

실험적 방법을 이용한 TFT-LCD 정밀 검사 장비의 진동 허용 규제치 평가 및 진동 저감 대책

손성원(책임저자)*, 이흥기*, 박상곤*, 전종균**

*알엠에스 테크놀로지㈜ **선문대학교 기계공학부

초록

In the case of a sensitive equipment, it require a vibration free environment to provide its proper function. Especially, lithography and inspection device, which have sub-nanometer class high accuracy and resolution, have come to necessity for producing more improved Giga Class semiconductor wafers. The aim of this study is to evaluate the allowable vibration response of a precision inspection equipment, which has some trouble in field, by using experimental measurement data and to proposal a proper anti-vibration method.

1. 개 요

진동에 민감한 생산설비를 위한 공장을 설립할 경우 설계초기단계에서 공정에 사용되는 정밀측정/검사장비의 진동허용규제치를 평가하고 이를 만족할 수 있는 환경을 구현할 수 있는 C/R 구조에 대한 동적(動的) 특성을 검토하여야 한다. 진동등급이 다른 여러 종류의 정밀장비에 대한 장비기초의 진동허용규제치를 만족할 수 있는 건물의 동적 구조설계를 위해서는 건물구조의 동적 강성뿐만 아니라 장비기초인 격자보 하부의 구조형식 및 주변 진동원 차단방안 등을 활용하여 하여야 한다. 장비제작사에서 제시하는 진동허용규제치를 만족하게 하기 위한 건물설계와 시공은 fab 의 원활한 가동을 위해서 장비 사용부서인 건축주와 시공사가 반드시 수행하여야 할 필수불가결한 요소중의 하나이다.

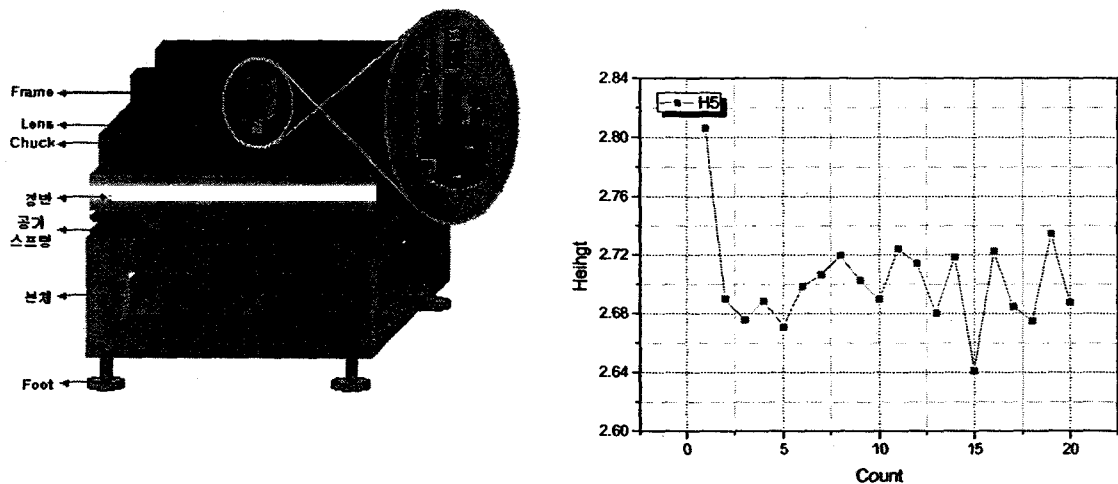
이를 위해서는 장비 제작자로부터 제공되는 정밀장비의 진동허용규제치 및 설치 시방에 대한 상세한 자료를 제공받을 필요가 있으며, 장비 제작사는 이에 적합한 엄격하고 정량적인 장비기초의 진동허용규제치(vibration criteria)를 제시하여야 하지만 현재 개발이 진행되거나 완료가 끝난 장비들의 경우 이러한 진동 허용 규제치가 제시되고 있지 못하여 구조설계시 진동 설계 기준치를 제시하지 못하고 있다.

여기서는 TFT-LCD 라인에 설치된 정밀검사장비에 대한 장비기초 바닥의 진동특성을 평가하고, 그 결과를 바탕으로 실험적인 방법에 의하여 정밀 검사 장비의 하부 구조물에 대한 진동 허용 규제치를 결정하고 현재 구조물의 진동 상태와 비교하여 장비의 원활 한 작동을 위하여 결정된 구조물 진동 허용치 내로 진동을 제어할 수 있는 진동저감대책을 제안하고자 한다.

