

준 경험적 기법에 의한 차세대 초정밀 FAB. 구조물의 통합 동적 구조 데이터베이스 설계

이현준* 이경오**, 이규섭□

* ,□ RMS Technology, ** 전문대학교

e-mail : lhj@rmstech.co.kr, rmstech@rmstech.co.kr, leeko@sunmoon.ac.kr

A Design of Dynamic Structure Database for Ultra Precision FAB. Structure based on Semi-Empirical Method

Hyun-jun Lee, Gyu-seop Lee, Kyong-oh Lee

* RMS Technology, **Dept. of computer Engineering Sunmoon University

요 약

반도체와 LCD 산업 분야, 나노급 공정 및 검사 기술이 요구되는 산업 분야의 수요 증가에 따라 초정밀 가공/생산/검사 장비를 설치, 운영하는 FAB. 구조물의 설계 요구가 증대되고 있다. 이에 따라 건물의 환경진동 규제치도 강화되고 있는 실정이다. 이와 같은, 대형 구조물에서 서브마이크로 수준의 미진동(微振動)을 제어하는 문제는 여전히 어려운 과제로 남아 있다. 이는 진동 응답을 결정하는 구조와 재료가 복잡하고 다양한 형태를 갖고 있는 반면, 다루어야 할 동적 응답은 극한적으로 작은 마이크로(micro) 이하의 값을 다루어야 한다. 그러므로, 기존에 이용되고 있는 해석과 실험의 결과만으로는 신모델 설계에 적용하는 것은 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 영역의 경험적 데이터들을 체계적인 데이터베이스로 구축하여 새로운 동적 구조 설계 기술의 기반을 제공하고자 한다.

1. 서론

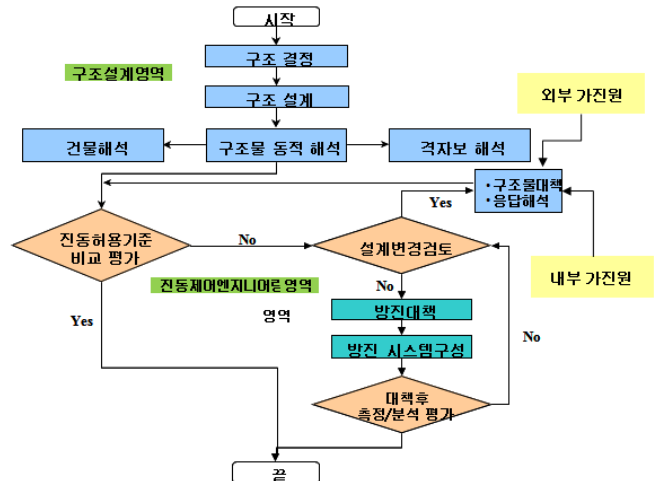
준 경험적 방법(semi-empirical method)은 반도체, FPD(평판 디스플레이) 생산라인과 같은 거대 구조물에서 발생하는 해석적 오차나 실험적 오류를 경험적 방법으로 보완하는 장점이 있다. 그러나 엄밀해가 아니므로 현장적용과 관련한 엄격한 설계기준 및 절차가 필요하다. 그러나 설계요소의 결정 및 성능 예측에 있어 빠른 의사결정을 할 수 있어 초정밀 FAB. (반도체나 LCD 생산 설비에 적용되는 청정구역[clean room] 구조 건물) 구조설계에 있어 매우 유용한 도구가 될 수 있다. 그러나 현재 FAB. 설계에 참여하는 업체 중 많은 경험적 데이터를 가지고 있는 곳은 찾아보기 어렵고 nano FAB. 등 초정밀 환경을 요구하는 구조물 설계요구는 확장되고 있으나 동적 설계절차 및 설계기준의 부재로 인한 시행 착오로 많은 경제적 손실이 발생하고 있다[1].

따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존의 설계방법을 획기적으로 효율화 시킬 수 있는 소프트웨어의 일환으로 경험적 데이터들을 데이터베이스로 구축한다.

2. 초정밀 FAB. 구조물 통합 동적 구조설계

우리나라는 2000 년대 이후 반도체 memory 및 FPD 생산에 있어 세계 최대의 생산 능력을 보유하게 됨으

로써 장비 분야를 제외한 대부분의 설계기술을 국내에 자립하게 되었다. 그러나 시공사 및 전문 설계회사의 공급 군은 미진동을 고려한 동적 설계에 있어 전문기술 및 인력이 부재하여 이 부분의 설계는 당사에서 담당하고 있으며, 이에 축적된 경험적 데이터들을 체계적인 데이터베이스로 구축하려 한다. 먼저 진동 영향성 평가에 대한 절차를 (그림 1에 도식적으로 표현하였다.



