준 경험적 기법에 의한 차세대 초정밀 FAB. 구조물의 통합 동적 구조 설계 시스템 설계 및 구현

이현준*, 이경오**, 이규섭*
*알엠에스 테크놀로지
**선문대학교 컴퓨터공학부
e-mail : lhj@rmstech.co.kr, leeko@sunmoon.ac.kr, rmstech@rmstech.co.kr

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

Hyun-jun Lee*, Kyong-oh Lee**, Gyu-seop Lee*
* RMS Technology, **Dept. of computer Engineering Sunmoon University

요 약

반도체와 LCD 산업분야, 나노급 공정 및 검사기술이 요구되는 산업분야의 수요증가에 따라 초정밀 가공/생산/검사 장비를 설치, 운용하는 FAB. 구조물의 설계요구가 증대되고 있으며, 건물의 환경진동 규제치도 강화되고 있는 실정이다. 이와 같은 대형 구조물에서의 서브 마이크로 수준의 미진동(微振動)을 제어하는 문제는 진동 응답을 결정하는 구조와 재료가 복잡하고 다양한 형태를 갖고 있는 반면, 다루어야 할 동적 응답은 극한적으로 작은 마이크로 이하의 값을 다루어야 하기 때문에 매우 어렵다. 따라서 기존에 이용되고 있는 해석과 실험의 결과만으로는 신모델 설계에 적용하기 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 실험적 데이터와 경험적 데이터들을 기반으로 구축된 데이터베이스를 이용하여 새로운 초정밀 FAB. 동적 구조 설계 시스템을 구현한다.

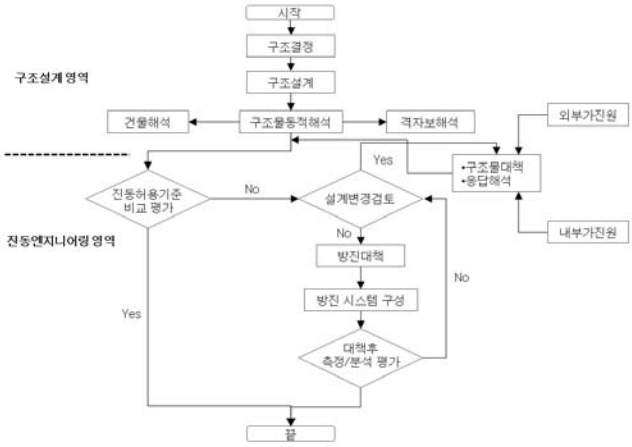
1. 서론

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. 또한, 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, 엄밀해가 아니므로 현장적용과 관련한 엄격한 설계기준 및 절차가 필요하다. 또한, 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 구축된 데이터베이스를 이용하여 초정밀 FAB. 동적 구조 설계 시스템을 구현한다.

2. 초정밀 FAB. 구조물 통합 동적 구조설계

2.1. FAB 구조물의 설계절차

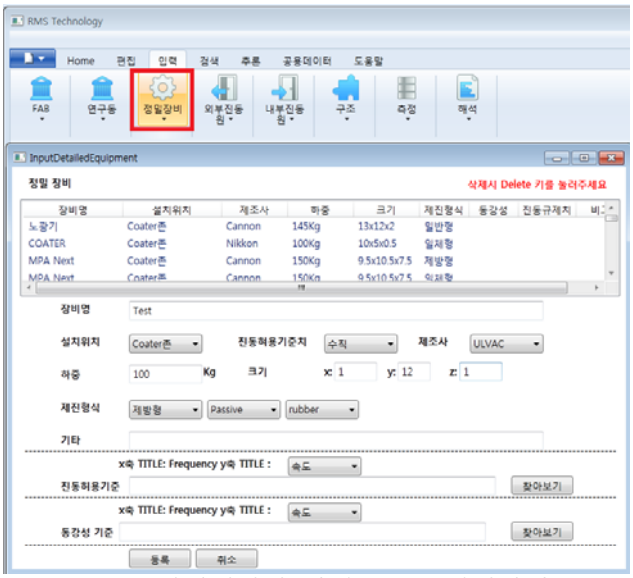
우리나라는 2000 년대 이후 반도체 메모리 및 FPD 생산에 있어 세계 최대의 생산 능력을 보유하게 됨으로써 장비 분야를 제외한 대부분의 설계기술을 국내에 자립하게 되었다. 그러나 시공사 및 전문 설계회사의 공급 군은 미진동을 고려한 동적 설계에 있어 전문기술 및 인력이 부재하여 이 부분의 설계에 대한 축적된 경험적 데이터들을 체계적인 데이터베이스로 구축하였다. 먼저 진동 영향성 평가에 대한 절차를 (그림 1)에 도식적으로 표현하였다.



