

한국과학기술원 산학협동단기강좌

# 나노 구동 및 측정 시스템 : 설계 및 실험

## Nano-Precision Actuation & Measurement Systems : design and experiments

일시 : 2005년 1월 26일(수) ~ 28일(금)

장소 : 한국과학기술원 기계공학동

주관 : 한국과학기술원 기계공학과

강좌책임교수 : 김 승 우

### 인사말

매년 겨울마다 '나노 구동 및 측정 시스템'이라는 제목으로 산학협동 단기강좌를 진행해 온지 이번이 7번째가 되는 해입니다. 최근의 한국의 국내산업은 노동집약적인 단계에서 벗어나 기술 집약적인 고부가 가치산업으로 급속히 발전하고 있습니다. 여기서 주지할 사항은 현재 국내산업의 주축을 이루는 반도체산업, 광학부품 소자가공산업, 고밀도 정보저장장치산업, 초정밀 재료 가공산업, 초정밀 측정/검사장비산업, 초정밀 센서 및 액추에이터 산업 등은 모두 나노 시스템 설계 및 구동기술을 기반으로 하는 첨단 산업이라는 점입니다. 이러한 급속적인 발전을 거듭하는 나노 시스템 관련산업은 선진국의 기술보호장벽이 높아서 선진 기술을 습득하기 어려울 뿐 아니라 반도체장비, 정보저장장치 등 한국이 세계시장을 선도하는 분야에서는 초정밀 장치산업의 국산화는 더욱 절실한 상황이라 할 수 있습니다. 나노 시스템의 국산화는 과거와 같이 일방적 모사, 모방형태로만 이루어질 수 없으며 관련 핵심기술을 정확히 이해하는 데서부터 출발합니다.

이번에 준비한 본 강좌는 현장중심의 실질적인 교육을 통하여 관련분야 기술자의 핵심기술에 대한 이론뿐 아니라 실제적인 응용능력을 배양하는데 중점을 두었습니다. 이를 위해 강좌의 내용을 좀 더 기초기술 중심으로 개편하였습니다. 이와 동시에 실험 내용을 보강하여 수강자로 하여금 실제 실험을 통하여 나노 구동 및 측정에 대한 깊이 있는 실제적 이해를 돕고자 합니다. 그리고 전체의 강좌를 좀 더 체계 있게 운영하고자 과거의 두 강좌 동시 진행에서 단일 강좌의 진행 방법으로 전환하였습니다. 또한 강사 및 참석자 여러분들간의 기술 및 정보교환의 좀 더 적극적인 기회를 마련하고자 합니다.

끝으로 본 강좌가 여러분들의 앞으로의 연구개발 업무에 많은 도움이 될 수 있기를 희망하며 향후 매년 개최되는 본 강좌에 지속적인 관심과 성원을 부탁드립니다. 그리고 강좌 준비에 노고가 많은 카이스트의 구성원들에게 감사드립니다.

2004. 12. 1  
강좌책임교수 김 승 우

### 강의시간표

	1월 26일 (수)	1월 27일 (목)	1월 28일 (금)
9:00	강좌 소개	A2	A3
10:00	A1 광학측정의 원리 및 응용 (김승우, 김학용)	초정밀 변위 및 형상 측정 (김승우, 오정석)	기계시스템 구동오차 측정 및 보정 (김승우, 유승봉)
13:00	중식		
14:00	B1 Flexure Motion Guide 설계 및 PZT 구동 (류재욱)	B2 초정밀 전자기(VCM) 시스템 설계 및 구동 (이성규)	B3 초정밀 시스템 설계 일반 (권대갑)
18:00	석식		
19:00	공개실험 B-1	공개실험 A-1,2,3,4 B-2	공개실험 A-1,2,3,4
21:00	공개실험 B-1	공개실험 A-1,2,3,4 B-2	공개실험 A-1,2,3,4

**공개실험A** (김승우 교수님 연구실, 1 Set 씩)  
 A-1 : Twyman-Green 간섭계를 이용한 두께 및 변위 측정  
 A-2 : 여러 간섭계를 이용한 삼차원 형상 측정  
 A-3 : 레이저 간섭계를 이용한 변위 측정  
 A-4 : 스테이지의 1, 2차원 자가보정  
**공개실험B** (권대갑 교수님 연구실, 2 Set 씩)  
 B-1 : PZT와 Flexure guide를 이용한 시스템 구동  
 B-2 : VCM과 판 스프링을 이용한 시스템 구동

강 의 실 : 기계공학동 1층 계단강의실  
 공개실험A : BUPE동 및 강의실  
 공개실험B : N-9 실습동 4150호  
 중식·석식 : 교내 학부식당

