

# 동역학 및 제어부문

부문위원장 : 박 영 필(연세대학교, 교수)

## 동역학

2001년도 동역학 분야에서는 크게 구조동역학, 다물체동역학, 회전체동역학, 그리고 시뮬레이터 개발에 관한 연구가 진행되었다.

### 구조동역학

구조동역학 해석 분야에서는 정유압 기계식 변속장치의 동력전달 특성에 대하여 새로운 네트워크 해석 알고리즘을 적용하고 실험결과와 비교하여 그 유효성을 검증하는 연구가 진행되었다. 또한 배선용 차단기 기구부의 전자기력의 영향을 포함한 동역학적 모델을 개발하여 그 동작의 특성을 해석하는 연구가 수행되었다.

### 다물체동역학

다물체동역학 분야에서는 실시간 다물체차량동역학 모델을 개발하고 그 해석 프로그램을 구축하여 현가장치 복합조인트나 조향장치 등을 포함시킨 모델의 실시간 해석에 대한 연구가 진행되었다.

## 회전체동역학

회전체동역학 분야에서는 능동 제어 유체 윤활 베어링으로 지지되는 축-베어링 계에 대한 불균형 응답과 안정성을 수치해석을 통하여 평가하는 연구와 축의 굽힘효과를 고려한 회전체에 장착된 자동평형장치에 대한 회전 안정성과 시간응답 분석에 대한 연구 등이 수행되었다.

### 시뮬레이터 개발

시뮬레이터 분야는 현재 차량 시뮬레이터에 대한 연구가 가장 활발하게 이루어지고 있다. 특히 감성공학을 이용하여 현실감을 개선시키는 연구가 진행되고 있다. 일반적인 승용차 외에 굴착기, 자전거 등에 대한 시뮬레이터도 연구되고 있으며, 항공기 시뮬레이터로는 최초 국산 항공기인 KT-1의 훈련을 목적으로 한 양산용 시뮬레이터가 개발되고 있다. 이에 따라 항공기 조정면 부하 재현장치의 운동특성 해석에 대한 연구가 수행되었다. 또한, ADAMS와 같은 상용 소프트웨어로 개발된 컴퓨터 모델을 이용한 대형 트럭

의 승차성능 평가에 관한 연구도 수행되었다.

## 진동

2001년도에 발표된 진동분야의 연구논문들은 복합재료의 특성에 대한 진동 특성 및 최적화, 회전체의 동특성해석 그리고 충격현상에 대한 해석과 더불어 구조물에 대한 연구들이 수행되었다. 단순한 모델의 진동해석이 아닌 더욱 정밀한 요소에 대한 고려와 최적화 기법 및 실험적 고찰을 통해 실제 특성과 가장 가까운 해석적 연구를 수행되었다.

### 복합재료 진동

자동차, 항공기, 잠수함 등에 사용되는 복합재료는 그 기계적 특성이 우수하여 많은 관심을 보이고 있다. 복합재 티모셴코 보의 연성진동 등 복잡한 자유도를 가진 모델에 대한 정확한 해법 연구 및 원통셀의 과도해석에서부터 3차원 보강 모재나 고무재료의 진동 특성에 이르기까지 여러 분야에 대한 다양한 연구들이 수행되었

다. 또한 기존의 연구들에 비해 더욱 향상되고 더욱더 최적화된 기법을 통해서 더욱더 정확한 특성 연구가 진행되었다.

### 구조 진동

구조진동 분야에서는 지지 구조물의 진동특성을 고려한 회전축에 대한 연구와 더불어 자기장 등의 영향까지 고려하는 심도 있는 연구가 수행되었다. 지지 구조물의 특성을 포함하고 외부 가진 요소들이 모델에 포함됨으로써 더욱 고차원화 된 모델을 통해 정확한 구조물의 특성과악이 용이하게 되었고, 이러한 다양한 요소에 대한 고려를 통해서 더욱더 실질적으로 활용 가능한 연구들이 수행되었다.

### 회전체 진동

축대칭 구조물은 대개 회전체 역할을 하며, 이러한 회전체는 회전에 의한 원심력이라는 요소 때문에 그 해석의 어려움이 있다. 그러나 이 분야에 대한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 회전 외팔보에 대한 유한요소해석에서부터 회전하는 링의 비선형성해석에 이르기까지 회전체 역할을 하는 분야에 대한 심도 있는 해석이 진행되었다. 또한 이러한 해석과 더불어 실린더 등과 같은 모델에 대해서는 기존의 접촉식 가속도계를 이용한 진동해석이 아닌 홀로그래프를 이용한 3차원의 비접촉식 실험을 통한 고찰까지 향상된 기술을 보여주고 있다.

