

## 고체 및 구조역학 부문

이 글에서는 2004년도 고체 및 구조역학 분야의 주요 연구동향을 고체역학 및 연속체역학, 고무역학, 최적설계 및 CAE, 실험역학, 복합재역학, Nano역학, 원자력 구조해석 및 설계, 생체역학, 신뢰성공학, 전산역학, 복합 물리계 해석 및 설계 분야 등으로 나누어 소개한다.

한병기 부문회장(홍익대학교, 교수)

e-mail : engdean@wow.hongik.ac.kr

### 고체역학 및 연속체역학

고체역학이나 연속체역학의 범위는 다양하여 단순한 하나의 연구 주제를 이루기보다는 많은 응용 분야로 확장을 하고 있다. 고체역학 분야의 연구는 전통적으로 탄소성 및 점탄성·점소성 변형거동에 관한 연구와 이와 관련된 응용분야의 연구를 들 수 있고 연속체 역학은 재료 거동을 표현하는 수학적이고 물리적인 방법들로서 여러 분야의 기분이 되고 있다. 이 분야의 연구에 있어서 주요한 특징은 연구 분야가 분기되고 세분화되면서 그 영역도 꾸준히 확충되어 왔다는 점이다. 그 연구에 주제가 유한요소법을 중심으로 한 CAE 응용 분야, 전기, 전자, 광학분야와 기구설계를 포함한 메카트로닉스 분야, 금속재에서 세라믹, polymer, 복합재료를 포함한 재료의 다양화 그리고 기존의 mm 단위에서 nm 단위로의 스케일 확장, 그리고 응력과 전기장이 복합된 복합물리장 분야 등으로 확산되고 있으며 이제는 모든 분야의 연구가 서로 유기적으로 연관되어 엄격한 구분이 점점 어려워지고 있다. 이에 따라 고체 및 구조역학 부문의 세부분야를 계속 변경 보완 하고 있다.

기계학회를 중심으로 관력 학회에서 최근에 발표된 논문을 조사한 결과 고체 및 구조역학 부문의 연구가 대부분이 CAE와 결합되어 있고 첨단 전자제품의 핵심부품 설계제작에 관련된 연구가 증가하고 있다. 그 중에서 형상 및 위상 최적설계 분야, 나노구조의 작동특성해석과 제작공정개발, 나노

스케일에서의 표면특성 즉 tribology에 관련된 연구, 그리고 복합물리장 해석 분야가 좀더 활성화되었다. 이들 분야의 연구동향은 이어지는 세부 분야의 활동상황을 참고하기 바란다.

정확하게 분리하기에는 무리가 있으나 전통적인 고체역학 및 연속체역학 분야의 이론 연구는 꾸준히 진행되었다. 고체역학 부분의 연구는 각종 재료의 탄성, 탄소성, 점탄성, 점소성 모델에 온도, 변형률 속도, porosity, 상변태를 포함하는 보다 복잡하고 포괄적인 구성방정식에 관한 연구가 진행되고 있다. 특히 polymer 재료에 대한 구성방정식 모델링과 나노스케일에서의 전위슬립에 따른 격자구조변화에 관련된 다양한 연구가 이루어졌다. 또한 연속체역학 부분의 연구는 Chebyshev pseudospectral method를 사용한 티모셴코 빔과 평판의 거동 그리고 전왜재료(electrostrictive material)와 EAP(Electro Active Polymer) 등 신물질의 활용한 device의 모델링 및 특성 해석이 보고되고 있다. [정동택, 한국기술교육대학교]

### 고무역학

초탄성, 비선형 거동을 나타내는 고무부품의 성능 향상 및 피로수명 확보를 위해서는 고무재료 배합 설계 및 부품의 설계·해석기술과 시험·평가기술이 요구된다. 지금까지 고무부품에 대한 기술 개발 및 연구 활동은 고무 배합과 물성 개량 등 주로 화

공 및 재료 측면만을 위주로 진행되어 왔으며 물성 평가 및 배합 성분에 따른 체계적인 물성 데이터베이스 구축이 미진하고, 고무재료의 특수한 성질인 초탄성, 비선형 거동의 역학적 이해 부족으로 인해 여러 가지 금속재료 부품은 물론이고 복합재 및 플라스틱 부품개발에 적용되고 있는 전산기술(CAE)이 잘 적용되지 못하고 있는 실정이다. 최근 고무 물성에 대한 데이터베이스 구축, 컴퓨터의 대형화 및 고속화와 관련 소프트웨어 개발 등으로 고무재료의 거동을 해석하는 것이 가능해짐에 따라 고무부품의 설계에 체계적이고 분석적인 방법을 이용하여 부품의 특성을 미리 예측하는 것이 가능해져 시제품 제작 및 성능시험에 드는 막대한 시간과 경비를 줄일 수 있으며 부품의 성능향상에도 크게 기여할 수 있게 되었다.

최근 각종 모바일 제품이 급증함에 따라 고무재료의 충격특성을 이용한 연구가 많은 부분에서 진행되고 있다. 노트북 컴퓨터 및 휴대용 전화기와 같은 전자기기의 외부 및 내부에 장착되어 제품의 충격을 방지하기 위한 연구로 다양한 형상 및 재질을 변화시켜 구조물의 충격감쇠 특성을 분석하였으며 충격에너지 조정을 위한 연구도 진행 중에 있으며, 폴리우레탄을 이용한 자동차용 범퍼에 대한 연구도 적극 진행되고 있다.

국내외적으로 각종 제품에 대한 품질 및 내구성 보증에 대한 요구가 높아짐에 따라 신뢰성 확보에 어려움을 겪어 왔던 고무부품에 대한 특성 예측, 피로수명 및 내구성 평가에 대한 높은 관심을 보이고 있다. 특히, 자동차 방진 고무부품들은 차량 주행 중 반복하중에 의한 피로손상이 발생할 수 있는 부품으로 피로내구성 평가가 필수적이다. 자동차 및 철도차량 부품의 신뢰성 보증기간 확대 추세에 따라 방진 고무부품의 내구성 평가 및 수명향상에 대한 관심이 높아지고 있으며 개발 초기에 피로 내구수명을 예측할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있다. 대부분의 기계류 부품의 경우에는 강도 및 피로해석 기술이 비교적 잘 정립되어 제품개발 전에 피로수명을 예측할 수 있는 수준에 있으나 고무부품의 경우는 아직도 피로수명 예측이 거의 불가능한 실정에 놓여 있다.

고무부품의 피로수명을 평가하기 위한 방법으로 는 크게 소재 피로시험, 부품 피로시험 그리고 실차 내구주행시험으로 나눌 수 있다. 소재 피로시험은 기하학적 형상, 하중상태 등의 영향으로 부품의 특성을 평가하는 데 많은 어려움을 가지고 있으며, 부품 및 실차 내구주행시험은 시간과 경제적으로 많은 제약이 있어 제품 개발 초기 단계에서는 이 방법을 이용하여 피로수명을 평가하지 못하는 제한점이 있다.

고무에서의 피로시험은 고무부품에서의 정확한 응력 결정이 매우 어렵기 때문에 대부분 변위 제어로 실행되고 고무 피로수명 인자는 변위로부터 직접적으로 결정되는 최대 주 변형률과 변형률 향으로 표현되는 변형률에너지 함수로 나타낼 수 있다. 많은 고무 연구에 있어서 일반적인 가설은 최대 주 변형률이 피로수명을 예측한다는 것으로 피로 균열은 최대 인장 변형률에 수직인 평면 위에서 시작한다는 것이다. 고무피로에 관련된 연구들은 교번 변형률과 최소 변형률의 함수로서 파괴까지의 사이클 수에 대한 실험적인 연구에 중점을 두었다.

대부분의 고무부품은 환경적인 영향에 의한 노화와 반복 하중에 의한 피로손상 누적으로 수명을 다하게 되므로 하중과 온도를 고려한 고무부품의 피로수명 예측 및 평가에 대한 연구는 정립되지 않은 상태이다. 최근에는 온도변화에 따른 고무물성 데이터베이스를 구축하고 고무재료의 피로수명 시험에 적합한 시편을 설계, 제작하여 다양한 시험조건에서 피로시험을 통해 고무부품의 피로수명을 예측하고 평가하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적인 방진고무로 가장 많이 사용되는 천연고무를 대상으로 여러 가지 변위 및 하중 조건에 대한 피로수명식과 노화 및 온도 영향을 고려한 피로수명식이 발표되었으며, 고무부품에 대한 유한요소해석 결과로부터 피로수명을 바로 예측할 수 있는 프로그램도 개발되어 고무류 기계부품의 설계, 해석 및 평가에 관한 제반기술을 종합한 통합설계시스템이 구축되어 관련기술의 고도화를 달성하기 위해 노력하고 있다. [김원두, 한국기계연구원]

## CAE 및 최적설계

2004년도 CAE, 최적설계 및 CAE기반 최적설계 관련 분야 활동의 특징으로는 그 적용범위가 전통적인 구조물을 대상으로 한 영역에서 나노/바이오를 포함한 복합 영역으로 확장된 점이다. 이는 국가주도 대형 프로젝트들의 방향이기도 하지만 그동안 향상되고 안정화된 CAE 기술을 바탕으로 다양한 해석 시뮬레이션을 실제 제품설계에 반영하려는 요구가 증가하고 있다고 판단된다. CAE 업계에서는 설계자를 위한 해석 소프트웨어를 지속적으로 강화하고 정착하는 데 노력하는 한편, 틈새시장 공력 및 시장 다변화를 위해 특화된 소프트웨어 도입과 새로운 분야를 개척하는 데 주력하고 있다.