2. 정밀장비 검사특성

Fig 3.1 에 나타낸 것과 같이 크게 나누면 다리(foot), 하부몸체(main body), 정반(surface plate), 척(chuck), 헤드 지지용 프레임, 헤드(head)로 구성되어 있다. 여기에서 헤드는 간섭상을 측정하기 위한 고배율 렌즈와 다수의 렌즈가 결합되어 있는 터렛(turret), 스캐너(scanner) 그리고 PZT 가 주요 구성물이다. 정밀장비 하나를 기준으로 헤드 지지용 프레임은 2 개이며, 한 개의 프레임에 장착되는 헤드는 2~4 개가 설치된다. 즉, 하나의 정밀장비에는 헤드가 최소 4 개에서 최대 8 개까지 장착된다.

이러한 정밀장비의 정상운용은 정밀장비의 척에 컬러필터용 유리를 장착하고 헤드의 고배율 렌즈를 이용하여 컬러필터용 유리 패턴의 높이를 나노미터급 수준으로 측정하는 비접촉 3 차원 검사장비이다.



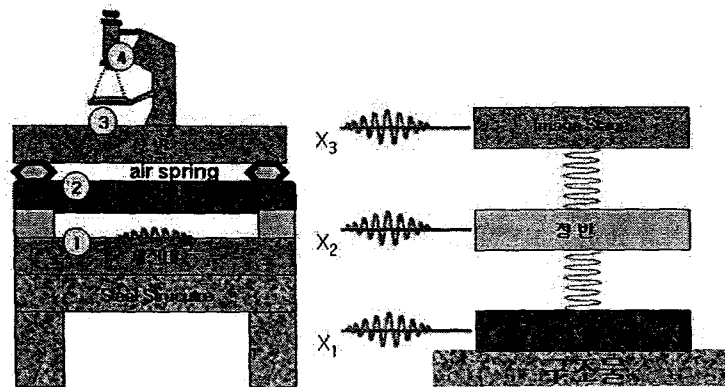
<Fig 2.1> 정밀장비 구조 특성 및 검사 측정치

이러한 정밀장비의 정상운용시 검사를 원활히 수행하기 위한 기본조건은 측정된 데이터 대한 데이터의 반복성(repeatability)이 1(68.27%)로 관리하는 것으로 그림 2.1 에서 이에 대한 임의의 헤드에서 전형적인 측정 결과를 그래프로 나타내었다. 이렇듯 정밀장비의 특성상 외부진동에 대한 계측 결과의 반복성의 영향이 엄격하며 정상적인 검사를 위해서는 에러폭이 10nm 의 범위를 만족하여야 한다.

3. 현장 진동 정밀 계측 및 구조물 진동 허용 규제치 평가

정밀장비가 설치되는 구조물의 진동 허용 규제치의 경우, 설치되는 장비의 주파수 대역의 동적 특성을 충분히 고려하여 장비의 정상 운영 관점에서 통상적으로 주파수 영역에서 정의되어 진다. 본 장에서는 정밀 검사 장비의 구조물 진동 허용 규제치를 실제 현장 계측 결과 및 전파 특성 분석을 통하여 평가하고 구조물 동적 설계 기준을 결정하였다. 아래의 그림

3.1 에 구조물 진동 허용 규제치를 평가하기 위한 계측 위치 및 장비와 구조물의 수학적 모델을 나타내었다.



<Fig. 3.1> 정밀장비 진동 계측 위치 및 수학적 모델

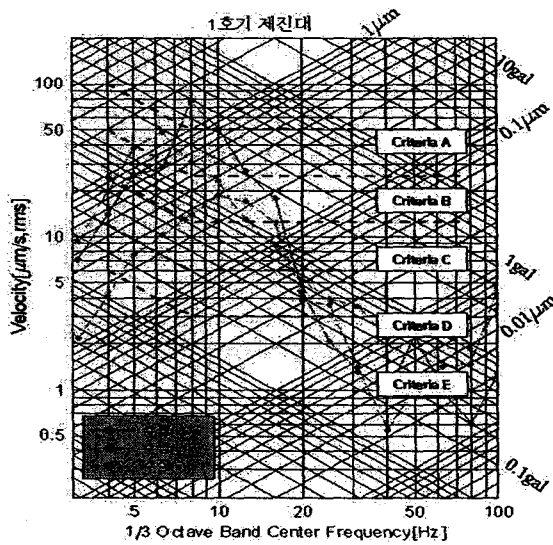
정밀 검사 장비는 TFF-LCD 생산 청정실 구조의 고착형 제진대 위에 설치되어 있으며 제진대의 진동 상태 및 정밀장비 각 부분의 진동 전파 특성을 조사하기 위하여 제진대와 Plenum 그리고 정반 및 렌즈와 chuck 의 진동을 계측 하였다.