### 일반기계 진동

이 분야에서는 볼트 결합부의 수학적 모델과 모드합성 및 부분 구조에 대한 유한 요소해석을 하였으며, 압전 비틀림 변환기에 대한 고유진동수와 진동특성이 이루어졌다. 그리고 구조 세라믹에 경사충격 해석과 같은 발전된 연구를 보여주었다. 그리고 속도 경계 제어를 통한 주행 현의 진동 연구, 인공 생명 알고리즘의 최적화같은 다양한 분야에 대한 특성 파악이 이루어졌다.

## 제어

기계시스템이 보다 정밀화, 고속화 됨에 따라 시스템에 대한 정밀한 제어는 현대기계시스템에 대해 필수적인 요소이다. 지난 1년간의 기계분야에서의 제어와 관련된 논문을 분류하면 여러가지로 분류할 수 있겠지만, 응용분야 및 성격에 따라 다음과 같이 크게 진동제어, 비선형제어, 퍼지제어, 고등제어의 응용 그리고 기타로 분류하였다. 발표된 대부분의 논문이 진동제어의 대한 논문이 주를 이루었으며, 기타 다양한 분야에 대한 논문들이 발표되었다. 각 항목에 대한 연구동향을 간략히 정리하면 다음과 같다.

### 진동제어

진동제어의 경우 간단한 구조물의 진동제어나 크레인과 같은 대형 구조물에 대한 진동제어가 주종을 이루었으며, 대다수의 논문들이 능동진동제어에 초점이 맞추어졌다.

구조물의 능동진동제어의 활용

에는 여러 분야에서 찾을 수 있다. 능동진동제어 시스템의 경우 크게 작동기와 감지기 등 두 부분으로 나누는데 이것에 대한 적절한 배치에 대한 답을 얻기 어렵다. 따라서 보다 효율적인 진동제어를 위해 유전자 알고리즘과 압전작동기를 이용하여 분포작동기의 최적위치 및 크기를 찾고자 하는 논문을 찾아볼 수 있었다. 또한 대형 구조물인 크레인에 대한 진동제어에 대한 연구들도 활발하게 진행되었다. 크레인의 경우 흔들림에 대한 제어가 매우 중요하지만 크레인의 자유도가 제어 입력의 수보다 적기 때문에 제어에 어려움을 겪게 된다. 제안된 논문의 경우 권선/권하를 하면서 이동하는 3차원 천정 크레인에 대하여 Fuzzy 무진동제어 시스템을 설계하고 실험을 통하여 제어성능을 검증하였다. 현재까지 개발된 무진동제어 로직은 제어성능을 보장하기 위하여 이송물의 흔들림 진폭이 작으며, 권상/권하 속도가 낮고 권상/권하 거리가 작아야 하는 구속조건이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Lyapunov 안정이론을 기초로 점근안정성을 보장하고 모든 내부신호의 크기를 제한하는 기법을 이용하여 최소시간 제어 및 무진동제어를 기초로 설계하여 최소시간 제도를 구현하는 방법을 제시하는 논문이 발표되었다. 천정크레인의 모델링의 경우, 모터의 전달함수 및 뉴턴의 운동법칙으로부터 크레인의 동특성을 기술할 수 있는 크레인의 비선형 모델을 유도하는 방법이 제시되었으며, 이를 토대로 크레인의 위치를 제어할 수 있

는 비선형 최적제어방법을 제시한 뒤, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 크레인 위치제어의 타당성을 검증하였다.

### 비선형제어

비선형 제어이론의 하나인 슬라이딩 모드 제어를 통하여 밀링 공정의 절삭력을 제어하는 연구결과가 보인다. 강인제어기인 슬라이딩 모드 제어기는 불확실성이나 모델링되지 않은 동역학이 존재하지 않는 경우 효율적이며, 시스템의 안정성 및 성능의 유지 측면에서 많은 장점을 가지고 있다. 제안된 논문의 경우 절삭력제어 시스템 개발을 위해 전류센서를 이용한 이송모터의 전류감시를 통한 간접적인 절삭력 측정을 행하였고, 이를 토대로 하여 슬라이딩 모드 제어를 설계하고 이를 실험적으로 검증하였다. 또한 비선형 제어의 응용의 하나로 슬라이딩 모드 제어를 축방향 주행현의 진동제어에 응용한 연구사례도 있다. 축방향으로 주행하는 현과 그 경계 사이에 발생하는 에너지 유동을 이용하여 축방향 주행현의 진동에너지를 감소시킴으로써 계를 안정화할 수 있는 횡진동 제어를 슬라이딩 모드 제어를 통해 구현하였다.

