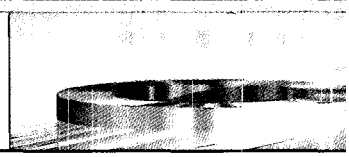
고체 및 구조역학 부문



글 • 이 영 신 부문위원장, 충남대학교, 교수
e-mail • leeys@cnu.ac.kr

이 글에서는 고체역학 및 연속체역학, 고무역학, 최적설계 및 CAE, 실험역학, 복합재역학, NANO역학, 원자력 구조 해석 및 설계, 생체역학, 신뢰성공학, 전산역학 그리고 복합 물리장 해석 및 설계 등 고체 및 구조역학 분야의 2003년 한 해 동안의 연구 동향에 대해 소개한다.

고체역학 및 연속체 역학

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 연속체역학은 재료 거동을 표현하는 수학적이고 물리적인 방법들로서 여러 분야의 기본이 되고 있다. 이 분야의 연구에 있어서 주요한 특징은 연구 분야가 분기되고 세분화되면서 그 영역도 꾸준히 확충되어 왔다는 점이다. 그 연구 주제가 유한요소법을 중심으로 한 CAE 응용 분야, 전기, 전자, 광학분야와 기구설계를 포함한 메카트로닉스 분야, 금속재에서 세라믹, polymer를 포함한 재료의 다양화 그리고 기존의 mm 단위에서 nm 단위로의 스케일 확장, 그리고 응력과 전기전이 복합된 복합물리장 분야 등으로 확산되고 있으며 이제는 모든 분야의 연구가 서로 유기적으로 연관되어 염격한 구분이 점점 어려워지고 있다. 이에 따라 고체 및 구조역학 부문의 세부분야를 계속 변경 보완하고 있다.

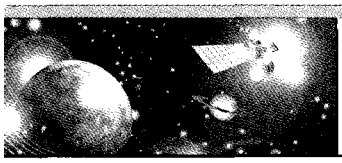
기계학회를 중심으로 관련학회의 2003년 발표된 논문을 조사한 결과 고체 및 구조역학 부문의 연구가 대부분이 CAE와 결합되어 있고 첨단 전자제품의 핵심부품 설계제작에 관련된 연구가 증가하고 있다. 그 중에서 형상 및 위상 최적설계 분야, 나노구조의 작동특성해석과 제작공정개발, 나노 스케일에서의 표면특성 즉 tribology에 관련된 연구, 그리고 복합물리장 해석 분야가 좀더 활성화되었다. 이들 분야의 연구동향은 이어지는 세부 분야의 활동상황을 참고하기 바란다.

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 구성방적식에 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 티모셴코빔과 평판의 거동 그리고 전왜재료(electrostrictive material)와 EAP(Electro Active Polymer) 등 신물질을 활용한 device의 모델링 및 특성 해석이 보고되고 있다.
[정동택, 한국기술교육대학교]

고무역학

고무는 재료의 비선형성과 함께 대변형에 해당되는 기하학적 비선형성도 가지기 때문에 토탈 라그랑지(total Lagrangian) 혹은 업 데이트 라그랑지(updated Lagrangian) 정식화가 필요하며, 이 기법들은 잘 정립되어 일반적으로 유한요소 정식화에 널리 사용되고 있다. 고무의 역학적 성질은 초탄성 및 점탄성 이론으로 나타낼 수 있으며 각각은 비선형 탄성해석 및 시간 의존성을 고려하여야 하며 또한, 고무재료는 온도 변화에 따라 물성치가 민감하게 변하기 때문에 이에 관한 특성도 해석 시 감안되어야 한다.

고무부품의 해석은 비선형, 대변형 유한요소법의 활용이 필수적이며 현재 사용되고 있는 상용 소프트웨어 중 ABAQUS, MARC, ANSYS 등이 많이 이용되고 있다. 초탄성, 점탄성 해석은 Swanson,



Sundberg와 Haggblad, Norman과 Kao 등에 의해 연구되어 왔으며, 고무 부품의 특성해석 및 형상 최적화는 Bernard와 Stakey, Ford, Henry 등이 연구하여 고무부품의 설계에 적용하였다. 국내에서도 엔진 마운트 및 각종 자동차용 방진고무의 비선형 유한요소 해석을 통하여 변형, 강성 및 점탄성 등을 예측하는 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

최근 고무부품에 대한 피로수명 및 신뢰성 예측에 관한 관심이 높아지고 있다. 고무부품에 대한 피로해석 및 수명평가에 관한 연구는 크게 피로수명 예측과 균열 성장을 예측하는 데 중점을 두고 있다. 고무에서의 피로시험은 고무 부품에서의 정확한 응력 결정이 매우 어렵기 때문에 대부분 변위 제어로 실행되어지고 고무 피로수명 인자는 변위로부터 직접적으로 결정되는 최대 주 변형률과 변형률에너지 함수로 알려져 있다.

Cadwell은 충전되지 않은 가황 천연고무에 대해서 -40%에서 +500% 이상 범위의 변형률과 12.5%에서 350%까지의 변형률 진폭을 연구하였으며, 일정 변형률 진폭에 대해서 천연고무의 피로수명은 200% 변형률 수준까지는 변형률이 증가함에 따라 향상되고 200%를 초과할 때는 피로수명을 감소시킨다는 것을 알았다. 그 후 Roberts와 Benzies, Roach는 단순 인장, 등이축 인장 조건 하에서 피로수명을 조사하였다. 피로 균열 성장 모델에 대한 연구에서는 변형률 에너지 밀도가 피로 균열을 예측하는 변수로 사용되었다.

대부분의 고무부품은 환경적인 영향에 의한 노화와 반복 하중에 의한 피로손상 누적으로 수명을 다하게 되지만, 하중과 온도를 고려한 고무부품의 피로수명 예측 및 평가에 대한 연구는 아직 잘 정립되어 있지 않은 상태이다. 최근에는 온도변화에 따른 고무물성 데이터 베이스를 구축하고 고무 재료의 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 개발되었다.**[김완두, 한국기계연구원]**

최적설계 및 CAE

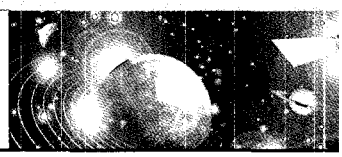
2003년도 본 분야 활동의 특징은 지난 몇 년간 CAE 및 그 응용연구의 발전으로 제품설계 프로세스에 CAE를 본격적으로 도입하여 활용하는 최적설계 분야 연구가 매우 활발하였다는 것이다. 이는 지난해 CAE 시장조사 결과 최적화 프로그램에 대한 요구가 높았던 점과도 일치하는 사실로 현업에 종사하는 엔지니어들이 기업의 제품 개발기간을 획기적으로 줄일 수 있는 대안으로 CAE를 기반으로 한 최적설계의 필요성에 공감하는 것으로 사료된다.

전산 수치해석 기법

새로운 해석 기법을 연구하는 국내 연구 그룹들도 많이 있지만, 상당수의 연구 그룹들이 지금까지 연구된 전산 수치 해석 기법을 국내 고유 소프트웨어로 개발하려는 노력의 일환으로 기존 해석기법의 안정화 및 대형문제에서의 효율개선, 그리고 새로운 유한요소개발에 대한 연구결과가 다수 발표되었다. 적용 범위도 선형방정식 해법, 고유치해석, 대변형 해석, 동점탄성해석, 다물체 시스템 해석 등 다양하였으며, 이러한 경향은 발표논문수와 관계없이 지속되리라 예상된다.

CAE 응용

CAE를 설계 및 제조 프로세스에 적용하는 CAE 응용연구는 2003년에도 다양한 문제에 CAE 기술이 적용이 되고 있다는 것을 주 특징으로 들 수 있다. CAE 상용소프트웨어를 사용하여 설계 프로세스에 적용한 연구의 대상제품은 플라스틱 스퍼기어, LNG선, 대용량 compact형 로드셀, 용접구조물, 왕복동형 압축기의 피스톤, 상세 트레드 패턴을 반영한 타이어 등이며, 알루미늄 링압연 공정, 로워암 커넥터 열간단조 공정, 롤포밍 공정, 등 통로각압축 공정, Al 합금 분말의 정밀정형, 마이크로 채널 충전 과정 등 여러 산업분야에서 발생하는 제조 프로세스에 적용한 연구들이 발표되었다. 또한 뼈 성장과정



을 모사하는 생체역학분야 및 실험제작에 의존했던 MEMS 분야에서도 전산모사를 활용한 CAE 응용연구가 진행되고 있다.

최적설계

CAE를 설계 프로세스에 적용하는 CAE 응용연구의 발전은 CAE기반 최적설계 분야로 확장되어 CAE 응용연구보다 많은 연구 결과가 전문 학술지 그리고 학술대회 발표논문집을 통해 발표되었다. 최적화기법으로는 전역최적화 방법, 메타모델을 이용한 근사최적화 방법, 민감도해석 개선 등이 제시되었고, 형상 및 위상을 고려한 구조최적설계, 통계적 기법에 기반한 강건최적설계에 관한 연구도 꾸준히 진행되어 연구결과가 발표되고 있다. 최적설계에 적용된 설계 대상은 공기윤활 슬라이더 베어링, CRT 형상, 철도차량 현수장치, 캘리퍼 디스크 브레이크, 사출성형시스템, MEMS 구조물, 원형 확장 휜 열교환기, 다중판재의 고속충돌, 마이크로 자이로스코프, 점성구동 마이크로 펌프 등으로 다양한 산업제품설계에 최적설계가 활용되어 설계프로세스의 효율성을 향상시키는 역할을 수행하였다. 이러한 CAE기반 최적설계 분야의 연구는 더욱 활발해질 것으로 기대된다. **[민승재, 한양대학교]**

실험역학

실험역학은 공학이론과 현장을 연결시키는 데 반드시 필요한 영역인 동시에 공학 이론과 설계방법을 완전하게 체계화하는 데는 반드시 필요한 영역이다.

