# 정밀기기의 진동 저감 연구

임 경 화*
(한국기술교육대 제어시스템공학과)

## 1. 머 리 말

'한국기술교육대학교 진동제어연구실'은 광디스크 드라이브(optical disc drive)를 비롯한 정밀기기에서 발생하는 여러 가지 신호를 측정 및 분석하여, 기계의 동특성 파악과 함께 진동저감을 할 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하고 있다.

연구 분야는 광디스크 드라이브에 관련된 동특성 파악 및 진동저감대책 연구와 일반 산업현장에서 발생하는 진동 문제점을 해결하는 연구로 나눌 수 있다.

1980년대 후반부터 국내 산업계에서 개발하다가 최근 국내 학계에서도 많은 관심을 가지고 연구하고 있는 광디스크 드라이브는 21세기 정보화 시대에 필요한 정보저장장치 중에 하나이다. 기존 정보저장매체인 하드디스크 드라이브와는 달리 탈착식(removable type)이 가능하므로 영화, 게임, 대용량 데이터 등의 휴대용 저장에 많이 활용되고 있다. 광디스크 드라이브의 발전 방향 중에 하나인 고밀도 광기록/재생을 위해서는 드라이브의 진동문제, 광픽업(optical pick-up)의 액추에이터(actuator) 동특성, 초정밀 제어 등을 고려한 설계 및 제작 기술을 연구하고 있다.

다른 연구 분야인 산업정밀기기의 진동문제점 분석 연구는 천안공단에 위치하고 있는 반도체장비업체등을 포함한 기업체들의 애로점을 해결하는 데 목적이 있다. 대부분은 기존의 모드시험(modal test)기술을 통하여 진동 문제점을 분석하고, 진동저감을 위한 대책을 제시하는 형태로 진행되고 있다.

또한 학교 특성을 고려하여 실험실의 활동을 연구영역으로 국한하지 않고, 학부 졸업작품 연구와 연계하여 밸런싱 장치, 가속도 센서, 능동방진제어장치 등의 진동 교육장비를 개발하고 있는 중이다.

## 2. 연구 분야

### 2.1 광디스크 드라이브에 관련된 연구 분야

(1) 근접장(near field) 기록용 서스펜션(suspension)과 슬라이더(slider)의 동특성 해석

초고밀도의 광디스크 시스템 개발 방법 중에 하나인 근접장 기록용(near field recording) 시스템에 대한 연구를 하고 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 근접장 기록방법은 기존 광디스크 시스템의 원거리 기록방법(far field recording method)에 비해 광픽업(optical pick-up)을 약 50~150 nm 정도로 광디스크에 매우 인접되게 위치시켜, 초고밀도 기록 또는 재생시키는 기록방법이다.

그림 2와 같은 근접장 광기록 방식의 초밀도 광디스크 시스템에서는 서스펜션을 비롯한 기계부품 개발기술이 매우 중요한 핵심기술이다. 그러나

* E-mail : rim@kut.ac.kr

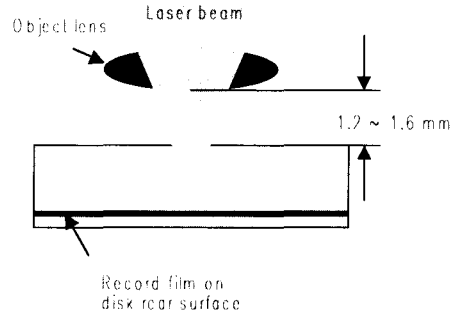
산업계에서는 기계부품의 안정성 등에 관련된 선행기술이 부족하여 근접장 광기록 시스템 개발에 어려움이 상당히 많다.

본 연구실의 연구내용은 슬라이더(slider)를 포함한 서스펜션의 설계기술 및 개발 기술 확보에 초점을 두고 있다. 서스펜션의 설계기술 개발로서, 근거리 광기록용 서스펜션 개발을 위하여 필요한 설계기술을 개발하였다. 또한 공동 연구하는 다른 교수의 슬라이더의 공기 베어링 해석프로그램과 연계하여 슬라이더의 동특성 해석과 함께 슬라이더 평가 프로그램도 개발하였다. 그림 3과 같이 서스펜션 설계, 슬라이더 최적설계 및 평가방법 등을 포함한 종합프로그램이 개발되어 있다.