## 강사소개

강좌책임자 : 김승우  
 한국과학기술원 기계공학과 교수  
 정밀/측정 연구실 (<http://pem.kaist.ac.kr>)  
 Tel : 042-869-3217, E-mail : [swk@kaist.ac.kr](mailto:swk@kaist.ac.kr)  
 전공분야 : 삼차원 표면형상측정, 초정밀 위치측정 및 제어

강사 : 권대갑  
 한국과학기술원 기계공학과 교수  
 나노 옴토-메카트로닉스 연구실 (<http://nom.kaist.ac.kr>)  
 Tel : 042-869-3225, E-mail : [dggweon@kaist.ac.kr](mailto:dggweon@kaist.ac.kr)  
 전공분야 : 초정밀 구동 시스템, 초정밀 측정 시스템

강사 : 김학용  
 한국과학기술원 기계공학과  
 E-mail : [forgood@kaist.ac.kr](mailto:forgood@kaist.ac.kr)  
 전공분야 : 광학계 평가 및 측정, 형상측정 간섭계 개발

강사 : 류재욱  
 하이소닉(Hysonic)  
 E-mail : [zeuk@hysonic.com](mailto:zeuk@hysonic.com)  
 전공분야 : 초정밀 구동 시스템, 카메라 폰 액츄에이터 개발

강사 : 오정석  
 한국과학기술원 기계공학과  
 E-mail : [ojs6114@kaist.ac.kr](mailto:ojs6114@kaist.ac.kr)  
 전공분야 : 초정밀 변위 및 형상 측정, 초정밀 구동 시스템

강사 : 이성규  
 한국전자통신연구원(ETRI)  
 E-mail : [hermann@etri.re.kr](mailto:hermann@etri.re.kr)  
 전공분야 : 초정밀 구동 시스템, 근접광학 정보저장기기 개발

강사 : 유승봉  
 ㈜ 인텍플러스  
 E-mail : [seungbong@intekplus.com](mailto:seungbong@intekplus.com)  
 전공분야 : 초정밀 구동 시스템, 스테이지 운동오차 보정

## 강의내용

### ◆1월 26일 (수)

**A1 : 광학 측정의 원리 및 응용** (김승우, 김학용)  
 본 강좌에서는 공학자에게 필요한 광학의 기본적인 이론과 광학 부품들에 대해 배우고 이를 바탕으로 기초적인 광계측 원리에 대해서 다룬다. 광학의 기본 이론으로 기하광학에서는 광의 굴절과 반사법칙 그리고 각종 수차이론을, 파동광학에서는 간섭과 회절현상을, 그리고 전자기광학에서는 빛의 편광과 매질의 관계를 규명하는 전자기이론에 대해 간략히 설명한다. 광학 부품들에서는 현재 광계측 분야에서 많이 쓰이는 레이저, 렌즈, 광섬유, 카메라 등에 대해 설명한다. 광계측에서는 Twyman-Green이나 Michelson 간섭계 등 기본적인 광간섭계에 대해서 배운다.

- Fundamentals of geometrical optics
- Fundamentals of wave optics
- Fundamentals of electromagnetic optics
- Introduction to optical components
- Introduction to basic interferometry

**B1 : Flexure Motion Guide 설계 및 PZT 구동**(류재욱)  
 나노정밀도 구동시스템에서는 액츄에이터의 구동분해능도 중요하지만 Motion Guide의 성능이 moving part의 위치정밀도에 결정적인 역할을 한다. 나노구동용 guide는 마찰이 없어야 가능하기 때문에 무마찰 guide로는 공기베어링, 마그네틱베어링 등이 있으나 1mm 이하의 단행정 guide로는 대부분 flexure motion guide를 사용하며 이러한 단행정, 나노 motion guide의 수요는 매우 많다. 단행정 나노 motion guide 설계는 parasitic motion을 최소화하고 PZT bandwidth와 유사한 정도의 고속운동이 가능하도록 고유진동수를 최대화 하는 방향으로 최적설계가 되어야 하며 그 외 열적문제를 보상해 줄 수 있도록 대칭형으로 설계하고 구조를 간단하게 하는 등 여러 가지 고려사항들이 있다. 본 강좌에서는 Flexure Motion Guide의 계념설계에서부터 모델링기법, 최적설계에 대한 내용을 다루며 이해를 돕기위해 간단한 예제를 함께 다룬다.

- Hinge guide mechanism
- Leaf spring guide mechanism
- Generalized flexure model
- Static and dynamic characteristics
- Optimal design

### ◆◆1월 27일 (목)

**A2 : 초정밀 변위 및 형상 측정** (김승우, 오정석)  
 본 강좌에서는 변위와 형상 측정에 대한 다양한 원리들을 설명하고 이들의 산업적 응용에 대하여 소개한다. 변위 측정에서는 게이지블록을 포함한 제반 기계적 원리와 응용에 대해 소개하고 인덕턴스와 정전용량형 센서를 포함한 전기적 변위 측정의 원리에 대해 설명한다. 또한 광학식 변위측정으로 광학스케일과 레이저 간섭계를 설명한다. 형상측정에서는 측정식에서부터 레이저와 백색광을 이용한 다양한 간섭계들의 기본 원리와 장단점에 대하여 설명한다. 그리고 나노테크놀로지 분야의 측정을 위한 전자주사현미경(SEM), 근접장광학현미경(NSOM), 그리고 원자력현미경(AFM)의 원리와 응용에 대해 설명한다.