1276년에 Roger Bacon은 실험의 중요성을 아래와 같이 말하였다.

"The scholar who does not know mathematics does not know any science "(but)".....without experiment noting can be adequately known

컴퓨터가 아무리 발달하더라도 어떤 이론의 유효성을 확인하기 위해서는 반드시 실험적 검증이 있어야 한다. 그래서 과학에서는 실험이 절대적으로 필요하다. 그러므로 우리는 실험을 중요시해야 한다. 그래서 이 글에서는 2003년 7월에서 2004년 6월까지의 대한기계학회논문집에 투고된 논문 중에서 실험에 관련된 논문들을 분석하여 우리나라의 현 실험역학의 현주소와 실험역학의 나아갈 방향을 제시하고자 한다.

매월의 대한기계학회논문집에 수록된 논문을 전적으로 실험에 관련된 논문을 순수실험 논문, 실험이 이론보다 더 비중이 큰 논문, 이론이 실험보다 더 비중이 큰 논문 등으로 구분하였다.

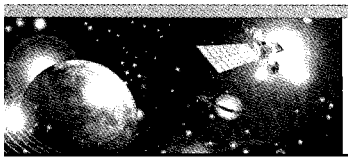
대한기계학회논문집 A와 B의 1년간 총 논문편수에 대한 실험논문의 편수 비율은 각각 44(45)%와 55(60)%이다. 논문집 A와 B의 순수연구에 가까운 실험논문의 비율은 각각 32(30)%와 39(45)%이다. 그리고 산업현장에 관계되는 실험 논문의 비율은 각각 12(16)%와 16(15)%이다. 보편적으로 실험논문이 많다고 볼 수 있다. 이후의 ( )안의 숫자는 작년(2003년도)의 수치를 나타낸다.

그리고 대한기계학회논문집 A와 B의 1년간 총 논문편수에 대한 순수 실험논문 편수 비율은 각각 21(27)%와 40(45)%이다. 논문집 A와 B의 순수연구에 가까운 실험논문의 비율은 16(19)%와 29(37)%이다.

그리고 산업현장에 관계되는 실험논문 비율은 각각 5(8)%와 11(14)%이다. 순수 실험논문비율도 생각보다 높은 편이다. 전체 논문에 대한 순수 실험논문의 비율은 매년 조금씩 줄어 들고 있다. 이것은 앞으로 제품의 내구성이나 안전성 평가와 관련이 있으리라 생각된다.

2003년 7월부터 2004년 6월까지 대한기계학회 논문집 A에 수록된 실험 논문의 중요 내용은 금속기 복합재료, 등가압 성형과 정수압 성형, 접합 재료 계면 수정, 지능화 차량의 적응제어, 동적거동, 밸브 트레인 시스템의 태핏 회전, 프레팅 피로 균열의 거동, 궤도 차량의 동적 궤도 장력 조절 시스템, 모드 II 하중을 발수 시편의 피로 균열 전파 거동, MEMS 구조물의 최적 설계 기법, 동적 광탄성 실험 하이브리드법, 마이크로 자기센서, 엔드밀의 마모 상태, 배관의 손상 거동, 인장 및 저주기의 피로 물성과 동적 변형 시효와의 관계.

열교환기의 치수 강건 최적 설계, 자기 동조 PID 제어, 미세구조 제작, 반투명 RP재료 개발, 모터 고

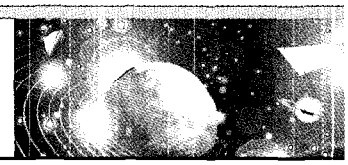


정자의 코일 전선기의 동특성, 가공오차 및 조립오차가 유성 기어열의 정특성에 미치는 영향, 구조용 벌크 아몰퍼스 금속의 변형 및 파괴거동, GMT 평판의 볼트 조인트 강도평가, 레디얼 타이어의 사이트 월 횡강성 저주기 피로 거동에 미치는 온도의 영향, 원통의 굽힘, 구멍 주위의 피로 균열, 가속도 앞먹임 제어, 헬리켈 기어의 동적 전달 오차, 수직 선반의 설계, 미세 기어 하우징 성형, 초탄성 마이크로 그리퍼의 설계, 제작 및 성능 평가, 평판의 진동 제어, 랜덤하중 하에서 피로 균열 진전 예측, WEDM 가공특성과 전기 전도율의 관계, 캡슐 내시경의 이동메커니즘, 회전체 격렬한 신호의 패턴 인식.

크레인시브와 로프간의 미끄럼 마멸 특성, AL합금 분말의 정밀 정형, 임펠러의 효율적인 5축 NC황삭 가공, 앞방향 원격 조종 시스템, 재질 열화가 프레팅 피로 거동에 미치는 영향, CT 시편으로 측정한 J 저항 곡선, 하중 감소에 의한 균열지연, 사각관보의 국부적 좌굴붕괴 거동, 유체 저장 탱크 내부의 슬로싱, 랜덤 하중하에서 발생한 피로 파면 해석 방법, 세포막 침습력 측정, 화학적 초음파 가공을 이용한 유리의 미세 가공, 고정도 정전 용량형 미소 가속도계, 이송 장치 설계, 하이브리드 복합재의 중간 분리 거동 평가, 카오스 마이크로 믹서 채터 진단, 압축가열 방식의 도광판 성형, 사파이어 웨이퍼의 기계-화학적 연마 가공 특성, 유사도 측정, 증기 발생기 전열관의 파열 압력 시험, 맞대기 용접 특성, 섬유강화 금속 적층대의 중간 분리평가법, 압력관의 블리스터 성장 예측 절삭 특성과 가공 변질층, 속도 센서리스 토크 감시, 차선 감지 시스템, 매개 변수 추정과 토코 모니터링쇼 시스템, 광학 갭센서, 원통형 압전 변환기의 반경 방향 진동 특성, 섬유 배향각과 피로 균열 및 중간 분리 거동과의 관계, 초경량 금속 구조재, 나노 압입에 의한 균열 발생 하한계, 타이어 3차원 진동모드와 휠/축과의 관계, 저주기 피로 거동에 미치는 온도의 영향, CTOD 측정봉 δ_5 Clip Gage 설계, 원자력 배관의 파괴 거동 예측, 초음파 감쇠계수에 의한 균열 깊이 측정, 2축 피로수명의 변화와 예측, 고온 저주기 피로거동, MEMS 밀봉 패키징 및 특성, 복합 재료의 균열 진전 및 AE 평가, 실온 변형과 크리프 수명과의 관계, Nd-Yag 레이저 화학 증착을 이용한 Sic 로드 성장 수지 이동 및 변형 과정 예측 시스템 설계, 다관절 로봇 매니 퓰레이터, 저합금강의 SP-곡선과 인장물과의 실험적 관계, 비압축 관찰 브리넬 경도, 공압 서보 XY-플로터의 운동제어, 중수로 압력관의 수화물과 LBB 평가와의 관계, 3차원 미세구조물의 제작 기술, 직류전위차법을 이용한 배관 균열 길이 측정, 제품 정보 추출 시스템, 아이어닝과 리드로인의 복합 공정, 진동에너지 변환 전력 발생 시스템, KTX 동력차의 헌팅 운동, 초고주파 진동 항타기의 구동 성능 형상을 위한 파라미터 설계 및 항타 진동의 전달과 감쇠 특성, 적층형 multi-chip module 내부에 삽입된 초소형 열교환기의 대류 열전달, 접착부의 형상 설계, 원통형 노치시편의 피로 균열 발생 수명의 예측, 대형 트럭 조종석 향상을 위한 설계인자 최적 조합, 한국형 털팅 열차 하이브리드 차체 구조물의 정적 안전성 평가, 미소압입 시험기의 소프트웨어 및 하드웨어 개발, 최적 성형 제품, 금속 분말의 온간 등가압 성형, 고무 부품의 재료 시험 및 비선형 재료 물성, 헬릭스 강의 변화에 따른 밀링 공구의 변위 특성, 마이크로 드릴 공정의 머신비전 검사 시스템 등이다.

위의 연구들은 대부분의 각종 재료나 부품의 피로 거동에 관한 실험이다. 단, 산업 구조물이나 산업 구조물에 사용되는 재료, 산업 구조물 부품 등의 성능 평가나 설계 및 제작 등에 관계 되는 실험이다. MEMS나 nano-scale, Bio에 관계되는 실험은 240편 중에서 7편이고 전 영역 실험은 한 편이다.