### 퍼지제어

퍼지제어의 경우 수학적인 정의가 어렵거나 불확실한 정보를 가지고 있는 복잡한 장치를 제어하는데 많이 사용된다. 퍼지제어 규칙을 회전체진동에 적용하여 마그네틱 댐퍼를 이용한 유막 베어링

을 갖는 회전체진동의 저감 기법 및 가능성에 대한 연구가 행해졌으며, 이 연구에서 이외에 적응 퍼지제어기를 이용하여 분산 multi vehicle의 컬러인식을 통한 물체 이송에 대한 연구도 찾아볼 수 있다. 물체의 컬러식별을 통한 물체 이송 vehicle을 통하여, 색상 식별을 통한 물체인식 및 물체이송 방법을 제시하였고 국소지역에 분산된 멀티 에이전트 시스템을 운영하기 위한 방법으로 분산제어기법을 적용하여 효과적인 시스템 운영을 추구하였다. 또한 물체의 색상 식별을 위하여 적응식 퍼지 제어 알고리즘을 적용하여 주변 조도에 영향을 받지 않는 알고리즘을 개발하고 그 성능을 평가하였다.

### 고등제어의 응용

기존의 고전적인 제어기법인 PID나 위상앞섬, 위상뒤집보상기 이외에 현대 제어공학에서 다루는 일반적인 사항에 대하여 고등 제어의 응용으로 분류하였다. 여기서 앞서 분류하였던 진동제어 부분이나 비선형제어, 그리고 퍼지 제어 이외에 현대 제어 기법에 해당되는 사항을 이 분야로 분류하였고 세분화하기 어려운 부분은 기타항목으로 분류하였다. 먼저 학습/반복 제어에 대한 연구를 찾을 수 있다. 시스템의 복잡성의 증가와 비선형성 및 부하의 가변성 등에 의한 시스템의 모델링이나 정밀제어가 쉽지 않은 경우 피드백 제어만으로 어려울 때가 많다. 이를 해결하기 어려운 경우, 이를 위하여 적응제어, 학습제어 기법

과 같은 방법들이 필요하게 된다. 적응-학습 제어를 결합하여 2축 매니퓰레이터에 적용하여 그 결과를 검토하고 다른 제어기와의 성능을 비교 평가한 논문이 발표되었다.

이외에도 근래에 들어 많은 관심을 받고 있는 외란 관측기를 이용한 몇 편의 논문이 보인다. 그 중의 하나로 외란 관측기를 이용한 2축 구동 시스템의 동기제어의 응용으로, 외란 관측기와 제어기법을 이용하여 정밀한 위치동기와 제어계의 강인한 안정성을 고려할 수 있는 방안을 제시하였다. 설계된 외란 검출기와 속도 제어기, 위치동기 제어기를 통하여 2축 동기 제어계를 구성하여 시뮬레이션으로 검증하였다. 또한 내부루프 보상을 통한 강인 동작 제어기의 설계에 대한 연구도 찾아볼 수 있다. 수행된 연구의 경우, 고정밀 위치제어 시스템을 위하여 강인 내주 루프 보상기 (RIC : robust internal loop compensator)에 기초한 강인 동작 제어기를 설계하고, 기존의 외란보상 방법들과 정성적/정량적으로 비교하였다.

### 기타

앞에서 언급된 분야 이외에도 매우 다양한 분야에서 제어이론의 적용 및 실험결과에 대한 논문들을 찾을 수 있다. 건설기계나 유압 시스템, 그리고 지능형순항시스템 등이 이에 해당된다.

먼저 건설기계에 많이 사용되는 핸들러에 대한 경우로, 핸들러의 경우 구조적인 특징 및 작동환경에 따라 발생하게 되는 잔류진동

이 많이 발생하게 된다. 핸들러 자체가 가지고 있는 유압회로의 복잡성 및 비선형성, 그리고 전체 시스템이 가지고 있는 불확실성이 매우 크므로 제어를 설계하는데 상당한 어려움을 가지게 된다. 이를 해결하기 위하여 저자는 시간 지연 제어기법(time delay control)과 입력다듬기법(input shaping technique)을 이용하여 이 문제를 해결하였다. 유압시스템의 제어응용으로는 PID 제어기술을 이용한 비선형유압시스템의 제어를 찾아볼 수 있다. 수행된 연구를 통해 기존의 유압시스템에 적용된 선형PID제어기에 추가적인 설계 요소를 포함하여 모델 기준 비선형제어기를 설계 및 적용하여, 일정 범위에서 작동환경이 변화하여 발생하는 불확실성을 포함하는 비선형유압시스템의 출력에 대한 강인성을 보장하는 기술을 소개하였다.

