

## 반도체 공장의 격자보 구조에 대한 동특성 해석에 관한 연구

\*권 형 오\*, 박 해 동\*, 이 홍 기\*, 김 두 훈\*

### ( A Study on the dynamic properties of substructure in a semi-Conductor Factory )

(Hyeong-Oh Kwon, Hae Dong Park, Hong Ki Lee, Doo-Hoon Kim)

#### 1. 서론

최근 반도체 메모리가 비약적으로 고집적화, 고정밀화 됨에 따라 공기 청정도와 더불어 미진동 제어 기술이 더욱 중요한 문제로 대두되고 있다. 반도체 공장의 미진동 제어 기술은 크게 저 진동 건축 구조물의 설계, 반도체 제조 설비의 배치 및 분리, 진동원에 대한 방진, 진동 혐오 기기에 대한 제진 등으로 분류할 수 있으며, 초기 설계 단계에서 시제품이 생산되는 마지막 단계까지 전반적인 진동 영향 평가가 이루어져야 한다. 반도체 제조 장비는 설치되는 위치의 진동 크기에 매우 민감하게 반응하므로 설치 위치의 진동 수준에 따라서 장비의 작동 상에 문제가 발생할 수도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 반도체 공장에서 발생하는 진동 수준이 규제값 이하가 되도록 하여 정밀 장비 및 설비가 정상적으로 작동할 수 있는 진동 환경을 조성해야 한다. 특히 진동 허용치가 엄격해질수록 근본적인 진동 대책으로써 저 진동 건축 구조물의 설계에 대한 중요성은 커지게 된다.

본 연구에서는 내부 외부 진동원(8-30Hz)에 따른 격자보 구조의 동적 응답을 효과적으로 제어하기 위해 격자보 구조의 동적 거동에 지배적인 영향을 미치는 질량, 질량, 탄성계수 등 여러 인자들의 비교, 분석을 통해 동적 거동에 영향을 미치는 인자를 분석함으로써 격자보 구조의 설계시 인자의 변화에 따른 동적 거동 특성을 예측하여 이에 적절히 대응할 수 있도록 도모하였다. 이를 위해 국내에 건설된 반도체 공장의 격자보 구조 중에서 기본 해석 모델을 선정하고 이에 대해 실험적 모드 해석과 유한 요소 해석을 사용해서 기본 해석 모델의 모드 매개변수를 구하고, 기본 해석 모델에 사용되는 각 인자가 고유 진동수에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

#### 2. 기본 해석 모델의 모드 매개 변수

그림 1에 도시된 3 차원 철근 콘크리트 뼈대 구조에 대해 모드 매개 변수를 구하기 위해 실험적 모드 해석 및 유한 요소 해석을 수행하였다. 보는 단면적이 300 x 500 이며, 철근비는 1.6%이다. 뼈대 구조에 대한 부재 특성은 표 1과 같다.

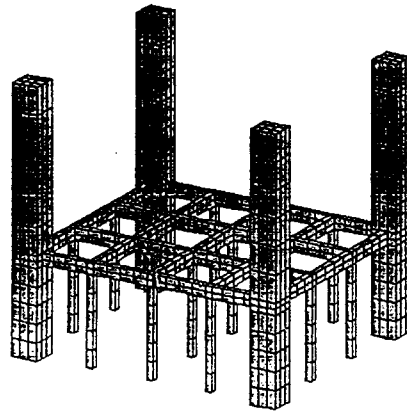


그림 1. 기본 해석 모델

표 1. 기본 해석 모델의 부재 특성

Mass	Young' Modulus	
	concrete	reinforced steel
2500 Kg/m <sup>3</sup>	2.3 x 10 <sup>5</sup> Kg/cm <sup>2</sup>	2.0 x 10 <sup>6</sup> Kg/cm <sup>2</sup>

\* 유니슨 산업(주) 부설 기술연구소

## 2.1 실험적 모드 해석

실험적 모드 해석은 이론적 해석 모델에 대한 평가, 확인뿐만 아니라 복잡한 경계조건, 구조물을 구성하는 각 부재 물성의 상이성 등으로 인해 이론적으로 해를 구하기 어려운 구조물의 동특성 해석에 유용하게 사용되고 있다. 자체 제작한 대형 impact hammer를 사용해서 그림 1에 도시된 뼈대 구조물을 그림 2와 같이 총 113 개의 진점을 사용하여 실험적 모드 해석을 수행하였다. 실험에 사용된 장비에 대한 구성도는 그림 3에 도시하였다. 모드 실험은 각 측정점을 impact hammer를 사용해서 가진하고, 격자보의 중심위치에 가속도 센서를 고정하고 구조물의 동적 응답을 동시에 측정하여 각 절점에 대해 주파수 응답 함수(frequency response function)를 구하였다. 구한 주파수 응답 함수를 PC로 전송한 후 STAR s/w 을 이용해서 구조물의 모드 매개 변수를 구하였다.