그리고 대한기계학회 논문집 B에 수록된 실험본문 중요 내용은 모스전계 효과 트랜지스터 단면의 상대온도 및 전위분포, 배기 매니폴드 직접 부착 촉매장치의 배기 유동 특성, 액체 건조제 제습용 판튜브형 재생기의 성능인자, 진공 침탄로 내의 절연 해석, 전향 축류형 펜의 익단 누설 유통구조, 송출공의 회전이 송출계수와 압력계수에 미치는 영향, 압축점화 가솔린기관의 성능 및 배기 특성, 층류 박리 후향 계단 유통의 이중주계수, 이상유동, 테프론 코팅 전역관 표면의 열 및 물질 전달 특성, 농도구배와 평균속도와 산지화염 부상 특성과의 관계, 동축화염 부상화염의 blow-off와 연소특성, 난류유동하의 덕트 내의 확산, 가스터빈 연소기내 CARS온도 측정을 통한



연소해석, 원주의 항력감소 부상유전군의 연소기구 · 열확산도 측정용 광열신기루 기법, 수소 연료 생산의 효율 향상을 위한 초음파 응용, 회전 송출공의 압력계수, Gun 가스버너의 난류 유동장 발달에 미치는 슬럿과 스웰베언, 액체의 과열 계측 한계점과 과열 한계에 달한 액체의 거동, 금속 마이크로 입자와 나노입자 합성, 가솔린 엔진의 실린더 벽면의 연료 액막 거동, 다수 비예혼합 화염의 안정화 특성, 스크류형 과급기개발, 고압분사 경유-물 혼합연료의 연소 특성, 전기 집진기의 오존, Nox가 발생 및 입자제거 특성, 한국 표준형 원전의 POSRV하부 배관의 유동해석, 과소 팽창 음속 제트의 소음 저감, 메탈 나이트 레이트가 도포된 기판과 C_2H_4 역확산화염을 이용한 탄소나노튜브 및 탄소 나노 섬유의 합성, 에어로졸 중화기의 나노입자 하전특성, 에어로졸 중화기의 성능이 고하전입자의 크기 분포측정에 미치는 영향, 통합 프린지해석 시스템개발, 전기집진부의 나노입자 집진효율, 기포유동의 온도 장진타입 버너의 수소연소, 화염감시 시스템, 입자분리기 최적설계용 다상 유동해석, 식물 목적부 내부 수액 유동계측, 와동발생기 하류의 유동장 및 열전달 측정, 엔진 성능 및 배출에 미치는 EGR의 영향, miniature sterev-PIV 시스템 개발, 실린더 후류의 와류 특성변화, DGM과 EGR방법이 디젤기관의 배기 배출물에 미치는 영향, 코리올리스 직량유량계의 유량 측정에 영향을 미치는 인자, 후향계단 주위 난류 박리유동에 대한 비정상 후류의 영향, 선박용 프로펠러 후류의 3차원 속도장 측정, 나노/서브 마이크론 입자의 발생, 혼합모델에 의한 GDI 분무예측, 축류팬 내부유동장 계측 및 평가, 몬테카를로 모사를 이용한 측정 불확도 평가, 미분형 전기이동도 분석기의 교정 및 불확실도 측정, 보일러 최적운전을 위한 슬래킹 및 파울링 제거, 층류 확산 화염의 질소첨가와 예열온도가 매연생성에 미치는 영향, 산소 부화연소에 CO_2 첨가에 대한 연소 특성, 액체 로켓엔진 연소실의 상온 음향시험, 대형 디젤기관에 초저유황경유, 바이오 디젤 및 디젤 산화촉매 사용시의 배기가스 특성, 대형 LPG 엔진용 피스톤형상 및 흡기포트 선회비 최적화를 위한 기사화 엔진 내 스월유동특성, CD-ROM 드라이브의 대물렌즈 입자오염이 레이저 다이오드 RF 신호에 미치는 영향, 헬리컬 흡수기의 열 · 물질 전달 특성, 분무 특성이 에칭 특성에 미치는 영향, 원형 선형류 제트 충돌면의 유동 및 열단달, 다중관에 의한 충돌제트의 유동 및 열전달, 사이클론 제트 하이브리드 연소기의 연소특성, 산소 부하 공기가 동축비예 혼합제트 연소특성에 미치는 영향, 축류홴의 일단누설와류 및 후류에서 유량에 따른 변동속도의 주파수 특성, 판형 열교환기의 맥동 유동에 의한 열전달 촉지, 산화 부화조건의 메탄상세 반응기구, 기판상에 합성한 탄소나노튜브의 성장에 미치는 촉매금속입자의 분포와 기판온도의 영향, 산소부화 공기가 동축 비예혼합제의 제트의 연소특성에 미치는 영향, 교류방식 유속측정법, 휴대용 컴퓨터 내에 설정된 강제 공랭 모듈 주위의 유체유동과 온도분포, 물 · 공기 혼합분무에 의한 고온 강판 냉각, mm 스케일의 이상 분해 반응기, 압력장 측정기술의 이미지 등록, 연소공기의 산소부화농도에 따른 난류확산 평면화염의 연소 특성, 수평관 내 초임계 영역의 CO_2 냉각 열전달 특성, 엇갈린 배열의 사각홀이 막냉각에 미치는 영향, 페러데이 케이지와 에어로졸 하전기의 설계 및 성능평가, 균질혼합 압축점화기관의 배출가스특성, 초기 횡방향 유동이 존재하는 충돌제트/유출 냉각에서 요철이 설치된 유출면의 열/물질 전달 특성, 서브 마이크론 입자 측정용 저압 임팩터의 설계 및 성능평가, 고온 공기를 이용한 제트확산화염의 연소 특성 러쉬론 교반기 내 난류 특성, 현절비가 터보펌프 인듀서의 성능에 미치는 영향, 다단연소기를 이용한 LNG 화염의 NOx 발생에 관한 실험적 연구, 전자장비 냉각을 위한 2상 순환형 서모사이폰 시스템의 성능, 희박 예혼합 모형 가스터빈 연소기의 화염구조와 배기특성, 이중분무의 분무특성과 에칭특성의 상호상관, 수직분사각도를 갖는 직사각 막냉각홀 내부의 유동 및 열/물질 전달 특성, 배플판형상이 다른 Gun식 가스버너의 난류유동 특성, 장방형 딤플을 가진 회전원주의 유동장 hele-shaw cell 내부 열유동, 비구형 입자의 형상에 따른 단극 확산 하전특성 열소자를 이용한 카시트의 냉 · 난방제어, 회전각이 큰 터빈 동일 누설 유동영역의 열(물질)전달특성, 음향 가전된 프로판 비예 혼합제트화염의 부상거동,

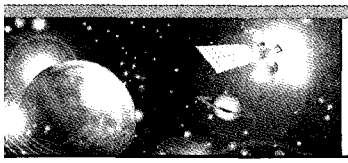


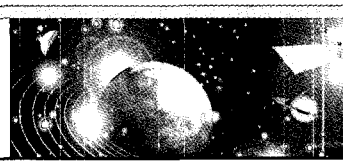
표 1 대한기계학회논문집 A와 B의 1년간의 실험논문 분포 현황 (2003년 7월~2004년 6월)

		$\frac{D}{C}\times100(\%)$		$\frac{E}{D}\times100(\%)$		$\frac{F}{D}\times100(\%)$		$\frac{G}{D}\times100(\%)$		$\frac{E}{D}\times100(\%)$		C	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
2003년 7월	연구	20	14	45	29	0	14	0	0	20	5	25	21
	산업	24	19	27	29	18	29	9	0	12	10		
8월	연구	13	38	20	67	40	22	0	0	4	29	23	21
	산업	9	5	40	11	0	0	0	0	9	0		
9월	연구	17	28	43	83	14	0	0	0	13	28	23	18
	산업	13	6	0	17	14	0	29	0	0	6		
10월	연구	33	30	43	56	14	0	0	0	25	30	24	20
	산업	25	25	29	27	7	9	7	9	17	15		
11월	연구	28	53	25	45	25	18	25	9	9	33	22	15
	산업	9	20	0	27	25	0	25	0	0	20		
12월	연구	31	38	33	10	50	40	0	10	13	6	16	16
	산업	6	25	17	20	0	20	0	0	6	13		
2004년 1월	연구	46	40	29	67	43	0	14	0	15	40	13	15
	산업	8	20	14	22	0	11	0	0	8	13		
2월	연구	31	53	50	60	0	20	17	0	23	20	13	15
	산업	15	13	0	20	17	0	17	0	0	0		
3월	연구	47	60	13	67	25	8	50	0	13	53	15	15
	산업	7	20	0	8	13	17	0	0	7	7		
4월	연구	45	40	73	67	9	0	0	0	40	40	20	15
	산업	10	20	0	33	9	0	9	0	0	20		
5월	연구	35	43	33	71	44	14	11	0	13	36	12	14
	산업	4	7	0	0	0	0	11	14	0	0		
6월	연구	40	33	31	14	23	57	23	0	16	7	25	15
	산업	12	13	0	14	15	0	8	14	0	7		
평균	연구	32	39	37	53	24	16	12	2	17	27	20	17
	산업	12	16	11	19	10	7	10	3	5	9		

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

micro-PIV를 이용한 마이크로 튜브/채널 내의 혈장 유동측정, 환-튜브형 액체건조제 제습기의 높이에 따른 성능 특성, 워터젯 흡입덕트 내부의 난류유동 측정, 좌굴과 상변화를 이용한 micro actuator의 개발과 해석, 하천수를 이용하는 열교환 시스템 내 파울링 형성, 원통 내 수평 보텍스링의 거동 X-ray 미세 영상기법을 이용한 미세포의 크기 및 속도 동시 측정기술, 냉각 평판의 착상현상 예측용 모델링, Y형 마이크로 채널의 물/기름 2상유동에 대한 micro-PIV 측정, 철도차량의 승강장 통과시에 발생하는 공기역학적 영향 등이다.

위의 열공학 · 유체공학 · 에너지 및 동력공학 부문 등의 1년간 실험의 주 내용은 각종 형상에 따른 유동특성, 열전달, 이상 유동양식, 열 · 물질전달특성, 각



종 조건에 따른 화염구조 및 연소특성 등이다. 1년간 총 204편 중의 55%은 실험논문이다.

