

극 초정밀 측정시스템의 미진동제어를 위한 구조물의 동적 설계에 관한 연구

°김강부*, 김현식**, 전종균***, 김기현****

A Study on the Dynamic Design of Structure for Sub-Vibration Control of Precision Measuring System

Kang-Boo. KIM*, Hyun-Shik. KIM**, Chong-Keun. Chun***, Ki-Hyun. Kim****

ABSTRACT

It is necessary to design the anti-vibration system of precision machinery for a sound operation and a quality assurance. However, in general, the allowable vibration limit is not well known.

In the paper, the vibration criteria for foundation of vibration sensitive machinery is proposed and anti-vibration system is designed by using vibration measurement results of foundation. Also, the F.E. analysis is performed to verify the effectiveness of a designed anti-vibration system and to determine allowable dynamic load of machinery

1. 서론

반도체 칩의 집적도 향상은 고정정 기술과 함께 미진동 제어 기술이라는 또 하나의 문제를 등장시켰다. 메가 비트(mega-bits) 수준에서 기가(giga-bits)급에 이르는 반도체 칩을 생산하기 위해서는 가공에 필요한 선 폭은 수 마이크로미터에서 서브 마이크로미터 수준이다. 메모리 소자인 256M DRAM의 경우 손톱 크기의 면적에 선 폭이 0.25 μ m이고 1.5 μ m 정도의 미세한 틈 사이로 금속을 채우는 기술이 필요하다. 선 폭이 서브 마이크로미터 수준의 반도체를 생산하기 위해서는 개발, 제조, 검사 등 각 생산 공정에 사용되는 장비들이 고 정도, 고 성능, 고 신뢰성이 요구되고 있다. 반도체 칩의 실험 시제품 개발에서 엔지니어링 샘플, 양산용 샘플 제작 이후 반도체 공장을 건설하고 최종제품의 양산에 들

어간다. 양산을 위해서는 광범위한 고급기반기술의 확보가 필수적이다.

미진동 제어를 위한 구조의 동적 해석 및 설계, 진동 발생 유틸리티의 배치, 진동 전달 특성 및 방진, 제진 기술 등이 미진동의 제어라는 차원에서 전체를 총괄할 수 있는 해석 및 설계기술이 반도체공장 기반기술의 한 부분으로 반드시 필요하다. 일반적으로 반도체 공장에서 정밀장비의 진동허용규제치는 고정밀 노광장비, 반도체 웨이퍼를 제조하는 실리콘단결정성장기 등이 설치되는 독립절연기초와 제진대(除振臺) 위에서 3차원으로 주파수별로 제한하고 있다. 이러한 진동대책을 위한 설계의 한계는 극초정밀측정/분석시스템의 구조적인 동적 특성을 표현하고 있는 진동허용규제치가 명확하게 알려져 있지 않다는 점이다.

이러한 문제를 해결하는 방법의 하나는 기존의 방진(防振) 및 내진(耐振)기술로서 성취할 수 있는 Floating Seismic Mass Anti-Vibration System의 진동 상태를 부지 및 내외 부의 진동원을 고려하여 성취할 수 있는 진동상태가 얼마인가를 평가하

*. RMS TECHNOLOGY CO., LTD.

**.. UNISONENG CO., LTD.

***. 선문대학교 기계및제어공학부.

****. SAMSUNG CORNING CO., LTD.

고, 이를 설계목표치로 결정하는 방법이다.

따라서 본 연구에서는 초정밀 장비의 정상적인 가동을 위한 미진동제어 기술의 하나로 기존의 진동대책 기술로 얻을 수 있는 Floating Seismic Mass Anti-Vibration System의 진동허용규제치의 설계목표치를 설정하고, 극초정밀측정/분석시스템의 구조의 동적(動的) 설계를 위한 최소한의 가이드 라인을 제시하는 방안을 결정하는 것이다.