3.1 제진대의 진동 계측 결과

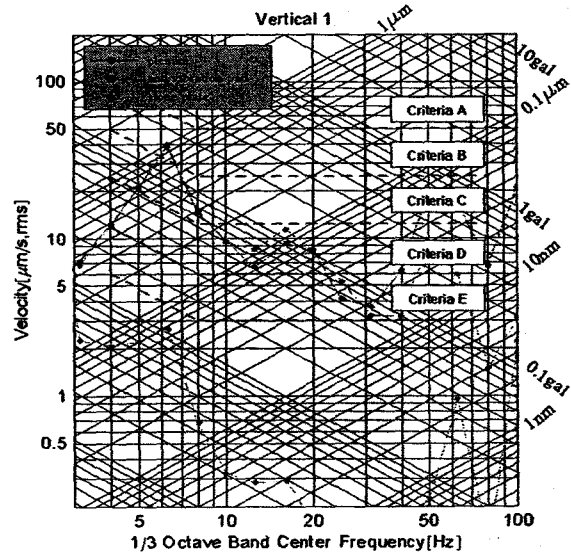
현재 생산라인에 설치된 정밀장비에 대하여 x,y,z 세 방향에 대하여 계측을 수행하였으며 아래 Fig. 3.2 에 진동 계측결과를 수록하였다. 계측결과에서 알 수 있듯이 수평 x 축(ch1, 장비의 y 방향)이 8Hz, 수평 y 축(ch2, 장비의 x 방향-스캔방향)이 10Hz, 수직 z 축(ch3)이 6.25Hz 의 탁월 주파수가 나타나고 있다. 탁월주파수의 진동특성은 강제진동 응답이 아니라 제진대 하부 독립기초 구조물의 공진응답으로 나타나고 있다. 수평방향의 8Hz 와 13Hz 진동모드는 독립기초의 지지점인 plenum 층을 경계조건(nodal)으로 수평 흔들림에 의한 응답모드이며, 수직 6Hz 는 독립기초가 위치하는 plenum 층이 건물의 주기동(main column)을 경계조건으로 바닥의 중앙부가 가장 진동이 높은 plenum 바닥의 1 차 굽힘모드에 의한 진동응답으로 나타난다.

3.2 진동 전파 특성 평가

제진대의 진동이 정밀장비로 전파되는 특성을 평가하기 위하여 장비의 각 부분에 대하여 동시에 진동 계측을 수행하여 Fig. 3.3 에 나타내었다. 계측결과를 보면 Plenum 층의 1 차 굽힘모드에 의한 공진 주파수 6 Hz 에 대한 수직방향의 진동 전달비는 제진대와 거의 같은 수준을 보이고 있어 진동 전달비가 1 수준으로 나타나고 있으며, 제진대에서 정반으로 전달되는 진동비는 1um 에서 0.07 um 으로 감소하여 약 1/14 수준으로 나타나고 있다 이것은 정반하부의 공기스프링의 방진 효율에 의한 것으로 판단된다. 정반에서의 수직 진동 레벨은 문제시 되는 주파수인 6 Hz 에서 최대 120 nm 의 진동 변위가 나타나며 이것은 장비기초인 제진대의 진동변위 1um 에 직접적인 영향을 받고 있다.