### 전산 수치해석 기법

새로운 해석 기법의 연구는 무요소해석, 설계민감도 해석, 함수 근사법 등의 내용으로 연구결과가 다수 발표되었다. 해석분야로는 박막 고유치문제, 탄소성 변형, 강소성 변형, 초공동 유동문제 등을 다루었으며 멀티스케일이 주요 핵심어로 등장하였다.

### CAE 응용

CAE를 설계 및 제조 프로세스에 적용하는 CAE 응용연구는 2004년에도 다양한 문제를 해결하는데 기여하고 있음을 알 수 있다. CAE 기반 기술인 유한요소망의 자동생성 및 등가물성 유도의 지속적 연구가 진행되었으며, 파워스티어링 호스, CANDU 압력관, 국부감속배관, 선박 엔진 베어링 거더, 금속기지 복합재 등 기간산업의 핵심 기계부품에 관한 해석연구가 수행되었다. 또한 나노압입에 의한 균열발생 하한계 해석 등 나노분야로도 그 적용범위가 확장되었으며, 풍선확장식 스텐트의 기계적 특성, 설측 치아교정시 전치부 후방 견인, 코트 스포츠화의 착지 충격력 평가 등 바이오 분야 관련 CAE 적용연구도 활발하였다. 이는 최근 나노/바이오 분야에서도 시뮬레이션기반 설

계의 필요성이 대두되고 있음을 입증하는 사실로 이러한 경향은 지속되리라 예상된다. 한편 제조 프로세스와 관련하여서는 헤밍 공정, 스웨이징 공정, 소성가공 공정, 환상압연공정, 고변형을 변형에 대한 재료 시뮬레이션 등 여러 산업분야에 적용한 연구들이 발표되었다.

### 최적설계

최적설계 분야는 크게 최적설계 방법론 개발과 CAE 기술 발전에 따른 CAE기반 제품최적설계 적용으로 구분할 수 있다. 최적설계 방법론으로는 다분야통합최적설계 방법, 크리깅모델을 이용한 근사최적화 방법, 민감도해석 개선 등이 제시되었고, 유체 및 전자기장 분야에서 형상 및 위상을 고려한 구조최적설계, 통계적 기법에 기반한 강건최적설계 및 신뢰성최적설계에 관한 연구도 꾸준히 진행되고 있다. CAE기반 최적설계에 적용된 설계대상은 유체 분야(유체 진동자, 초공동하의 수중 주행체 캐비테이터), MEMS 분야(점성구동 마이크로 펌프, 마이크로 정적 믹서, 플라스틱 IC 패키지, 비연성 진동형 마이크로 자이로스코프), 수송기계 분야(승용차 현가장치, 대형트럭 조정성, 헬리콥터 꼬리날개 구동축), 센서와 액츄에이터 분야(자기변형 센서, 압전형 마이크로 액츄에이터), 압력용기 분야(LNG저장탱크 코너프로텍션, 연수기 압력탱크, 열하중을 받는 다공원통구조물), 바이오 분야(치과용 임플란트) 등 더욱 다양해지고 있으며, 제품설계에 최적설계가 활용되어 설계프로세스의 효율을 향상시키고 있다. 이러한 CAE기반 최적설계 분야의 연구는 더욱 활발해질 것으로 기대된다. [민승재, 한양대학교]

### 실험역학

실험역학은 이론과 현장을 연결시키는데 반드시 필요한 영역인 동시에 이론과 현장 구조물의 설계 방법을 완전히 체계화하는 데 필요한 영역이다.

1276년 Roger Bacon은 실험의 중요성을 아래와 같이 말하였다.

“The Scholar who does not know mathematics does not know any science “but”... without experiment nothing can be adquately known.”

컴퓨터가 아무리 발달하더라도 어떤 이론의 유효성을 확인하기 위해서는 반드시 실험적 검증이 있어야 한다. 그래서 과학에서는 실험이 절대적으로 필요하고 중요하다. 그러므로 우리는 실험을 중요시해야 한다.

그래서 여기에서는 2004년 7월부터 2005년 6월까지의 대한기계학회논문집에 투고된 논문 중에서 실험에 관련된 논문들을 분석하여 우리나라의 기계공학의 실험역학의 현 위치와 실험역학이 나아갈 방향을 제시하고자 한다.

매월 대한기계학회논문집 A와 B에 수록된 실험 논문을 연구와 산업현장에 관련된 실험논문으로 구분하고 연구와 산업현장에 관련된 실험논문을 각각 순수 실험논문, 실험이 이론보다 비중이 더 큰 논문, 이론이 실험보다 비중이 더 큰 논문 등으로 구분하였다.

구분된 각 경우의 비율을 표 1에 나타내었다.

대한기계학회논문집 A와 B의 1년간 총 논문집 편수에 대한 실험 논문의 편수 비율은 각각 39(44, 45)와 46(55, 60)%이다. 괄호 안의 숫자는 각각 2004년도와 2003년도의 데이터를 나타낸다. 그리고 산업현장에 관계되는 실험논문의 비율은 각각 19(12, 16)%, 12(16, 15)이다.

표 1 대한기계학회논문집 A와 B의 실험논문 분포 현황(2004년 7월~2005년 6월)

		D/C × 100(%)		E/D × 100(%)		F/D × 100(%)		G/D × 100(%)		E/C × 100(%)		C	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
2004년	연구	4	50	0	90	0	0	17	0	0	50	23	18
	7월	산업	22	6	33	10	0	0	50	0	9		
8월	연구	23	47	29	75	0	0	7	13	18	40	22	15
	산업	41	7	21	13	0	0	21	0	14	7		
9월	연구	13	31	33	56	17	0	0	0	9	31	23	16
	산업	13	25	17	44	0	0	33	0	4	25		
10월	연구	23	44	43	78	29	0	0	11	14	39	22	18
	산업	9	6	0	11	14	0	0	0	0	6		
11월	연구	16	30	44	71	0	0	0	14	16	25	25	20
	산업	20	5	33	14	0	0	22	0	12	5		
12월	연구	15	18	33	36	0	0	0	0	15	18	27	22
	산업	30	32	33	36	0	9	33	18	15	18		
2005년	연구	10	29	29	67	0	0	0	0	10	29	21	21
	1월	산업	24	14	43	33	0	0	29	0	14		
2월	연구	22	47	43	78	14	0	14	0	13	47	23	15
	산업	9	13	0	22	0	0	29	0	0	13		
3월	연구	17	40	33	46	0	0	17	0	11	40	18	15
	산업	17	47	33	54	17	0	0	0	11	47		
4월	연구	44	23	86	25	14	16	0	0	38	15	16	13
	산업	0	39	0	50	0	0	0	16	0	39		
5월	연구	35	31	33	50	0	0	33	0	18	31	17	13
	산업	18	15	22	25	0	0	11	0	12	15		
6월	연구	38	15	63	13	0	0	13	13	31	8	16	13
	산업	13	46	25	63	0	13	0	0	13	8		
평균	연구	20	34	39	58	5	0	9	4	15	31	17	21
	산업	19	12	23	33	2	3	21	3	9	18		

A: 대한기계학회논문집A, B: 대한기계학회논문집B, C: 총 논문편수, D: 실험논문의 총 편수, E: 순수실험 논문 편수, F: 실험이 이론보다 더 비중이 큰 논문 편수, G: 이론이 실험보다 더 비중이 큰 논문 편수, 연구: 연구에 해당하는 논문, 산업: 산업현장에 관계되는 논문

논문집 A와 B의 순수 연구에 가까운 실험논문의 비율은 각각 20(32, 30)%와 34(39, 45)이다.

보편적으로 실험의 논문이 많다고 볼 수 있다.

대한기계학회논문집 A와 B의 1년간 총 논문 편수에 대한 순수 실험 논문 편수 비율은 각각 24(22, 27)%와 51(36, 45)%이다. 논문집 A와 B의 전체 논문 편수에 대한 연구에 가까운 실험 논문의 비율은 20(32, 19)%와 34(39, 37)%이다.

산업현장에 관계되는 실험논문 비율은 각각 19(12, 8,)%와 12(16, 14)%이다. 전체 논문에 대한 순수 실험논문의 비율은 매년 조금씩 줄어 들고 있다.

2004년 7월부터 2005년 6월까지 대한기계학회논문집 A에 수록된 실험논문의 중요 내용은 아래와 같다.