(그림 1) 진동 영향성 평가를 고려한 초정밀 FAB. 구조물의 설계 절차

(그림 1과 같은 설계절차에 필요한 설계요소는 <표 1>과 같이 크게 3 가지로 구분된다.

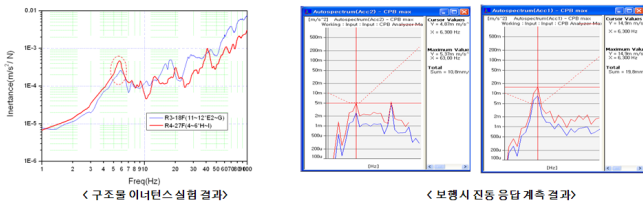
<표 1> 설계절차에 필요한 설계요소

항목	내용
가진원	외부가진원
	내부가진원
구조	지반구조
	건물 기초구조
	건물구조
	격자보구조
장비의 진동민감도 및 vibration Criteria	장비의 요구 동강성 Criteria Vibration Criteria 와 장비의 진동 민감도

FAB의 가진원은 크게 두 가지로 구분된다. <표 1>에서 나타내고 있는 외부 가진원은 도로교통 및 공사 등을 나타내며 내부 가진원은 (그림 2에서 보는 바와 같은 작업자의 보행, 주변장비의 구동(Rack Master, AGV, Robot, 하부 설비) 등이 해당 된다. 일반적으로 구조물 동적 설계에는 해석과 실험으로써 극한적으로 작은 마이크로(micro) 이하의 값을 다루

- 사람의 거동에 따른 진동 응답 계측 및 구조물 동특성 실험 수행

Condition	S3 Building				S4 Building			
	peak freq.	response (m/s ²)	Instance (m/s ² /N)	Dynamic Force(N)	peak freq.	Response	Instance (m/s ² /N)	Dynamic Force(N)
walking(1인)	6.3 Hz	5.37E-03	2.10E-04	27.0	6.3	1.50E-02	4.67E-04	32.1
jumping(1인)	6.3 Hz	2.30E-02		87.5	5	4.20E-02		89.9
walking(4인)	6.3 Hz	1.20E-02		45.6	5	2.90E-02		62.1



(그림 3) 인원 보행 하중

어야 하기 때문에 신뢰성 있는 동적 특성을 결정하는 것은 어렵다. 이에 따라, 진동에 민감한 장비를 사용하고 있는 반도체 공장의 동적 설계가 아직까지도 추상적이며 정성적으로 이루어 지고 있는 실정이다. 최근, 기가급(giga class) 메모리칩(DRAM)을 생산하기 위해서는 20~40 mm 이하의 회로선폭을 가공할 수 있는 기술이 필요하다. 이러한 가공성을 유지하기 위하여 정밀장비가 설치되는 건물의 진동을 엄격하게 제한하고 있다. 기가급 반도체의 양산 공장을 건설할 경우, 청정구역에서 가속도 0.1gal[0-peak], 변위 0.1~0.2 μm[0-peak] 이하의 진동 수준으로 구조물을 설계하고 있다.

3. 통합 동적 구조 설계를 위한 엔지니어링 데이터 베이스 구축

3-1. 외부가진원 및 지반구조 특성 데이터

수학적 모델이 제시되는 경우, 발파진동의 최대 진동 속도는 다음과 같다.

$$PPV = k \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right) \quad (1)$$

(W:장약량(Kg), D:이격거리(m))

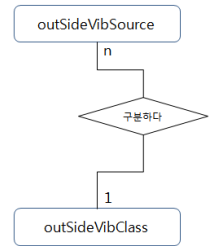
수학적 모델이 없는 자동차, 철도 및 공사 진동은 실측 데이터를 거리별로 측정하여 실험 모델로 사용한다. 이를 데이터베이스 스키마로 표현하면 (그림 2과 같다.

TABLE : outSideVibSource

열 이름	데이터타입	비고
Pcode	int	PK(1)
PPV	Numeric(7,3)	
wValue	int	
Distance	int	
classNum	int	FK, PK(2)

TABLE : outSideVibClass

열 이름	데이터타입	비고
classNum	int	PK
className	varchar(20)	
isUse	bit	



(그림 2) 외부 가진원 데이터베이스

외부 가진원의 데이터를 나타내는 outSideVibSource의 경우, pCode 와 classNum 을 조합하여 기본키 (Primary Key)로 사용한다. 또한, outSideVibClass 테이블의 기본키를 외래키(Foreign Key)로 ClassNum 열의 속성값으로 설정하여 두 테이블간의 관계(Relation)을 표현한다.