이 204편 중의 nano-scale이나 MEMS에 관한 논문의 편수 7편이나 3.4%이다. 그리고 전 영역에 대한 논문의 편수는 1편이다. 작년(2002년도 7월부터 2003년 6월까지)에 발표된 논문의 편수는 201편이고 이중의 실험의 논문은 60%이다. 발표된 총논문 편수는 비슷하나 실험논문편수는 줄어들고 있다.

재료 및 파괴, 고체 및 구조역학, 동역학 및 제어, 생산 및 설계공학부분의 작년 논문의 편수는 307편이고 올해의 편수는 240편이다.

전체 논문편수에 대한 실험논문의 편수의 작년 비율은 48%이고 올해는 44%이다.

그리고 열공학, 유체공학, 에너지 및 동력공학 부문의 작년 논문의 편수는 201편이고, 올해는 204편이다. 실험논문 편수의 작년 비율은 60%이고 올해의 비율은 55%이다.

이 경우도 조금씩 줄어들고 줄어든 양은 약 5%이다. 두 분야에 줄어든 양은 각각 4%이고 5%이다. 즉 비슷한 비율로 실험이 줄어들고 있다.

재료 및 파괴, 고체 및 구조역학, 동역학 및 제어/생산 및 설계공학 부문의 실험 논문 중에서, 즉 대한기계학회논문집 A의 실험 논문 중에서 전 영역 실험에 관한 논문은 일 년 중에 1편 정도 발표되었다. 1편에는 광탄성 실험법 등이 이용되었다. Nano 사이즈나 MEMS의 실험에 관한 논문 편수는 5편 정도이다. 열공학, 유체공학, 에너지 및 동력공학 부문의 실험논문 중에서, 즉 대한기계학회논문집 B의 실험논문 중에서 nano 사이즈와 MEMS의 실험에 관한 논문 편수는 5편이다.

NT와 MEMS에 대한 연구가 활발해짐에 따라 외국에서는 NT와 MENS에 대한 실험역학도 아래와 같이 활발히 진행되고 있다.

고체 역학의 세계적인 실험 역학 논문집을 발행하는 Society for EXperimental Mechanics, Inc가 주관한 2002 SEM Annual Conference (June 10~12,, 2002, Milwaukee, Wisconsin, U.S.A.)의 프로시딩에 수록된 총 논문 편수는 225편이고 이 중에서 나노 사이즈와 MEMS의 실험역학(Experimental Mechanics of Nanoscale and MEMS)의 논문편수는 47편이다. 그 비율은 약 21%이다.

2003 SEM Annual Conference(June 2~4, 2003, Charlotte, North Carolina U.S.A.)의 프로시딩에 수록된 논문편수는 263편이고 이 중에서 나노 사이즈와 MEMS의 실험역학의 논문의 편수는 57편이다. 그 비율은 22%이다.

2004 SEM Annual Conference(June 7~10, 2004, Costa, Mesa, Califonia, U.S.A.)의 프로시딩에 수록된 총 논문 편수는 436편이고, 이중 나노 사이즈와 MEMS의 실험역학(Experimental Mechanics of Nanoscale and MEMS)의 논문편수는 50편이다. 그 비율은 약 11.5%이다.

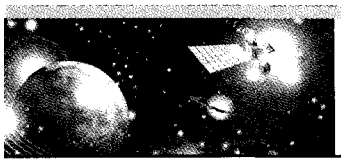
우리나라의 나노 사이즈와 MEMS의 실험역학은 매우 초보단계이다. 그러나 외국에서는 나노 사이즈와 MEMS의 실험역학기 활발히 연구 되고 있다.

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 Tormorgraphic Method 등을 이용해야 한다. **[황재석, 영남대학교]**

복합재 역학

우주 · 항공용 소재에 국한되어 사용되었던 복합재료를 현재는 기계 · 건설 산업의 전반적인 분야와 스포츠 · 레저 등의 다양한 분야에 적용하기 위한 연구



개발이 '고강성 복합재료 라인 보링바'가 IR52 장영실상에 선정된 것을 비롯하여 지속적으로 진행되고 있으며, 연간 수백억 원 이상으로 시장 규모도 커지고 있다. 복합재는 두 가지 이상의 서로 다른 물질이 거시적으로 혼합되어 각 성분의 특성을 모두 이용할 수 있다는 장점이 있으며, 각 성분을 혼합하는 방법에 따라 원하는 복합재의 특성을 얻을 수 있기 때문에 설계의 자유도가 확장된다. 섬유강화 복합재료의 경우는 과거에 주로 사용되던 열경화성 수지뿐만 아니라 세라믹, 탄소와 보수 및 재활용에 용이한 열가소성 수지 등을 모재로 사용하고 있다. 기능성 경사재료(FGM)와 나노 복합재 및 탄소나노튜브가 적용되는 복합재에 관한 연구도 확대되고 있는 추세이다. 이러한 복합소재의 다양성에 비하여 복합재의 구조해석 및 설계를 위한 역학 분야는 복합재의 이방성에 기인한 수식의 복잡성으로 간단한 구조에서 조차 완전한 해석해를 구하기가 어렵기 때문에 수식의 단순화를 위한 가정을 통하여 해석해를 구하거나, 유한요소 등을 이용한 수치해석기법으로 해를 구하고 있다. 이 글에서는 복합재 거시역학, 복합재 미시역학 및 복합재 샌드위치 구조에 대한 연구동향을 간략히 소개하고자 한다.

복합재 거시역학은 섬유와 기지의 성질이 완전히 혼합되어 평균 성질을 나타낸다고 가정하여 응력 및 변형률을 계산하는 방법이다. 간단한 경계조건 및 기하학적 형상을 갖는 복합재 구조에서는 고전적층판이론(CLPT)이 복합재 평판의 응력 및 변형률 계산에 많이 사용되어 왔으며, 올해 출판될 예정인 'Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures'의 부록으로 CLPT 프로그램 'Axiomatic CLPT'이 제공될 예정이다. 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 쉘 형상의 복합재 구조의 유한요소 해석은 층간응력 및 필(peel)응력을 모두 고려한 플라이(ply) 해석이 가능하나, 두께가 두꺼운 복합재 구조의 유한요소 해석은 유한요소 개수 및 해석시간의 한계로 대부분 직교이방성 물성을 가지는 구조해석으로 제한된다.

복합재 역학의 미시적 방법은 복합재료 각 층 내의 섬유와 기지를 구별하여 각각에 걸리는 응력과 변형률을 계산하는 방법이다. 미소역학은 단섬유를 이용한 복합재 구조 성형의 유동 해석, 복합소재의 물리적 및 기계적 물성 예측 모델 설정 등에 적용된다. 최근에는 복합재 구조의 파괴에 대한 정확한 예측을 위한 모델링과 나노 복합재와 같은 미소 혼합물의 해석에 미소역학적 접근 방법을 이용한 연구가 활발하다. 복합재 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 복합재 구조에 국한되어 이루어지고 있다. 이 외에도 열 및 수분 하에서의 복합재 구조의 거동 및 응력해석, 고속 및 저속 충격에서의 복합재 구조의 에너지 흡수능 예측을 위한 해석, 복합재 구조의 접착부 해석에 대한 연구도 진행되고 있다.

한편 복합재 샌드위치 구조는 굽힘하중을 주로 받는 경량 구조인 항공기, 고속전철, 쾌속정, 반도체용 로봇팔 그리고 공작기계 등에 적용되고 있으며, 기존의 허니콤(honeycomb)을 이용한 샌드위치 구조 대신에 다양한 물성을 얻을 수 있고 형상이 복잡한 구조의 샌드위치 구조에도 적용이 가능한 폼(foam) 재료를 이용한 샌드위치 구조의 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 기존의 허니콤을 이용한 평판형태의 복합재 샌드위치 구조에 대한 해석은 많이 수행되어 있지만, 폼과 같은 새로운 코어를 적용한 복합재 샌드위치 구조에 대한 해석이나 실험 데이터베이스는 아직 부족한 실정이다. 또한, 항공기나 고속전철의 외판에 사용되는 복합재 샌드위치 구조는 외부충격에 견뎌야 하기 때문에 충격특성의 연구도 중요하다. 향후 국내에서 개발될 고속 수송수단을 포함한 다양한 구조물의 경량화 경향을 고려할 때, 복합

재 샌드위치 구조에 관한 연구는 더욱 가속화될 전망이다. [이대길, KAIST]

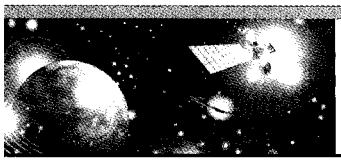
나노역학

나노역학은 나노시스템이나 나노소재에서 시스템의 역학적 반응을 해석/측정하고 규명하는 분야로서, 나노 스케일의 시스템이나 소재 및 공정의 설계, 제조 및 응용을 위해서 필히 갖추어야 할 기반기술이다. 전통적인 기계공학의 관점에서는 해결하기 어려운 나노 스케일의 시스템을 다뤄야 할 때 새로운 공학적 문제에 직면할 수밖에 없고, 결국 이러한 공학적 문제를 중심으로 다양한 연구들이 진행되고 있다. 특히 2002년 가을부터 100에서 10nm에 이르는 극미세 산업용 부품을 제조하기 위한 기존 공정기술의 고도화와 신공정기술의 개발 및 공정관련 장비의 개발과 생명과학, 광전자기술, 전자공학, 마이크로시스템 등 다양한 분야의 부품 적용기술 개발을 지원하기 위한 여러 기술 개발 연구 사업이 국내에서 진행 중에 있다. 또한 독특한 전기적, 화학적 특성과 뛰어난 기계적 특성으로 인하여 macro 세계의 한계를 극복할 수 있는 유망한 나노 소재로 인식되고 있는 탄소나노튜브에 관한 연구가 활발히 진행 중이며, 나노 스케일의 현상을 해석하기 위한 기법으로서 각광받는 분자동역학 시뮬레이션 기법의 기계 공학에의 적용 및 원자 수준과 거시적 수준의 스케일의 해석 기법을 연동하는 다중 스케일 해석 기법에 관한 연구의 결과가 발표되었다. 2003년도 대한기계학회 논문집이나 KSME International Journal에는 관련 논문이 게재된 경우가 없었으며, 학술대회 및 고체 및 구조역학 부문 학술대회를 통해 리소그래피 기술에 관련된 논문이 6편, 나노 공정 해석 기술에 관련된 논문이 6편이 발표되었으며, 나노 공정 측정 기술과 탄소나노튜브에 관련된 논문이 각각 2편씩 발표되었다.