자기변형 센서 바이어스 자기계의 요크 위상최적 설계, 서보 실린더의 운동제어, Tube Hydro-piercing 과정의 Roll Over의 분석, PDMS 스탬프제작, 유리 내부 결합검출, 비선형 마찰과 강성을 이용한 자동화 시스템, 시간 지연 추정과 내부 모델개념을 결합한 강인 제어기, 마이크로 표면돌기의 응착력과 마찰력, 직류모터로 구동되는 고속 작동기의 다중동시 사양제어, TiNi/Al의 형상복합재료의 강도평가를 위한 전문가 시스템, Zr-2.5Nb 압력관의 Striation Spacing과 DHCV의 관계, 극소형 DNA 추출기, 금형압축공정, 미세세포 계수기, 지적 투약시스템을 위한 자성유체 캡슐의 위치제어, 차체셀프-피어링 리벳 접합의 구조강성 및 피로수명 평가, 미세 채널에서 가스경계면을 이용한 미세 유체의 폭조절, 자동 밸런서를 갖는 세탁기 시스템의 동역학 모델링 및 해석, 수직형 롤러 분쇄기용 테이블라이더의 안정성 평가, 등방성체의 균열전파 기준에 정적 광탄성 실험 하이브리드법 적용, Femto-second Laser와 자기 조립 박막(Self-assembled Monolayers)을 이용한 Nano-scale Patterning, 역결결 시스템을 이용한 프레스 성형물 검사, MEMS 자이로스코프 센서의 신뢰성 문제, Haptic Display 모델 개발, 공기압 실린

더 구동장치의 위치 동기제어, Microfilter Chip 제작, 유소년기 골밀도와 성장과의 관계, 외팔보에 대한 가진력 수준 제어를 통한 피로균열 규명기업의 실험적 검증, API 5L×65 배관의 소성붕괴, Glass/ Epoxy와 Aramid/ Epoxy의 충격, 탄소 나노튜브를 사용한 고분자 복합, 십자형 펠렛용접 이음부의 복수균열 진전수명평가, PDMS/유리 마이크로 항온조 제작 및 특성평가, 무아래 간섭계 초정밀 변위 측정장치의 설계 및 PBGA 패키지 역변형 측정, 한국인 3차원 무류관절 구축 및 형상측정에어 백시트의 모델링 및 능동제어, 음향 광학 변조 필터의 설계 및 교정, 니켈 박막의 광학 및 전기적 특성분석, 축하중을 받는 Al/CFRP 혼성 튜브의 압력 모드와 어너지 흡수특성, 고종횡비 100nm급 니켈 스탬퍼의 제작, 마찰에너지가 연마력과의 미치는 영향, 다중균열 구조물의 소성붕괴거동, 재활로봇의 능동 컴플라이언스제어, Robust Backstepping 제어, 무연솔더(Sn Ag Cu)와 유연솔더(Sn Pb)의 피로수명 비교, 점용접 아연 도금판의 강도특성에 미치는 온도 및 침수와 영향, 미세 바늘어레이 제작, 원자 현미경을 이용한 마찰력측정용 실험법, 고정도 미소유량 조절기, 압전 구동형 액추에이터의 설계, 제작 및 실험 자기 스프링 액추에이터 CF8M과 SA508 용접재의 역화거동과 기계적 특성, 광탄성 위상이동법을 이용한 주응력 방향 측정법, 디지털 마이크로 액추에이터, 나노기계적 단백질 검출기, 레이저 화학증착을 이용한 3차원 패소조형, 극소형 연속 세포분리기, 미소유체 분사기, CD-RW Drive의 낙하충격 손상평가, 공압 서보실린더의 신경회로망 결합형 적응제어, 실배관 파괴특성, 오차모델을 이용한 공작기계 이송장치의 위치제어 알고리즘 개발, 스탠드팽창의 유한요소 해석, 미지물체의 구속 상태에 관한 실시간 측정방법, 오스테나이트계 스테인리스강의 크리프변형 중 내부응력과 운동전위 밀도, 초음파 파라미터와 파괴 인성치와의 관계, 단일재 알루미늄과 알루미늄/유리섬유 적층재의 결합위치에 따른 응력분포 및 균열발생거동, Optical Flying Head의 Air Bearing 형상 최적 설계, 공작기계용 NC제어기의 엔코더 신호를 이용한 위치

제어 특성측정 및 분석, 초기잔류응력과 접촉표면 제어가 접촉피로 수명에 미치는 영향, 4-bit 디지털 미소 분사기의 설계변수와 토출능간의 영향분석, 나노입자 혼합 슬러리를 이용한 반응소결 SiC재료의 제조, 패드 그루브의 치수가 CMP 연마특성에 미치는 영향, 완전 및 부분 오스템퍼링 처리가 구상흑연주철의 피로특성에 미치는 영향, 와이어를 이용하여 제작된 옥테트 트러스(Octet Truss)샌드위치 판재의 압축 및 굽힘거동, 선박용 프로펠러 재의 피로 강도 및 개선, 열응력과 잔류응력하의 다층박막의 피로수명 해석, 물체의 안전한 조작을 위한 동작의 계획과 운동의 실현, Ti-6Al-4V 합금의 조직변화에 따른 프래칭 피로거동, 피복관의 고온 인장특성, 굽힘하중을 받는 배관의 파손에 미치는 감속의 영향, 평면연삭의 가공특성 평가 및 반응표면모델, GaN 증착용 사파이어 웨이퍼의 표면가공에 따른 압흔특성, 임베리드 웹서버를 이용한 Synthetic Jet Actuator의 풍동실험장치, 초미세 발포 플라스틱 기어, 선박엔진용 Fuel Pump Block소재(CK35)의 피로파손, 대형 반사형 가공정밀도, 짐발(Gimbal)안테나 유연특성모델링과 시스템 대역폭결정의 주요설계인자, 평행한 두 개의 균열이 존재하는 증기발생기 세관의 최적 광범위 파손 예측모델 개발, 공작기계용 NC제어기 시스템의 위치제어 특성, 구조계와 제어계의 통합적 설계법을 이용한 크레인 Swing-Motion 제어계 설계, 저강도 초음파의 관절염치료 적용성 평가, 타이어의 벨트 부착력과 내구성능 간의 상관관계, CF8M 주조 스테인리스강의 2축피로 수명 예측용 파라미터, 6061알루미늄의 피로균열 성장과 관통에 따른 탄성파의 응력비의 영향, 백색광의 삼파장 분해에 의한 2차원 복굴절 장치의 개발, 유리섬유/알루미늄 혼성 적층판의 인장특성과 파괴 인성평가, 3차원의 배리어(Three-Dimensional Barrier)가 포함된 캐닉스 마이크로 믹서의 개발, CL면 변형방법을 이용한 균일한 조도의 공구 경로생성 등에 관한 것이 연구되었다.

위의 연구들은 대부분 각종재료나 부품의 파괴 역학, 응력해석, 설계 및 제작 그리고 개발에 관한 실험적 연구이고 이 분야의 실험적 연구의 논문편

수(57편) 대한기계학회논문집 A의 총 편수(253편)에 대한 약 22.6%에 해당된다. Nano-Scale과 MEMS에 관한 논문의 편수도 각각 9편과 2편이다. 생체역학과 운동제어에 관한 논문의 편수도 각각 9편과 9편이다.

제어와 실험적 분석에 대한 논문의 편수도 각각 9편과 7편이고 전 영역의 논문의 편수는 2편이다. 실험 분야의 총 실험논문 편수는 101편이다. 그러므로 전체 논문편수(253편)에 대한 실험의 논문 편수의 비율은 약 40%이다.

그리고 대한기계학회논문집 B에 수록된 논문의 실험의 내용은 아래와 같다.

입자의 형상에 따른 열영동의 영향, 강제공랭 모듈 주위의 열전달 특성 열교환기 내부 유로의 꺾임 각 변화에 따른 국소열/물질전달 특성, 전진익형 항공기 공력특성 증진, 매탄/공기 층류 부분에 혼합화연의 화염 구조와 NOx배출 특성, 미세입자 측정용 간이형 3단 전기적 외압 임팩터의 설계 및 성능평가, 노즐형상에 따른 분무특성분석을 통한 에칭특성, 배기재 순환에 따른 균질혼합 압축착화 기관의 엔진성능특성, 동축류 확산화염의 매연입자, 타원형 제트 스크리치 반사판이 과소팽창 음속 제트에 미치는 영향, 평면 충돌제트에 의한 단상 및 비등 역전달, 이차 냉각유로를 가진 회전덕트의 열/물질전달 특성, 이산화탄소가 수소 산소부화 화염의 열전달에 미치는 영향, 경사진 충돌제트를 이용한 핀형 히트싱크의 열특성, 나노 유체의 열전도도, 하드 디스크 드라이브 회전수가 드라이브 내 나노 오염입자 발생에 미치는 영향, 엷회전식 축류 팬의 3차원 비정상 유동, 마이크로 분자관내의 유동해석, 정사각단면 곡관덕트에 연결된 직각덕트에서 층류유동의 속도분포, 다이오드형 코로나 하전기의 설계 및 성능평가, 개조된 LPG 엔진의 Mixer와 LP1연료 공급 방식의 엔진성능 및 배기 특성, 촉매 금속기판상에 합성한 탄소 나노 튜브와 탄소나노섬유, 에틸렌/공기 역확산화염의 나노매연 입자생성, Laser-Induced Ion Mobility 계측을 이용한 매연 나노입자 측정, WSR 초기매연 조건에서의 입자크기, 농도 및 화

