

차세대 반도체 FAB의 동적 구조 설계를 위한 PC형 격자보 구조물의 동적 특성 평가

전종균[†] · 김강부* · 손성완* · 이흥기*

[†]선문대학교 기계공학부, *알엠에스테크놀로지㈜

A Dynamic Structural Design of PC type Sub-Structure for Next-Generation FAB based on Dynamic Test and Simulation

Chong Keun Chun[†], Kang Boo Kim*, Sung Won Son*, and Hong Gi Lee*

[†]Div. of Mechanical Engineering, SunMoon Univ.,

*RMS TECHNOLOGY CO., LTD

ABSTRACT

In the design stage of high precision manufacturing/inspection FAB facilities, it is necessary to investigate the allowable vibration limits of high precision equipments and to study structural dynamic characteristics of C/R and Sub-structure in order to provide structural vibration criteria to satisfy these allowable limits. The goal of this study is to investigate the dynamic characteristics of PC-Type mock-up structures designed for next generation TFT-LCD FAB through experiments and analysis procedures. Therefore, in order to provide a proper dynamic structural design for high precision manufacturing/inspection work process, these allowable limits must be satisfied.

Key Words : Next-Generation FAB , Dynamic Characteristics, Structural Vibration Criteria

1. 서 론

최근 반도체의 가공정도가 높아지고 차세대 TFT-LCD패널의 크기가 커지면서 이들 생산공정에 대한 마이크로 미터 수준의 미진동(微振動) 제어를 위해서는 구조의 동적 해석 및 설계, 진동유발 유틸리티의 배치, 진동 전달특성 및 방진, 제진 기술과 진동의 정밀한 동적 실험, 측정/분석기술로 집약되는 “Total Engineering Technique”가 요구된다. 진동에 민감한 반도체 공장, 문화재 건물, 음악당, 정밀실험실의 구조설계와 입지조건과 동적 해석 기술이 매우 엄밀하게 고려되어야 한다는 것을 의미하고 있다[1]. 마이크로 수준의 진동 허용규제치는 대형, 복합 구조물에 대한 합리성과 신뢰성이 확보된 새로운 개념의 고정밀도 해석 및 실험 기술이 요구되고 있다. 이는 현재, “예술의 전당”과 같은

진동에 민감한 구조물의 진동제어를 위한 동적 해석 및 설계기술이 정성적으로 이루어지고 있다는 것을 의미하고 있으며, 새로운 개념의 엄밀한 정량성이 확보된 구조설계 및 예측기술과 진동제어 기술이 요구되고 있다[2]. 그러나 동적으로 불확실한 지반 특성과 복잡한 건물 구조형태와 기초의 지지조건, 다양한 결합부, 복합재료를 사용하고 있는 현대의 지능형 빌딩이나 초고층 빌딩의 구조 및 지반 특성을 정확히 정의하고 이를 해석적으로 고정도의 신뢰성 있는 동적 특성을 예측하는 것은 어려운 일이다[3]. 이러한 제한조건을 해결하는 하나의 방법으로 실제 대형구조물에 대하여 동적 실험을 수행하여, 전달함수를 구함으로써 실험적으로 구조물의 동적 특성을 결정하고 이것을 해석적인 방법과 병행하여 반도체 및 초정밀 장비의 생산설비를 위한 동적 구조 설계에 사용하는 방법이 사용되고 있다[3, 4].

본 연구에서는 PC-type Sub-structure의 Mock-Up 구조물에 대한 동적 특성을 실험과 해석을 통하여 규명하고, 차세대 반도체 및 TFT-LCD 공장에 요구되는 진

[†]E-mail : ckchun@sunmoon.ac.kr

동허용규제치를 만족할 수 있는 구조를 제안하고자 한다. 이를 위하여 기본적으로 동일한 RC-type Sub-structure와 비교, 평가하였으며, 차세대 TFT-LCD 공장의 동강성 설계 목표치를 만족할 수 있는 개선안을 PC-type Sub-structure에 대하여 제안하였다.