그림 4에 한 예로써 동적 응답 측정점에 대한 가진점의 주파수 응답 함수 및 curve fitting 결과를 도시하였다. 고유진동수 및 모드 감쇠는 표 2에 나타내었으며, 그에 따른 모드 형상을 그림 5에 도시하였다.

표 2. 실험모델의 고유진동수와 모드 감쇠

Mode	Natural Frequency [Hz]	Modal Damping [%]
1	23.0	12.0

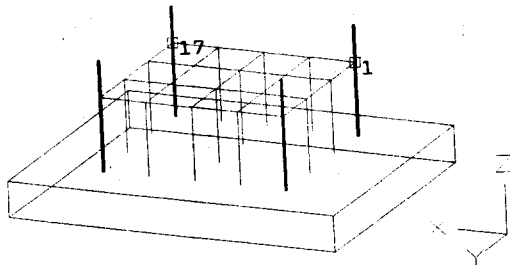


그림 2. 실험 모델

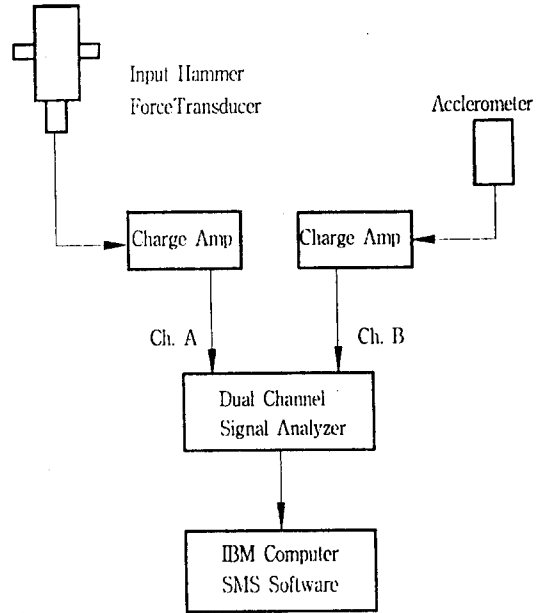


그림 3. 장비의 구성도

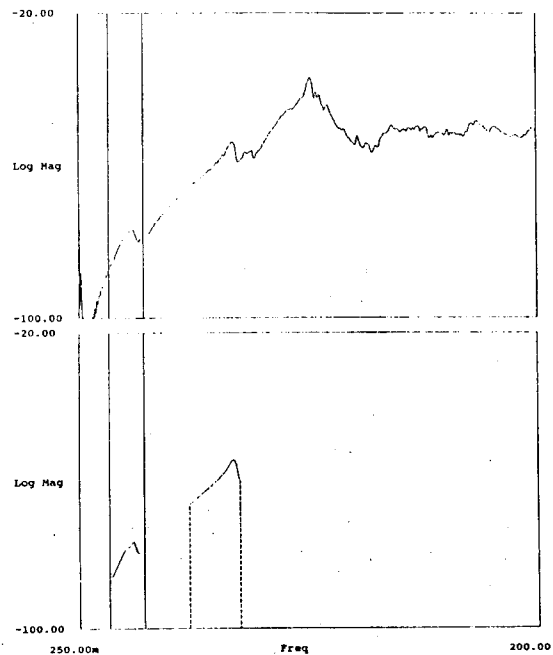


그림 4. 주파수 응답 함수

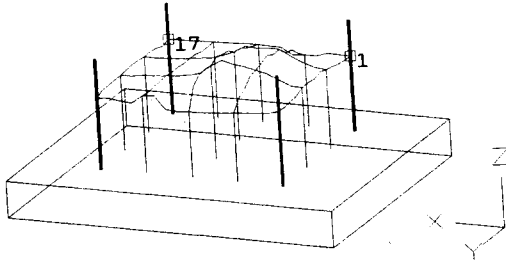


그림 5. 실험 모델에 대한 1차 모드 형상

## 2.2 유한 요소 해석

범용 구조해석 프로그램인 ANSYS를 이용해서 그림 1의 기본 해석 구조물에 대한 유한 요소 모델링을 하였다(그림 6 참조). 각 부재를 요소당 질집수가 8 개인 철근 콘크리트 요소로 모델링하였으며, 모델링에 사용된 총절점수와 요소수는 각각 2020 개와 2258 개이다. 기본 해석 구조물에 대한 1차에서 3차까지의 고유 진동수 및 모드 형상을 그림 7에 나타내었다. 유한 요소 해석과 실험적 모드해석 결과의 차이가 크게 발생하였는데 이는 기둥의 기초부와 지반의 인접상태 및 상호작용을 해석에 반영하지 않은데 기인하는 것으로 사료된다.