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

본 논문에서 제안하는 시스템은 DBMS 는 MS-SQL

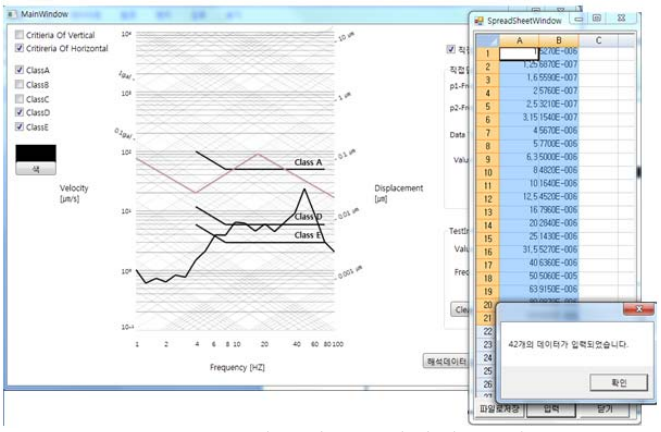
Server 2008 을 사용하였으며 C# 기반의 WPF(Window Presentation Foundation) Framework 를 이용하여 각 모듈을 구축하였다. 우선, (그림 1)에서 나타내고 있는 설계 절차에 따라 하나의 프로젝트를 기본키로 하여 체계적인 설계데이터관리 모듈(module)을 구현하였다.



(그림 2) 설계데이터 관리 모듈- 정밀장비

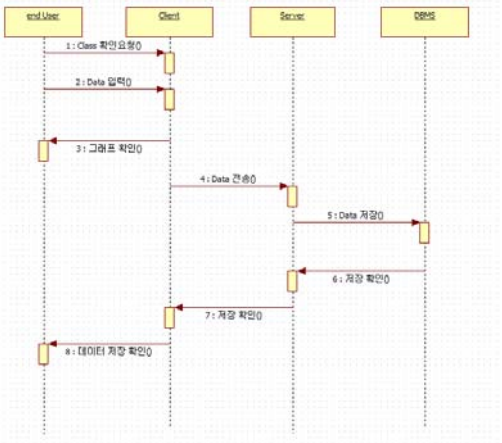
2.2. 진동허용규제치의 표현

진동허용규제치(Vibration Criteria)란 설치 건물에서 장비로 유입되는 외부 진동량의 규제치를 말한다. 즉, 장비 시스템이 본래 기능을 유지할 수 있는 최대 허용 외부 진동량을 뜻한다. 이는 장비 및 구조물에도 적용될 수 있으며 이를 초과 시, 저하 되므로 매우 민감한 사양이다. 주로 사용하고 있는 BBN Criteria 방식의 진동허용규제치의 경우, CLASS A 부터 CLASS E 까지의 다섯 구간으로 표현되고 있으며, 이는 대부분 주파수 구간에 동등한 특성을 요구하여 장비 고유의 특성을 나타내지 못한다. 따라서, 실험적으로 진동허용규제치를 나타낼 필요가 있으며, 본 논문에서는 이를 (그림 3)과 같이 속도(Vel.), 가속도(Acc.), 변위(Disp.)를 주파수(Frequency)를 기준으로 표현한다.