2. Mock-up 구조물 동적 실험 및 해석

2.1. 실험 개요 및 실험 대상 구조물

PC를 이용한 격자보 구조물의 동적 강도 및 고유진동수, 고유모드 등의 동적 인자들을 실험에 의한 실험적 모드 해석 기법[5]을 이용하여 추출하기 위하여 구조물 동특성 실험이 수행되었으며 실제 C/R구조의 격자보 형태를 고려하여 동특성 실험을 위한 PC 격자보 Mock-Up 구조물이 제작 되었으며 아래에 구조물의 도면 및 실험전경을 나타내었다.

2.2 Mock-Up 구조의 동적실험 및 해석 결과

C/R 구조물 동적설계를 위한 해석모델을 검증하고,

실제 모델의 거동양상과 동특성을 확인하기 위하여 구조물의 동적실험(Modal Test)과 함께 Mock-Up 구조에 대하여 동적해석을 수행하였다.

PC로 제작된 Mock-Up 구조물의 동적 실험에서 얻어진 driving point의 주파수 응답함수를 Table 1에 나타내었으며 Fig. 5-a와 같이 주파수 응답함수에서 모드분리가 용이한 3개의 고유주파수에서 얻어진 모드를 해석결과와 비교하여 나타내었다. 또한 PC 격자보 동특성 실험결과를 기초로 1~3차 모드의 고유 진동수를 기준

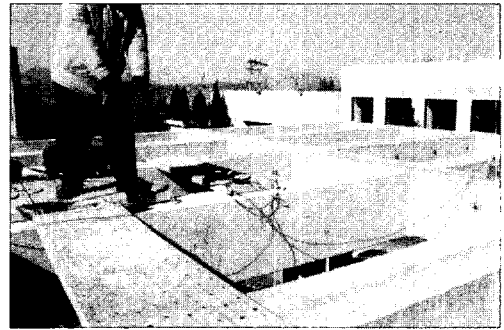


Fig. 3. Dynamic test of PC Structure

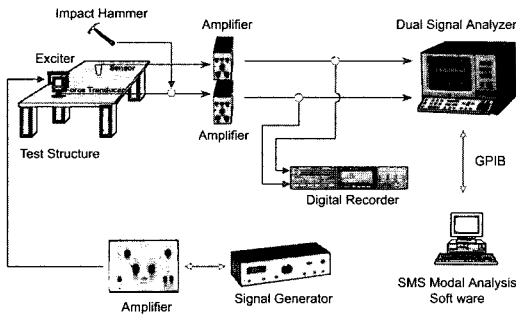


Fig. 1. Schematic diagram of Modal Test System.