나노 리소그래피 기술

IT 및 NT 기술의 발전과 더불어 나노 스케일의 선폭을 갖는 반도체 소자의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 저가로 고생산량의 소자 제조를 가능하게 하는 리소그래피 기술에 관한 연구가 '나노메카트로닉스 기술개발사업'과 함께 활발히 진행되고 있다. 이러한 나노 리소그래피 기술로는 기존의 노광기술(photolithography)이 있으나, 선폭이 100nm 이하로 떨어질 경우 천문학적인 장비 가격과 여러가지 공정상의 문제점으로 인해 한계에 부딪힐 전망이다. 따라서 경제적, 기술적 한계를 극복할 수 있는 새로운 개념의 패터닝 방법이 절실히 요구된다. 현재 각광을 받는 기술로는 나노임프린트 리소그래피(nanoimprint lithography) 또는 소프트 리소그래피(soft lithography) 기술 등이 있으며, 이에 대한 연구가 주류를 이루고 있다.

나노임프린트 리소그래피 기술은 노광기술의 핵심기술인 광투사가 필요없는 기술로서 디바이스의 패턴이 새겨진 템플릿을 실리콘 기판 위에 접촉시켜 가압함으로써 패턴을 전사시키는 기술로서 핫 엠보싱(hot embossing), 몰드어시스티드 리소그래피(mold-assisted lithography), 미세접촉인쇄기법(micro contact printing)과 같이 크게 세 가지로 나뉠 수 있다. 이러한 나노 임프린트 리소그래피를 실현시킬 수 있는 장비로서, 웨이퍼 기판을 올려놓는 강체 평판과 컴플라이언스를 갖는 유연 스프링을 연결하여 6 자유도의 수동 운동을 구현하도록 설계된 스테이지에 관한 연구가 있었다. 마이크로 구조의 패턴이 식각된 니켈 마스터를 제작하여 일정 온도와 압력 하에서 핫 엠보싱 공정을 이용하여 성형하는 과정 및 이러한 공정을 이용한 마이크로 패턴 성형에서 성형 온도, 압력 및 점도의 변화에 따른 filling 거동에 대한 연구가 진행되었으며, 광자 결정 광도파로를 나노 임프린트 공정으로 구현하기 위한 첫 단계로서 마스터 복제를 위해 200nm 선폭의 패턴을 핫 엠보싱 공정으로 구현한 기술에 관한 발표가 있었다. 또한, 전통적인 기계 가공의 개념을 응용하면서 나노 트라이볼로지(nano-tribology) 현상에 그 기본원리를 두고 있는 기계-화학적 나노 리소그래피 기술 개발에 관한 연구가 보고되었으며, 나노 유동특성 파악의 초기 연구 단계로 핫 엠보싱 공정에 대한 기초 시험 결과와 매크로(macro) 스케일의 유한차분법을 이용한 시험적인 유동해석을 수행한 연구 발표가 있었다.



나노 공정 해석 기술

위와 같은 나노 공정의 시뮬레이션 및 해석 기법에 관한 연구가 국내에서 진행되고 있으며, 고체 및 구조역학 부문 학술대회에서는 특별강연을 통해 그 연구 내용이 소개되었으며, 연구 결과들이 춘.추계 학술대회를 통해 발표되었다. 주로 양자역학 및 분자동역학과 연속체적 접근 방법에 관한 개별적인 연구 및 각 스케일간 기법을 연동하여 해석하는 다중 스케일 해석 기법에 관한 연구가 진행되었다.

폴리머 스탬프 설계에 적용하고자 연속체 길이 스케일과 폴리머체인(polymer chain) 길이 스케일을 연결하는 다중스케일 해석 기법을 이용하여 미세접촉인쇄기법에 사용되는 스탬프를 해석한 결과가 발표되었으며, 나노 구조물의 다중 스케일 해석 기술에 대한 전반적인 검토를 통하여, 나노임프린트 기술 개발에서 요구되는 폴리머 나노 구조물에 적절한 해석 기법 연구의 발전 방향을 제시하는 발표가 있었다. 특히 이 발표에서는 일본 나고야 대학을 중심으로 산업계, 학계, 정부가 참여하여 개발한 OCTA (Open Computational Tool for Advanced material technology)에 관한 개요 및 해석 예를 제시하고 있다.

나노 임프린트 공정에서 정밀도가 높은 패턴을 만들기 위해서는 금형과 폴리머가 분리될 때 점착력(adherence)에 의한 패턴의 손상을 최소화할 필요가 있다. 나노 임프린트 리소그래피에 사용되는 폴리머는 변형이 일어날 때 에너지 소실(energy dissipation)이 일어나는 점탄성 거동을 보인다. 이에 나노 임프린트 리소그래피 공정을 최적화하기 위해 점탄성 거동을 보이는 재료의 접합 에너지를 측정하고 해석하는 연구가 진행되었다.

분자동역학 전산모사 기법에 관한 연구로는, 스케일링 기법으로 해석하기 위한 전 단계로 submicron 크기의 아르곤 액적이 기화하는 현상을 Lennard-Jones 12-6 포텐셜 모델을 적용한 분자동역학 시뮬레이션기법으로 해석한 연구 및 박막의 불안정성 및 나노 구조물 형성과 관련된 현상을 분자동역학 전사모사 기법을 통해 구현하고 그 특성을 고찰한 연구가 발표되었다.

탄소나노튜브

탄소나노튜브는 이 소재가 갖는 완전한 구조적 특성 때문에 초강도 탄소 섬유로서의 잠재성에 기대가 모아진다. 탄소나노튜브가 예외적으로 우수한 기계적 강도를 갖는다는 것은 이론적으로 예측되고 있고 현실적으로 17nm 직경의 튜브에 대하여 실험적으로 변형률-응력 거동을 측정하려는 시도가 있다. 탄소나노튜브의 강도, 탄성계수 등과 같은 설계 파라미터에 관한 정보는 나노/마이크로 구조물에 설계조건을 제시하는데 반드시 필요하고, 더 나아가 나노 소재로 구성된 매크로 구조물에 대한 기계적 거동의 변화를 이해하는데 유익하다. 그 한 응용 예로 탄소나토튜브를 강화재(reinforcement)로 사용하여 고장력 복합재료를 제조하여 사용하는 경우가 있다. 이러한 탄소나노튜브의 탄성계수나 강도와 같은 기계적 물성 측정 장치 및 기법에 관한 연구 동향에 대한 조사 및 발표가 있었으며, 탄소나노튜브가 나노 복합소재의 감쇠 특성에 미치는 영향을 거시적으로 분석하기 위하여 연속체 역학에 기초한 이론 모델을 제시하고 그에 따른 해석 결과를 실험적으로 검증하기 위한 연구가 있었다.

나노 공정의 측정 기술

거시적 재료의 기계적 물성 값을 측정하는 이론과 방법은 오랜 기간 축적되어 이미 표준화가 되어 널리 쓰여지고 있다. 최근 반도체 공정 기술의 발전과 함께 나노 단위의 특성 길이를 가지는 구조물의 제작이 이루어지고 있다. 나노 단위의 구조물은 그 기계적 거동이 거시적인 구조물의 거동과 상이하며, 측정 기법과 시험 절차에 있어서도 새로운 기술이 도입되어야 한다. 특히 나노 단위 구조물의 제작과 응용에 있어서 기계적 물성 및 내구성에 관한 연구가 부족함에 따라 제작 공정과 제작 장비의 개발에 큰 문제점이 되고 있다. 이에 따라 거시적 구조물과는 상이한 기계적인 거동을 보이는 나노 단위의 구조물의 제작과 응용에 있어서 기계적 물성 측정 기법에 관한 한국기계연구원의 연구 발표가 있었으며, FIB (Focused Ion Beam)을 이용하여 나노 박막의 표면에 홈을 만들고 이에 의한 응력이완 변위를 디지털 화상관련법(DIC : Digital Image Correlation)으

로 측정하여 잔류응력을 측정하는 방법을 소개한 논문도 발표되었다. **[조맹효, 서울대학교]**

원자력 구조 해석 및 설계

2003년도 대한기계학회 학술대회에 발표된 고체 및 구조역학 부문의 원자력 구조해석 및 설계관련 논문은 총 16편으로 춘계학술대회에 4편, 추계학술대회에 3편, 그리고 고체 및 구조역학 부문 학술대회에서 9편의 논문이 발표되었다. 춘 · 추계학술대회에서는 다양한 주제의 논문이 발표된 반면 'CAE for Industry'란 표제로 개최된 부문 학술대회에서는 CAE 응용에 관한 연구로서 원자로 관련 연구, 경수원전연료에 대한 연구 및 사용후 핵연료 운반용기에 대한 연구에 초점이 맞추어져 연구결과들이 발표되었다.