학적 특성, 삼각형 멀티 탭을 이용한 충돌제트 열 전달, 점화 플러그 삽입위치에 따른 SI엔진의 연소특성, 프로판 연료의 공급에 따른 정적 연소실내의 연소특성, 디젤엔진을 개조한 LPG 엔진의 기관성능에 미치는 압축비의 영향, CARS를 이용한 희박 예혼합 가스터빈 연소기내온도, 다단축류압축기 정의흡입면의 비정상 경계층유동 화학레이저 구동용 이젝터 시스템 개발, 전자기 토모그래피를 이용한 액체 금속속도장 측정, 다단 저 NOx 버너의 실험 및 수치적 연구, 희박 예혼합 덤프 연소기에서 OH자발광을 이용한 열방출, 비전도성 액체의 전기수력학적 미립화를 위한 전자 주입 특성, 작은 유로내의 흐름응축 열전달. 정지된 상류의 원형실린더 사이의 편심률이 후방실린더의 열전달에 미치는 영향, 노즐의 스월러각과 형상비가 이중분무의 평균속도와 입경의 크기에 미치는 영향, 대형 디젤기관의 바이오 디젤을 적용한 DOC에 의한 기관성능 배출가스 및 PM에 관한연구, 열원 냉각용 루프 서모사이폰의 작동 특성, 자성유체를 이용한 다이내믹형 빙축열 시스템에 관한 연구, 원판형 드래그럼프 회전자와 고정자 사이의 간극이 성능에 미치는 영향, 역모세관 현상에 의한 액체 슬러그 이동, 초음파 조영제를 이용한 Echo PIV기법, 오블롱 셸플레이트 열교환기의 R-134a, R-407, R-410A의 응축성능, 미소 블록에 의한 교차회전유동과 미소유도에 의한 박층 유동을 이용한 정적 혼돈 미소유체 혼합기, 비정상 소화 과정에서 화염온도 및 OH 라디칼의 변화, 에코 PIV를 이용한 맥동 유동에서의 in Vitro 전달율 측정, 문무수 분무특성이 액체연료 Pool화염의 소화에 미치는 영향, 스트립 원 히트싱크의 냉각특성, 스마트 무인기 TR-E22형상 풍동시험, 초기 압력과 연료특성에 따른 마이크로 연소기내의 연소특성 및 소염 조건변화, 화염의 상호작용에 의한 부분 예 혼합 화염의 화염 날림유속, 비강내 (Human Nasal Cavity)주기 유동장의 실험적 해석, 광압을 이용한 입자빔 집속, 나선 그루브형 열사이폰의 작동유체의 변화에 대한 응축 열전달 성능, Digital Holographic PIV기법의 개

발과 제트유동에 응용, 폼(Foam)분무 노즐 방사 분포 및 폼(foam)의 열적 특성, 포화상태 풀비등시 단일기포의 성장, 정적 연소기 내의 분위기 온도 및 압력에 따른 혼합기 분포에 관한 성층화 정도 특성, 두 개의 평행한 평면제트의 유동 특성, 광디스크 드라이브 내부 유동장, 액체과냉도가 하부 폐소나 수직한 상공간 내부의 풀비등 열전달에 미치는 영향, 산소부화 조건인 CH<sub>4</sub>/CH<sub>5</sub>Cl/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 에 혼합화염의 상세 라디칼(COH\*, CH\* 그리고 C\*<sub>2</sub>) 프로판/이소부탄(R-290/R-60a) 혼합냉매를 적용한 가정용 소형멀티 냉동시스템의 성능특성, 희박 분무영역의 분무냉각 막 비등 (flim boiling)열전달, 스마트 무인기 TR-E22SI 형상 풍동시험, 사이드 채널형 재생펌프의 성능 특성, 유량에 따른 축류 팬의 익단 누설와류 및 후류특성, 액체온도 변화에 따른 평판 충돌 액적의 거동, 사각채널에서 거친 벽면의 수가 압력강하와 열전달에 미치는 효과, 메탄 비 예혼합 상호작용 화염의 특성, 직분식 가솔린엔진의 스월 및 슬릿 인젝터의 분무특성, 부상화염의 예 혼합화염과 삼지화염의 천이적 거동, 스파크 점화기관의 냉시동시 배기밸브 타이밍 및 점화시기 변화에 따른 배기가스 온도변화, 비정상 대항류 확산 화염의 소화 한계 확장, 극초고압 디젤분무의 충돌면 온도거동, 균질혼합 압축 점화기관의 프로판과 부탄연료가 기관성능에 미치는 영향, Oxide CMP 과정에 대한 수치 유동해석, 단일입자 질량 분석기를 이용한 서브마이크론 입자의 특성, 환형 캐스케이드 내 고정된 터빈 블레이드 및 슈라우드의 열/물질 전달 특성, 전기-수력학 프린팅을 이용한 세라믹 미세 입자 패턴, 전기반사법을 이용한 Polycarbonate 나노섬유 제조, 저온시 모형 스텔링 엔진의 작동해석, 정지쿼드 위성 전장품의 역설계 검증을 위한 최적 열해석 모델링, 곡관덕트에 연결된 정사각 단면 직각덕트에서 층류 정상유동 유동장내 유동특성, 가변형 음속/초음속 이젝터 시스템, 삼각형 멀티탭이 부착된 난류제트에 대한 SPIV유동해석, 단락요철이 설치된 내부 냉각유로의 회전에 따른 열/물질전달 특성, 풀 핵비등시 단일 기포 성장에 대한

벽면 과열도의 영향, 냉매 이성분 혼합물의 포화 플 핵비등의 특성, 축소형 연소기의 연소성능과 연소속도, 입사각이 터빈 동익 끝벽 열전달에 미치는 영향, 자연 및 강제 배기시의 터널 내 연기 거동, 다수 상호작용 화염의 공해 배출물의 특성, 곡관부를 가지는 내부 냉각유로의 회전수변화에 따른 열전달 및 유동특성, 기체 대항류가 존재하는 미소약체 개수로 유동의 압력강하 특성, 스마트 무인기 TR-S2형상의 정적 풍동시험, 모세관 환경에 따른 가정용 소형 멀티 냉동시스템의 성능 등에 관한 것이 실험적으로 연구되었다.

위의 열공학, 유체공학, 에너지 및 동력공학 부문 등의 1년간 실험의 주 내용은 각종 형상에 따른 유동해석, 열/물질전달, 그리고 연소 및 화염문제 등에 관한 것이고 이 분야의 논문편수(64편)는 대한기계학회논문집 B의 총 편수(199편)에 대한 약 32%에 해당된다.

Nano-Scale에 관한 논문의 편수는 6편이고 엔진성능에 관한 논문 편수도 7편이다. 그리고 생체역학에 관한 논문편수는 1편이다.

그리고 열공학, 유체공학, 에너지 및 동력공학 부문의 총 실험의 논문편수는 106편이다. 그러므로 전체 논문편수(199편)에 대한 총 실험의 논문편수의 비율은 약 53%이다.

재료 및 파괴, 고체 및 구조역학, 동역학 및 제어, 생산 및 설계공학 부문의 논문, 즉 대한기계학회논문집 A에서 2003년도(즉 2002년 7월부터 2003년 6월까지의 발행된 논문 편수), 2004년도(즉 2003년 7월부터 2004년 6월까지의 발행된 논문 편수), 2005년도(즉 2004년 7월부터 2005년 6월까지의 발행된 논문 편수) 등의 논문편수는 각각 307편, 240편, 253편이고 각 연도의 총 논문수에 대한 실험의 논문편수의 비율은 48%, 44% 그리고 39%이다. 2004년도와 2005년도의 Nano-scale과 MEMS에 관한 논문의 편수는 각각 7편과 11편이다.

그리고 2004년도와 2005년도 전 영역의 논문편수는 각각 1편과 2편이다. 열공학, 유체공

학, 에너지 및 동력공학 부문 즉 대한기계학회논문집 B의 2003년, 2004년 그리고 2005년도의 논문편수는 각각 201편, 204편, 199편이고 각 연도의 총 논문의 편수에 대한 실험의 논문편수비율은 각각 60%, 55% 그리고 46%이다. 그리고 Nano-scale에 대한 논문의 편수도 2004년도와 2005년도에는 각각 5편과 6편이다.

위의 설명에서 보듯이 논문집A와 B에서도 실험이 차지하는 비율은 조금씩 감소하나 Nano-scale과 MEMS 등에 관한 실험은 아주 미소하게 증가하고 있다.

우리나라의 나노 사이즈와 MEMS의 실험역학은 매우 초보단계이다. 그러나 조금씩 증가하고 있는 실정이다. 그러나 외국에서는 나노 사이즈와 MEMS에 대한 실험역학은 활발히 진행되고 있다. 앞에 제시된 비율은 우리나라의 기계분야의 실험역학에 관한 현 위치이다. 그러므로 우리는 이러한 사정을 직시해서 분발하여야 한다.