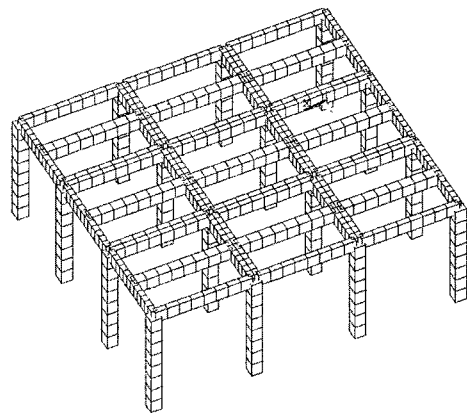


Fig. 4. Analysis Model of PC Structure

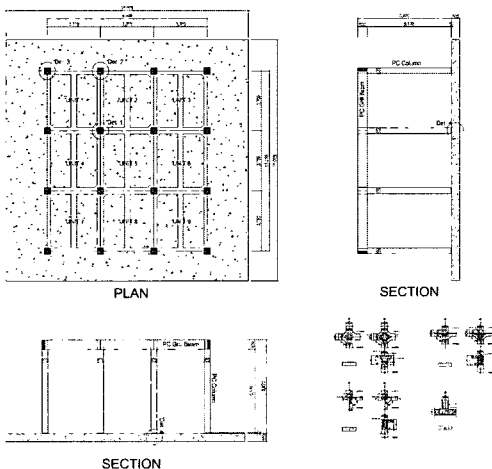
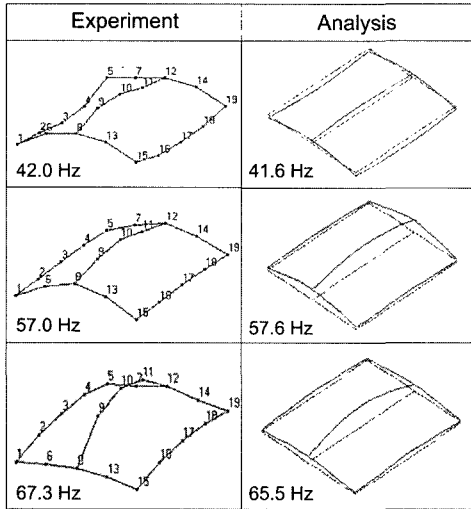


Fig. 2. Manufactured Mock-up Structure.

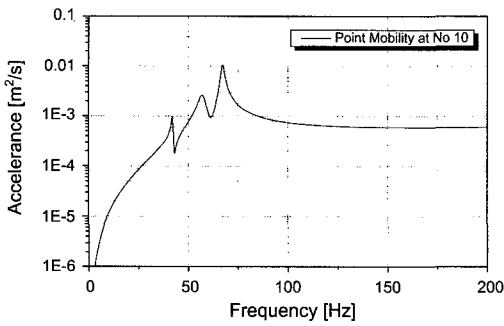
Table 1. Dynamic test and analysis results.

Mode	Freq.[Hz]		Damping [%]	Mode Description
	Meas.	Anal.		
1st	42.0	41.6	0.53	양 사이드 길이방향 Girder 1차 굽힘모드
2nd	57.0	57.6	4.36	폭 방향 Girder 1차 굽힘 모드
3rd	67.3	65.5	1.58	가운데 길이방향 Girder 1차 굽힘모드

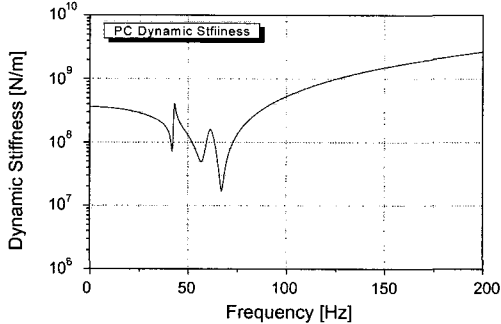
으로 하여 격자보에서 가장 취약할 것으로 예상되는 보 중앙 지점인 10번 지점에서의 Point Accelerance Data [Ch2/Ch1]를 Star System 상용 코드를 이용하여 Frequency Response Function Synthesis 작업으로 산출하였으며(Fig. 5-b), 이를 토대로 하여 10번 지점에서 주파수별 동강성(Dynamic Stiffness)을 계산하였다(Fig. 5-c).



(a) Vibration Modes



(b) Measured point Accelerance at point 10.

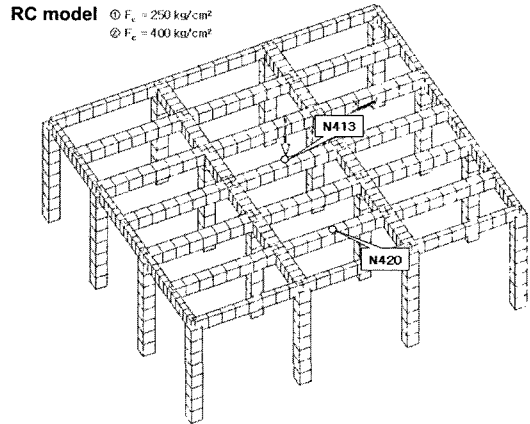


(c) Measured dynamic stiffness at point 10.