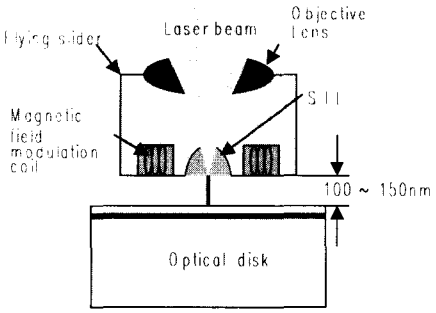
또한 MEMS(micro-electro mechanical system) 기술을 활용하여 초고밀도 광디스크 시스템의 트랙 제어용 초정밀 구동기(actuator)를 본교 반도체소자 연구실과 공동으로 개발하였다. 근접장 광기록용 서스펜션의 끝단에 탑재될 그림 4의 MEMS 구동기는 광경로를 제어할 수 있는 마이크로 미러 형태이고, 정전압으로 구동되는 구조를 가지고 있다.

(2) 광디스크 드라이브의 방진계 최적 설계

고배속·고밀도의 광디스크 드라이브 개발에서의 진동과 소음 문제는 광디스크 드라이브 개발의 심각한 장애로 대두되고 있다. 그래서 방진 부품은 중요한 부품 중에 하나이다. 현재 국내 광디스크 시스템에 방진재로 사용되는 방진고무는 외국업체 또는 외국업체 기술지원을 받는 국내업체에서 조달되고 있는 상황이다. 이에 국내 업체에 의한 부품 국산화가 시급한 실정이다.




(a) 원거리 광기록 방식




(b) 근접장 광기록 방식

**그림 1** 광기록 방식 비교

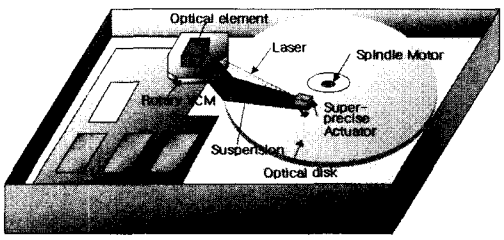



**그림 2** 초고밀도 광디스크 시스템

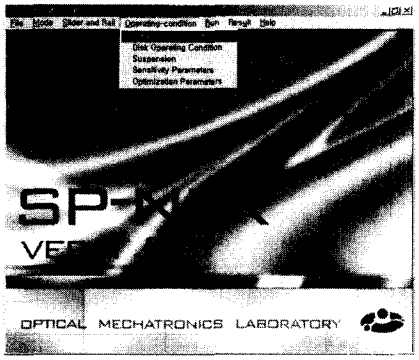



**그림 3** 서스펜션-슬라이더 프로그램

본 연구실에서는 DVD 드라이브에서 광픽업, 스핀들 모터를 포함한 기구물(deck)의 방진을 위하여, 방진고무를 설계하는 기술을 연구하고 있다. 최적의 방진고무의 설계를 위하여 DVD 드라이브에 대한 진동해석 모델을 수립하고, 내부진동과 외부진동을 고려한 목적함수를 설정한 뒤에 방진고무의 적절한 강성을 도출하였다. 적절한 강성을 가진 방진고무를 설계하기 위하여 비선형 유한요소법으로 모델링하여 방진고무를 설계하였다. 추후는 고무재료 특성에 대한 데이터를 확보하여 종합적 방진고무 설계기술 체계를 확보할 예정이다.

(3) 노트북 컴퓨터의 충격 향상 연구

최근에는 각종 전자제품들이 소형화되면서 휴대가능한 제품들이 시장에 많이 출시되는 관계로 취급상의 부주의로 인한 피해를 최소화하기 위해 제작사들은 충격성능에 각별한 신경을 쓰고 있다. 그래서 본 연구실에서는 연구내용을 크게 부품재료 특성파악과 함께 제품 충격시험을 하는 실험부분과 충격해석을 하는 수치해석 부분으로 나누어 수행하였다.

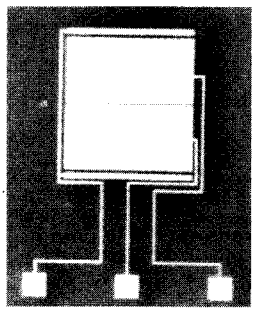
연구단계는 크게 두 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 drop시 기존의 설계에 의한 양산 제품상태에서 노트북 컴퓨터의 핵심부품인 광디스크 드라이브와 하드디스크(HDD)가 받는 충격가속도의 크기 및 문제점을 실험적, 해석적 방법으로 확인하는 단계이다. 그림 5는 LS-DYNA 충격해석 전용프로그램으로 해석한 예이다. 두 번째 단계는 이전 단계에서 구성된 모델을 baseline으로 하여 충격으로 보호하기 위한 성능개선 연구이다. 정보저장기기를 보호하기 위한 energy absorber역할의 주변부품 설계개선, 방진고무 및 방진부품에 대한 효과를 시뮬레이션을 통하여 검증하여 설계 개선안을 제안하였다.