또한 지능형순환제어(ICC) 시스템에 대한 연구로서 보다 정밀한 제어성능을 제공할 수 있도록 브레이크 제어 알고리즘과 이를 상황에 따라 변환시키는 전환 논리를 설계하여 시뮬레이션 및 실험적 검증을 통하여 제어성능을 확인하였다. 이 외에도 모터의 액추에이터를 이용하여 모터와 베어링 역할을 동시에 수행할 수 있는 셀프베어링 모터에 대한 연구도 행하여졌다. 셀프베어링 모터를 통하여 현 산업체 모터의 약 40%를 점하는 스텝 모터를 대체하기 위한 방법을 개발하기 위하여 해석 및 제어 방법을 소개하였다. 이 연구를 통해 추가적인 코일 없이

모터 자체의 액추에이터를 이용하여 코일에 흐르는 전류를 적절히 조절해줌으로써 모터 자체가 베어링 역할을 하는 동시에 수행할 수 있는 액추에이터를 구현할 수 있음을 보였다.

## 소 음

2001년도 소음에 관련된 연구는 차량-트렁크 연성계의 음향특성에 관한 연구와 구조물에서 방사되는 소음 저감을 위한 능동구조음향제어 그리고 리드오차에의 영향에 의한 헬리컬기어 소음의 실험적인 연구가 진행되었다.

### 차량 소음

자동차의 실내 소음은 차체의 진동모드나 차실의 음향모드의 영향을 크게 받는다. 저주파수 대역의 부밍 소음에 크게 관련되는 차실 음향모드가 차실과 트렁크의 연성에 따라 어떻게 변화되는지 실험적으로 연구되었다. 연구결과 다수의 구멍을 갖는 패키지 트레이가 주연성 경로임을 검증하였고, 따라서 차실의 크기로 결정되는 실내의 음향 주파수 응답 특성을 트렁크와의 연성을 통하여 변화시킬 수 있으며, 패키지 트레이의 구멍 사양이 저주파수 대역의 음향특성에 영향을 주는 설계 인자로 해석되었다.

### 능동구조 음향제어

구조물의 진동에 의해 방사되는 소음을 제어하기 위해서 지금까지는 구조물에 감쇠를 증가시키고 질량이나 강성을 추가하는 수동적

제어방법이 사용되어 왔다. 그러나 흡음재 또는 차음재를 이용하는 경우, 일반적으로 500Hz 이하의 저주파 소음에 대해서는 소음 저감이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 능동소음제어에 관한 연구가 진행되고 있다. 능동구조소음제어는 제어에 사용되는 에러신호의 성질에 따라 마이크로폰을 이용한 방법과 가속도계를 이용하는 방법이 있다. 가속도계를 통해 계측된 진동신호와 가속도계와 마이크로폰 사이의 전달계인 진동-소음경로 전달함수를 사용하여 방사되는 음압을 예측하고, 이를 저감시키는 능동구조음향제어기를 구성하고 실험적으로 방사소음제어 가능성에 대한 연구가 수행되었다.

### 기어 소음

기어가 동력전달계로 사용되는 곳에서 소음은 중요하다. 왜냐하면 기어소음은 순음에 가깝고 높은 음압 수준을 가지며, 주요 주파수가 귀의 가장 민감한 부분에 있기 때문이다. 헬리컬기어를 대상으로 실험장치를 제작하고 헬리컬기어의 리드 오차에 따른 기어 소음 특성을 반 무향실에서 측정하여 기어소음에 영향을 끼치는 요인을 분석하였다.

## 계 측

2001년도 계측분야의 연구논문은 크게 세 가지로 나뉠 수 있다. 그 세 가지 중 첫 번째는 대상계를 적절한 방법으로 측정하여 특성을 파악한 연구, 두 번째는 센서 자체

의 개발에 대한 연구 그리고, 세 번째로 측정방법에 대한 연구가 진행되었다.

먼저, 대상계의 특성파악에 대한 연구에서는 컨트롤 밸브의 응답특성을 평가한 것과, 휴대용 단말기의 낙하충격해석에 대한 연구가 있었다. 전자는 응답특성 조사를 위해 포지셔너의 주요 작동단계에 센서를 설치하여 입력신호에 따른 출력신호를 분석하였다. 후자에서는 충격거동을 살펴보기 위해 고속촬영기를 사용하였으며, 이를 시뮬레이션 결과와 비교하여 해석결과를 검증하였다.