(그림 3) 진동허용규제치의 표현

(그림 3)에서 보여주고 있는 진동허용규제치 모듈은 Microsoft Spread.NET 을 이용하여 대량의 데이터를 손쉽게 입력, 편집할 수 있도록 모듈설계를 수행하였다.



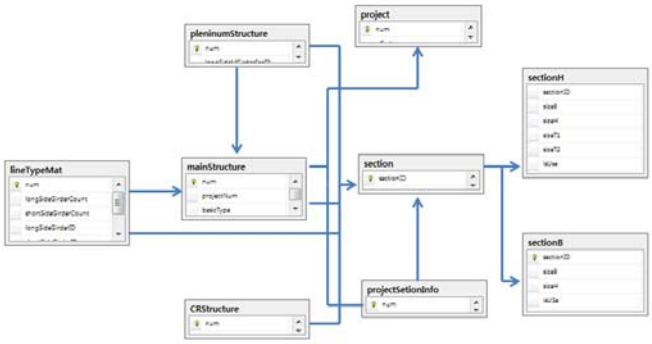
(그림 4) 진동허용규제치 시퀀스 다이어그램

또한, 해석데이터 입력과 측정 데이터 입력 버튼에 연동되는 스프레드 시트를 통해 직접 값을 입력 하여 해석 데이터와 측정 데이터 결과치 그래프를 그려 시각적으로 진동 허용 규제치와 결과치를 비교할 수 있다. 측정값 또는 해석 값을 입력하였을 때 생성되는 그래프를 통해 현재 대상물의 진동 CLASS 역시 자연스럽게 알 수 있게 된다. 유저는 Client(그래프 프로그램)을 통해 Class 확인 및 데이터 입력을 통한 그래프 확인을 할 수 있다. 각 과정은 (그림 4)에서 보는 봐와 같이, 유저가 데이터를 입력하여 그래프를 그리면 Client 프로그램에서 Server 를 통해 Data 를 전송하고 전송된 Data 를 DB 에 저장하게 된다. 저장된 Data 가 정확이 저장되었는지 DB 에서 확인하여 유저에게 저장상태를 알려줄 수 있도록 설계하였다.

2.3. FAB 구조물의 모델링

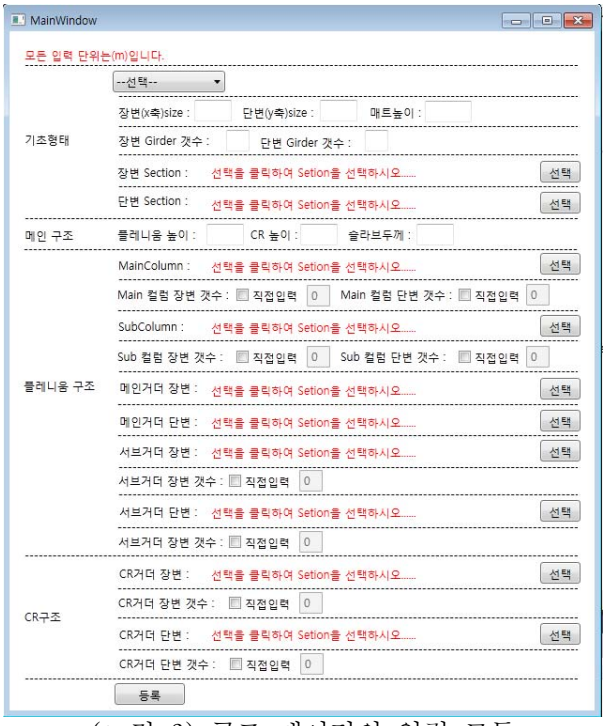
구조물 기초 설계 데이터베이스의 경우, RC, 무근 콘크리트, 모래/자갈, 지반 등 구조 요소의 치수 및 물성치에 의한 해석 데이터 및 실험 데이터를 이용하며, 구조물 동적 설계요소 데이터는 격자보, Column, Expansion joint 등과 사용방법(보, Column), 형상(I 형, box 형, H 형) 및 치수, 재료(RC, SS 등) 및 물성치, Expansion joint 의 결합방법(용접, bolting, pin joint 등)에 따른 데이터를 이용한다. 동적 설계요소에 따른 동강성 데이터(공진주파수, mobility 등)의 경우, Span, 구조설계 요소에 따른 Point mobility 데이터를 이용한다. 따라서, 동적 설계요소의 모델링을 통해 FAB.의 구조를 점(Keypoint), 선(line), 면(Area)으로 추상화 할 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, area 를 각각의 객체로 모델링 하였다. 일반적인 FAB. 구조물의 경우, 정도의 차이가 있으나 FAB. 의 SPAN 크기를 결정짓는 기초형태를 가지고

