

준 경험적 방법을 이용한 충격성 진동에 대한

구조물의 동적 응답의 예측

°이홍기*, 백재호*, 김강부*, 원영재**

The dynamic response prediction of the structure

by transient vibration using Semi-Empirical Method

Hong-Ki Lee, Jae-Ho Baek, Kang-Boo Kim, Young-Jae Woun

ABSTRACT

When one build a building that posses Precison production process to be sensitive to vibration and SMD to procure a large dynamic force, how do one predict & answer vibration control problem at building structure design at first stage, That is a question.

It has tried to predict dynamic response and establish answering about global or local dynamic problem in building using experimental and analysis method. One of such a try, it be proposed Semi-Empirical Method that reduce error element of input information about dynamic analysis using dynamic experimental study and measurement data in the basis of real-structure. In this paper, the dynamic response problem about RC-structure building that will be set-up SMD produce large transient dynamic force using Semi-Empirical Method.

1. 서 론

진동에 민감한 건물에 대한 구조, 설비 및 유티리티 설계 엔지니어에게 있어서 관찰사 가운데 하나가 초기 설계단계에서 어떻게 진동문제를 예측하고 해결할 것인가, 라는 문제이다. 초기 설계단계에서 순수 동적 해석을 활용하여, 초고층 건물의 동적 문제를 풀기 위해서는 많은 노력과 시간이 필요할 뿐만 아니라, 필요한 응답의 정밀도가 높으면 높을수록 구해진 진동 응답 데이터에 대한 신뢰성 문제에 대하여 구조설계 엔지니어 스스로가 의문을 제기하는 경험이 있을 것이다.

이러한 회의(懷疑)는 동적 해석에 사용한 인자(因子) 개개에 대한 불확실성과 동적 인자들 사이의

*. RMS Technology Co., Ltd.

**. 금오공과대학교

상호관계에 대한 불명확한 정의와 사용하고 있는 동적 해석 방법이 이러한 문제를 충분히 반영하고 있는가, 라는 의구심을 가지고 있다면 그 결과에 대하여 신뢰성에 문제를 가지는 것은 자명한 일이다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 시도의 하나로 실 구조물(real structure) 개념에서의 직접적인 동적 실험 데이터를 동적 해석에 삽입하여 구조적으로 발생할 수 있는 동적 인자의 애러를 줄이는 준 경험적 방법(Semi-empirical Method)이 제안되고 있다. 이를 이용하여, 반도체 공장의 RC 구조에 대한 미진동(sub-micro vibration) 제어(그림 2)와 빌파 및 철도로 기인하는 지반진동 예측에 활용하였다.(그림 1) 국내외적으로 충격성 진동을 가지는 침 마운트(SMD) 장비는 건물의 고유진동수를 가진하기 때문에 많은 진동 문제를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 최근 생산 효율을 높이기 위한 자

삽 시간(Tag time)을 단축하는 과정에서 동하중 증가는 심각한 상태에 이르고 있다. 이러한 구조물의 동적 문제를 정량적으로 접근하기 위하여 충격 성 가진력에 대한 입력 데이터의 추정과 구조물의 초기 동적 특성을 결정하는 문제가 용이하지 않다는 것이 전문 엔지니어에게 알려진 문제이다.

본 연구에서는 충격성 진동의 응답 문제에 '준 경험적 동적 해석 방법' (Semi-empirical Method)을 침 마운트의 구조 진동문제에 적용하여 이에 대한 효용성을 확인하고자 한다.

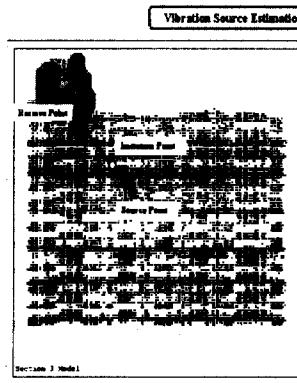


그림 1. Semi-empirical Method를 이용한 진동원 추정

2. 본론

대상 구조물은 독립기초로 이루어져 있으며, RC 와 SRC(Steel Reinforce Concrete) 구조가 복합된 3층의 공장구조물이다. 현재 3층에 SMD(침 마운트) 장비가 4대 설치되어 있고, 추가로 2대가 증설 예정이다. 이때의 건물 구조물의 동적 특성 변화와 충격 가진력의 추가에 따른 진동 증가와 이에 대한 건물의 영향성에 대한 평가가 필요하다.