다음으로, 센서 개발에 대한 연구에서는 광섬유 가속도계, 실리콘 가속도계, 비접촉 토크센서 등 세 가지에 대한 연구가 있었다. 광섬유 가속도계는 타공사로 인한 배관파손을 감시하기 위해 개발되었으며, EFPI간섭계와 1자유도 진동모델을 이용하여 구성되었다. 개발된 가속도계는 6kHz 이하의 주파수 영역에서 최대 200g 크기의 가속도를 측정할 수 있다고 한다. 실리콘 가속도계에서는 표면 미세가공기술에 의해 제작되는 정전용량형 가속도계의 새로운 구조로 미소 가속도계를 개발하였다. 비접촉 토크센서에서는 빛의 직선 편광현상을 이용해 가격과 특성에서 기존의 방식과 비교 경쟁할 수 있는 비접촉 EPAS용 토크센서를 제안하였다.

끝으로, 측정방법에 대한 연구에서는 물체인식을 위한 알고리즘, 이종재료 계면의 분리과정에 발생하는 크랙선단의 응력장과 변위장의 검출방법, 접착이음에

대한 균열검출방법, 신선 공정에서 선재의 온도 예측방법에 대한 연구가 있었다. 물체 인식에서는 라인라벨링 기법을 제안하고 특징점 추출 및 특징점 정합기법을 적용하여 HD를 이용한 이미지 정합에 대한 연구를 하여, 대상물체를 효과적으로 인식하였다. 이종재료에 대한 연구에서는 균열선단의 응력장과 변위장을 새로이 유도하고, 이를 동적 광탄성 실험에 적용할 수 있는 Hybrid법을 개발하여 그 유효성을 확인하고, 동적 응력 확대계수를 구하였다. 접착이음의 균열검출에서는 DCB접착이음 시험편을 제작하여, 초음파 탐상법에 의한 계면균열의 검출을 수행하였다. 이를 통해 최적의 초음파탐상조건을 설정하고 체계적 계면 균열 검출 방법을 제시하였다. 신선 공정에서 선재의 온도에 대해서는 자동차 타이어의 보강재로 사용되고 있는 스틸코드의 제조공정 중 하나인 연속 견식 신선공정에서, 규정된 선재의 온도를 제어하기 위한 패스 스케줄, 단면적 감소율을 결정하기 위한 평균 온도 계산에 대한 연구를 수행하였다. 연구를 통해 패스마다의 선재 온도를 예측하는 수식적인 방법을 제시하였다.

### 로봇공학

2001년도 로봇공학 분야는 재활로봇 분야서 새로운 시도가 있었다. 특히 인간의 손가락을 닮은 로봇관절에 관한 연구와 하지가 절단된 장애인을 위한 대퇴의지의 개발이 있었고, 매니플레이터의

접촉힘 측정 방법에 관한 연구, 그리고 전자력을 이용한 평면구동기의 초정밀제어의 관한 연구도 진행되었다. 그리고 배관 검사 로봇의 개발도 꾸준히 이루어졌다.

인간형 로봇은 인간의 오랜 꿈이었다. 영국의 Prodigits라고 알려진 인공보철은 어린이 크기의 보철손이다. 이 보철손의 특징은 팔목을 넓게 움직일 수 있고 다섯 손가락 각각을 움직일 수 있고 손안의 전극이나 판에 압력을 가하여 남아있는 팔을 이용하여 조절할 수 있다. 인간형 로봇관절에 관한 연구도 시도되었는데 다수의 로봇손은 다관절이 직렬로 연결된 형태로 되어 있어서 실용적 관점에서 문제가 제기되었다. 그래서 이중능동유니버설관절(double active universal joint)을 사용하여 기존의 단점을 해결하고 인간형 관절을 모사할 수 있다. 이러한 로봇손과 같이 하여 입각기와 유각기 동시제어식 대퇴의지도 개발되었는데 일반적으로 입각기(stand phase)와 유각기(swing phase)를 동시에 제어하는 기술이 어려웠고, 입각기시 정상인의 슬관절 굴곡 및 신전운동 특성을 나타낼 수 없었고, 유각기시 보행속도의 변화영역이 크면 슬관절의 각운동 특성에 영향을 미쳐 원활한 보행이 될 수 없었다. 따라서 입각기와 유각기시 모두 보행특성과 유사한 기능을 제공하는 대퇴의지의 개발이 요구되었던 것이다.

일반적으로 마스터 슬레이브 로봇은 기구학적 구조의 불일치로 힘 전달 방법이 불안정하고 복잡

하다. 예를 들어 병렬기구를 이용한 힘 반영 마스터는 운동방정식이 포함되어야 하고 큰 비선형을 가지고 있으며, 자기부상식은 중력보상을 따로 해줄 필요가 없지만 액추에이터 자체가 공극에서의 자속 밀도를 이용하고 있기 때문에 마스터의 작동영역이 제한된다. 그래서 링크구조와 자기부상 시스템을 결합한 방식의 힘 반영 시스템에 관한 연구가 있었다. 또한 로봇의 힘 반영에는 동역학적 모델을 기반으로 토크를 추정하는 방법이 있는데 그 예로 모델링 이외에는 모든 값을 외란으로 하는 외란관측기와 로봇 매니플레이터의 모델식을 토대로 동적 운동상태를 추정하는 관측기 설계도 있었다. 그러나 모두 2차원적인 방법으로 제한되었다. 그래서 제3형 링크 로봇 매니플레이터의 모델식으로 외부 접촉점을 추정하는 방법도 시도되었다.