### 2.2 산업 정밀기기에 관련된 연구 분야

실제 연구 효과가 있었던 과제중심으로 발췌하여 연구내용을 소개하고자 한다.

(1) Spin etcher의 진동저감

그림 6의 spin etcher는 식각(etching), 스트리핑(stripping), 세정(cleaning) 공정을 웨이퍼의 앞면과 뒷면에 동시에 처리하는 반도체 제조장비이다. 차세대 300 mm 웨이퍼 제작을 위하여 spin etcher의 회전체 헤드의 직경이 커지고 회전속도



(a) 마이크로 미러의 전극판

(b) 마이크로 미러의 평가

**그림 4** MEMS 형태의 마이크로 미러

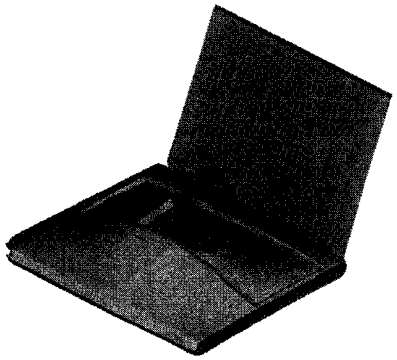


**그림 5** 노트북의 충격해석

가 증가하면서, 진동이 발생하여 여러 가지 문제를 유발하고 있다. 그래서 본 연구실에서는 차세대 300 mm 웨이퍼의 제조장비인 spin etcher의 진동을 진단하고 진동 저감 해결책을 제시하였다. 연구 방법은 그림 6의 실험장치를 이용하여 스펙트럼 분석(spectrum analysis)과 모드시험(modal test)을 통하여 진동의 원인을 분석하고, 유한요소법(finite element method)의 CAE 해석과 벨트 동특성 해석을 통하여 다른 진동요인도 분석하였다. 최종적으로 분석결과를 토대로 진동저감을 위한 spin etcher의 설계대책안을 제시하여, 최종적으로 성능향상을 확인하였다.

(2) 칩 마운트 시스템의 진동 저감

전자 칩(electronic chip)을 전자기판에 자동으로 조립하는 그림 7의 칩 마운트의 시스템에서, 공정 신속화를 위해 칩 탑재 속도는 매우 중요한 성능 중에 하나이다. 그러나 칩을 운반하는 헤드(head)가 빨라지면 구조 진동이 증가하게 된다.

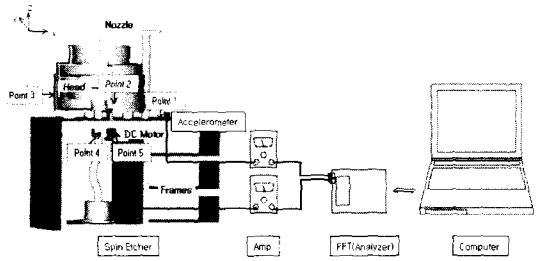



그림 6 Spin etcher의 진동 측정

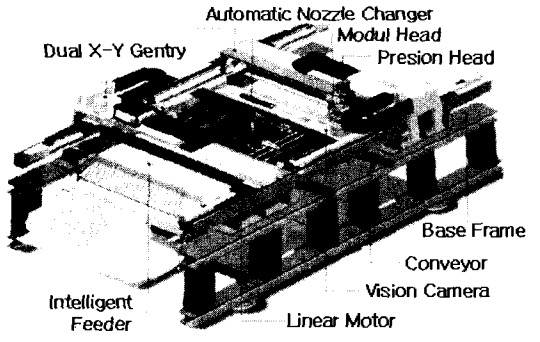



그림 7 칩마운트 시스템의 구조

본 연구의 목적은 그림 7의 칩 마운트 시스템 모델 중에 최근 모델인 고속 표면마운트장치(SMD, surface mount device) 시스템에 대해서, 현장 진동 문제점을 체계적으로 분석하고, 그것에 근거하여 진동 저감을 할 수 있는 대책을 강구하는데 있었다. 진동 분석은 정상 작동에서의 진동가속도 측정과 함께 모드매개변수(modal parameter)를 측정하였다. 그리고 측정결과를 근거로 하여 유한요소법(finite element method)으로 모델링을 한 뒤에 진동을 줄일 수 있는 구조설계를 변경하여 진동저감 효과를 확인하였다. 또한 진동원(vibration source)인 헤드 거동의 가속도 형태에 대한 적절성을 확인하기 위하여 수치적으로 다른 가속도 입력 형태를 가진 헤드 거동과 비교하여 최적의 형태를 제시하였다.