있으며, CR 을 운영하기 위한 각종 공조장비들이 위치하는 Plenium 층, 생산장비가 위치하는 CR 층으로 구성된다고 할 수 있다. 본 논문에서는 각각의 부재들을 B*H 타입을 갖는 sectionB 와 B*H*t1*t2 형태를 갖는 sectionH 로 구분하여 (그림 5)와 같은 관계를 표현하였다.



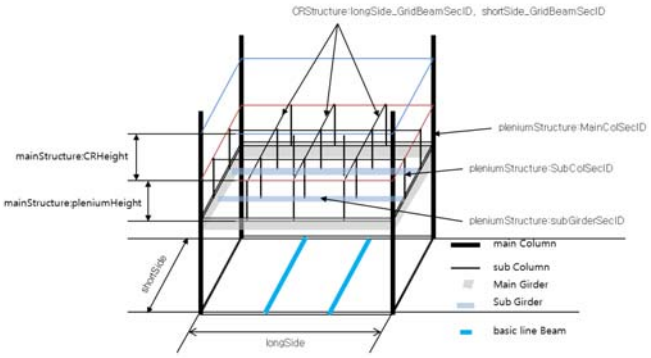
(그림 5) 구조 데이터의 표현

이러한 관계를 이용하여 FAB. Span 의 전체 정보를 표현할 수 있으며, (그림 6)은 FAB. 구조정보를 데이터베이스로 입력 받는 모듈(module)을 보여주고 있다. 엔지니어는 복잡한 구조형태를 갖는 FAB.의 구조를 칼럼, 보, 거더, 슬라브 등으로 추상화할 수 있으며, 동강성에 영향을 주는 부재의 사이즈를 고려하여 단순화 한 후, 입력 모듈을 통해 데이터 베이스에 입력한다. 입력된 데이터는 프로젝트 코드로 관리되며, 향후 부재 사이즈를 기준으로 검색이 가능하도록 구현하였다.



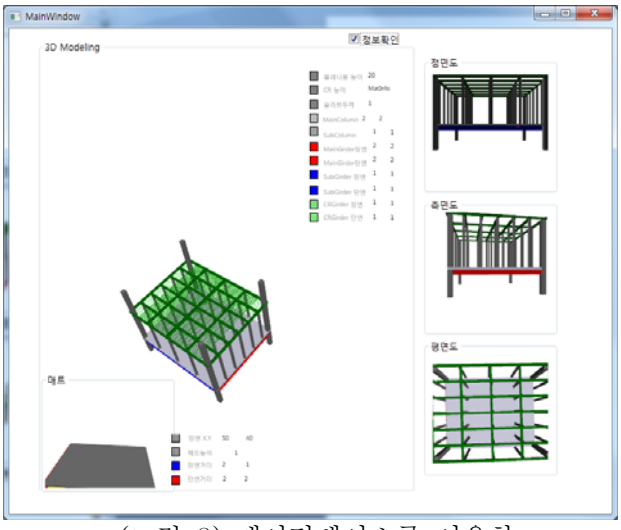
(그림 6) 구조 데이터의 입력 모듈

이렇게 입력된 데이터는 FAB.을 구성하는 대표 요소들의 조합으로 (그림 7)과 같이 데이터베이스의 각 칼럼과 연계하여 나타낼 수 있다.