반도체 칩 공정에서는 고정밀도 작업을 필요하며, 큰 동적 범위를 갖는 운동이 요구된다. 하지만 이는 서로 모순되는 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 리니어 모터 또는 평면 액추에이터 등의 직접 구동기들이 각광을 받고 있다. 그래서 자기 부상에 기초한 새로운 형태의 평면기동기를 이용한 정밀 스테이지에 대한 연구가 있었고, 전자력을 이용하여 전자석에 인가되는 전류의 크기를 조절하여 전자석과 영구자석 간에 발생하는 힘을 제어함으로써 회전자 를 움직이는 새로운 개념의 3자유도 액추에이터 연구도 있었다.

배관검사 로봇은 비좁고 굴곡이

많은 특수한 환경이라는 제한된 공간에서 작업해야 하는 로봇이다. 기존의 로봇은 곡관이나 수직관, T관을 주행할 수 있는 로봇은 드물다. 그리고 수리부분을 검사자에게 정확히 알려주어야 하는데 단순히 CCD 카메라로 판단하는 방법은 오차가 크기 마련이다. 이러한 단점들을 극복하기 위해 중력을 이기면서 수직관을 오를 수 있는 충분한 견인력을 내는 모터 개발과 단순한 메커니즘으로 속도차를 이용하여 분기관을 주행할 수 있는 로봇이 개발되었다.

### 기 구 학

기구학 분야의 2001년도 연구 동향은 주로 스튜어트 플랫폼으로 대표되는 병렬기구에 대한 연구가 많았으며, 기어의 형상 설계법 및 구조설계 기구해석기법, 인체기구학 등이 발표되었다.

링크기 직렬로 구성된 운동장치에 비하여, 정밀위치제어, 운동방향에 대한 강성 및 하중분산 특성이 상대적으로 우수한 병렬형 동장에 대한 관심이 증가되고 있다. 병렬형 운동장치의 장점으로는 각각의 액추에이터가 부하를 나누어 분담하는 특성이 있다. 따라서, 병렬형 운동장치는 고속, 고정밀 및 큰 부하에 적합한 구조이다. 특히, 6자유도 병렬형 운동장치인 스튜어트 플랫폼 운동장치(SPM : Stewart Platform Manipulator)는 자동차 시뮬레이터, 항공기 시뮬레이터 및 공작기계의 이송장치에 주로 사용되어 왔다. 6-3 SPM의 운동특성과 D-H 링크계수법을

이용한 기구학적 해석을 하였으며, 이렇게 도입된 기구학 해석 방법과 6-3 SPM의 운동특성을 이용하여, Lagrangian 방법과 Newton-Euler방법을 이용하여 운동방정식을 구한 후, 각각의 운동 구속조건을 적용하여 6-3 SPM에 대한 운동방정식을 구하였다. 이렇게 유도된 운동방정식과 기구학식을 함께 적용할 경우, 기구학에서 효율적으로 계산된 결과에 이용하여 기존의 6-6 SPM 운동방정식 및 6-3 SPM에 비해서 6-3 SPM의 고속 운동제어에 효율적으로 적용할 수 있다고 보고 되었다.

한편, 6-6 SPM 형태에 대한 순기구학 문제에 대해, 한 개의 여유 센서를 이용하여 유일해를 실시간으로 구하는 방법과 부정확성 방지를 위한 센서값의 수정 방법을 제시하였고, 실시간 제어를 위한 빠르고 정확한 해를 구하기 위해서 여섯 개의 비선형식을 세 개의 다항식으로 바꾸어서 순기구학의 해를 구하였다.

이외에 사이크로이드 판기어의 형상 설계에 대한 연구로서 순간 속도중심과 좌표변환을 이용한 형상 설계법 제시 및 설계자동화를 위한 소프트웨어가 제시되었으며, 기구해석 모델을 작성하여 기구해석을 수행하는 기구해석 소프트웨어의 개발되었다. 개발된 소프트웨어를 통하여 각 기구학적 설계 변수와 기구학적 성능과의 상관관계를 알아보았으며, 이를 시작품 설계에 적용시켜보았다. 인체기구학 분야에서는 반직접구동방식의 장착형역감제시기구가 소개되었

다. 이는 기존의 역감제시기구에 비하여 경량이며, 중량 대 출력토크 비가 크고 단순한 메커니즘을 가지고 있으며, 사용자에게 손바닥 방향과 손등 방향의 양방향 힘을 제시할 수 있다. 또한 특별한 제어방법이나 알고리즘이 없어도 사용자에게 투명성을 제공할 수 있었다.