SMD LINE의 구조물 진동의 영향성은 건물 구조물의 동적 특성과 진동원인 SMD 장비의 진동발생 특성에 의하여 결정된다. 이를 결정하기 위한 절차는 아래와 같다.

Vibration Control of Structure (Experimental and Theoretical Analysis)

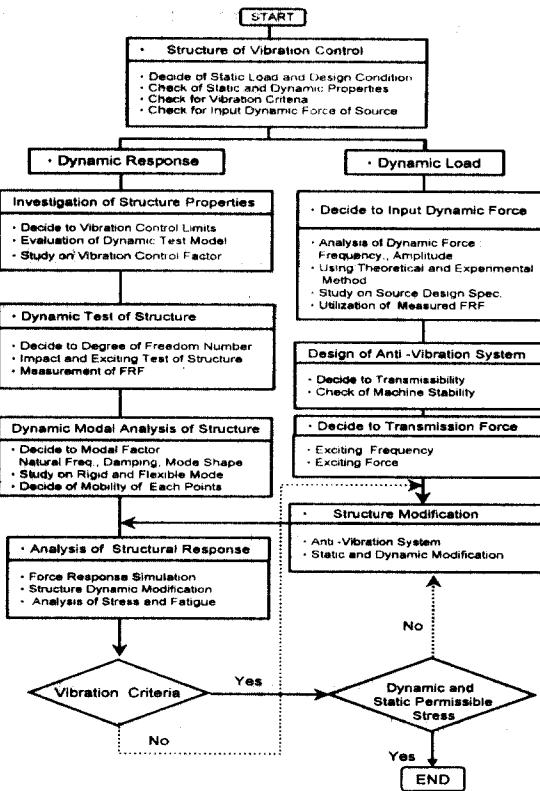


그림 2. Semi-empirical Method를 이용한 진동제어 절차서

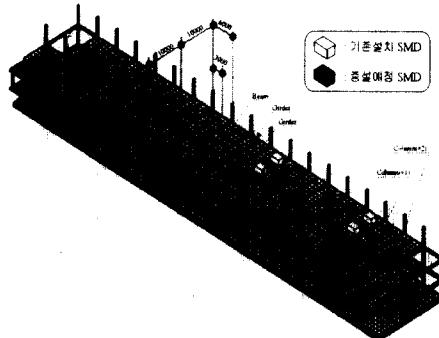


그림 3. 공장구조물의 기본골조 도면

(가) SMD 장비의 동하중(動荷重) 결정

- ① 진동원 특성 : 지속시간이 80~100ms의 충격성 진동 발생, 가진력은 힘(N)으로 표시
- ② 가진력의 크기는 Fig. 1과 같은 절차에 의하여 준 경험적 방법 활용

(나) 구조물의 동적 특성 결정

- ① 전형적인 구조에 대한 동적 실험에 의한 동적 특성 결정
- ② Point 및 Transfer FRF 측정/분석

(다) 동적 해석 모델링 개발

- ① Semi-empirical Method를 이용한 구조물 동적 해석 모델링(그림 2)
- ② 구조물 동특성 실험 데이터를 이용한 동적 해석 모델링 변경과 수정
- ③ FRS, SDM 수행과 진동원의 증가에 따른 건물 진동응답 예측 및 대책(SDM 재 수행)

2.1 구조물 동특성 실험

구조물의 동적 특성을 평가하기 위하여 전형적인 구역을 선택하여 동특성 실험을 수행하였다. 구조물을 대형 충격 가진기(max. 6000N, time duration 50ms)를 이용하여 가진하고 고감도 가속도센서를 이용하여 진동 응답을 측정하였다. 2 채널을 동시에 힘과 응답을 측정하여 전달함수(FRF)를 구하고 구조물의 동적 특성을 결정하였다. 그림 4는 동특성 실험을 위한 측정/분석 시스템의 구성도를 나타내고 그림 5는 실험을 수행하고 있는 광경을 촬영한 것이다.