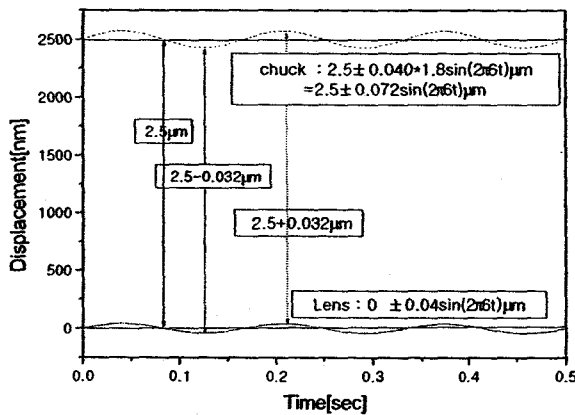


<Fig.3.2> 제진대 진동계측 결과

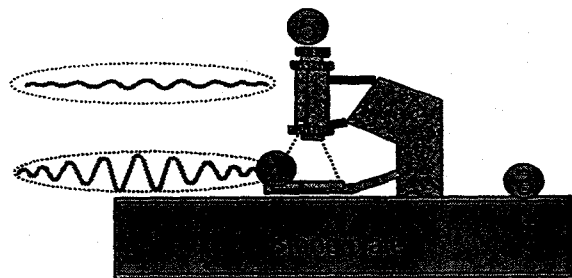


<Fig.3.3> 제진대 상부 진동계측결과

한편, 정반과 chuck, chuck 과 렌즈의 진동은 구조적으로 일체형이 되어 진동 증폭이 없는 구조가 바람직하게 된다. 하지만 대부분의 장비구조는 렌즈지지 프레임의 강성과 chuck 의 지지 강성 구조가 달라서 6Hz 의 진동이 입사된 경우에 정반(렌즈)과 chuck 의 진동증폭비는 약 1.8 배가 나타나고 있으며, 진동위상은 동일위상인 12.2° 가 나타나게 된다. 이는 렌즈와 chuck 이 동일위상으로 진동할 경우 렌즈부와 chuck 부의 진동 진폭이 달라서 나타나는 상대진동이 그림 3.5 과 같은 상대진폭을 유발하게 된다.



<Fig. 3.5> lens와 Chuck의 상대진동



3.3 구조물 진동 설계 기준

그림 3.5 는 정반과 렌즈의 진동이 6Hz-40nm 일 경우 chuck 의 진폭은 72nm 이고 이 경우 상대진폭은 32nm 가 된다. 정반에서 측정된 최대진동이 6Hz-120nm 인 경우 진동증폭 1.8 을

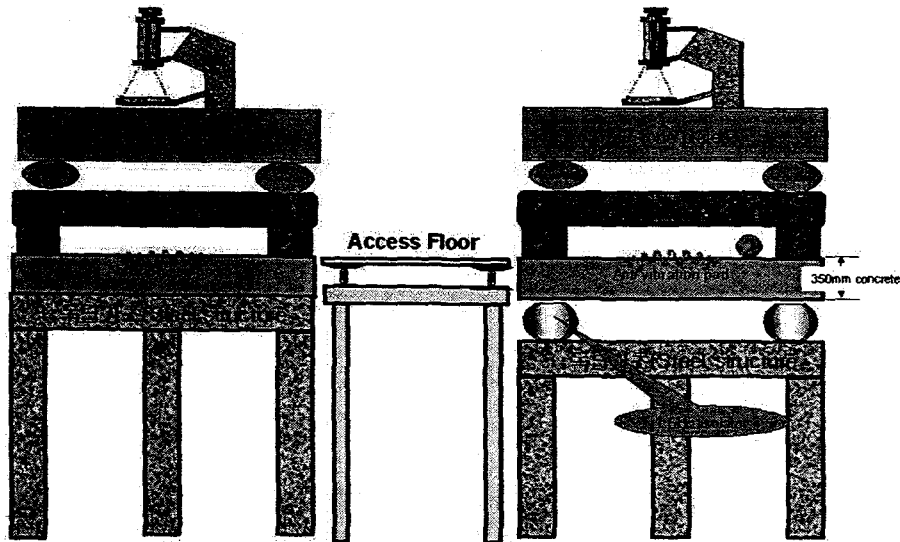
적용하면 렌즈부와 chuck 에서는 96nm 의 상대진동이 발생하게 된다. 따라서 장비의 진동개선없이 측정오차 10nm 이하로 가져가기 위해서는 정반에서 12.5nm 이하의 진동상태를 구현하여야 하며, 이 경우 제진대에서의 진동수준은 현재 1.4um(rms, 6Hz, 0.2gal)에서 0.17um(rms, 6Hz)로 9 배 정도 개선하여야 한다.

4. 진동 저감 대책

장비기초인 제진대의 진동저감을 위한 6Hz의 바닥공진응답을 저감하기 위해선서는 현재 설치되어 있는 독립기초 형식 변경과 under floor의 빔과 거더의 변경 등을 수행해야 하며 이것은 구조설계자 및 건물사용자와 협의하여야 하며, 건물의 구조도면을 검토한 후 해결가능한지를 판단할 수가 있다. 이는 현재 5층 plenum층에 지지된 독립기초 제진대 지지부가 원하는 동적성능을 발휘하지 못하게 설계된 문제로 독립기초의 가장 기본적인 진동절연 특성인 독립기초 인접 A/F의 사람 1인 보행 진동에 대해서도 독립기초 제진대에서 BBN VC-A의 진동수준을 나타내고 있다