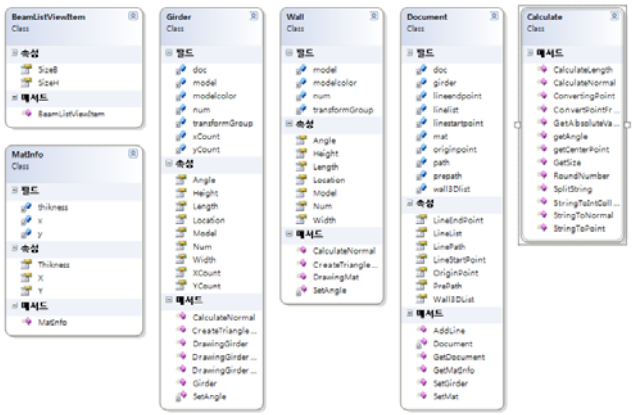


(그림 7) FAB.구조와 입력 데이터간의 표현

한편, 실제 입력된 데이터들을 기반으로 WPF 에서 제공하는 3D 라이브러리를 이용하여 표현한 FAB.의 구조는 (그림 8)과 같다. 중앙의 3D 그래픽은 마우스 휠을 이용하여 확대/축소가 가능하며, 회전 및 이동이 가능하게 설계되었다. 또한, 정보확인 체크박스를 이용하여 각 요소에 사용된 부재의 사이즈를 나타낸다. 정면도, 측면도, 평면도를 우측에 배치하여 엔지니어들의 운용 편의성을 도모하였다.



(그림 8) 데이터베이스를 이용한 FAB. 구조물의 3D 표현



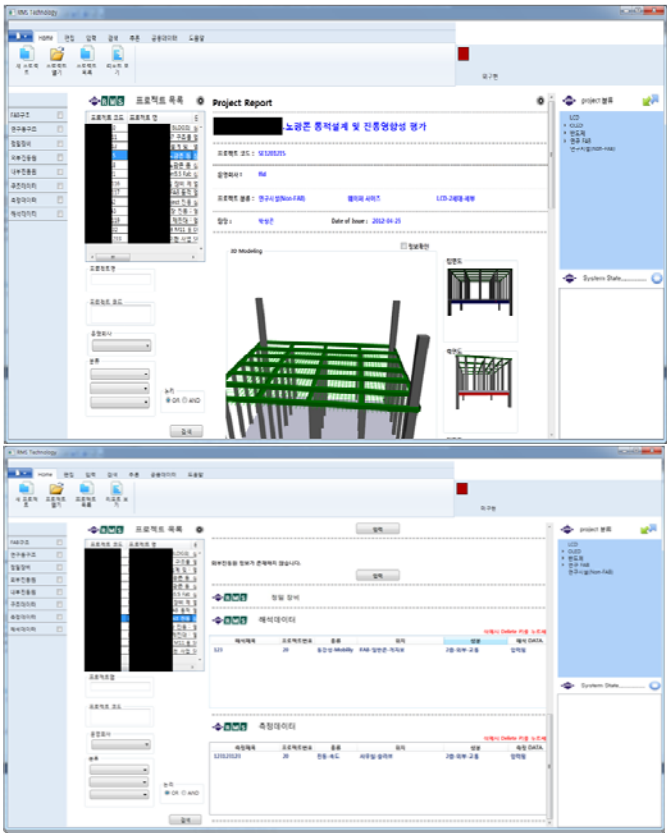
(그림 9) 3D Modeling Class Diagram

(그림 9)는 현재까지 진행된 3D Modling 에 사용된 클래스 다이어그램 이다. 각각에 클래스를 Document Class 에서 관리함으로 해당 객체에 변경 시 통합적으로 같은 객체가 변경될 수 있도록 구성하여 3D 이미지 변환 후 Size 변경이 용이하도록 구성하였다.