2. 동적 설계 방향 결정

현재까지 기가급 반도체 공장을 건설하기 위한 구조물 및 C/R의 진동허용규제치의 설계목표치가 $0.2\mu\text{m}[\text{rms}]$ 수준이며, 256MDRAM C/R의 Main Structure의 진동이 최대한으로 성취할 수 있는 한계가 진동속도로 $6\mu\text{m}/\text{s}$ 로 알려져 있다. 이 값은 국내의 대부분 C/R에서 측정/분석한 데이터를 근거로 하여 내린 결론이다. 이것은 기본적으로 건물에서 특별한 조건이 부여되지 않는 한 장비에서 이를 기본적인 방진 및 내진성능 향상을 위한 기준점으로 설정해야한다는 것을 의미한다. 다른 하나는 기본적으로 Floating Seismic Mass Anti-Vibration System에서 성취할 수 있는 진동상태를 인정하고 이를 극초정밀측정/분석시스템의 구조물 동적 설계의 기본자료로 반영하는 방법이다. 이것은 극초정밀측정/분석시스템의 구조 및 시스템설계에 제한을 주는 것이기 때문에 이에 대한 논의는 반드시 이루어져야한다

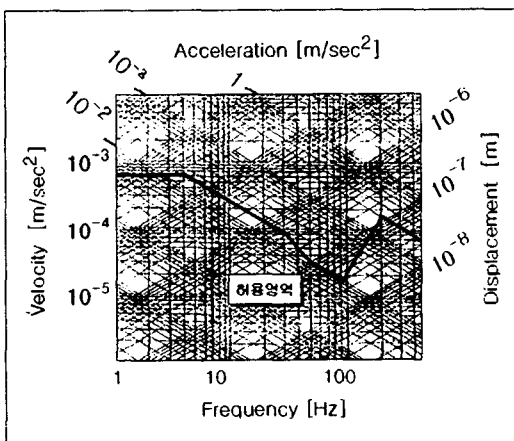


Fig. 2 Vibration Criteria at on the Isolation Pad

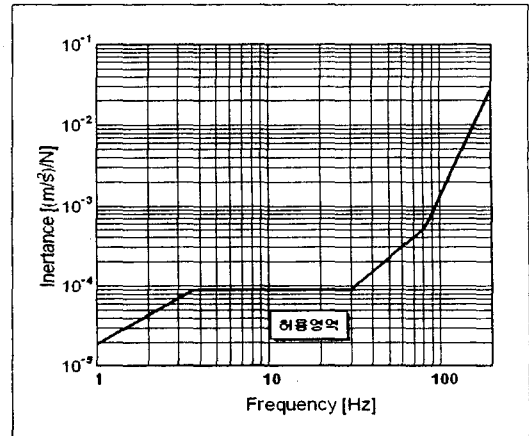


Fig. 3 Inertance at on the Isolation Pad

본 논문에서는 위에 논의한 두 가지를 동시에 고려하는 방법을 선택하였다. 즉, 기존의 진동대책 기술로 얻을 수 있는 진동 변위 $0.2\mu\text{m}[\text{rms}]$ 와 진동속도 $6\mu\text{m}/\text{s}[\text{rms}]$ 를 성취할 수 있는 Floating Seismic Mass Anti-Vibration System의 진동허용규제치의 설계목표치로 설정하고, 극초정밀측정/분석시스템의 구조의 동적(動的) 설계를 위한 최소한의 가이드 라인을 제시하는 방향으로 과제의 목표로 설정하였다. Fig. 1과 Fig. 2는 분해능 5nm의 반도체 가공장비에서 요구하고 있는 진동허용규제치와 구조물동적허용규제치의 예를 나타낸 것이다.

2.1 방진 시스템의 진동허용규제치

극초정밀측정/분석시스템의 정상적인 운영을 위한 외부 및 건물 내부 진동 영향성 문제를 측정/분석하고 정밀 측정시스템의 거리1m에 대한 상대 불확도가 1nm 이하를 구현할 수 있는 방진시스템(Floating Seismic Mass Anti-Vibration System)을 설계하고자한다. Fig.1과 Fig.2는 방진시스템에서 성취해야할 주파수 범위 2~80Hz에서 진동 변위 $0.2\mu\text{m}[\text{rms}]$ 진동허용규제치와 구조물동특성허용규제치의 설계목표치이다.