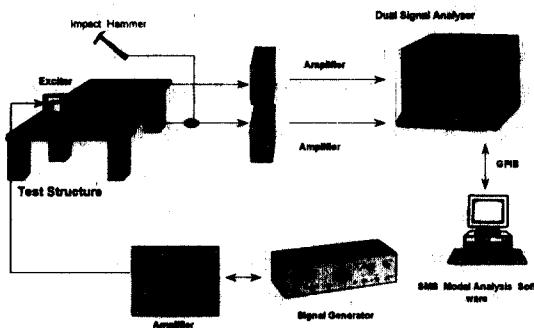


그림 4. 동특성 실험 시스템 구성도



그림 5. 구조물 동특성 실험 전경

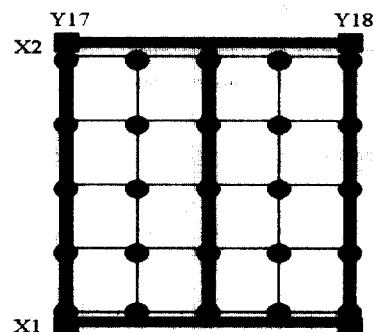


그림 6. 동특성 실험위치(6m×10m)

2.2 동특성 실험 결과

구조물 동특성 실험 데이터인 25개자점에 대한 FRF에서 커브피팅을 수행 한 결과 현 구조물 바닥에서의 지배적인 고유진동수는 10.39[Hz]와 13.71[Hz], 감쇠계수는 약 3~6%로 평균 4.12정도 되는 것으로 나타났다.

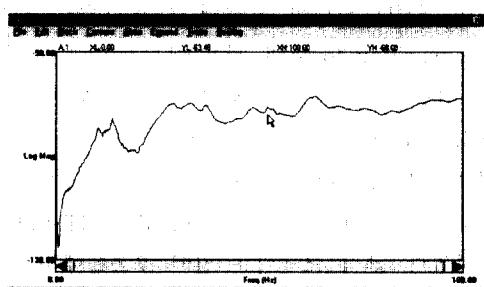


그림 7. Point Mobility at 12

표 1. 동특성 실험 결과 [2F]

	1st	2nd	3rd	4th
Natural Frequency [ω_n : Hz]	10.39	13.71	28.84	36.40
Damping Ratio [ζ : %]	6.30	3.63	3.54	3.02

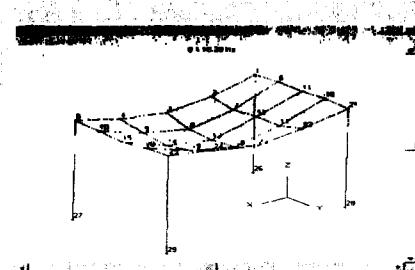


그림 8. 1st Mode Shape at 10.39Hz

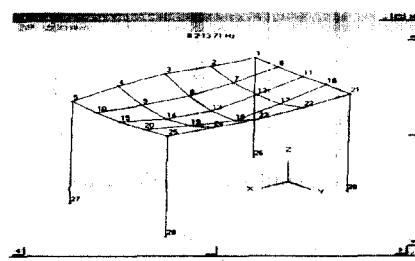


그림 9. 2nd Mode Shape at 13.71Hz

300mm, 2층 120mm, 3층 100mm로 하였다. 사용재료로는 각 슬라브는 Reinforced concrete, 기둥(column)/거더(gidder)/빔(beam)은 강재(steel)을 사용하였다. 또한 기둥(column)/거더(gidder)/빔(beam)에서 각각의 단면은 H-beam 형태로 설계되어 있으며, 주위에 콘크리트(concrete)로 덮임을 감안해 직사각형 단면을 적용하였다. 각각의 물성치는 콘크리트(concrete)가 $E=25\text{Gpa}$, $\rho = 2400 \text{kg/m}^3$, $\nu = 0.15$ 이고, 강재(steel)은 $E=210 \text{ Gpa}$, $\rho = 7700 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 0.3$ 으로 하였다.