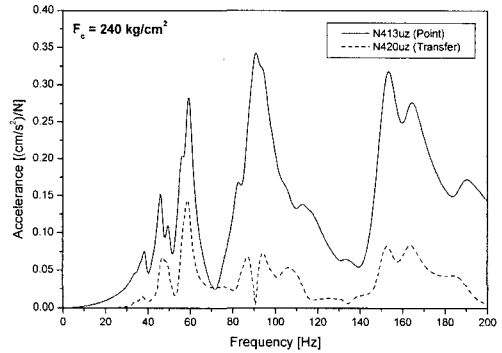
Fig. 5. Experiment and Analysis Results of PC Type Mock-up Structure.

3. Mock-up 구조 변경에 따른 동적해석

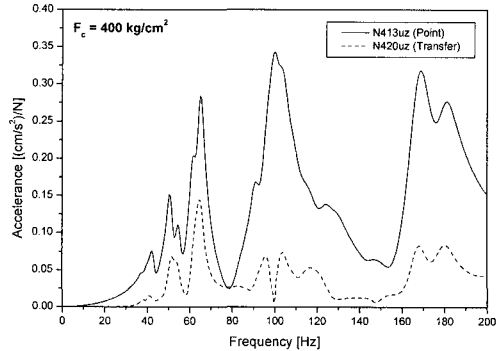
차세대 C/R 구조물의 보다 정량적이고 신뢰성 있는 동적 설계를 위하여 실험된 Mock-up 구조와 동일한 형상을 갖는 여러 가지 구조설계 안에 대하여 동적해석을 수행하였다.



(a) Analysis Model of RC Structure



(b) Frequency Response for $F_c=240 \text{ kg/cm}^2$

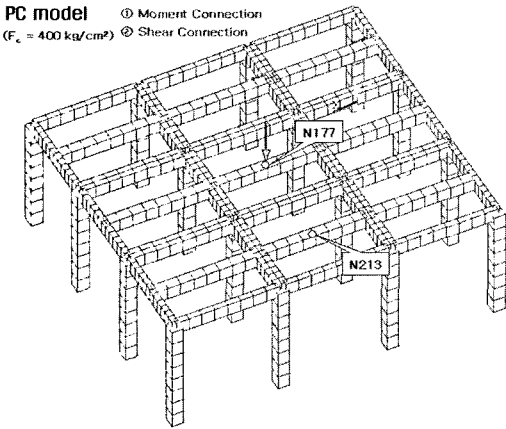


(c) Frequency Response for $F_c=400 \text{ kg/cm}^2$

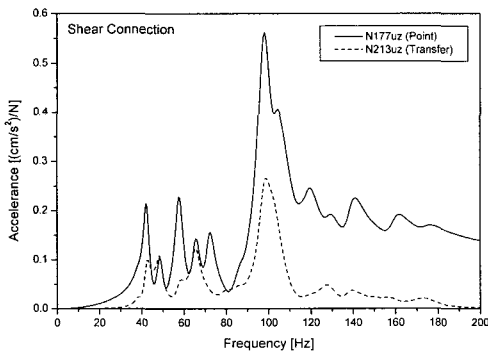
Fig. 6. Analysis Model and Calculated Frequency Response of RC Structure

3.1. RC 구조에 대한 동적해석

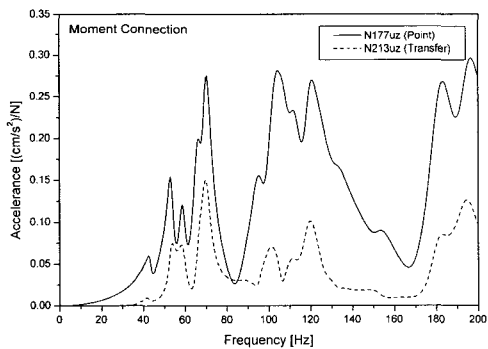
현재 시공된 Mock-Up 구조물(PC type)의 Beam size와 동일한 크기의 RC 구조물을 형성할 경우에 대하여 동특성을 확인하기 위한 유한해석을 실시하였다. 또한, 압축강도가 240 kg/cm²과 400 kg/cm²인 경우, 격자보의 단위하중에 대한 주파수별 응답특성을 계산하였다 (Fig. 6).