3-2. 내부 가진원 데이터

가진원은 대부분 탄성 구조체 상에서 발생하므로 일반적인 동하중 산출방법은 식(2) 를 이용한다.

$$F(j\omega) = G^{-1}(j\omega)X(j\omega) \quad (2)$$

동하중 F 는 진동응답 X 와 역전달함수 G⁻¹의 곱으로 구할 수 있다[3]. 진동응답이 변위인 경우 전달함수는 Compliance 를, 속도면 Mobility 를, 가속도면 Accelerance 함수를 사용한다. 이동인원에 의한 가진력은 실측 결과와 (그림 4와 같은 모델을 이용하는 방법과 앞에서 제시한 방법으로 비교/검증 후 보완하여 사용한다.

일정 속도로 회전하는 설비 및 기계장치도 회전 불평형력(unbalance force)에 대한 사양을 이용하는 방법과 역 전달함수 추정방법의 결과 비교로 결정하며, stage 관성력이 주를 이루는 장비 가진력은 직접 계산식으로 산출되나 내부 방진장치에 의한 전달률을 고려한다.

예를 들어, 1 개 FAB. 에 위치하는 공조기, 냉각탑, compressor, 펌프 등의 설비들의 정하중, 동하중 및 가진 주파수의 데이터를 정리하면 <표 2> 와 같다.

$$F_p(t) = G + \sum_{i=1}^n G \cdot \alpha_i \sin(2\pi f_p t - \phi_i)$$

여기서 G = 사람의 자중, α_i = 푸리에 계수, f_p = 반복주파수
 ϕ_i = 1차 하모닉에 대한 /번째 하모닉의 위상차, t_p = 도약시 바닥과의 접촉시간

Representative type of activity	Activity rate [Hz]	Fourier coefficient and phase lag					Design density [persons/m ²]	
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5		
"walking"	vertical	2.0	0.4	0.1	$\pi/2$	0.1	$\pi/2$	-1
	forward	2.4	0.5	0.2				
	lateral	2.0	0.2	0.1				
			$a_{a2} = 0.1$				$a_{a3} = 0.1$	
"running"	2.0 to 3.0	1.6	0.7		0.2		-	
"jumping"	normal	2.0	1.8	1.3	*)	0.7	*)	in fitness training ~0.25 (in extreme cases up to 0.5)
	high	3.0	1.7	1.1	*)	0.5	*)	
		2.0	1.9	1.6	*)	1.1	*)	
								*) $a_2 = a_3 = \pi(1 - f_{a2})$
"dancing"	2.0 to 3.0	0.5	0.15		0.1		-4 (in extreme cases up to 6)	
"hand clapping with body bouncing while standing"		1.6	0.17	0.10		0.04		no fixed seating ~4 (in extreme cases up to ~6) with fixed seating ~2 to 3
		2.4	0.38	0.12		0.02		
"hand clapping"	normal	1.6	0.024	0.010		0.009		-2 to 3
	intensive	2.4	0.047	0.024		0.015		
		2.0	0.170	0.047		0.037		
"lateral body swaying"	seated	0.6	$a_{a2} = 0.4$	-		-		-3 to 4
	standing	0.6	$a_{a2} = 0.5$	-		-		

*Vibration problems in structures, Hugo B. etc. pp. 189

(그림 4) 이동인원에 의한 가진력

<표 2> 설비 내부 가진원 데이터 목록의 예

명칭	수량	종량(CMH)	중량(Kg)	회전수(rpm)	가진주파수(Hz)	동하중(N)
공조기	16	45,700/42,760	7650	977/531	16.3/8.9	1874
공조기	16	45,700/42,760	7650	977/531	16.3/8.9	1874
inline fan	1	5,400	288	1.5kw	16.3	705
inline fan	1	5,400	288	1.5kw	16.3	705
pump	2	5,625	450	37kw	29.4	1323
pump	2	5,625	450	37kw	29.4	1323
---	---	-----	----	-----	---	---