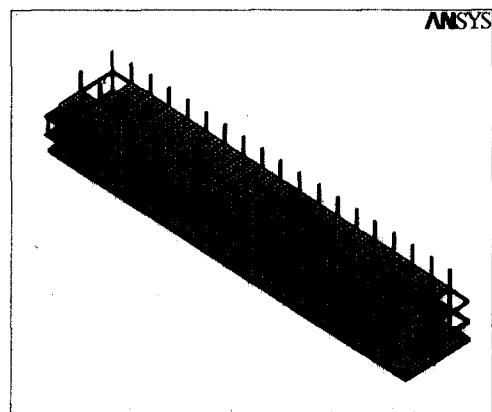


그림 10. SMD 증설예정 공장구조물의 모델링

2.3 구조물 동적 해석 모델의 결정

구조물의 동적 해석은 실험적으로 구할 수 없는 동적 문제를 풀기 위하여 구조물의 동적 해석 모델링을 결정할 필요가 있다. 정확한 동적 해석 모델링은 SMD 장비의 증설에 따른 동특성 변화(mass, exciting force)에 따른 응답해석과 진동 대책을 위한 구조물 동적 강성 변경(SDM)에 따른 정확성을 유지할 수 있다. 해석의 기본은 유한요소해석프로그램인 ANSYS 5.5을 이용하였으며, 해석에 사용된 요소(element)는 BEAM4, SHELL63을 사용하였다. 해석 모델링은 전체 구조물에서 관심대상인 3층을 중심으로 지상 1층부터 지상 3층까지 선정하였다. 각 층별 슬라브 두께는 1층이

2.4 해석 및 결과

구조물의 동적 해석의 궁극적인 목표는 실험 모빌리티(dynamic mobility) 데이터와 일치이다. 그림 11은 초기 동적 해석 모델링에서 구한 동적 모빌리티와 실험으로 구한 데이터를 비교한 것이다. 10Hz 부근의 피크치가 해석 상에서 20Hz 부근으로 이동한 것은 질량을 부가함으로서 일치화 과정을 진행할 수 있다. 이러한 질량, 강성 등을 보정 후에 동적 해석의 모델링은 완성된다. 동적 특성에 대한 에러(error)의 폭을 어느 수준으로 결정할 것인가라는 문제는 전적으로 이 문제를 수행하는 엔지니어가 구조물의 조건을 고려하여 결정할 문제이다.

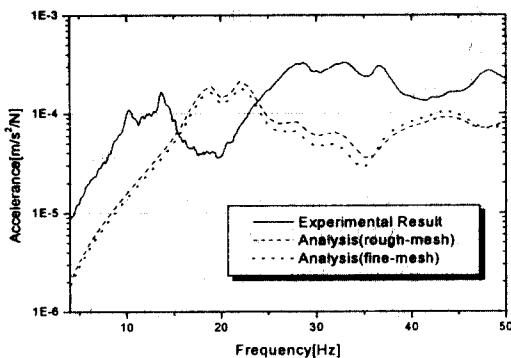


그림 11. 동특성 실험과 과도해석의 모빌리티 비교
[동특성 실험시 No 12 지점]

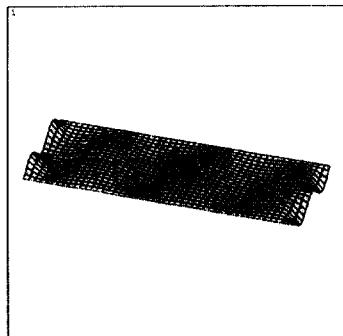


그림 12. 1차 진동모드 (11.877Hz)

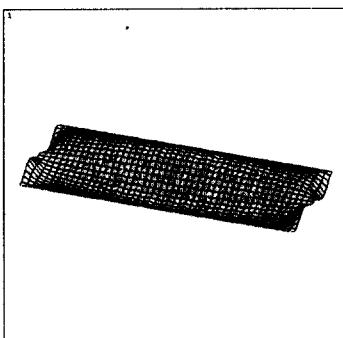


그림 13. 2차 진동모드 (14.776Hz)

2.5 SMD Chip Mount의 가진력 평가

건물의 라인 중설에 따른 진동응답을 정확히 예측하기 위해서는 SMD CHIP MOUNT 장비의 가

진력 특성과 건물의 동적 특성에 대한 정확한 모델링이 우선되어야 한다. 장비에 대한 가진력 데이터는 장비 제작사에서 제시하는 것이 원칙이며, 건물은 실험과 해석을 통하여 정밀하게 동적 특성을 묘사하였다. 그리고 본 과제의 해석에 사용한 SMD 장비의 가진력은 측정한 구조물의 응답이 나타나는 동적 해석 모델링에서 입력되는 가진력으로 추정하였다. 만일, 제작사에서 정확한 가진력을 제공할 경우에는 제해석을 수행할 필요가 있다. SMD Chip Mount의 측정한 가진력은 그림 14와 같다.