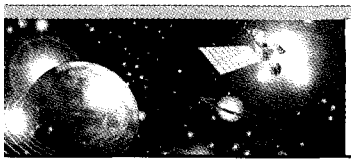
춘계 및 추계 학술대회에서 발표한 논문을 살펴보면 임혁순 등은 원자력발전소 신형 경수로의 증기발생기 재질변경(Inconel 600에서 Inconel 690으로 변경)에 따른 기계/화학적 특성에 대한 기초 연구결과를 발표하였고, 이상민 등은 원자력발전소 1차 계통 주요기기에 대한 웹기반 피로수명평가 시스템 개발하여 현장에 활용할 수 있는 여건을 조성하였고(원자력발전소 기기 안전성 평가에 소요되는 시간과 비용이 절감될 것으로 예상) 송기남 등은 한국원자력연구소에서 고안하여 국내 · 외로부터 특허권을 갖고 있는 신형 지지격자에 대한 기계/구조적 특성시험 및 해석결과를 발표하였으며 강영환 등은 다목적 연구시험로에 사용될 핵연료 조사캡슐에 최적설계 개념을 도입하여 설계에 반영하였고, 김형규 등은 연료봉과 지지격자 스프링 접촉에서 나타난 마멸을 체계적으로 분석하기 위한 기초연구를 수행하였으며 고승기 등은 핵연료집합체 상단에 부착된 판형 홀다운 스프링 체결나사에서 발생한 파손현상을 해석하여 파손 원인규명에 노력을 기울였으며 이대희 등은 한국표준원전의 원자로 덮개를 개량하는 연구로서 수직 낙하를 가정하여 해석을 수행하였는데 연구결과가 신고리 1 · 2호기에 적용되었다.

부문 학술대회에서 발표한 논문을 살펴보면 원자로 관련 연구로서 김종욱 등은 운전조건을 고려한 원자로 압력용기의 구조건전성 해석을 통해 임의의 3차원 균열을 위한 입력자료를 효과적으로 구성하는 방법을 제안하고 이를 일체형 원자로설계에 적용하였으며 김용환 등은 CAE가 일체형원자로 내장형 증기발생기 설계(개념설계 및 기본설계단계에서 형상설계, 도면의 생산 등)에 활용될 수 있음을 보여주었고 또한 3차원 모델과 연동된 유한요소해석을 통해 효과적으로 응력해석과 피로해석을 수행할 수 있음을 보여주었다. 박진석 등은 일체형 원자로의 주냉각펌프 설계에 CAE를 활용하였는데 CAE가 복잡한 구조부품간의 간섭을 배제하고 설계결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있음을 보고하였다. 경수로 원전연료에 관한 연구로는 실험 및 해석을 통한 연구가 수행되었다. 송기남 등은 경수로용 원전연료집합체에 사용되는 지지격자체가 반복적인 충격하중을 받을 때 지지격자체의 충격거동변화를 해석과 실험을 통해 연구한 결과를 발표하였고 최명환 등은 지지격자체의 자유진동 특성을 얻기 위해 유한요소해석과 시험을 수행한 연구결과를, 윤경호 등은 전산유체해석과 응력해석 결과를 고려하여 지지격자체의 외부격자판를 설계한 결과를 발표하였다. 전상윤 등은 경수로용 원전연료집합체에서 안내관에 부과되는 하중분포를 해석적 및 실험적 방법으로 구하였으며 연구에서 얻어진 결과가 경수로용 원전연료집합체 구조부품의 보다 정확한 해석에 이용될 수 있음을 발표하였다. 한편 사용후 핵연료 운반용기에 대한 연구로서 정성환 등은 사용후 핵연료 운반용기에 대한 구조해석을 수행하였으며 서기석 등은 경수로 사용후 핵연료 12다발 수송용기의 자유낙하 충격시험결과를 발표하였다. **[송기남, 한국원자력연구소]**

충격역학

이 글에서는 대한기계학회에서 발행한 대한기계학회논문집, KSME Int. J. 및 학술대회 논문집에 2003년도에 게재 및 발표된 내용을 중심으로 요약한다.

적층판의 충격 손상에 대한 연구가 발표 되었다. 금속과 금속의 적층판 또는 금속과 파이버의 적층판에 충격이 가해졌을 때 발생하는 손상에 대해서 실험과 시뮬레이션을 통한 해석이 이루어지고 있다. 세라믹 판에 구가 충돌했을 때 발생하는 원추형 균열에



대한 분석이 발표되었다. 충격을 받는 세라믹 판재의 지지에 사용되는 실링의 효과에 대한 분석이 되었다. 적층 금속 판에 구가 고속으로 충돌할 때 발생하는 관통 현상에 대한 시뮬레이션과 실험이 발표되었다. 복합재 튜브가 충격에 의해서 붕괴되는 특성이 연구되고 있고 차량 점용접 구조체가 충돌 속도에 의해 반응하는 현상에 대한 연구가 발표되었다. **[민옥기, 연세대학교]**

생체역학

생체역학 및 재활공학응용 분야는 대한기계학회, 대한의용생체공학회, 한국정밀공학회를 중심으로 활발하게 연구되고 있다.

다단계최적화기법을 이용한 치과용골 내 임플란트의 형상최적설계 및 경량 휠체어 탑승자의 차량전방 충돌시 안전성평가, 측간판의 전기열치료시 온도분포해석, 정상유동에서 자가 팽창성 그래프트스텐트의 수력학적 특성 등이 연구되었다. 인체골절치료 모델링과 해석, 무릎관절의 3차원 형상모델링과 시뮬레이션, 척추 추간판의 충격거동해석, 인체무릎관절의 굴신운동해석, 이엽기계적 심장밸브의 구조해석 등 인체시뮬레이션에 대한 연구도 활발하였다.

컴퓨터 키보드 타이핑시의 여러 자세에 따른 손목운동의 기능적 운동범위, 인체보행 분석시에 관절평균좌표계에 의한 피부마커의 축소법에 대해 연구가 수행되었으며, 단축인장시험에 의한 인간뇌 혈관의 인장특성 및 거동에 대한 연구도 흥미를 끌고 있다.

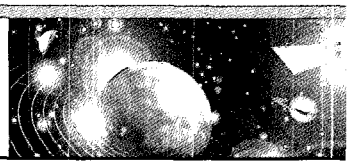
재활공학 분야에서는 관절 경직 환자의 물리치료를 위한 공압구동형 하이브리드 로봇 개발, 인체족부관절의 각 변위와 모멘트의 상관관계, 로봇을 이용한 상지 재활시스템, simulator를 이용한 인공무릎관절 접촉면의 압력분포 및 운동성, 척추성형술에서 PMMA 주입에 의한 망상골의 압축강도 변화 등이 연구되었다. 또한, 대퇴골 전자간 골절의 새로운 수술기법에 대한 생체역학적 분석, 자이로 센서와 인공신경망을 이용한 장애인용 컴퓨터 인터페이스, 수직 충격률에 따른 척추 경막 단면적의 변화, 중증장애인을 위한 생활환경 제어 장치개발, 직립자세에서의 전방향 동요시 균형회복 메카니즘 등이 연구되었다. 또한, 경직성 뇌성마비 소아의 다축하지 보조기 설계를 위한 내 · 외전력 측정 및 요추 측체의 골-재형성에 대한 분자 동력학적 접근방법, 척수신경손상 환자의 보행훈련 전 · 후의 능동적 근육제어의 변화가 연구되어 흥미를 끌고 있다.

바이오 메카트로닉스 특집을 통해, 지능형 욕창방지시트쿠션, 전기자극을 이용한 상실된 운동기능의 회복, 장하지보조기를 이용한 소아마비환자의 보행개선, 뇌파를 이용한 인간-컴퓨터인터페이스기술, 수동/전동전환형 휠체어시스템, 인체삽입형 인공후두들의 연구가 포괄적으로 소개되었다. **[이영신, 충남대학교]**

신뢰성 공학

신뢰성 공학은 기계류의 부품, 기기, 장치, 전자패키지, 전기 전자부품, 시스템 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 또한 기능의 신뢰성을 정량적으로 해석 평가하여 설계와 보존에 도움을 주고 안전성의 확보와 향상에 기여하는 것이다. 기계와 구조물은 안전성과 신뢰성을 학보하기 위하여 충분한 강도를 지녀야 하며, 경제성도 중요하다. 안전성, 신뢰성 및 경제성을 양립시키려면 강도설계, 신뢰성 시험, 보수 점검 등을 어떤 방법으로 행하면 좋은가? 이에 대하여 종래에는 안전계수로 대표되는 경험적 계수를 이용하는 방법을 적용하였다. 그러나 이 방법만으로는 완벽히 대처할 수 없는 경우가 증가해 가는 경향에 있다. 지금까지는 기계 분야에서 신뢰성 공학의 분야가 원자로, 항공 분야, 압력용기 및 증기터빈 분야 등의 파손에 대한 확률론적 해석을 수행하였으며, 피로 균열진전 거동과 피로수명 분포에 대한 신뢰성 향상에 주로 그 대상을 두었다.