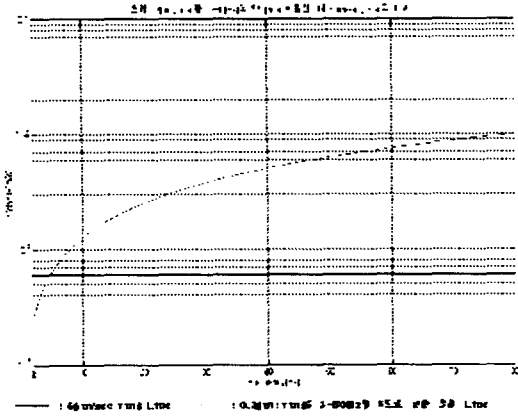


Fig. 1 Floating Seismic Mass Anti-Vibration System의 진동허용규제치 설계목표

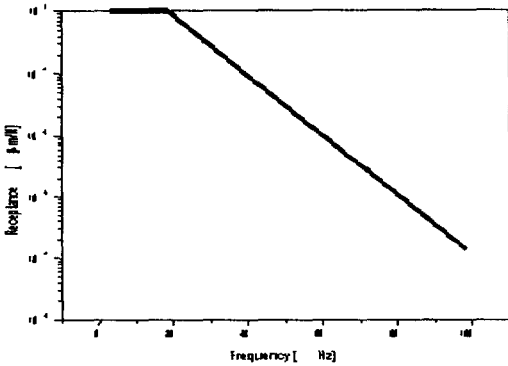


Fig. 2 Floating Seismic Mass Anti-Vibration System의 구조물동특성허용규제치(1µm/N)

2.1 방진 시스템의 설계

극초정밀측정/분석시스템의 진동 환경 측면에서 안정된 운영을 위한 방진시스템(Floating Seismic Mass Anti-Vibration System)의 설계 방향은 두 가지의 관점에서 이루어져야한다. 하나는 극초정밀측정/분석시스템의 진동허용규제치(floor allowable vibration criteria)이고 다른 하나는 방진시스템의 구조물동특성허용규제치(structure allowable dynamic property criteria)가 있다. 전자는 극초정밀측정/분석시스템이 외부의 진동에 의한 교란을

방지하기 위한 규제치이고 후자는 자체의 진동원에 의하여 발생하는 방진시스템의 진동으로 인한 상호작용을 방지하기 위한 규제치이다. 물론, 두 가지의 설계조건은 상호작용이 발생하기 때문에 이에 대한 고려가 이루어져야한다. 그러나 우선적으로는 내외부로 기인하는 진동이 극초정밀측정/분석시스템(거리1m/불확도1nm)의 구조적인 동적 특성을 표현하고 있는 진동허용규제치를 만족해야 한다.

진동허용규제치와 구조물동특성허용규제치의 목표설계치를 만족할 수 있는 방진시스템의 개념도는 그림 Fig. 5, Fig. 6과 같다. 수직방향 기본적인 방진시스템의 고유진동수는 3Hz 이하이며, 블록의 지지(support)시스템은 강성을 가변형으로 하여 건물 기초 및 극초정밀측정/분석시스템의 자체 동특성에 대하여 유연하게 작동할 수 있도록 하였다.

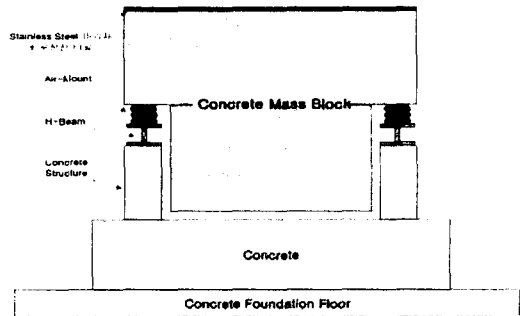


Fig. 3 Seismic Vibration Control System - (단면 I)

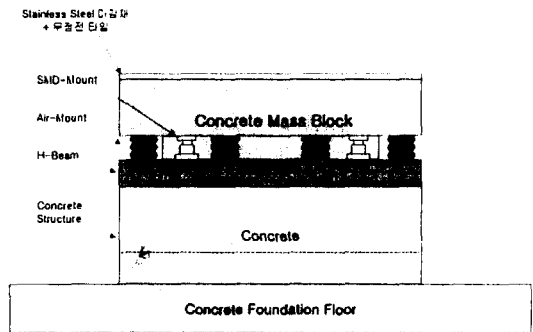


Fig. 4 Seismic Vibration Control System - (단면 II)

3. 진동측정 및 동특성 실험

3.1 지반진동 측정

신축부지의 진동상태를 대표할 수 있는 총 4개 지점에서 3개 채널을 이용하여 수평 2방향 (x, y), 수직 1 방향(z)을 동시에 암진동을 측정하였다.