앞으로 MEMS, IT, NT, BT 등이 발전됨에 따라 그러한 기술에 부응되는 제품들의 내구성을 평가하기 위해서는 반드시 MEMS용 실험역학과 나노 스케일용 실험역학이 발전되어야 한다. 그리고 현재는 파괴역학과 손상역학에도 Size-effect가 고려되고 있듯이 나노 스케일과 MEMS에도 Size-effect가 고려되어야 한다. 또 나노 스케일에서도 각 재료들의 기본적인 물성치, 거동 등이 평가되어야 한다. 그러한 것을 평가하기 위해서 나노 스케일용 실험역학이 발전되어야 한다. 나노 스케일용 실험을 발전시키기 위해서는 우리는 새로운 DIC(Digital Image Correlation)화상법, STM(Scanning Transmission Microscope), AFM(Atomic Force Microscope) 그리고 Tormographic Method 등을 이용해야 한다. [황재석, 영남대학교]



## 복합재료역학

최근 국내 LCD산업의 급성장과 더불어 대형 LCD 패널 이송용 로봇과 같은 산업용 로봇의 경량 구조용 소재로 주목을 받은 복합재료는, 그 응용의 폭이 우주·항공, 기계, 건설 등 전 산업분야에서 지속적으로 확대되고 있다. 복합재료는 두 가지 이상의 서로 다른 물질이 거시적으로 혼합되어 각 성분의 특성을 모두 이용할 수 있다는 장점이 있으며, 각 성분을 혼합하는 방법에 따라 원하는 복합재료의 특성을 얻을 수 있기 때문에 설계의 자유도가 확장된다. 섬유강화 복합재료의 경우는 과거에 주로 사용하던 열경화성 수지뿐만 아니라 세라믹, 탄소, 열가소성 수지 등을 모재로 사용하고 있다. 기능성 경사재료(FGM)와 나노 복합재료 및 탄소나노튜브가 적용되는 복합재료에 관한 연구도 확대되고 있는 추세이다. 이러한 복합소재의 다양성에 비하여 복합재의 구조해석 및 설계를 위한 역학 분야는 복합재의 이방성에 기인한 수식의 복잡성으로 간단한 구조에서조차 완전한 해석해를 구하기가 어렵기 때문에 수식의 단순화를 위한 가정을 통하여 해석해를 구하거나, 유한요소 등을 이용한 수치해석기법으로 해를 구하고 있다. 이 글에서는 복합재료 거시역학, 복합재료 미시역학 및 복합재료 샌드위치 구조에 대한 연구동향을 간략히 소개하고자 한다.

복합재료 거시역학은 섬유와 기지의 성질이 완전히 혼합되어 평균 성질을 나타낸다고 가정하여 응력 및 변형률을 계산하는 방법이다. 간단한 경계조건 및 기하학적 형상을 갖는 복합재료 구조에서는 고전적층판이론(CLPT)이 복합재 평판의 응력 및 변형률 계산에 많이 사용되어 왔다. 이러한 CLPT 이론에 기초한 복합재료 역학 해석 소프트웨어를 이용하는 방법에는 관련 교재의 부록("Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures"의 부록인 "Axiomatic CLPT" 등), 인터넷상에서 무료로 배포되는 소프트웨어(The Laminator) 또는 WEB상에서 구동되는 소프트웨어(PDCMS :

Preliminary Design Composite Materials and Structures)를 이용하는 방법 등이 있다. 최근에는 다양한 하중을 받는 평판 및 원통의 두께 방향 및 경계부근의 응력을 정확히 구하기 위한 근사 해석해에 관한 연구, 지배방정식의 비선형 고차항을 고려한 해석해에 관한 연구, 평판 및 원통에 대한 좌굴 및 진동에 대한 정확한 해석해를 구하기 위한 지배방정식의 구성에 관한 연구가 이루어지고 있다. 경계조건이 복잡하거나 비대칭 형상의 구조 등의 해석은 대부분 유한요소를 이용한 수치해석으로 이루어지고 있다. 두께가 얇은 셸 형상의 복합재료 구조의 유한요소 해석은 층간응력 및 필(peel)응력을 모두 고려한 플라이(ply) 해석이 가능하나, 두께가 두꺼운 복합재료 구조의 유한요소 해석은 유한요소 개수 및 해석시간의 한계로 대부분 직교이방성 물성을 가지는 구조해석으로 제한된다.

복합재료 역학의 미시적 방법은 복합재료 각 층내의 섬유와 기지를 구별하여 각각에 걸리는 응력과 변형률을 계산하는 방법이다. 미소역학은 단섬유를 이용한 복합재료 구조 성형의 유동 해석, 복합소재의 물리적 및 기계적 물성 예측 모델 설정 등에 적용된다. 최근에는 복합재료 구조의 파괴에 대한 정확한 예측을 위한 모델링과 나노 복합재료와 같은 미소 혼합물의 해석에 미소역학적 접근 방법을 이용한 연구가 활발하다. 복합재료 파괴 모드 및 파손 기준에 대한 연구는 계속 새로운 이론이 제시되고 있으며, 정확한 예측이 가능한 이론은 아직까지 명확하게 정립되어 있지 않은 상태이다. 균열을 가지는 복합재의 파괴에 대한 연구는 대부분 실험적 연구가 주를 이루고 있으며, 해석적 접근은 직교이방성 성질을 나타내는 복합재료 구조에 국한되어 이루어지고 있다. 또한, 열 및 수분 하에서의 복합재료 구조의 거동 및 응력해석, 고속 및 저속 충격에서의 복합재료 구조의 에너지 흡수능 예측을 위한 해석, 복합재료 구조의 접착부 해석에 대한 연구도 진행되고 있다. 한편, 공간적으로 보강된 복합재료(SRC)의 물성치를 예측하기 위해 라드와 기지의 강성행렬의 중첩을 통해서 임의방

향의 강성을 예측하고, SRC의 강도를 예측하기 위해 각 라드와 기지로 구성된 구조요소를 도입하는 연구가 수행되고 있다. 이 이외에도 탄소섬유 건축물의 토 구조의 미소 거동과 변형 중의 평면 하중과의 관계를 규명하기 위해, 전단변형에 대한 종방향 토의 기하학적 변형량을 특성화하는 연구, 발포 알루미늄의 물성을 예측하기 위해 폐쇄형 발포금속의 밀도가 가우스 분포에 의거하여 확률적으로 분포한다고 가정하고, 수정 단위 모델을 조합하여 유한요소 모델을 제안한 연구결과 등이 발표되고 있다.

복합재료 샌드위치 구조는 굽힘하중을 주로 받는 경량 구조인 항공기, 고속전철, 쾌속정, LCD·반도체용 로봇 팔 그리고 공작기계 등에 적용되고 있으며, 하니컴 코어 벽의 굽힘, 축 방향 및 전단 변형을 고려한 에너지법을 사용하여 하니컴 코어 재료의 각 방향 탄성계수 및 포아송 비와 같은 기계적 물성 값을 구하기 위한 예측 연구결과도 발표되었다. 또한, 기존의 허니콤(Honeycomb)을 이용한 샌드위치 구조 이외에도 다양한 물성을 얻을 수 있고 형상이 복잡한 구조의 샌드위치 구조에도 적용이 가능한 폼(foam) 재료를 이용한 샌드위치 구조의 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 또한, 항공기나 고속전철의 외판에 사용되는 복합재료 샌드위치 구조는 외부충격에 견뎌야 하기 때문에 충격특성의 연구도 중요하다. 한편 복합재료가 주로 사용되는 기계, 수송수단용 구조물 이외에도, 토목, 건축 분야에도 복합재료 역학의 적용이 확대되고 있다. 즉, 섬유강화 콘크리트 슬래브를 구조적 직교 이방성판으로 간주하고 고전적 직교이방성판 이론에 따른 휨해석 및 유한요소해석을 수행함에 있어, 섬유강화 콘크리트 슬래브를 탄성등가법에 의해 결정된 강성행렬을 이용하여 직교이방성판으로 모델링할 경우 콘크리트의 균열 단면을 고려한 해석이 가능하다는 연구결과가 발표되었다.

점점 현실화 되어가고 있는 세계적 에너지 위기와, A780, B7E7 등의 항공기를 포함한 각종 운송 수송수단을 포함한 다양한 구조물의 경량화

경향 요구가 급격히 증대되고 있는 국내외의 상황을 고려하고, 복합재료 구조물의 제조 방법이 매우 다양함을 고려할 때, 금속 구조물의 CAD/CAM 소프트웨어의 통합화 추세를 반영하여 복합재료 구조물용으로도 유사한 통합 소프트웨어 수용가 증대될 전망이다. 즉, 필라멘트 와인딩, RTM, 핫프레스 성형, 오토클레이브 몰딩 등을 포함하는 복합재료 구조물의 제조, 설계, 해석, 가상시제 실험 등의 기능을 통합적으로 제공하는 소프트웨어의 국내 개발 필요성이 대두될 전망이다. [이대길, KAIST]

## 나노역학

21세기를 주도할 미래 핵심 기술로서 정보통신(IT), 바이오기술(BT) 등과 더불어 나노기술(NT)이 부각되면서 세계 주요 선진국이 앞을 다투어 정부 차원에서 나노기술 개발 전략을 수립하고 적극적으로 연구 개발을 추진하는 등 나노기술 개발 경쟁 시대에 돌입하고 있다. 이에 맞추어, 국내에서도 나노기술에 대한 연구가 최근에 급격히 증가하고 있는 추세이다.

작년에 비해 올해에는 나노기술 및 나노역학과 관련된 논문 발표가 2배 이상 증가하였다. 이는 기계공학 연구자들의 나노 공정 및 나노 소자에 대한 관심과 나노기술의 중요성 및 그 필요성에 대한 인식의 증가로 인한 결과일 것이다. 연구 내용은, 컴퓨터를 이용한 나노 공정 시뮬레이션을 비롯하여 나노 공정을 이용한 제작 및 측정 기술에 관한 연구, 탄소나노튜브 등 나노 소재의 역학적 거동 해석 및 이를 이용한 나노 디바이스의 설계를 위한 연구 등 다양한 방면에서 진행되었다. 2004년도 KSMIE international journal을 통해 발표된 논문은 5편, 대한기계학회논문집에 게재된 논문이 10편, 학술대회를 통해 발표된 논문이 7편 정도이며, 기계저널의 테마기획을 통해 나노역학 관련 분야에 대해 여러 차례 자세하게 소개되었다.