### 차량공학

2001년도 차량공학 분야의 연구는 자동차의 부품에 관련된 내용이 주를 이루었다. 대표적인 주제는 노면으로부터 충격을 받는 자동차 타이어의 진동해석, 전달함수합성법을 이용한 엔진마운트계의 민감도 해석, 조향운동을 고려한 5-SS 멀티링크 현가장치의 근사합성, 경차용 전동조향장치의 성능평가를 위한 시뮬레이터의 개발, 대형트럭의 정면충돌특성 해석을 위한 유한요소 모델의 개발과 컴퓨터 모델을 이용한 대형트럭의 승차성능 평가 등이 있다. 이 중 몇 가지를 자세히 살펴 보면 다음과 같다.

#### 트럭의 충돌특성

대형트럭의 정면충돌 특성에 관한 연구에서는 대형트럭의 충돌특성을 해석할 수 있고, 궁극적으로는 승객보호장구 등을 개발하는데 필요한 실차상태에서 승객거동해석과 상해치 해석을 수행할 수 있는 유한요소모델을 개발하는데 기반이 될 수 있는, 신뢰성이 검증된 유한요소모델을 개발하고, 개발된 유한요소모델의 신뢰성을 실

차 충돌시험과 같은 조건에서 수행되는 충돌특성 해석 결과를 실차 충돌시험을 통해 얻어진 결과와 비교하여 검증하는 연구가 수행되었다.

#### 타이어의 진동해석

타이어의 진동해석에 관한 연구에서는 노면의 굴곡에 의해 작용하는 강제력을 고려한 첫 단계로 타이어가 돌기를 통과할 때의 타이어의 진동특성해석을 수행하였다. 타이어는 설계인자를 고려하여 7자유도계로 모델링하였고, 설계인자 변화에 따른 진동에너지 변화를 파악하였다. 실내 실차시험을 통해 본 해석 모델을 검증하였으며, 검증된 모델을 이용하여 타이어 진동에너지에 대한 타이어 설계인자의 영향을 파악하였다.

#### 트럭의 승차성능 평가

컴퓨터 모델을 이용한 트럭의 승차성능평가에 관한 연구에서는 범프와 같은 저주파 대변위 노면 가진입력에 대한 대형트럭의 승차성능을 평가할 수 있는 컴퓨터 모델을 ADAMS를 이용하여 개발하였다. 개발된 컴퓨터 모델의 신뢰성을 실차주행시험을 통해 검증하였으며, 검증된 컴퓨터 모델의 전문현가장치에 다판스프링과 테이퍼 판스프링을 사용한 두 경우에 대한 범프 통과 모의시험을 수행하여 다판스프링과 테이퍼 판스프링의 대변위 저주파 노면입력에 대한 대형트럭의 승차성능을 비교하였다.

#### 조향시뮬레이터 개발

조향시뮬레이터의 개발에 있어서는 대부분의 연구가 HILS로 구현하여 재현의 정확도를 높이고 있으나, 이 경우 조향시뮬레이터의 개발비용이 매우 고가가 되므로 학교나 소규모 연구소에서는 부담이 된다. 그러므로 일정수준 이상의 정밀도를 유지하면서 기존의 리프터를 이용하여 저렴한 비용으로 제작 가능한 조향시뮬레이터를 제안하는 연구가 진행되었다.

#### 대형복합구조물

지진은 자연적으로 발생하는 큰 재앙이며, 대비해 두지 않을 경우 경제적 사회적 큰 피해를 입게 된다. 이에 따라 세계적으로 지진에 대한 관심이 높아지고 있다. 해석 방법에는 면진베어링이 큰 변형을 받을 때의 비선형 거동에 대한 연구와 고층건물의 중간층에 면진장치 설비될 때의 동적거동이 연구되었다. 국내에서의 연구로는 면진구조물에 대한 해석으로는 교량에 대해서 기초분리 장치를 bilinear로 모델링하여 해석이 수행되었고, 지진에 대한 고감쇠 면진베어링의 비선형진동해석이 수행되기도 하였다. 수정히스테리틱 bilinear 면진 베어링 모델을 사용한 지진응답 감소에 대한 연구가 수행되기도 하였다. 현재는 비선형으로 모델링한 사례는 없는 실정이다.