동특성 실험 분석 환경

- Trigger Mode : Free Run
- No of Average : 50
- Time Span : 8sec(2048)
- Frequency Span : 100Hz(801)
- Average Method : Linear

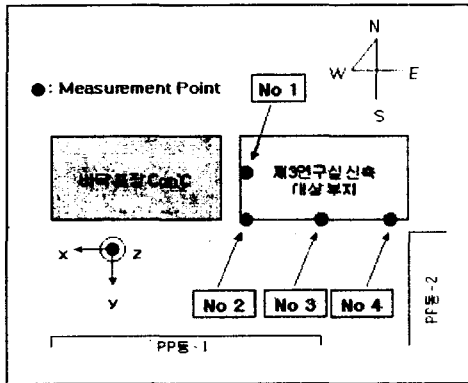


Fig. 5 Measurement Point for Back-ground vibration

Table. 1 지반 진동 측정/분석 결과

Point	Peak Frequency [Hz]	Peak displacement [μm]		OverAll [rms/ μm]	Direction
		[0-Peak]	[rms]		
No.1	2.38	0.5142	0.3636	1.0617	X
	2.00	0.6655	0.4706	0.9287	Y
	2.00	0.3490	0.2468	0.6199	Z
No.2	2.00	0.9525	0.6735	1.5142	X
	2.00	0.4047	0.2862	0.7151	Y
	2.00	0.4590	0.3246	0.7437	Z
No.3	2.00	0.6514	0.4606	1.1435	X
	2.00	0.4663	0.3297	0.7822	Y
	2.00	0.4349	0.3075	0.7050	Z
No.4	2.00	0.7523	0.5320	1.2983	X
	2.00	0.3378	0.2389	0.6388	Y
	2.00	0.5295	0.3744	0.7607	Z

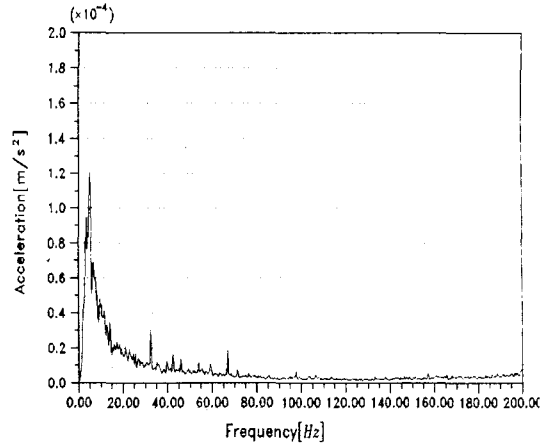


Fig 6. 주파수 분석 데이터 (No.1 x-d)

극초정밀연구실 신축예정부지에서 암진동상태는 Z방향으로 약 $0.25 \sim 0.37 [\mu\text{m} : \text{rms}]$ 수준으로 나타났다. 이는 실험실 방진설계 진동허용규제치 $0.2 \mu\text{m} [\text{rms} : 2 \sim 80\text{Hz}]$ 를 약 1.25~1.85배 초과하고 있으며, 이에 대한 대책이 필요한 실정이다. 내외부의 유틸리티뿐만 아니라 건물 구조와 기초에 대한 방진 및 내진을 위한 동적 설계가 필요하다.

3.2 동특성 해석

극초정밀측정/분석시스템의 구조물 동특성 영향을 평가 위하여 초기 설계된 구조물에 대하여 범용 유한요소해석프로그램인 ANSYS 5.4를 이용하여 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 Element는 구조물에 대해서는 3D-SOLID5로 모델링 하였으며, Air-Spring은 3D-COMBIN14를 함께 사용하였다. 경계조건으로 Foundation에 설치되는 Pile의 자유도를 0으로 하고 경계부는 대칭조건(symmetric condition)으로 단순화하였다. 해석모델에서 사용한 물성치는 콘크리트와 지질 조사서를 근거로 한 Soil의 물성치를 적용하였다.

1차 해석으로는 현재 초기 설계된 구조물에서 정밀장비가 놓일 바닥부(CON'C MASS BLOCK)에 대하여 동특성 영향을 실시하였으며, 2차 해석으로는 외부 유틸리티의 방진 효율을 결정하기 위하여 연구실에 설치될 기계실과 방진시스템 사이의 진동 영향성 문제를 동적 해석을 통하여 전달함수를 결정하고 진동가진력허용규제치를 결정하였다.