나노 공정 시뮬레이션 및 제작 기술

나노 리소그래피 기술은 이미 기계공학 분야뿐 만 아니라 전기공학 및 재료공학 등 다양한 분야에서 고부가가치 산업 창출에 대한 기대 및 국가경쟁력 강화에 대한 기여도 측면으로 인해 매우 중요한 연구 분야의 하나로 인식되고 있다. 이러한 나노 공정 해석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 기법 개발에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으며, 작년부터 그 결과들이 발표되고 있다. 특히 물리/화학 분야 연구자들의 전유물로 여겨지던 분자동역학 시뮬레이션과 같은 원자 스케일 수준의 시뮬레이션 기법이 기계공학 연구자들에게 소개되면서 그 연구가 보다 더 활발히 진행되고 있다.

특히, 나노메카트로닉스 기술개발사업의 일환으로 나노 임프린트 리소그래피에 대한 분자동역학 시뮬레이션을 통해 패턴 전자 중에 일어나는 폴리머 레지스트의 변형을 관찰하고 스탬프와 레지스트 사이의 응착과 마찰 현상을 조사한 논문이 발표되었다. 또한 이러한 분자동역학 시뮬레이션 해석을 통해 나노 스케일 실리콘 돌기의 마찰 및 마멸 현상에 대한 보다 심도 깊은 연구가 발표되었으며, 리소그래피 시스템에 이용되는 2축 나노스테이지를 위한 시뮬레이션 환경을 구축하기 위한 연구가 발표되었다. 이러한 연구들은 다양한 국가연구과제의 지원을 받아 진행되었으며, 나노역학 및 나노기술에 대한 국가적 지원은 꾸준히 이루어지고 있다.

또한, 공정 및 제작 기술에 관한 연구도 활발히 진행되고 있으며, 특히 나노 리소그래피공정에 적용하기 위한 연구가 주를 이루고 있다. 나노 복화공정을 이용한 PDMS 스탬프 제작에 관한 논문과 리소그래피 공정 중 니켈 도금 공정에서 seed 층 증착 공정 없이 니켈 도금을 수행하는 방법을 제안한 논문이 게재되었다. 또한 Bi-Sn 합금을 이용한 3차원 미세 구조물의 제작 기술로서 광조형 기술 공정을 소개하고 그 특성을 평가한 연구가 발표되었다.

스캐닝 프로브 리소그래피 기술을 응용한 초미세 패턴 가공 기법 등과 같은 리소그래피 기술에

의해 다양한 형상의 나노 패턴을 제작하기 위해서, 시료에 가해지는 미세한 힘과 변위를 정밀하게 측정하고 제어하기 위한 초정밀 시스템이 필수적으로 요구된다. 연구한 나노 가공을 위한 힘/변위 검출시스템 개발에 관한 연구가 발표되었으며, 나노 힘 센서의 연구동향 및 응용 사례를 소개한 강연 논문이 발표되었다.

나노 소재 및 디바이스

뛰어난 기계적, 전기적 성질로 인해 차세대 나노 소재로 각광받고 있는 탄소나노튜브에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 특히, 멀티스케일 시뮬레이션을 이용한 다중벽 탄소나노튜브의 역학적 거동에 관한 연구 논문이 발표되었으며, 나노 클러스터를 조작하기 위한 나노 트위저의 구동 전압에 관한 연구 및 탄소나노튜브를 이용한 나노 트위저 제작 기술에 관한 연구가 발표되었다.

나노 디바이스를 단백질 검출에 응용한 연구가 발표되었다. 나노간극을 가진 구동기를 이용하여 미세 물질의 탄성에 의한 구조물의 탄성변화를 검출함으로써 미세 물질의 존재와 크기를 고정밀도로 측정할 수 있는 방법과 디바이스를 제안한 연구가 있었다.

최근 차세대 냉각 유체로 대두되고 있으며 냉각 성능 향상에 새로운 방법론을 제시하는 나노 유체의 열적 특성을 소개하고 나노 유체의 열전도도를 예측할 수 있는 이론적 모델을 제시한 논문이 게재되었다. 또한, 나노 스케일 열전달 해석과 이해의 기본이 되는 포논분산, DOS, 비열 등을 알기 쉽게 설명한 논문이 발표되었다. 이 외에도, LIIM 계측을 이용한 매연 나노입자 측정에 관한 연구와 PZT 박막 적외선 감지소자의 적외선 흡수층으로 증착된 니켈 박막의 광학 및 전기적 특성을 분석한 연구 등이 발표되었다. 향후 기계공학을 위시한 학계의 다양한 분야 및 나아가 연구소 및 산업체에서의 나노역학 및 나노기술에 관한 연구가 현재보다 더 확대될 것이라고 사료된다. [조맹호·이승윤, 서울대학교]

## 원자력 구조해석 및 설계

2004년도 대한기계학회 학술대회에 발표된 고체 및 구조역학 부문의 원자력 구조해석 및 설계관련 논문은 총 27편으로 춘계학술대회에 19편, 추계학술대회에 8편이 발표되었다. 춘·추계학술대회에서는 다양한 주제의 논문이 발표되었는데 경수원자로 및 핵연료에 대한 연구에 초점이 맞추어져 연구결과들이 발표되었다.

춘계학술대회에서 발표한 논문을 살펴보면 김우곤, 김윤재 등은 원자력발전소 압력용기 및 관의 크리프에 대해 연구하였고 마영화 등은 압력관의 건전성평가에 대해 연구하였고 이성호, 김진원 등은 감속배관의 건전성에 대한 연구결과를 발표하였으며, 김월태, 이병학, 이원희, 김수엽, 채장범, 강신철, 이상국 등은 원자력발전소에 사용되는 밸브의 안전규제동향, 성능평가/검증 및 정비경험, 신호분석 및 누설 스펙트럼 분석 등에 관한 연구결과를 발표하였다. 송기남 등은 한국원자력연구소에서 개발한 가압경수로용 핵연료 지지격자의 성능해석 및 시험결과 등을 발표하였으며 송주선, 임혁순, 이영호 등은 핵연료 및 증기발생기에서의 프레팅마모에 대한 연구결과를 발표하였으며 이강희 등은 한국원자력연구소에서 구축한 유체유발진동 시험용 유동루프의 자유진동해석에 대한 연구결과를 발표하였으며 최명환 등은 한국원자력연구소에 있는 중성자 조사(Neutron Irradiation)용 시험로인 하나로 원자로의 조사시험용 구조물의 노외 양립성 시험결과를 발표하였다. 한편 추계학술대회에서 발표한 논문을 살펴보면 송주선, 이영호, 박치용 등은 핵연료 및 증기발생기에서의 프레팅마모에 대한 좀더 진전된 연구결과를 발표하였으며 이강희 등은 한국원자력연구소에서 구축한 유체유발진동 시험용 유동루프의 진동신호분석에 대한 연구결과를 발표하였다. 박정용 등은 원자력 발전소용 블레이드링의 건전성 평가를, 김종민 등은 가압열충격을 받는 원자로 용기의 확률론적 건전성평가를, 박국남 등은 원자로 내 핵연료조사시험용 압력용기 조립체를 설계결과를 강태교 등은

진진하중에 의한 제어봉 구동장치 내진 지지판의 비선형 충격해석에 대한 연구결과를 발표하였다. [송기남, 한국원자력연구소]

## 생체역학

생체 역학 및 재활 공학 응용분야는 대한기계학회, 대한응용생체공학회, 한국정밀공학회, 한국자동차공학회를 중심으로 활발하게 연구되고 있다. 사격 자세에 따른 인체충격연구가 수행되어 상당한 주목을 끌었다. 주요 사격 자세에 따른 인체 특성 전달 경로 및 특성을 동역학 시뮬레이션을 통해 제시되었다. 또한 인간과 화기시스템의 상호작용에 대한 생체역학적 모델링 및 수치해석연구도 수행되어 인체구조해석에 대한 새로운 해석 모델도 제시되었다.

인체보행에 대해서도 많은 연구가 수행되었다. 인류보행의 진화에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 연구, 보행 중 하지관절의 역동역학 해석, 보행시 무릎 관절 내번토크에 미치는 후족엣지의 영향들이 연구되었다. 무릎 관절에 관한 연구로는 인공 무릎 관절의 3차원 운동시뮬레이션, 관절의 수동 탄성특성을 이용한 족부의 생체역학적 해석, 무릎 관절의 고굴곡에 대한 모멘트와 근력의 측정, 인체 다리의 자세와 운동의 주요 제어전략 등의 연구가 주목되고 있다.

자동차의 생체역학에 관련된 연구로는 전역 최적화기법을 이용한 승객 보호장치의 설계, 5th percentile 성인 여성 유한 요소 모델링을 이용한 OOP 문제에 대한 수치해석, 충돌안전도 해석을 위한 성인여성 유한 요소 모델 개발, 국내 생산 차량의 시트 머리구속장치 평가에 관한 연구, 한국인 더미모델을 이용한 시트진동 시뮬레이션과 실차 시험의 비교분석 등의 연구가 있다.

