 진동측정을 통한 평가 동하중에 따른 기준으로 노광기의 기초에서 진동허용규제치를 만족시키기 위한 건물의 요구 이너턴스를 평가하고, 이들 기준과 장비제작사에서 제시하는 기준을 비교하였다. 또한, 차세대 노광기에 대한 정량적인 동강성규제치를 제안하였다.

참고 문헌

- (1) Colin G. Gordon, 1991, "Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment", SPIE Proceedings Volume 1610, pp. 71~85
- (2) Eric E. Ungar, "Vibration control design of high technology facilities," sound and vibration, July, 1990. Book1, pp. 149~154
- (3) Hong-Ki Lee, Hae-Dong Park, Hyun Choi, Doo-Hoon Kim, Sa-soo Kim, "A New Method of Determining Vibration Criteria for a Vibration Sensitive Equipment Using Frequency Response Function," INTER-NOISE 96, Proceeding Book 3 pp.1253~1262, August, 1996.
- (4) 백재호, 이흥기, 김강부, "칩마운트(SMD) 장비의 동하중(動荷重) 발생특성에 관한 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, 2000, pp. 1913~1917
- (5) 백재호, 이흥기, 서항석, 2001, "제진대의 진동허용규제치에 기준한 동특성 규명에 관한 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 869~874.
- (6) 백재호, 이흥기, 손성완, 반도체 클린룸 구조물의 하중 측정 시스템을 이용한 동특성 개선에 관한 연구, 한국소음진동공학회, '2003 춘계학술대회 논문집 pp. 1099~1106, 2003.