4.1 제방형 제진대 설치

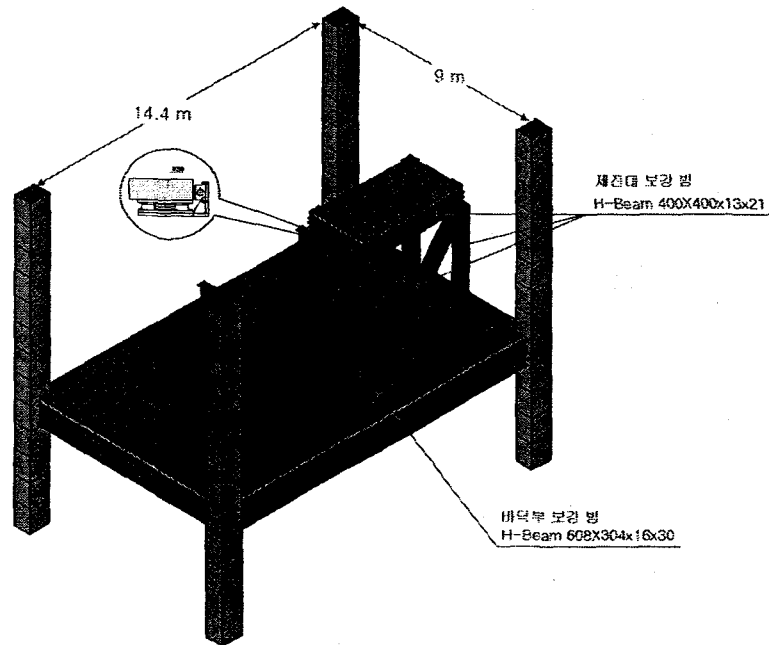
독립기초인 제진대와 장비기초지지 plenum 바닥층의 구조변경 없이 실현가능한 그림 3.1 과 같은 1.5Hz 를 갖는 방진형 제진대로 구성할 시 현재의 장비기초 진동수준을 약 1/10 이상 수준으로 감소 할 수 있으며 검사장비의 성능을 충분히 유지 시킬수 있다.



<Fig. 4.1> 제방형 제진대 설치에 의한 방진대책

4.2 독립기초의 구조 개선

장비가 놓이는 독립기초와 독립기초 지지 floor 의 빔과 거더보강안을 제시할 수 있으며 이 경우 건물의 main column 사이즈 및 건물의 구조형식에 따라 결정되어지며, 그림 4.2 과 같은 장비기초의 방진형 마운트 시공시 성취할 수 있는 진동수준 이하를 요구할시 검토할 수 있는 방안으로 AOU와의 긴밀한 협의가 요구된다.



<Fig. 4.2> 독립기초형 제진대 하부 구조 보강 사례

5. 결론

TFT-LCD 생산공장의 정밀검사 장비의 성능 저하의 원인 및 대책 수립을 위하여 정밀 진동 계측 및 분석을 수행하였으며 그 결과를 정리하면 아래와 같다.

(1) 제진대의 진동 계측 결과, 제진대의 탁월주파수는 강제진동 응답이 아니라 제진대 하부 독립기초 구조물의 공진응답으로 나타나고 있다. 수평방향의 8Hz 와 10Hz 진동모드는 독립기초의 지지점인 plenum 층을 경계조건(nodal)으로 수평 흔들림에 의한 응답모드이며, 장비의 성능에 가장 크게 영향을 주는 수직방향 6Hz 는 바닥의 중앙부가 가장 진동이 높은 plenum 바닥의 1 차 굽힘모드에 의한 진동응답으로 나타난다.

(2) 구조물과 장비의 진동특성을 분석하기 위한 계측 결과, 제진대 진동이 정반에 전달되면서 정반하부의 공기 스프링 영향으로 약 1/14 로 감소하며 정반과 렌즈와의 상대 변위는 6Hz 의 경우 동위상에서 약 1.8 배 정도의 증폭되고 있는 것으로 분석되어, 장비의 검사성능을 유지하기 위해서는 제진대에서의 진동수준은 현재 1.4um(rms, 6Hz, 0.2gal)에서 0.17um(rms, 6Hz)로 9 배 정도 개선하여야 함을 알수 있다.

(3) 현재 TFT-LCD 라인에 설치된 정밀 검사 장비의 원활한 검사를 위하여 구조물의 진동을 감소 시킬 수 있는 방진 및 구조물 개선 대책을 제시하였다.