3-3. 구조 특성 데이터

구조물 기초 설계 데이터베이스의 경우, RC, 무근 콘크리트, 모래/자갈, 지반 등 구조 요소의 치수 및 물성치에 의한 해석 데이터 및 실험 데이터를 이용하며, 구조물 동적 설계요소 데이터는 격자보, Column, Expansion joint 등과 사용방법(보, Column), 형상(I형, box형, H형) 및 치수, 재료(RC, SS 등) 및 물성치, Expansion joint의 결합방법(용접, bolting, pin joint 등)에 따른 데이터를 이용한다. 동적 설계요소에 따른 동강성 데이터(공진주파수, mobility 등)의 경우, Span, 구조설계 요소에 따른 Point mobility 데이터를 이용한다. 따라서, (그림 5와 같이, 동적 설계요소의 모델링을 통해 FAB의 구조를 점(Keypoint), 선(line), 면(Area)으로 추상화할 수 있으며, 각 요소들의 부재 사이즈 및 종류, 결합 방법에 대한 요소 데이터를 데이터베이스화 할 수 있다. 해석에 필요한 물성치 등을 하나의 테이블에 저장하고 keypoint, line, area를 각각의 객체로 모델링 하였다. 또한, 각 객체가 가지고 있는 특성을 section 테이블과의 관계로 나타내어 데이터의 독립성 및 무결성을 표현하였다. 이에 대한 관계도는 그림 6에 나타난다.

TABLE: keypoint

열 이름	데이터타입	비고
num	int	PK
pCode	int	FK
xLocation	Numeric(10,6)	
yLocation	Numeric(10,6)	
zLocation	Numeric(10,6)	

TABLE: lines

열 이름	데이터타입	비고
lineNum	int	PK
pCode	int	FK
keyPoint_S	int	FK
keyPoint_E	int	FK
Length	Float	
sectionNum	int	FK
materialNum	int	FK
nDiv	tinyint	

TABLE: section

열 이름	데이터타입	비고
sectionID	int	PK
pCode	int	
sectionName	Varchar(30)	
subType	bit	

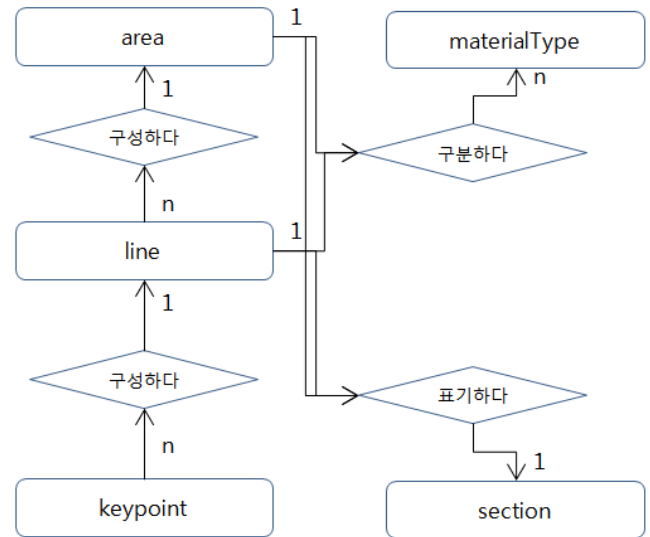
TABLE: Areas

열 이름	데이터타입	비고
AreaNum	int	PK
pCode	int	FK
line1	int	FK
line2	int	FK
line3	int	FK
line4	int	FK
materialNum	int	FK
RealNum	int	FK
typeNum	int	FK

TABLE: materialType

열 이름	데이터타입	비고
num	int	PK
pCode	int	
matType	Varchar(30)	
Ex_val	Varchar(20)	
PRXY_val	Float	
Density	int	

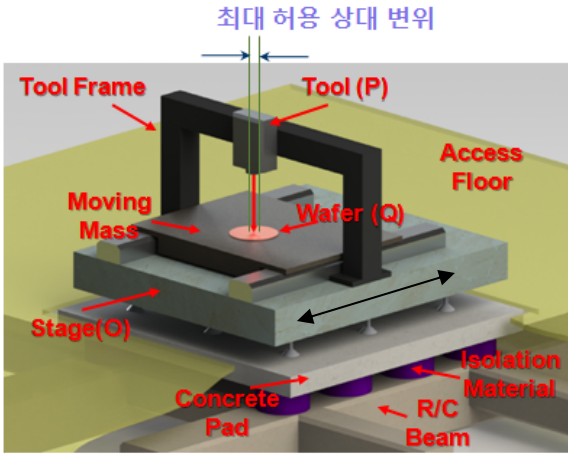
(그림 5) 구조특성 스키마



(그림 6) 구조 특성 엔티티간의 관계도

3-4. 장비의 진동민감도 및 진동허용규제치 데이터

생산장비별 진동 민감도 데이터베이스는 그림 7과 같은 방법으로 가공체(레이저, 광학, jet nozzle 등)와 피가공체(wafer, LCD Glass)의 상대운동에서 발생하는 초점블량 혹은 정렬블량으로부터 발생하므로 상대운동의 크기와 위상차 정보를 데이터화한다.