2003년도 신뢰성 공학 분야의 연구는 전력기술의 정성규 등이 가압 열충격에 대한 원자로 용기의 확률론적 파괴역학 해석에 대한 논문을 발표하였다. 이 분야는 과거에도 중요하게 많이 다루어왔던 원자력 분야로 구조물 설계나 운전시 안전성과 신뢰성을 증진시키는 것을 주안점으로 다루어왔다. 여기서 기존의 해석에서 제시된 모델 및 해석 방법을 기준으로 잔류응력과 파괴인성을 변화시키며 확률론적 파괴해



석을 수행하였다. 또한 석종원은 CMP(Chamical Mechnical Polishing) 프로세스의 통계적인 다규모 모델링 연구에 대한 보고에서 돌기 높이와 반경이 연성된 확률분포를 고려하여 다규모 CMP과정을 통합적으로 모델링하고 시뮬레이션하였다. 그 결과 확률분포 함수를 고려하여 CMP과정의 정량적인 예측이 가능함을 보여 주었다.

앞으로는 신뢰성 공학이 전통적인 기계분야에서 반도체, 저항체와 같은 전자 소자들의 전자 패키지 분야가 기계적 파손을 최소화할 수 있는 기계적 신뢰성 해석 및 평가들이 활발하게 수행될 것이며, 전기, 기계 및 광학의 융합기술인 MEMS 및 nano 분야도 지속적인 발전을 위해서는 신뢰성 향상에 주력해야 할 것이다. **[김재훈, 충남대학교]**

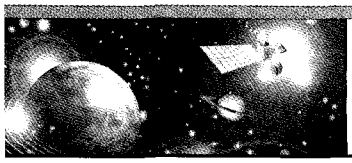
전산역학

전산역학(CM : Computational Mechanics)은 이제는 학문에 있어 고전으로 분류되는 이론과 응용역학(TAM : Theoretical and Applied Mechanics)의 부분으로서 학문의 영역으로 인정되고 있다. 전산역학의 발전은 인텔의 공동 창업자 Gordon Moore가 1965년에 발표한 무어의 법칙(Moore's Law)에 정확하게 일치하면서 혁신적인 성능 향상을 이루어온 컴퓨터와 전산역학을 연구해 온 과학기술자들에의 전산이론의 발달과 더불어 성취되어 왔다. 따라서 전산역학은 전산(computation)이란 도구(tool)를 이용하여 자연세계 물질의 원리를 이해하는 지식의 학문이라 볼 수 있는데, 기계 관련 공학에서 보는 관점으론 일반적으로 전산고체역학(CSM : Computational Solid Mechanics)과 전산유체역학(CFM : Computational Fluid Mechanics)으로 분류되며, 이 글에서는 고체 및 구조해석 부문에서 바라본 전산역학을 다루기에 전산고체역학에 국한하여 논하고자 한다.

이때까지 전산고체역학은 변분론에 의해 유도되는 오일러 방정식을 미분 또는 적분형태에서 Lagrangian 또는 Coupled Euler-Lagrangian Mapping으로 여러가지 공간분할(spatial discretization) 방법들을 적용하여 물질의 거동을 예측하여 왔다. 예를 들어 유한차분법(Finite Difference Method), 유한요소법(Finite Element Method), 유한체적법(Finite Volume Method), 경계요소법(Boundary Element Method), 그리고 무요소법[MLPG : Meshless Local Petrov Galerkin Method, EFG : Element Free Galerkin Method, SPH(Smooth Particle Hydrodynamics) 등] 등을 고려할 수 있으며, CEL(Coupled Eulerian-Lagrangian)이나 ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian Method)을 이용한 유체-고체 상호작용(fluid-structure interactions) 등이 고려된다. 여기에 더불어 전산고체역학의 중요한 학문으로 구성방정식의 개발이 있다. 이와 같은 전산역학은 1950년 후반부터 발달하는 Rational Mechanics의 선구자들인 Truesdell, Noll, Rivlin 등이 이룩해온 비선형 연속체역학의 이론을 바탕으로 수많은 공학자들에 의해 성장되었다고 보여진다.

현대에 와서 연속체의 범주를 벗어나 멀타이스케일(multi-scale), 나노연속체역학(Nano Continuum Mechanics), 멀타이피직스(multi-physics) 등으로 전산고체역학의 학문영역이 확장되고 있으며, 전산고체역학이 인류에게 가져다 준 대표적인 실질적인 성과의 하나로 자동차 산업에서 활용되고 있는 충돌시뮬레이션(crash worthiness)해석을 들 수 있다. 이로 인해 자동차 산업에 엄청난 경제적 절감과 사고로 인한 인명피해를 줄이는 데 큰 공헌을 하고 있다고 보여진다. 새로이 부각되는 신 전산역학분야들이 앞으로 인류문명에 또 다른 혁신과 그 이득을 가져다줄지 기대된다.

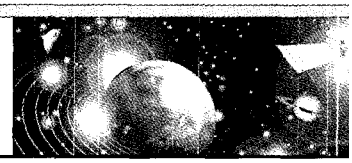
본 논고는 위에서 언급한 전산고체역학의 학문적 의미와 성과를 염두에 두고 지난해 국외 및 국내에서 발표된 이 분야의 연구 활동을 국내 연구자들을 중심으로 살펴보고자 한다. 우선 2003년에 국외에 발표된 국내 연구자들의 연구를 살펴보면 다음과 같다. 전산역학분야에서 대표적인 국제저널인 'Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering' 에는 영역분할로 인해 발생한 인터페이스에 발생하는 유한요소의 절점들에 인터페



이스요소의 방법을 제안하는 연구[김현규(KAIST)], 4 절점 평판셸 요소에서 발생하는 멤브레인 락킹(membrane locking)을 다루는 연구[최창근 · 이태열(KAIST)], 기하학적 비선형 유한요소 운동방정식의 해를 구하는 문제에 있어 내연시간적분알고리듬(implicit time integration algorithm)의 새로운 수치해법을 제시한 연구[석지원 · 김종훈 · 김용협(서울대)] 등의 훌륭한 논문들이 게재되었으나, 7월에 특집으로 출판된 재료와 구조의 멀타이스케일 전산역학 호에는 국내 학자의 논문이 없는 것이 아쉽다. 또 다른 대표적인 국제저널인 'International Journal of Solids and Structures'에는 빔 형상의 단면을 갖는 박판의 비틀림에 대한 연구[허석 · 김진홍 · 김윤영(서울대)], 자동차설계에 적용되는 멀타이셸구조(multi-shell-structures)의 응력완화(stress relaxation)를 위한 설계방안에 대한 연구[이형일(서강대), 서현(기아자동차), 박경진(한양대)], 선형모멘트구배의 하중을 받는 아이빔(i-beam)의 탄성좌굴에 대한 연구[임남형(철도기술연구원), 박남회(고려대), 성익현(한서대)], 박판 박스빔의 해석에 대한 연구[김영규 · 김윤영(서울대)] 등이 게재되었다.

그리고 'Computers & Structures'에 실린 논문으로 빔 형상을 단면으로 갖는 박판의 좌굴하중에 대한 정확한 강성 산출에 대한 연구[김문영 · 윤희택 · 김남일(성균관대)], 운동방정식의 시간적분에 관련된 동적완화방법(dynamic relaxation method)을 논한 연구[한상을 · 이경수(인하대)], 용접으로 연결된 철로의 좌굴에 대한 연구[임남형(철도기술연구원), 박남회 · 강영종(고려대)] 등이 게재되었고 또 다른 국제저널인 'Finite Elements in Analysis and Design'에는 대변형 문제에 적용을 위한 버블패킹방법(bubble packing method)의 리매싱(remeshing)알고리듬에 대한 연구[정순완 · 김승조(서울대)], 메시중첩(mesh superposition)에 대한 연구[박진우 · 황재웅 · 김용협(서울대)] 등이 게재되었다. 또 다른 국제저널인 'Engineering with Computers'에는 병렬컴퓨터에서 셸 구조물의 충돌해석(contact-impact)의 계산 성능 향상을 위해 새로이 제안한 병렬알고리듬에 대한 연구[하재선(대한항공 항공기술연구원)]를 볼 수 있다.

'International Journal of Plasticity'에는 국내 학자로서 전산고체역학의 핵심 분야인 구성방정식에 대한 연구를 볼 수 있었다. 논문 제목은 A Multiplicative Finite Elasto-Plastic Formulation with Anisotropic Yield Functions'이며 변형구배텐서(deformation gradient tensor)의 분할을 이용하여 이방성경화(anisotropic hardening)하는 재료의 탄소성모델을 제시하는 연구(오수익 외 3인, 서울대)가 게재되었다. 'International Journal of Non-Linear Mechanics'에는 라미네이트 복합재료 셸의 비선형 정/동적 거동에 대한 연구[이정진 · 유정주(항공우주연구원), 오일권 · 이인(KAIST)]가 발표되었다. 'Computational Mechanics'에서 살펴보면, 테트라헤드럴 요소에 적용한 외연시간적분알고리듬의 충돌문제에 대한 연구[유요한(ADD), 이민형(세종대)], 선형탄성문제에 적용한 최소제곱 무요소법에 대한 연구[권기찬 · 박상훈(KAIST)], 라미네이트 복합재료의 8 절점 셸 요소에 대한 연구[한성천(대원과학대)], 분산기억장치의 병렬컴퓨터에서 병렬멀타이프론탈 알고리듬에 대한 연구[정순완, 김승조(서울대)] 등이 게재되었고, 'International Journal for Numerical Methods in Engineering'에는 곡률좌표계를 이용한 새로운 셸 요소 개발에 대한 연구[조맹효 · 노희열(서울대)], 박판의 주름거동(wrinkling behavior)에 대한 연구[양동열 외 2인(KAIST)], 글로벌-로칼 해석에서의 인터페이스요소에 관한 연구[김현규(KAIST)], BEM에서 수치적분에 관한 연구[김병인(군산대)], 기하학적 비선형해석을 위한 솔리드-셸 요소에 관한 연구[김용협 외 2인(서울대)], 무요소법을 이용한 균열진전해석에 관한 연구[이계희(목포해양대학), 정홍진(전주대학), 최창근(KAIST)], 무요소법을 이용한 균열해석에 관한 연구(이상호 · 윤영철), 최소제곱 무요소법의 수렴에 관한 연구[박상훈 · 권기찬 · 윤성기(KAIST)], 무요소법의 Point collocation 방법에 대한 연구[김도완(선문대), 김용식(연세대)], 최소제곱 무요소법의 posteriori 평가에 관한 연구[박상훈 · 권기찬 · 윤성기(KAIST)] 등이 게재되었다.