2.4.프로젝트 기반의 모듈 통합

정밀 FAB.의 설계 단계에는 고려해야 할 사항들이 무수히 많다. 하지만, 이를 데이터베이스화 하는 과정에서는 필연적으로 단순화, 추상화 하여 표현할 수 밖에 없는 요소들이 있다. 진동 엔지니어링 관점에서 바라보았을 때, 건물이나 장비의 동강성 및 진동응답에 대한 영향성을 갖는 요소들과 프로젝트 관리차원에서의 필요한 데이터들을 모아 (그림 10)과 같은 프로젝트 기반의 검색 프로그램을 구축하였다. 여기에는 앞서 설명한 진동허용 기준치 입출력 모듈과 3D 그래픽 모듈, 설계기준에 부합하는 데이터 관리 모듈이 통합되어 있다.

- 프로젝트 코드와 프로젝트 명은 보안상 블라인드 처리함.



(그림 10) 프로젝트 기반의 통합 프로그램

3. 데이터베이스를 활용한 구조 부재 설계 알고리즘

본 시스템의 최종목표는 기 구축된 데이터베이스를 활용하여 신규 FAB. (혹은 성능 개선이 필요한 FAB.)의 구조요소와 1 차 고유진동수 및 동강성을 예측하는데 있다.

$$f = W_f \times \left(\frac{EI_T}{WL^4}\right)^{0.5} \quad (1)$$

- E = 부재의 탄성계수 [N/㎟]
- I_T = 구성부재의 탄성계수 [㎟]
- W = 구성 부재 유효 폭당 중량 [N/㎜]
- L = 부재간격 [㎜]

$$a_0 = \frac{W_R \times f}{w \times B \times L} \quad (2)$$

- f = 강조 진동 주파수 [㎐]
- w – 구성부재의 유효면적당의 중량 [KN/㎡]
- B = 40 * tc = 구성부재의 유효폭[m]
- L = 구성부재의 거리 [m]

따라서, 본 논문에서는 (식 1 : 구조요소와 1 차 고유진동수 및 동강성의 관계)과 (식 2: 구조요소와 진동 응답과의 관계)를 이용하여 3D 모델링 작업 시, 객체로 표현된 각 부재들의 사이즈를 변경할 수 있게 구축하였다.

4. 결론 및 향후 계획

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 구축된 데이터베이스를 활용한 동적 설계 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 크게 진동설계원칙에 기반한 데이터 관리 모듈, 진동허용기준치 관리 모듈, 3D 모델링 모듈로 구성되어 있으며, 통합모듈에서 각 모듈간의 데이터 흐름을 관리한다. 향후, 진동 엔지니어의 요구를 적극 반영하여 유지보수 및 요구기능 등을 보강할 예정이며, fuzzy 및 경험적 기법에 기반한 추론 엔진을 개발하여 보간법(interpolation) / 보외법(extrapolation)이 가능한 구조해석 시스템을 구축할 예정이다.

참고문헌

[1] 준 경험적 기법에 의한 차세대 초정밀 FAB. 구조물의 통합 동적 구조 데이터베이스 설계, 한국정보처리학회, 이현준, 이경오, 이규섭, 2012

[2] 반도체 디스플레이 장비의 진동허용 규제치(Vibration Criteria)의 선정 방법, 한국소음진동공학회, 이홍기, 안채헌, 2011

*본 논문은 지식경제부 기술혁신사업 우수제조기술연구센터(ATC)사업의 지원을 받아 작성되었음.