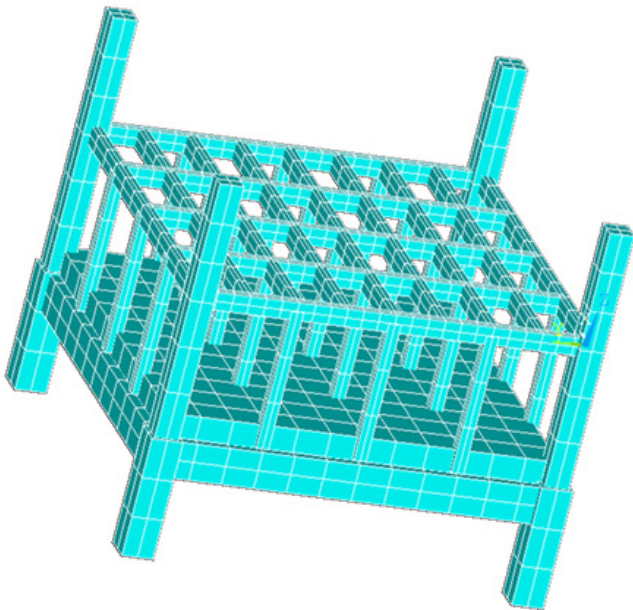


(그림 7) 상대운동 측정방법

바닥 측정점 O, 피가공물 Q 및 가공체 P 에서 각각 측정된 진동데이터를 이용하면 상대진동은 $F(P)-F(Q)$ 가 되나 위상(phase) 정보를 얻을 수 없다[2]. 따라서 P 에 대한 Q 의 전달함수 $G(P/Q)$ 를 이용하여 식(3) 을 이용해 진동 크기와 phase 에 대한 정보를 얻는다.

$$F(P)-F(Q)=(1-G(P/Q))F(Q) \quad (3)$$

또한 진동 허용규제치는 장비 설치 이전, 제진대 상의 진동레벨로 정의하며, stage 관성력이 큰 장비의 경우 대부분 방진 장치가 내장되어 관성력과 전달률을 고려한 진동허용규제치를 설정한다. 이에, 본 논문에서는 장비의 중량, 동하중, 방진장치, 진동민감도 (Vibration Criteria)에 대한 데이터를 수집하고 데이터베이스화 한다.



(그림 8) 구조물의 3 차원 형상

앞서 설명한 바와 같이, 실험적 데이터와 수식에 기반한 시뮬레이션 데이터를 적절히 이용하여 차세대 반도체, LCD 등 나노급 FAB. 구조물의 진동을 고려한 동적 구조 설계를 위한 데이터 베이스 구조를 생각해 볼 수 있다. 또한, 구조특성 데이터베이스로부터 그림 8 과 같은 유한요소법(Finite Element Method) 해석을 위한 Mesh 정보를 3 차원으로 해석할 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 현재 점점 수요가 증가되고 있는 반도체/LCD 및 나노급 공정기술을 위한 차세대 초정밀 산업분야 FAB. 구조물의 서브마이크로 수준의 진동제어를 위하여 준 경험적 기법에 기초하여 초정밀 공장의 구조물 동적설계(動的設計)에 활용할 수 있는 엔지니어링 데이터베이스 구축에 대해 생각해 보았다.

향후, 현재 수집되고 있는 부분적인 데이터베이스를 통합하여 구축하고 fuzzy 및 경험적 기법에 기반한 추론 엔진을 개발하여 보간법(interpolation) / 보외법(extrapolation)이 가능한 3 차원 solid modeling Graphic Unit 과 구조해석 프로그램을 구축할 예정이다.

참고문헌

- [1] 반도체 디스플레이 장비의 진동허용 규제치 (Vibration Criteria)의 선정 방법, 한국소음진동공학회, 이흥기, 안채현, 2011
- [2] 이동질량에 의한 이산지지 보 구조물의 동적응답, 한국소음진동공학회논문집 제 21 권 제 3 호, pp. 264-270, 오부진, 류종조, 이규섭, 이영신, 2011
- [3] 구조물 동특성의 실험적 해석과 응용 기술에 관한 연구, 한국 소음진동공학회논문집, pp. 40~45, 이흥기, 박상규, 1993
- [4] .NET 프로젝트를 위한 체계적인 데이터베이스 설계, 정보문화사, 2011