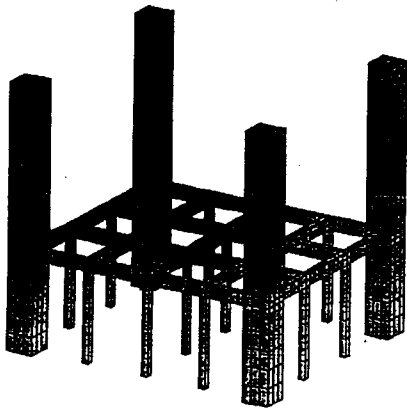


그림 6. 유한 요소 모델

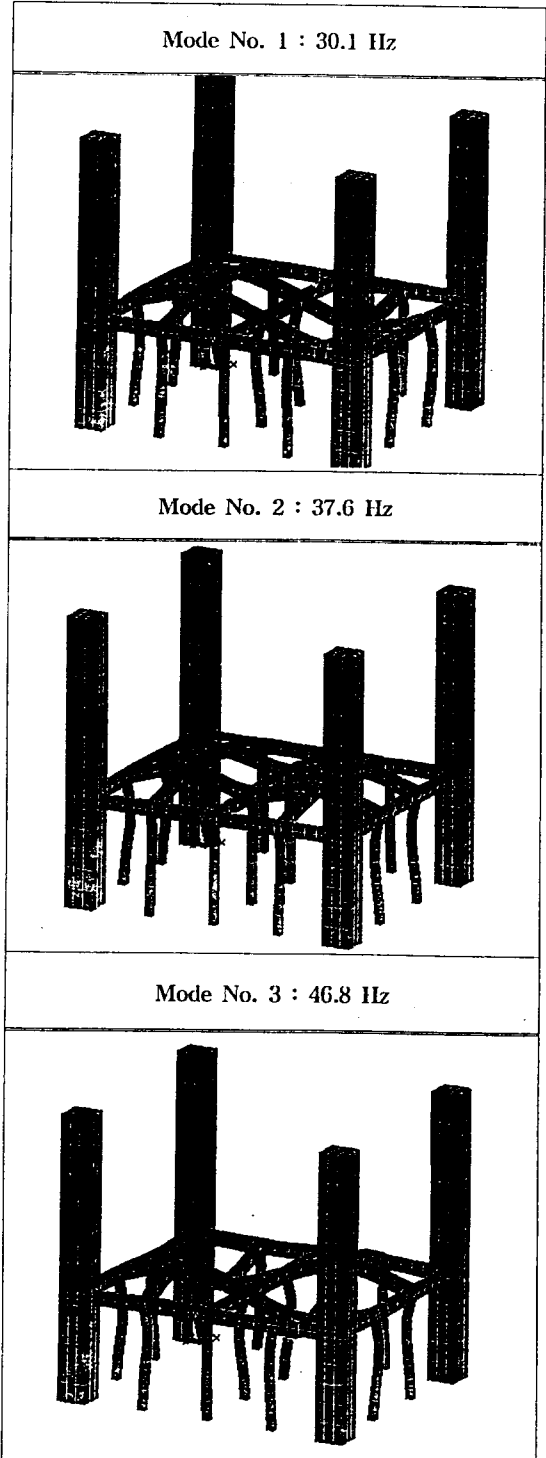


그림 7. 고유진동수 및 모드형상

### 3. 구조변수의 변동에 따른 고유진동수의 변화

그림 1의 기본 해석 구조물에 사용되는 각 구조변수(철근비, 질량, 탄성계수)가 1차 고유진동수에 미치는 상대적 민감도를 분석하기 위해 각 구조변수를 변화시키면서, 고유치 해석을 하였으며, 결과는 그림 8에 도시하였다. 철근비는 철근 콘크리트보 단면의 철근비 1.6%, 질량은 철근 콘크리트의 질량  $2500 \text{ Kg/m}^3$ , 탄성계수는 콘크리트의 탄성계수  $2.3 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ 에 대해서 각각 10% 씩 50% 까지 증가시키면서 1차 고유진동수에 대한 영향을 고찰하였다. 각 고유진동수가 1차 고유진동수에 미치는 영향은 질량, 탄성계수, 철근비 순으로 나타났으며, 해석 대상 구조물에 대한 철근비의 변동이 고유진동수의 변화에 미치는 영향은 다른 구조변수에 비해 상대적으로 매우 작다.

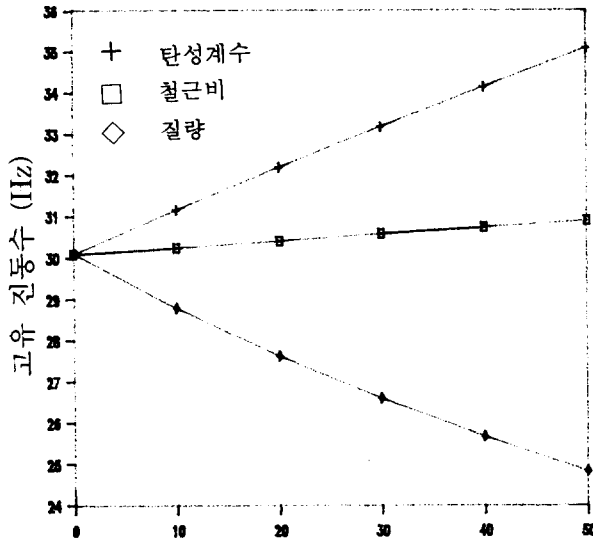


그림 8 구조 변수 변동에 따른 고유진동수의 변화

### 4. 결론

반도체 공장의 내부 외부 진동원에 따른 격자보 구조의 동적 응답을 효과적으로 제어하는데 설계단계에서 고려해야 할 사항을 검토하기 위해 국내에 건설된 반도체 공장의 격자보 구조 중에서 기본 해석 모델을 결정하고 실험적 모드 해석과 유한 요소 해석을 이용해서 해석 모델의 모드 매개 변수를 비교 분석하였다. 실험 결과와 해석결과에 큰 차이가 발생하였으며, 이는 현장 조건, 격자보 구조의 지지조건 및 연결부위를 고려하지 못한 결과로 판단된다. 정확하고 신뢰성 있는 해석 모델을 개발하기 위해 실험결과를 반영한 해석 모델을 개발해야 할 것으로 사료된다.