척추 생체역학에 관련된 연구로는 척추경 나사못 고정과 강봉 감염술을 이용한 척추 측만증 교정해석 시 유합 범위에 따른 교정 효과 분석, 척추성형술 시술에서 PMMA 주입에 대한 흉추의 생체역학적 평가, 의료영상 분석과 유한요소법을 통한

추체 성형술의 다양한 인자들에 대한 생체 역학적 효과 분석, 척추체간 유합 케이지의 스파이크형상 변화에 따른 척추체의 응력분포 및 케이지의 안정성에 대한 수치적 해석, 유한요소 모델을 이용한 척추측만증 교정시 교정기구에 따른 효과 분석 등의 많은 연구가 활발히 수행되었다.

또한, 견인대의 기계적 특성에 대한 팔관절각의 영향, 3차원 달팽이관 모델에서의 인공와우 전극의 거동에 대한 유한요소해석, 관절계 역학적 특성의 유한요소해석, 유한요소법을 이용한 설측치아 교정시 전치부 후방견인에 관한 연구가 수행되어 인체 주요 기관의 생체역학적 모델링 및 역학적 특성 평가 기술이 구체적으로 제시되었다.

노인 및 장애인에 관한 연구로 장애인 및 노약자용 슬라이드 업 시트시스템, 노화장기보조기술, 노인운동증진·회복 기술, 노인용 자립형 이동지원기술, 자유도를 갖는 물리재활치료를 위한 로봇운동시스템 등의 연구가 수행되어 향후 생체 역학과 재활 공학의 새로운 변화를 제시하였다. [이영신, 충남대학교]

### 신뢰성공학

고장이란 제품(이하 소재, 부품, 구조물, 시스템 등을 총괄적으로 포함)이 어떠한 물리적-화학적 변화에 따라 본래의 목적에 충분치 않으면서 부분적으로 혹은 완전하게 그 기능을 상실하게 되는 현상을 말하며 이와 같은 고장현상은 단순 물리-화학적 과정뿐만 아니라 그와 같은 과정들의 반복, 복합형태로 나타난다. 신뢰성은 제품이 주어진 환경 및 기간 하에서 이와 같은 고장 혹은 파손 없이 그 기능을 유지, 수행할 수 있는 능력으로 정의할 수 있으며 따라서 실질적인 고장분석을 바탕으로 한 제품의 신뢰성설계는 미래에 발생될 고장을 발견하고 이를 예방하는 기술로서 모든 제품의 설계에 반듯이 수반되어야 할 공통사항이다. 한편 성능과 생산성이 충족되는 우수한 제품을 만들기 위해서는 비용절감, 효율적인 노동력 이용, 제조공정 개발 등의 다양한 조건들이 만족되어야 할 뿐만 아

니라 소비자가 원하는 제대로 된 제품을 만들기 위해서는 안전성과 내구성을 바탕으로 한 총체적인 신뢰성 제고가 필수적으로 요구되어 진다. 부품소재로부터 시스템, 구조물에 이르기까지 원천적 신뢰성향상이 수반되지 않고서는 좋은 제품을 기대할 수 없으며 이것이 바로 제조기술과 함께 신뢰성공학의 중요성이 강조되는 이유이다.

2004년도 신뢰성공학 분야의 연구는 우선 박막 광학 필터 디바이스의 패키징시 솔더 조인트의 피로 신뢰성 해석 논문이 발표되어 열하중 상태에서의 솔더 거동 해석 및 다양한 피로수명모델과 유한요소해석을 통한 열피로 수명 예측 방법이 제시되었으며, 디칸터의 고장분석 및 성능향상에 관한 연구논문을 통하여 질량 불평형, 마모, 균열 등 고장원인 분석을 통한 체계적인 성능 및 수명향상에 대한 방법이 제시되었다.

뿐만 아니라 APCFS 2004를 통하여 다양한 분야의 신뢰성 관련 연구논문이 발표되었으며 이를 주제별로 정리하면 다음과 같다: 1) Reliability theory and design techniques, 2) Probability and statistics for reliability, 3) Failure mode, effect and cause analysis, 4) Measurement or data collection for reliability, 5) Reliability testing, 6) Reliability, maintainability and availability, 7) Assessment or evaluation for reliability, 8) Reliability modeling and predictions, 9) Reliability of industrial products, 10) Software reliability and testing.

신뢰성 분야에서는 기계공학을 비롯하여, 전기, 전자, 소재 등 다양한 분야에 걸쳐 첫째, 제품 개발과 관련한 적합한 재료의 개발 및 선택뿐만 아니라 둘째, 사용 환경과 조건에 대한 정밀한 거동 특성 연구 및 고장분석이 요구되어 지며 셋째, 이들을 바탕으로 제품 사용에 따른 안전성과 내구성, 수명예측 등 신뢰성 분석 및 평가가 반드시 수반되어야 한다. 신뢰성공학은 이와 같은 과정을 수행하

는 포괄적 개념으로 제품에 대한 고장 원인을 분석하고 그에 대한 근본 원인을 이해함은 물론, 그와 관련된 또 다른 고장을 피할 수 있게 함과 동시에 차후 제품에 대한 설계 변경에 보다 효과적으로 사용될 수 있도록 실질적인 제반 노력을 기울여야 할 것으로 생각한다. [김태원, 한양대학교]

## 전산역학

수세기 동안 자연현상을 수학적 모델로 해석하기 위한 연구가 자연과학과 공학 분야에서 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다. 그러나 컴퓨터의 급격한 발전과 다양한 전산수치해석 기법이 출현하기 전까지 대부분의 전산해석 모델의 유용성은 자연과학과 공학에서 외면 당해 왔다. 2차 세계대전 이후, 컴퓨터의 등장과 함께 비약적으로 발전한 전산수치해석 기법은 과학과 공학 분야에 새로운 패러다임을 형성시켰으며, 오늘날, 공학설계 및 자연계 물리현상을 해석하는 데 있어 수치해석 이론과 자연과학이론을 접목한 전산수치해석 기법이 다양하게 적용되고 있다. 이와 같이 수치해석기법을 이용하여 자연계의 물리현상을 이해하고 해석하는 지식학문을 전산역학이라 하며, 기계공학 분야의 관점으로는 크게 전산고체역학과 전산유체역학으로 구분될 수 있다. 고체의 물체가 하중을 받을 때의 거동을 다루는 학문을 고체역학이라 하고, 고체역학의 이론을 컴퓨터를 이용하여 수치적으로 해석하는 것을 전산고체역학이라 한다. 전산고체역학은 자연계의 연속체를 수학적 모델로 단순화하고 변분법에 의해 유도되는 오일러 방정식을 미분 또는 적분 형태의 Lagrangian 또는 Eulerian 방법으로 이산화하고 이를 수치해석 방법들을 적용하여 물질의 거동을 예측한다. 수치해석방법으로는 유한요소법, 경계요소법, 무요소법 등이 있으며, 최근 전산고체역학은 그 수학적 모델을 수치해석으로 풀기 위한 많은 구성방정식들이 새로이 개발되어 멀티스케일(multi-scale), 나노연속체역학(nano continuum mechanics) 등으로 학문 분야가 점점 확장되고

있다. 전산역학은 자동차산업분야에서 그 적용이 두드러지고, 최근에는 IT 관련 산업뿐만 아니라 의로기기산업 등 거의 모든 산업분야에 적용되어 제품개발비 절감, 개발기간 단축 등 상당한 경제적 절감효과를 가져오고 있다.

전산고체역학, 특히 고체 및 구조역학 분야의 2004년도 대학기계학회논문집에 발표수록된 논문을 정리하였다. 2004년도 대학기계학회논문집에 발표된 논문 살펴보면 크게 두 분야로 나눌 수 있다. 첫째로 전산수치해석의 새로운 기법을 연구한 논문으로 변분적 다중 스케일 방법을 이용한 탄소성 변형의 무요소해석에 대한 연구[연정훈, 윤성기(KAIST)], 변분근사법을 이용한 FAM 과정의 접촉응력해석에 대한 연구[석종원(중앙대)], MINI-요소를 이용한 소성가공 공정 시뮬레이션 결과에 관한 고찰[전만수, 이민철, 정석환, 권영삼(경상대)], 강소성 변형해석을 위한 최소제곱 무요소법에 대한 연구[권기찬, 윤성기(KAIST)], 3차원 유한요소법을 이용한 나노압입에 의한 균열발생 하한계 해석에 대한 연구[구재민(성균관대)], 양측균열인장(DE(T)), 평판의 J-적분 시험을 위한 소성 계수에 관한 연구[송범구, 심도준, 김윤재, 김영진(성균관대)], 개선된 이점 대각 근사화를 이용한 함수 근사화에 대한 연구[김종립, 강우진, 최동훈], 이차원 매소해석에 의한 손상재료의 유효강성평가에 대한 연구[이정권(삼성전자)] 등이 있다. 둘째로 실제 산업분야에 전산수치해석을 적용한 연구 논문으로, 이방성 섬유 배열이 복합재료의 응력에 미치는 영향에 대한 연구[이정기, 이형민(홍익대)], 섬유 보강 복합재료의 미시역학적 거동해석에 대한 연구[정재연, 하성규(한양대)], CANDU 압력관의 블리스터 성장 예측을 위한 유한요소 수소 확산 해석에 대한 연구[김영진, 허남수(성균관대), 김윤재(고려대), 김영석, 정용무(원자력연구소)], T-형 복합 균열이 존재하는 증기발생기 전열관의 파열압력 시험 및 해석에 관한 연구[신규인(한국원자력안전기술원), 박재학(충북대), 김홍덕, 정한섭, 최영환(한국전력공사)], 내압을 받는 파워스터어링 호스의 유한요소