- Fundamentals of length and displacement measurement
- Gauge blocks and mechanical measurement
- Electrical measurement techniques
- Optical encoders & laser interferometers
- Ultra-precision surface metrology

**B2 : 초정밀 전자기(VCM) 시스템 설계 및 구동** (이성규)  
 전자기력을 이용한 VCM 설계 및 나노 구동에 대하여 소개하고 산업에서의 응용과 최근 NT, BT에서의 활용에 대해 알아본다. CD, DVD, HDD 등의 정보저장장치, 반도체용 초정밀 스테이지 등에서의 핵심 구동부로 사용되는 VCM의 특징과 설계방법에 대해 소개한다. 초정밀 나노 구동을 위한 전자기의 기본원리와 VCM 설계 시 해석적 방법으로 사용되는 퍼미언스법(Permeance method)에 대해 소개하고 전자기 구동에 적용하여 최적설계를 수행한다. 옴(Ohm)의 법칙과 유사한 퍼미언스법의 적용해 자기회로의 원리를 이해하고 이를 이용한 VCM의 구조 설계와 해석 그리고 구성요소인 자석, 요크, 코일의 특성 및 선택 방법에 대해 소개한다. 아울러 구동 정밀도와 응답속도를 향상시키기 위한 시스템 제어에 대해 소개한다.

- Fundamentals of electromagnetic system(VCM)
- Permeance design method for electromagnetic system(VCM)
- Optimal design
- Precision control of electromagnetic system(VCM)

### ◆◆◆ 1월 28일 (금)

**A3 : 기계시스템 구동오차 측정 및 보정 (김승우, 유승봉)**  
 기계시스템은 가공의 불완전과 열변형을 포함하는 다양한 요인에 의해 원하는 완전한 구동으로부터 오차를 갖는다. 이러한 오차는 단일 구동축일 경우 6자유도의 성분을 갖고 있고, 세 개 이상의 축으로 구성된 다축 기계시스템의 경우 기하학적 오차가 추가되어 매우 복잡한 형태의 오차를 갖게 된다. 초정밀 기계시스템을 구현하기 위하여서는 설계 제작된 각 구동축과 스피들이 갖고 있는 개별적인 구동오차에 대한 정확한 측정과 평가가 요구되며, 본 강좌에서는 이에 요구되는 세부적인 측정 방법들과 이로부터 얻어진 측정 데이터로부터 구동 오차를 분석하는 방법에 대하여 설명한다. 또한 구동오차 중 반복적인 시스템오차는 적절한 방법을 통해 보상이 가능하며 반전법에 근거한 구동오차 보정에 대하여 강의한다.

- Kinetic and geometrical machine errors
- Laser interferometers for machine error measurement
- Automatic measurement of machine errors
- Self-calibration of machine errors
- Compensation of machine errors

**B3 : 초정밀 시스템 설계 일반 (권대갑)**  
 나노 구동/측정시스템은 액추에이터, 위치 feedback 센서, 운동을 guide 해주는 정밀 Motion guide 및 coupling mechanism, 그리고 이들을 정밀하게 결합시키고 외란의 영향을 줄여주는 frame 등으로 구성된다. 이러한 초정밀 시스템이 완성되기까지는 대개 설계, 제작, calibration 과정을 거치게 된다. 제작기술이나 calibration 및 보상기법의 한계를 보완할 수 있는 나노 정밀도 시스템 설계 기술이 필요하다. 특히, system stiffness, 외관, 대칭성, kinematic design, loop separation, monolithic 구조 등 고려되어야 할 사항과 기본적으로 지켜야 할 원칙들이 지켜져야 한다. 구체적으로, 시스템의 정밀도를 향상시키기 위하여 액추에이터 및 센서의 정밀도 향상도 필요하지만 motion guide, coupling mechanism, frame 이 초정밀 시스템에 맞게 설계되어야 한다. 본 강좌에서는 kinematic design 기법, 이를 기초한 정밀 guide 및 coupling mechanism 설계기법, 열 및 진동과 같은 외란을 효과적으로 제거해주기 위한 frame 설계 및 외란보상기법 등이 다루어진다.