유한 요소 해석을 사용해서 구조변수들중 철근비, 탄성계수, 질량의 변동이 격자보 구조의 1차 고유진동수에 미치는 영향을 분석한 결과 격자보 구조의 동적 응답을 효과적으로 제어하기 위해서는 구조의 강성을 크게 하여 진동빈위를 작게 하고, 고유진동수를 유의 진동원의 주파수 보다 높게 되도록 하여 공진이 발생하지 않도록 해야 한다. 이를 위해서는 고강도 콘크리트 및 PC 강재를 사용한 설계가 되어 할 것으로 사료된다.

### 5. 참고 문헌

1. D.J. Ewins, 1984, "Modal Testing, Theory and Practice," Research Studies Press Ltd., Letchworth, Hertfordshire, England.
2. Sang Kyu Park, Hong Ki Lee and Ilycong Oh Kweon, November 1993, "Vibration Control of Synchrotron Light Source Building Using Experimental Modal Analysis," ASIA-Pacific Vibration Conference, Session : Control & Measurement in Mechanical Systems.
3. 권형오, 정지만, 이흥기, "교량의 실험적 동특성 해석," 한국 소음 진동 공학회, '92 춘계 학술논문대회는 문집, pp. 115-121.
4. "SMS STAR Theory and Application," Issue A:25 January 1990.