국내로 돌아가 지난해 대한기계학회논문집 A에서 전산고체역학 분야를 살펴보면, 불완전 분해법(Incomplete Cholesky Factorization)을 전처리로 하는 공액구배법에 대한 연구[고진환 · 이병채(KAIST)], 하이브리드 트레프츠 평판요소의 변분수식화에 대한 연구(추연석 · 이병채), 이차원 Lagrangian Hydrocode 및 대변형 해석에 대한 연구[이민형 · 김성우(세종대)], 효율적인 C0 적층곡선보 요소의 연구[김진곤(대구카톨릭대학교), 강상욱(한성대학교)], 운석의 초고속 충돌 관통현상 해석을 위한 SPH 매개변수에 대한 연구[이성수 · 서송원 · 민옥기(연세대)], 점소성 구성식의 적분에 미치는 선형화 방법에 대한 연구[윤삼손 · 이순복(KAIST)] 등이 보인다. 대한기계학회 2003년 고체 및 구조역학 부문 학술대회 논문집에서 셀 구조물의 과도동적거동 및 충돌해석을 위한 탄소성 구성방정식에 대한 연구[하재선(대한항공 항공기술연구원)] 최소제곱 무요소법을 이용한 탄소성 변형해석[권기찬 · 윤성기,(KAIST)], 자왜체 Terfenol-D 재질 구조의 3차원 유한요소-경계요소해석[장순석(조선대)], 변분적 다중-스케일 기법을 이용한 탄소성 변형의 무요소 해석[연정흠 · 윤성기(KAIST)]이 게재되었다. 대한기계학회 2003년도 추계학술대회 논문집에는 페트로프-갤러킨 개념에 기초한 자연요소법에 관한 연구[이홍우 · 조진래(부산대)], 박막 고유치 해석을 위한 멀티스케일 적응 웨이블렛-갤러킨 기법[이용섭 · 김윤영(서울대)], SPH에서 탄성접촉 알고리듬[서송원 · 민옥기(연세대)], 충돌해석에 적용한 병렬알고리듬에 대한 연구[하재선(대한항공 항공기술연구원)] 등이 게재되었다.

진동, 파괴역학, 최적설계에 관한 논문들은 본 주제에 속하지 않으므로 본 조사에서 언급을 생략하였으며 단, 무요소법에 관련된 파괴해석은 포함하였음을 밝힌다. 대체로 지난해 전산고체역학에 관련된 연구를 종합해 보면, 국내보다 국외에 많은 연구발표가 있었음을 알 수 있으며, 무요소법에 대한 활발한 연구가 진행되고 있음을 알 수 있다. 그러나 대형 크기의 병렬알고리듬 개발에 대한 연구, 경계요소법에 대한 연구 등의 발표가 드물었고, 비선형 재료의 구성방정식에 대한 연구, CEL이나 ALE에 관련된 Fluid-Structure Interaction에 대한 연구 등이 부족하였다. **[하재선, 대한항공 한국항공기술연구원]**

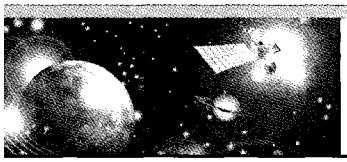
복합 물리계 해석 및 설계 분야

복합 물리계(multiphysics system)는 하나 이상의 물리계가 연성이 된 계를 지칭하는 것으로, 지난 몇 년간 이러한 물리계의 해석 및 설계 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 이러한 경향은 국내는 물론 해외에서도 나타나고 있는 현상이다. 향후 이러한 분야에 대한 연구 활동이 더욱 증가할 것으로 예상되며, 특히 다양한 스케일이 혼재된 영역에서의 복합 물리계의 해석에 대한 관심도 증가할 것으로 예상된다.

이 분야의 국내 연구 성과를 살펴보면 몇 가지 특징을 살펴 볼 수 있다. 첫 번째로, 각 물리계의 정확한 해석을 바탕으로 이를 연성시키는 기법에 대한 연구가 진행되고 다는 것인데, 그러한 기법을 수치적으로 구현하는 수치해석기법에 대한 연구가 활발하다고 것이다. 국내 연구 성과의 두 번째 특징은 국내 산업계에서 연구/개발이 활발한 분야에서의 산학연 연계 활동이 꽤 두드러지다는 것이다: 또한 확립된 해석 기법을 토대로 한 전산 구조 최적 설계에 대한 관심도 적지 않다고 할 수 있다.

국내에서 주로 다루어진 다물리계 시스템

지금까지 국내에서 연구된 복합 물리계들은 주로 전자 기기 관련 연구가 활발한 우리나라 산업 구조 특성을 잘 반영하고 있는 것 같다. 2003년에 발표된 관련 논문은, 광기록 장치, 하드 디스크, IC 패키징 등을 연구 대상으로 하고 있는데, 이 분야는 국내의 관련 산업이 상당히 활발하기 때문인 것으로 판단된다. 고용량 기록을 위한 자력-광(magneto-optic) 근접장 기록을 위한 관련 연구도 수행되었다. 특히, 광기록 시스템에서는 자기력을 최대화하고 이를 제어하는 연구가 이루어졌다. 그리고 유체-구조(fluid-structure) 연성해석을 통한 고속 하드디스크의 해석과 이를 바탕으로 한 최적설계가 연구되었다. 또한, 열-구조 연성을 고려한 전자 부품의 열 피로 인한 파괴 등이 연구되었다. 초소형 MEMS 시스



템으로 전기력과 구조의 연성 해석 등을 이용한 초소형 가속도계 등도 연구되었다. 향후 몇 년 간은 우리나라는 산업계와 정부가 차세대 성장 동력 산업의 하나인 전기-전자 시스템과 바이오산업을 중심으로 다물리계 시스템의 해석과 설계에 대한 연구와 산업적 적용이 기하급수적으로 증가될 것으로 예상된다. 이와 관련한 산업계와 정부의 연구개발 투자 또한 증가될 것으로 예상되므로, 향후에도 이런 분야에서의 연구 활동이 상당할 것으로 기대된다.

복합 물리계에 대한 전산 수치 해석 연구

국내에서는 대한기계학회의 학회지와 저널을 중심으로 복합 물리계 해석분야에 관련한 논문이 다수 발표되었다. 여기서 살펴볼 수 있는 특징은 각각의 물리계를 정확하게 해석하기 위한 연구와 이를 연성시키는 연구가 광범위하게 이루어지고 있다는 것이다.

현재 많이 연구되고 있는 복합 물리계로는 압전소자(piezo electric material)와, 형상기억합금(shape memory alloy), 유체-구조 연성계 등이 있다. 그리고 전기-열-구조 시스템을 이용한 마이크로 액츄에이터의 해석이 이루어졌다. 대표적인 복합 물리계인 압전 소자에 대해서는 많은 연구자들이, 정적 해석뿐만 아니라, 동적 해석을 수행하는 등 그 실용성으로 인해 많은 연구가 진행되었다.

현재 복합물리계의 연성 해석을 위해 ANSYS 등과 같은 상용소프트웨어가 많이 사용되고 있으며, 현재 국내 일부 연구기관에서 자체 개발한 소프트웨어를 상용화하기 연구도 진행되고 있다. 물론 대학교와 같은 연구기관에서는 전용 해석 코드를 만들어 사용하기도 한다.

복합물리계 전산 구조 최적 설계

복합 물리계에 대한 전산 수치 해석기술에 기초한 전산 최적 설계에 관한 연구도 상당히 눈에 띈다. 특히, 대표적인 전기-열-구조 시스템인 MEMS 액츄에이터에 대해 위상최적설계도 이루어졌으며, 특히 전도, 대류와 같은 현상이 동시에 나타나는 문제의 효과적인 위상최적설계를 위해 요소매개법과 같은 방법도 제안된 바 있다. 강건 설계기법 같은 것을 복합 물리계 설계에 적용하는 시도도 있고, 반응표면법을 이용하여 복합물리계의 거동을 표현해보려는 시도도 있다. **[김윤영, 서울대학교 ; 서울대학교 멀티스케일연구단 윤길호 박사 정리]**

기계용어 해설

충격성 소음(Impulsive Noise)

지속시간이 짧고, 순간 피크압력이 매우 높은 소음의 형태로서 자동차의 배기관, 대포나 총기류, 각종 플랜트의 배관계, 고속철도/터널시스템 등과 같은 광범위한 분야에서 발생할 수 있다. 이러한 소음은 산업현장에서 작업자의 청력장애를 불러일으킬 뿐만 아니라, 주변 구조물의 진동 및 파괴를 야기한다.

펄스파(Impulsive Wave)

관내를 전파하는 압축파나 충격파가 관출구로부터 방출할 때, 강한 소음과 함께 발생되는 펄스형태의 압력파를 의미한다. 이러한 펄스파는 대개 공기의 음속 이상의 속도로 주위로 전파하여, 주변의 생태계나 구조물에 충격적인 외력을 미치게 할 뿐만 아니라, 충격성 소음과 구조물의 진동의 원인이 된다.