(a) Analysis Model of PC Structure



(b) Frequency Response for Shear Connection



(c) Frequency Response for Moment Connection

Fig. 7. Analysis Model and Calculated Frequency Response of PC Structure

3.2. PC구조물의 경계조건에 따른 주파수별 응답 특성

또한 PC 구조물의 결합부의 접합은 M20 Tie-Bar 및 무수축 몰탈로 충진한 상태이므로 해석상의 경계조건에 따른 동적 영향성을 평가하기 위하여 PC 구조물은 실 Mock-Up 구조물과 동일한 조건을 형성하기 위해 경계조건별로 구분하여 모델링 하였으며, RC 해석모델과 동일한 위치 격자보에서 단위하중에 대한 주파수별 응답 특성을 계산하였다(Fig. 7).

3.3. 해석결과 평가

해석결과를 고찰하면(Fig. 8), PC 구조에서 접합부의 결합이 일체화(moment connection)일 경우는 전단접합 조건(shear connection)에 비하여 30Hz 부근에서 약 1.2배 정도 모빌리티(mobility)가 향상되는 것으로 평가되고 있다.

PC-type Mock Up에 대한 동적실험 결과는 접합부의 결합이 일체화(moment connection) 한 것에 비하여 50% 정도 동강성(dynamic stiffness)이 접합 조건에 따라 취약한 것으로 나타났다. 즉, 현재의 PC-type Mock-Up 접합상태의 동강성은 10 Hz 이하에서는 Shear Connection과 동일한 수준의 강성을 지니는 것으로 나타나고 있지만, 10~50Hz 사이 주파수에서는 Moment Connection과 Shear Connection의 중간 값을 가지는 것으로 평가되고 있다. 그러나 동일한 구조의 RC-type(압축강도 : 240 kg/cm²)에 비해서는 전반적으로 약 20% 정도 동강성이 좋은 것으로 나타나고 있다. 이는 PC-type(압축강도 : 400 kg/cm²)의 강도의 차이에서 발생하는 것으로 평가되고 있다.

4. 차세대 구조물 동특성 평가 및 개선방안

5·6세대 TFT-LCD공장의 진동허용규제치 및 동강성 허용규제치의 측정 및 실험데이터를 근거로Mock-Up

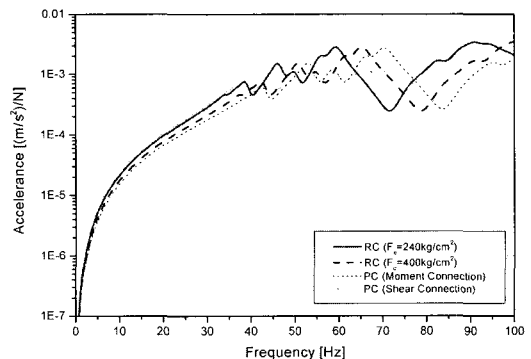


Fig. 8. Vibration Analysis Results of Various Structures.

구조물에 대한 실험과 해석 데이터를 활용하여 여러 가지 경우에 대하여 차세대 TFT-LCD 동강성 설계 목표치를 만족할 수 있는 구조설계를 수행하였으며 Fig. 9과 Fig. 10에서는 개선된 PC-type Sub-structure의 구조 및 동적 강성 해석 결과를 나타내었다.

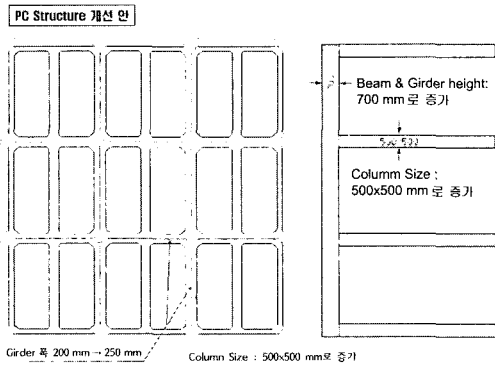


Fig. 9. Proposed design for next generation TFT LCD Fab with PC Structures.