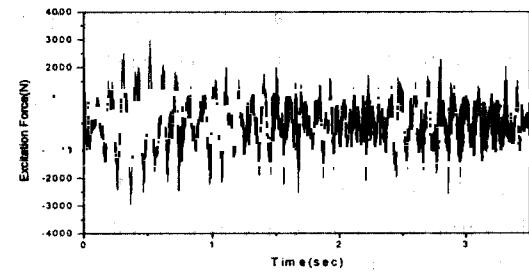


그림 14. SMD 가진력 추정치
(Time Duration : 65ms, Amplitude : Max. 300kgf)

2.6 SMD LINE 중설 시 진동 예측

구조적으로 가장 취약한 6m×10m의 중앙부에 SMD 장비가 설치될 경우의 진동 예상치는 아래와 같다. 그리고 중설에 따른 구조물의 전체 진동은 최대 10% 정도 증가하는 것으로 나타나는 것으로 추정되었다.

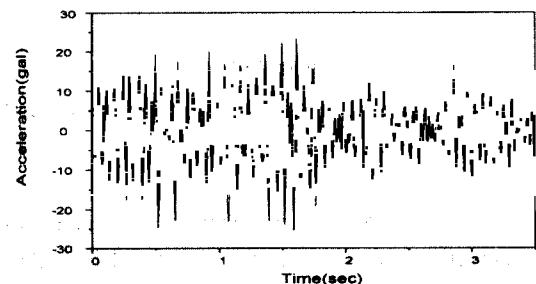


그림 15. SMD LINE 중설 시 슬라브 6m×10m
중앙부(진동원)에서의 진동 예측
(time duration : 65ms, Amplitude : max. 25gal)

3. 고찰 및 결론

대형 구조물의 서브 마이크로 수준의 미진동(微振動)을 제어하기 위하여 국내외적으로 많은 연구자들의 실험과 해석에 대한 노력이 이루어져 왔지만, 얻어진 결과에 대한 신뢰성은 늘 의문으로 남아 있다. 이를 개선할 수 있는 하나의 시도로서 실험과 측정/분석 데이터를 해석의 기반으로 하는 'Semi-Empirical Method'라는 방법을 이용한 절차서를 확보하고 충격성 진동원을 가지는 SMD 장비의 진동 예측과 동적 구조설계에 대하여 정량적인 접근을 시도하였다. 여기에서 얻어진 구조의 동적 전달함수(FRF)를 이용하여 진동원의 방진 수준을 결정하고 전달 특성을 평가할 수 있다. 동적 응답의 정확성의 수준과 여러 폭을 확인하기 위해서는 중설공사가 마무리된 이후의 정밀한 진동 측정과 동적 실험이 필요하다. 충격성 과도 진동해석은 일반적인 주파수 영역에서 진동 응답해석을 수행하기가 어렵기 때문에 시간 영역에 대한 동적 해석이 필요하다. 이러한 경우 동적 모델링과 충격성 진동원에 대한 정확한 정의 없이는 피크 진동에 대한 응답 추정에 값의 신뢰성을 확보하기가 어렵다. 그리고 실험과 해석을 접목시키는 '준 경험적 방법(semi-empirical method)'을 전전시키기 위해서는 이를 기반으로 하는 동적 해석의 체계화된 절차서 확립과 수많은 요소에 경험식과 실험 및 측정데이터의 확보와 지속적인 수정/보완이 필요하다.

참고문헌

- [1] C G Gordon, 1996, "Vibration prediction and control in microelectronics", Inter · noise96, Book1, pp.149~154.
- [2] 이홍기, 박해동, 백재호, 1999, "Semi-empirical method를 이용한 구조물의 동적응답 예측에 관한 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp.896~901.
- [3] DIN, 1986, "Structural vibration in building (Effect on structures)", DIN 4150 Part3, group 5.
- [4] RMS 테크놀러지(주), 1999, "(주)코리아데이타시스템 SMT LINE ROOM 진동 측정/분석, 평가 및 구조물의 동적(動的) 실험과 방진대책"
- [5] Swanson Analysis Systems Inc., 1993, "Ansys dynamic user's guide for revision 5.0".
- [6] SMS STAR, 1994, "STAR System Users Guide"
- [7] D. J. Ewins, 1995, "Modal Testing : Theory and Practice", Research Studies Press Ltd.