- Definition of precision
- Design principles for high precision system
- Kinematic design
- Precision guide mechanisms
- Kinematic coupling
- Vibration effects
- Thermal effects

### ◆ 공개실험A (담당 : 김승우 교수님 연구실)

**A-1 : Twyman-Green 간섭계를 이용한 두께 및 변위 측정**  
 렌즈와 거울, 카메라 등 기본적인 광학 부품을 이용하여 구성한 Twyman-Green 간섭계에서 유리판의 두께 측정과 거울의 변위 측정 방법을 볼 수 있다.

**A-2 : 여러 간섭계를 이용한 삼차원 형상 측정**  
 수업시간에 배운 백색광 간섭계, Fizeau 간섭계, 모아레 간섭계 등 삼차원 형상측정 장비들의 실제 구동하는 모습을 볼 수 있다.

**A-3 : 레이저 간섭계를 이용한 변위 측정**  
 기계시스템의 구동 변위를 측정하기 위한 레이저 간섭계의 설치방법을 배우고 실제로 이동거리와 각도 등을 측정해 본다.

**A-4 : 스테이지의 1, 2차원 자가보정**  
 1, 2차원 보정시편과 자가보정 이론을 이용하여 스테이지의 계통오차(systematic error)를 구하는 과정을 볼 수 있다.

### ◆ 공개실험B (담당 : 권대갑 교수님 연구실)

**B-1 : PZT와 Flexure guide를 이용한 시스템 구동**  
 Multilayered PZT actuator와 Nano-guidance mechanism 인 Notch type Flexure hinge guide 및 Capacitive gap sensor를 이용하여 Nano 구동 시스템을 Feedback ON/OFF(Labview 이용) 환경하에 정, 동 특성 실험을 수행한다.

**B-2 : VCM과 판 스프링을 이용한 시스템 구동**  
 Non-contact actuator인 Linear VCM(Voice Coil Motor) 구동기와 Leaf Spring Type Guide 및 Capacitive gap sensor를 이용하여 전자기 구동 시스템을 Feedback ON/OFF(Labview 이용) 환경하에 정, 동 특성 실험을 수행한다.

## 문의처

전 화 : 042-869-3217 (김승우 교수)  
 042-869-8206 (사무원 : 김미영)  
 042-869-8221 (담당학생 : 주지영)

팩 스 : 042-869-5217

홈페이지 : <http://pem.kaist.ac.kr/~nano2005>

E - mail : nano2005@pem.kaist.ac.kr

주 소 : 대전시 유성구 구성동 373-1,  
 한국과학기술원, 기계공학과, 정밀/측정연구실

## 수강안내

### 등록기간

2005년 1월 3일(월) ~ 15일(토)

### 수강료

일반 : 400,000원, 학생 : 250,000원

(교재비, 중·석식 포함)

- 본 강좌는 노동부 지정 "직업능력개발사업"에 해당되지 않으므로 교육비 일부 환급이 불가능합니다.

### 수강신청

은행입금 : 2005년 1월 3일(월) ~ 15일(토)

계좌번호 : 우리은행 270-003359-13-137

(예금주 : 한국과학기술원)

- 수강자 이름으로 입금하신 후, 참가신청서를 Fax(042-869-5217) 또는 E-mail(nano2005@pem.kaist.ac.kr)로 보내주시시오. (학생은 학생증사본 또는 재학증명서첨부)

- 세금계산서 발행은 소속기관의 사업자 등록증 사본을 제출하셔야 가능합니다.

### 수강 인원

수강 인원에 제한은 없으나 공개실험B의 경우 실험장비가 고가인 관계로 충분한 실험세트 구비에 어려움이 있어 선착순 50명(일반:30명, 학생:20명)을 초과하는 인원에게는 직접적인 참여가 불가능하고 참관만 가능하오니 양해해 주시기 바랍니다.

\*본 내용은 홈페이지(<http://pem.kaist.ac.kr/~nano2005>)에서도 확인가능합니다.

## 산학협동단기강좌 참가신청서

참가자 성명		구분	일반( ) 학생( )
소속 기관명			
전화		E-mail	
입금자명		입금일	

등록기간 : 2005년 1월 3일(월) ~ 15일(토)

수강료 : 일반 : 400,000원, 학생 : 250,000원 (교재비, 중·석식 포함)

- 본 강좌는 노동부 지정 “직업능력개발사업”에 해당되지 않으므로 교육비 일부 환급이 불가능합니다.

은행입금 : 2005년 1월 3일(월) ~ 15일(토)

계좌번호 : 우리은행 270-003359-13-137 (예금주 : 한국과학기술원)

-수강자 이름으로 입금하신 후, 참가신청서를 Fax( 042-869-5217 ) 또는 E-mail( nano2005@pem.kaist.ac.kr )로 보내주시시오. (학생은 학생증사본 또는 재학증명서 첨부)

- 세금계산서 발행은 소속기관의 사업자 등록증 사본을 제출하셔야 가능합니다.