원자력발전소 기계설비의 약 40%를 차지하는 배관의 건전성 유지는 원자력발전소의 안전성과

관련하여 매우 중요한 문제이다. 1980년대 후반부터 미국 EPRI와 Battelle을 중심으로 복잡한 계산이 필요한 배관의 파괴역학 평가를 신속하고 정확하게 수행하기 위한 배관평가 프로그램들이 개발되기 시작하였다. 최근 연구에서는 균열이 존재하는 원자력발전소 배관의 건전성평가를 신속하고 정확하게 수행하기 위한 배관 평가 시스템, NPIES를 개발하였다.

### 정보저장기기

현재의 정보저장기기를 대표하는 광저장장치와 자기저장장치에 대한 연구가 많이 진행되어 왔으며, 다음과 같이 좀더 자세히 살펴볼 수 있다.

#### 광저장장치

인터넷의 발전으로 개인이 소유할 수 데이터의 양이 증가하면서 고용량의 저장매체들이 요구되고 있다. 이 같은 요구를 만족하기 위하여 정보저장기기의 기술 발전은 기록 밀도를 높이는 방향으로 계속적인 연구가 진행되고 있다.

하드디스크의 경우 ABS의 부상량을 수nm 이하로 하기 위한 노력이 계속되고 있으며, 광저장장치의 경우 기록마크의 크기를 줄이기 위하여 짧은 파장의 레이저 개발과 1 이상의 큰 개구율을 갖도록 하는 연구가 진행 중이다.

특히 광저장 매체에서는 하드디스크의 ABS기술과 광학계 기술을 접목하여 기록밀도를 획기적으

로 높이고자 하는 근접장 기록에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 근접장에 관한 기술분야는 기존의 기술들이 가지는 한계를 극복해야 하는 고난이도의 기술들이 많으므로 향후 이에 대한 연구활동이 매우 활발해질 것이다.

#### 자기저장장치

하드디스크 드라이브의 저장용량 및 저장밀도가 매년 급격히 증가해 현재는 약 35,000TPI의 트랙 밀도와 최대 15,000Mbit/면적밀도를 갖는 HDD가 생산되고 있다. 이러한 높은 기록밀도를 얻기 위해선 슬라이더 헤드와 디스크 표면 사이의 간격을 아주 작게 해야 한다. 또한 이를 추종하기 위해선 현재의 구동기에 마이크로 구동기가 추가되어 헤드의 정밀한 위치제어가 필요하며, 이에 맞는 슬라이더의 설계가 이루어져야 한다.

헤드/디스크간의 접촉을 허용하는 극히 낮은 슬라이더 부상높이는 정상속도에서 슬라이더와 디스크 표면과의 간헐적인 또는 연속적인 접촉의 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 슬라이더와 디스크 사이의 상호작용에 관한 연구가 진행되었다. AE(Acoustic Emission) 측정법을 이용하여 슬라이더 공기베어링의 부상상태를 측정하고, 이에 대한 타당성을 검토한 연구와 트랙 탐색시의 공기베어링 거동 및 서스펜션 시스템의 동특성 해석한 연구가 행해졌다.

현재의 VCM(Voice Coil Motor)만을 이용한 액추에이터는 주파수

대역폭의 한계로 인해 40,000 TPI 정도밖에 사용할 수 없기 때문에 그 이상의 트랙 밀도에서는 새로운 구동방식이 요구된다. 따라서 마이크로 구동기가 추가되어 이중 액추에이터 시스템이 연구되고 있다. 그 중 압전형 액추에이터는 압전소자의 비선형적인 특성이 나타난다는 점에서 정밀 위치제어에 문제를 초래할 수 있다. 이를 해결하기 위해 압전형 마이크로 액추에이터에서 발생하는 비선형적인 특성을 실험적으로 측정하였으며, 이를 서스펜션의 진동모드와 연관시켜 그 특성을 해석한 연구가 시도되었다. 그리고, DW(Design Windows) 탐색법을 기존의 마이크로머신 구조설계용 CAE(Computer Aided Engineering) 시스템에 통합하여 실제로 차세대 광학메모리를 위한 마이크로 정전 액추에이터 최적형상 설계에 적용한 연구가 행해졌다.

기존 슬라이더의 ABS 설계는 비효율적이고 시행 착오적인 설계방법이 대부분이며, 최적설계 기법을 이용한 경우에도 디스크 변경에 따른 정적부상상태만을 고려하는 설계가 주를 이루고 있었다. 이에 슬라이더의 정적부상상태를 고려하고, 동시에 HDD의 작동 조건인 트랙탐색과 공기베어링의 강성을 극대화하는 새로운 슬라이더 ABS 형상을 제안하고, 구속최적화 방법을 이용하여 설계 요구사항을 모두 만족 시키는 개선된 슬라이더 ABS 형상을 제시하는 연구가 있었다.