해석[조진래, 전도형, 노기태(부산대)], 유한요소 해석에 의한 헤밍 공정 변수연구[김형중, 김현영(강원대), 박준달(현대자동차)], 굽힘 모멘트가 작용하는 실린더의 비선형 처짐량 예측을 위한 새로운 공학적 계산식에 관한 연구[김영진, 허남수(성균관대), 김윤재(고려대), 정현규, 이동훈(한국원자력연구소)], 내부에 변동하는 유동을 갖는 직선 파이프의 안정성 해석에 대한 연구[홍성철(한라대)], 원 광폭평판 시험을 이용한 원자력 배관의 파괴거동예측에 관한 연구[허남수, 최재봉, 김영진(성균관대), 김윤재(고려대), 임혁순, 정대울(한국수력원자력)], 참조응력법에 입각한 표면균열배관의 파괴역학 해석에 관한 연구[심도준, 손범구, 김영진(성균관대), 김윤재(고려대)], TTT-LCE 모듈의 충격해석에 관한 연구[이정권, 최성식(삼성전자)], 최적화 기법과 분산 컴퓨팅을 이용한 재료 성형공정의 역문제에 관한 연구[최주호, 오동길, 하덕식(한국항공대), 김준범(삼성코닝)], 구조 변형을 고려한 연료전지 공기판의 유동해석에 대한 연구[양지혜, 박정선(한국항공대)], 풍선 확장식 스텐드의 기계적 특성에 대한 유한요소해석에 관한 연구[오병기, 조해용, 김용연(충북대)], 유한요소해석을 이용한 국부 감속배관에 대한 응력집중계수 제시[손범구, 김영진(성균관대), 김윤재(고려대)], 3차원 강소성 유한요소법을 이용한 환상압연공정 중 형상결함의 예측에 관한 연구[문호근, 정재현, 박창남(FAAG 베어링코리아), 전만수(경상대)], 이방성을 고려한 원통형 압전 변환기의 반경방향 진동 특성 해석에 대한 연구[이정구, 김진오(송실대)], 인장력하에서 길이방향으로 이동하는 비선형 탄성현의 경계제어에 관한 연구[박선규, 이숙재, 홍금식(부산대)], 유한요소법을 이용한 코트 스포츠화의 착지 충격력 평가에 관한 연구[김성호, 류성헌, 최주형, 조진래(부산대)], 선박 엔진 베어링 거동의 유한요소해석에 관한 연구[박영준, 심문보, 김현준, 서명원(성균관대)] 등이 있다.

2004년도 대한기계학회 고체 및 구조역학 분야에 발표된 전산고체역학과 관련된 논문을 종합

해 보면, 전산수치해석의 새로운 기법을 연구하는 연구자들도 많이 있었지만, 기존의 해석기법과 상용 전산수치해석 프로그램을 이용하여 다양한 문제에 적용하는 연구가 보다 많이 수행되었다. [김현영, 강원대학교]

### 복합 물리계 해석 및 설계 분야

복합 물리계(multiphysics system)는 전기, 자기, 구조, 열, 유체와 관련한 여러 물리현상 중 하나 이상의 물리현상이 연성되어 작용하는 계를 지칭하는 것으로, 최근 들어 이러한 물리계의 해석 및 설계에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있다. 현대에 들어와서 사용되는 시스템의 주 동력원이 전기임을 고려한다면 전기와 연성되는 복합 물리계에 대한 관심의 증가는 당연한 것이라 볼 수 있다. 또한, 미래 선도 기술로 각광 받고 있는 나노 혹은 마이크로 스케일 시스템은 대부분 이러한 복합 물리계의 영향을 받기 때문에 이에 대한 해석 및 설계가 핵심요소라 할 수 있다. 따라서, 선진국에서도 관련분야의 해석 및 설계 기술 선점을 위해 많은 노력을 기울이고 있어 국내에서도 이에 대한 연구가 시급하다고 할 수 있다. 다행히 국내의 연구자들도 관련 분야에 대한 연구를 심화하고 있고, 연구자 수도 점차 늘어가고 있는 추세이다.

2004년도 이 분야와 관련된 국내 연구 성과를 살펴보면 예년에 비해 관심 대상 시스템의 범위가 상당히 확장되었다는 것을 알 수 있다. 과거에 다루었던 복합물리 시스템이 몇몇 물리현상 및 시스템에 대한 한정적이었던 것에 비해 점차 관심 대상 시스템 및 물리현상이 다양해졌다는 것이다. 특히 생명공학과 관련된 연구가 크게 늘어 이에 대한 사회, 정부, 산업계, 학계 등의 증가하고 있는 관심을 잘 반영하고 있다.

### 국내에서 주로 다루어진 다물리계 시스템

지금까지 국내에서 연구된 복합 물리계들은 주로 몇몇 응용 분야에 한정되어 있었다. 특히, MEMS 구조물을 이용한 센서와 압전소자

(Piezoelectric Material) 관련 연구가 대부분이었으나 최근에는 그 연구 대상이 크게 확대되고 있다. 자기변형현상(Magnetostriction)을 이용한 센서 및 가진기에 관한 연구가 새롭게 수행되어 이에 대한 해석 및 설계가 이루어졌다. 또한 광기록 장치, 하드 디스크, IC 패키징 등 정보 저장기와 관련된 연구도 많이 이루어지고 있는데, 이것은 관련 분야의 국내 산업이 활발하였기 때문인 것으로 판단된다. 이 이외에도 고용량 기록을 위한 자력-광(magneto-optic) 근접장 기록을 위해 새로운 형태의 광학 캡 센서가 제안되었다. 그리고 열-구조 연성을 고려한 전자 부품의 열 피로로 인한 파괴 등도 연구되었다.

과거에 비해 연구가 가장 크게 늘어난 분야는 무엇보다 생명공학과 관련된 분야의 연구라고 할 수 있다. MEMS 기술, 자성유체 등을 이용하여 DNA 분리기, 단백질 검출기, 세포 계수기, 투약기, 유량 조절기 등의 다양한 시스템이 설계되었다. 생명공학 분야는 미래 신산업을 개척할 것이라는 기대로 전 세계적으로도 관련분야 연구활동이 크게 증가할 것으로 예측된다.

한편, 그동안 꾸준한 연구가 이루어졌던 MEMS, 압전소자 센서/트랜스듀서에 대한 연구도 활발히 이루어졌고 이 밖에도 전기-기계연성을 이용한 모터 토크 측정기, 자기-기계가 연성된 자기 스프링 등에 대한 연구도 눈에 띈다.

복합 물리계에 대한 전산 수치 해석 및 최적설계 연구

효율적인 복합물리계 설계를 위해서는 무엇보다 복합 물리 현상에 대한 정확한 해석과 이를 이용한 최적설계가 필수적이라 하겠다. 국내에서는 기존에 많이 연구되어 왔던 압전소자 와 전기-열-구조 시스템(electric-thermal-structure system)을 이용한 마이크로 가진기의 수치해석 및 최적설계가 주로 이루어졌다. 압전 소자에 대해서는 압전현상 모델링 기법 및 진동 특성 해석에 관한 연구와 초소형 가진기 최적설계에 관한 연구 등이 이루어졌고, 마이크로 가진기에 대해서는 신뢰성 평가, 공정을 고려한 최적설계 및 강건설계(robust design) 등의 연구도 수행되었다.

자기변형 현상을 이용한 센서 설계를 위한 자속 최적화에 대한 연구가 새롭게 제안되기도 하였다. 이 밖에도 분자 동역학 모델을 이용한 실리콘 돌기의 응착 마찰 해석 등도 이루어졌다.

이렇듯 복합물리계 해석 및 최적설계를 위해 많은 연구가 이루어졌으나 아직까지 연성되어 있는 물리현상 예측 모델의 정확도가 만족할 만한 수준은 아니다. 특히, 대부분의 복합물리계에서 관찰할 수 있는 비선형성에 대한 모델링 및 해석기법에 관한 연구가 부족하여 많은 연구자들이 이에 대한 고충을 토로하고 있는 실정이다. 따라서 앞으로 이에 대한 연구가 활발하게 이루어져 좋은 성과를 거둔다면, 복합물리계 설계 연구의 새로운 기틀을 닦을 수 있을 것으로 보인다. [김윤영, 서울대학교]

## 기계 용어해설

### 슬러그 흐름(Slug Flow)

수직관내 슬러그 유동은 관 직경과 거의 같은 직경을 가지는 테일러 기포가 상향으로 흐르며, 이 기포와 관 벽면 사이에서는 액체가 얇은 막의 형태로 하향운동을 한다. 이 기포의 길이는 직경 정도로부터 직경의 100 여배에 이르기까지 유동조건에 따라서 다르게 나타나며, 각 테일러 기포 사이에는 작은 기포들이 섞인 액체 슬러그가 존재한다. 이 유동은 대체로 작은 질량유속을 가진 2상유동에서 많이 나타나난다.