① 1차 동적 해석 결과

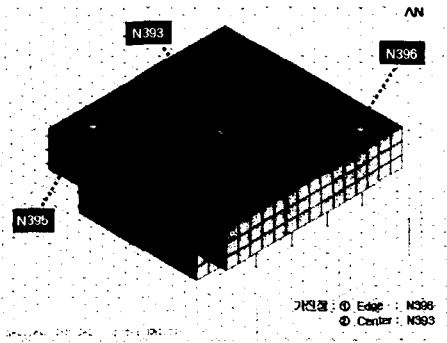


Fig 7. 방진 시스템 해석모델

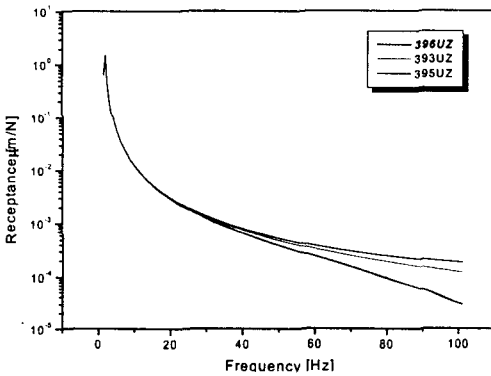


Fig. 8 Point & Transfer FRF : Receptance

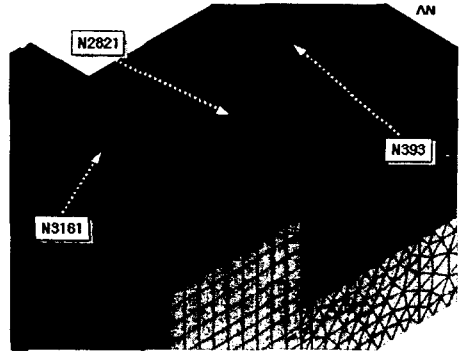


Fig. 10 현 설계안 해석모델 (B안, 기초 연결)

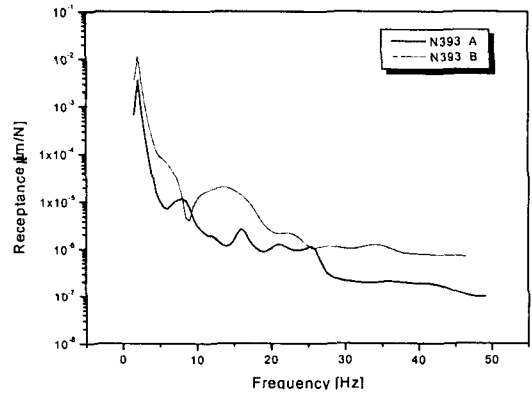


Fig. 11 기초 방식에 따른 전달함수

② 2차 동적 해석 결과

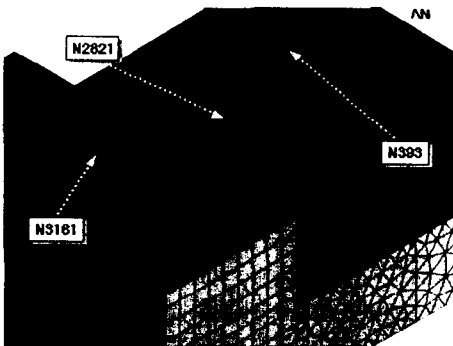


Fig. 9 초기설계안 해석모델 (A안, E/J 사용)

4. 동하중 허용규제치

극초정밀측정/분석시스템의 내부에 동하중을 발생시키는 진동원이 존재할 경우, 방진시스템이 이러한 내부 동하중으로 기인하는 진동응답이 진동 허용규제치를 만족해야한다.