(3) 소실모형주조용 진동장치의 개발

소실모형주조법(expendable pattern casting process)은 발포 폴리스틸렌(expanded polystyrene)으로 주물형상으로 성형한 후, 이를 점결제가 들어있지 않은 건조된 주물사 속에 매설한다. 그리고 모형에 직접 용탕을 주입하여, 그 소실된 공간에 용탕이 충진되어 응고됨으로써 주물을 얻는 신주조공법이다. 이러한 소실모형주조법에서는 무리한 힘을 가하지 않으면서 주물사의 양호한 충전을 위해서 그림 8과 같은 진동테이블을 이용

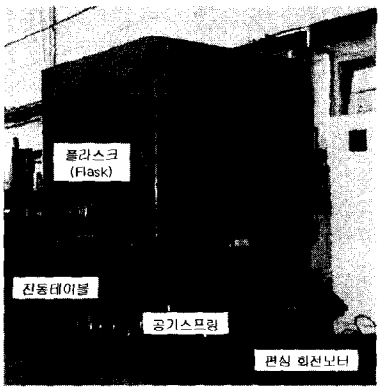



그림 8 소실모형주조장치

하여 충전시키고 있다.

본 연구에서는 소실모형주조용 진동장치를 개발하기 위해서, 관련 동특성 평가방법과 설계기술을 개발하고 있는 중이다. 모드시험을 통해 소실모형주조용 진동장치의 동특성을 파악하여 주물사 외향현상을 방지할 수 있는 대안을 제시하였다. 이를 토대로 향후 소실모형주조용 진동장치의 설계를 개선을 하고 있는 중이다.

### 2.3 진동교육장비 개발

본교에서는 학부생 3학년부터 졸업작품에 대한 사전조사와 함께 학부 4학년부터 본격적으로 실제 기계시스템을 설계 및 제작하는 프로그램을 진행하여, 실천공학의 공학도가 되도록 교육하고 있다. 이에 본 실험실은 수년간 졸업작품을 통하여 진동제어 교육에 적합한 교육장비들을 개발하고 있는데, 개발된 장비 중에 최근 작품을 소개하고자 한다.

(1) 밸런싱 교육장비

그림 9와 같이 밸런싱을 위하여 밸런싱 진단장치와 함께 단면/양면 밸런싱이 가능하도록 프로그램 알고리즘을 구현하였다. 또한 기존 FFT 장비를 활용할 수 있는 신호처리 기술을 개발하였고, GUI환경을 구축하여 초보자라도 쉽게 밸런싱의 개념을 이해할 수 있도록 하였다. 본 작품은 2002년 대학생·중소기업 창의적종합설계 경진대회에서 창작상을 수상한 바이다.

(2) 능동방진용 교육장비

그림 10의 능동방진용 교육장비를 개발하였다. 2자유도 현가시스템에 불평형 질량을 가진 DC모터를 회전시켜 외란을 발생시킨 뒤, 변위 센서를 통하여 제어오차를 측정하여 비례미분 제어기(PD controller)와 출력증폭기(power amplifier)에 의해 마그네틱 구동기로 적절한 제어력을 내보냄으로써 실시간으로 변하는 진동 변위를 능동적으로 제어하는 장치이다.