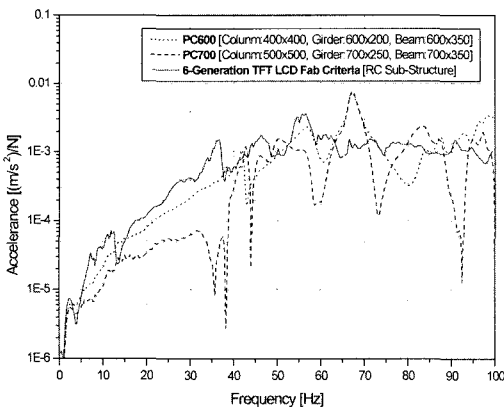


Fig. 10. Comparison of Frequency Response

이상의 해석결과에서 진동제어의 극부 대응이 가능한 50 Hz 이상 대역을 제외하고, 주 관심대역인 50 Hz 이하의 저주파수 대역을 고려하여 보면 차세대 TFT-LCD 생산을 위한 Fab 구조의 동적설계를 위하여 구조변경을 통하여 강성을 최적으로 증가시킴에 의하여 고유진동수를 상승시키고 단위 하중에 의한 주파수 응답의 크기를 줄여줌으로써 진동 허용 규제치를 만족할 수 있는 구조설계를 제시할 수 있었다.

5. 결 론

차세대 TFT-LCD 생산공장의 진동 허용 설계 기준치를 만족하는 구조 설계를 위하여 Mock-Up 구조의

동적 실험 및 해석을 수행하였으며 그 결과를 토대로 다양한 구조방식에 대하여 동적 설계를 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 동일한 구조의 PC-Type Sub-Structure가 RC-type(압축강도 : 240 kg/cm²)에 비해서는 전반적으로 약 20% 정도 동강성(Dynamic Stiffness)이 좋은 것으로 평가되고 있으며, 이는 RC-type과 PC-type(압축강도 : 400 kg/cm²)의 강도의 차이에서 발생하는 것으로 판단되고 있다.

(2) PC-type Mock-Up 접합상태의 평가를 위한 동강성(dynamic stiffness) 실험 결과에서 가진 주파수 10 Hz 이하에서는 Shear Connection과 동일한 수준의 강성을 지니는 것으로 나타나고 있지만, 10~50 Hz 사이 주파수에서는 Moment Connection과 Shear Connection의 중간 값을 가지는 것으로 평가되고 있다. 그러나 동일한 구조의 RC-type(압축강도 : 240 kg/cm²)에 비해서는 전반적으로 약 20% 정도 동강성이 좋은 것으로 나타나고 있다.

(3) 동적 실험 결과를 토대로 다양한 구조에 대한 동적 해석을 수행하여 차세대 TFT-LCD의 동강성설계목표치를 만족하는 개선된 PC-type Sub-structure 구조를 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역 전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Gordon, Colin G., "Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment," SPIE Proceedings Volume 1610, pp. 71-85, 1991.
- Gordon, Colin G., "Vibration Prediction and Control in Microelectronics Facilities," Inter.Noise96, Book1, pp. 149-154, 1996.
- 이흥기, 김두훈, 권형오, "반도체 공장에서 미진동제어를 위한 격자보의 동적 설계에 관한 연구," 한국소음진동공학회, '94 추계 학술대회논문집, pp. 52-57, 1994.
- 이흥기, 박해동, 최현, 배기선, 김두훈, "정밀장비의 미진동제어 기술에 관한 연구," '95 춘계 학술대회 논문집, pp. 233-239, 1995.
- Ewins, D. J., 1995, "Modal Testing : Theory and Practice," Research Studies Press Ltd. 1995.