동하중허용규제치는 극초정밀측정/분석시스템이 설치되는 방진시스템의 동특성을 나타내는 데이터이다. 즉, 진동허용규제치를 만족할 수 있는 극초정밀측정/분석시스템의 동하중에 대한 제한 조건과 주변의 유틸리티에서 발생하는 진동의 방진효율을 결정하는 기본적인 데이터이다. 방진시스템의 동하중허용규제치와 기계실에 대한 동하중허용

규제치는 Fig. 14, Fig. 15와 같다. 그래프에서 커브 아래값에 나타나고 있는 동하중 이상이 입력될 경우에는 설계 진동허용규제치를 초과한다는 것을 의미한다. 주파수 응답 함수(FRF) 해석 결과를 이용하여 진동 허용 규제치 $0.2\mu\text{m}(\text{rms})$ 를 만족하는 정밀장비의 동적 하중 허용 규제치를 다음과 같이 산출하였다.

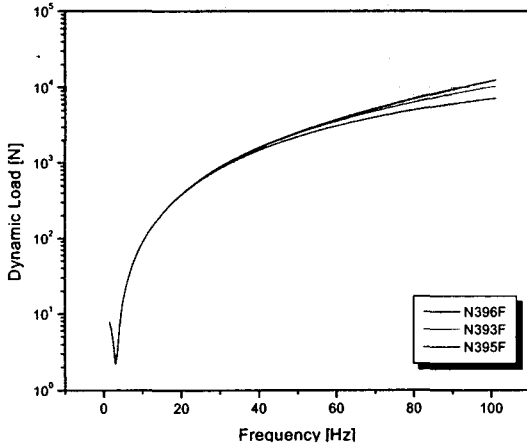


Fig. 12 극초정밀측정/분석시스템의 동하중허용규제치

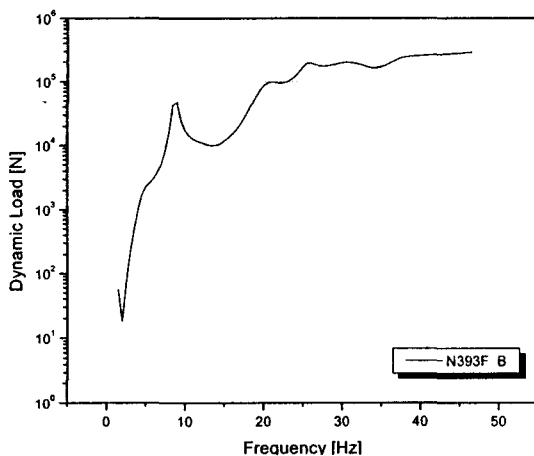


Fig. 13 기계실의 동하중허용규제치

5. 고찰 및 결론

초정밀 장비가 설치될 방진시스템의 진동허용규제치를 반도체장비의 진동허용규제치 및 구조물

통특성 허용규제치를 토대로 결정하였다.

현재구조상태에서의 기초진동상태를 측정하였으며 이를 바탕으로 결정된 진동허용 규제치를 만족시킬 수 있는 방진시스템을 설계하였다.

설계된 방진시스템의 성능을 확인하기 위하여 유한요소해석을 통하여 검증하였으며, 예측된 전달함수를 사용하여 설계된 방진시스템에 설치될 장비의 동하중 허용규제치를 제안하였다.

본 연구를 통하여 초정밀 장비가 설치될 기초구조 및 방진 시스템의 진동허용규제치를 정량적으로 평가할 수 있는 방안을 제시하였으며, 본 방안을 통하여 향후 반도체와 같은 초정밀 장비가 설치될 방진시스템의 설계에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Colin G. Gordon, 1991, "Generic Criteria for Vibration-Sensitive Equipment", SPIE Proceedings Volume 1610, pp. 71~85
- (2) Colin G. Gordon, 1996, "Vibration Prediction and Control in Microelectronics Facilities", Inter.Noise96, Book1, pp. 149~154
- Jens Trampe Broch, 1984, "Mechanical Vibration and Shock Measurement"
- (3) Ewins, D. J., 1995, "Modal Testing : Theory and Practice," Research Studies Press Ltd.
- (4) RMS 테크놀러지(주), 2000, "H-전자산업(주) 격자보와 재진대의 동적 특성 분석, 평가 및 진동저감대책", RMS테크놀러지(주) 기술용역보고서
- (5) 백재호, 이흥기, 김강부, "칩마운트(SMD) 장비의 동하중(動荷重) 발생특성에 관한 연구", 한국소음진동공학회 추계 학술대회 논문집, 2000. pp. 1913~1917
- (6) Swanson Analysis System Inc., "Ansys Dynamic User's Guide for Revision 5.0," 1993.