(3) 교육용 가속도 센서 및 스트레인 증폭기 개발

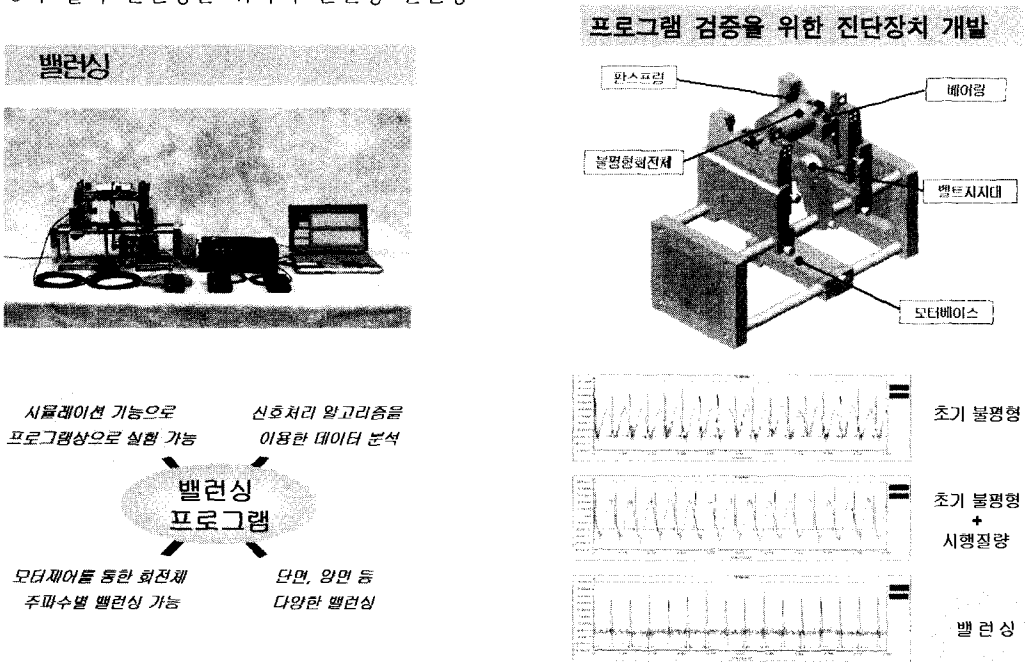



그림 9 밸런싱 진단장치 및 프로그램

현재 상용되고 있는 가속도 센서는 값이 비쌀 뿐만 아니라, 별도의 증폭기도 필요로 한다. 이러한 이유로 학습현장에서 가속도 측정 실험을 하는데 어려움이 있다. 따라서 저가격의 스트레인게이지형 가속도 센서와 증폭기 회로를 개발하고 있다.

## 3. 연구실적

진동제어연구실이 1998년 문을 연 이후로 국내 학술지인 한국소음진동공학회를 비롯하여, 대한기계학회, 한국센서학회, 한국주조학회 등의 국내외 학회에 25편의 논문을 게재 및 발표하였다. 또한 과제 수행을 통하여 국내외 10건의 특허등록을 하였다.

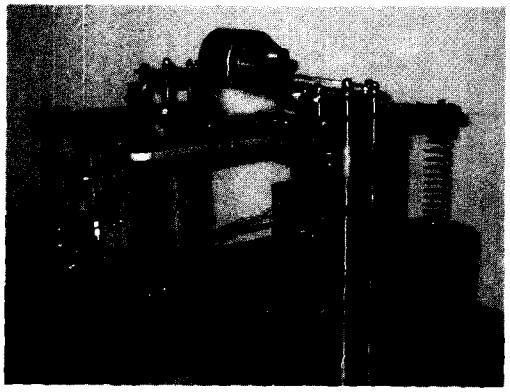


그림 10 능동방진제어장치

## 4. 맺 음 말

한국기술교육대학교 진동제어연구실 근처의 학교 정원에 본 연구실에서 심은 쟈스민 나무가 있다.(사진 1) 작은 쟈스민은 청초한 꽃 모양이 의외라고 할 정도로 뛰어난 아름다움을 지니고 있다. 이처럼 진동제어연구실은 짧은 역사를 뛰어넘어 지도교수와 대학원생, 학부생들이 하나로 뭉쳐 최선을 다하여 향후 무궁한 발전이 있으리라 기대된다.

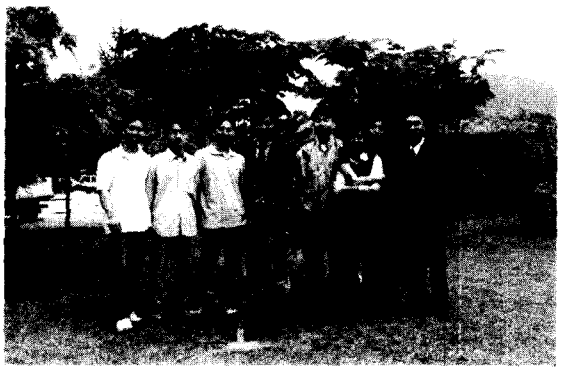


**사진 1** 실험실의 식수 기념사진

연구실홈페이지 : w3.kut.ac.kr/~vicon