

CAE 및 응용역학부문

채 수 원 · 부문회장(고려대학교, 교수)

_e-mail : swchae@korea.ac.kr

이 글에서는 고체역학 및 연속체역학, 고무역학, CAE기반 최적설계, 나노역학, 복합 물리계 해석 및 설계, 원자력 구조해석 및 설계, 충돌 안전성능, 전산역학 등 CAE 및 응용역학 분야의 2007년도 한 해 동안의 연구 동향에 대하여 소개한다.

고체역학 및 연속체역학

기계공학의 주요 기초역학분야 중 하나인 고체역학 및 연속체역학 분야에서의 2007년도 연구 동향을 대한기계학회논문집 A에 실린 논문을 기초로 분석해 보았다. 전통적인 분야로서 그 중요성은 지속되고 있으며, 주로 역학 원리의 개발보다는 산업분야 기계부품에 대한 활발한 응용연구가 주를 이루었음을 알 수 있었다. 이런 활성화된 응용연구로 인하여 한국 기계제품의 질이 지속적으로 향상되고 있는 것이다. 응용분야로는 크게 자동차부품, 발전기 및 플랜트, 기타산업기기로 구분될 수 있다.

자동차 부품

자동차 충돌에 의한 차체의 고속변형에 의한 차체용 강판

(SPRC35R, SPRC45E, TRIP 60 등)의 온도에 따른 동적 구성 방정식유도 및 실험에 관한 연구, 하이드로포밍 공정을 비롯한 다단계 성형공정을 거치면서 비선형적 변형을 경로를 갖는 부품의 성형성 예측에는 변형률기반보다 응력기반 성형한계선도가 더 정확히 예측한다는 연구, 자동차용 냉각기 고무호스에 대한 열가속 및 산소노화 시험과 LED 시험을 통하여 노화거동과 미소경도의 분석, 기계구조용 탄소강 SM45C에 대한 고온 유동응력자료를 획득하고 이를 바탕으로 Johnson-Cook 구성방정식의 변수를 결정하고 기공경화현상을 정확히 묘사한 연구, 유한요소해석 및 실험을 통하여 터보차저 장착 부위 주변의 디젤엔진용 배기 매니폴드의 열변형 연구, 균열선단 주위의 응력장을 균열선단

으로부터 떨어진 거리에서 계산된 증색프린지 차수와 급수형 등각사상 매핑(conformal mapping)함수를 이용한 해석 등이 있다.

발전기 및 플랜트

원주방향 균열존재 증기발전기의 전열관 U-굽힘부의 한계하중에 미치는 영향 연구, 탄성-완전소성 재료특성을 갖는 플랜트용 곡관의 굽힘 각도가 소성하중에 미치는 영향 연구, 축방향 관통균열이 존재하는 곡관에 대한 한계내압 및 한계굽힘하중에 대한 평가식 유도, 플랜트 배관의 국부적 두께감소(감육)결함의 국부손상기준을 제안하기 위해서 유한요소해석을 통하여 등가응력기준과 등가변형률기준을 제시한 연구, 파형강관의 연결 작업을 단순화할 수 있는 플랜지 이음부의 개

발을 위한 설계기법, 점탄성식을 이용한 전단계수의 예측, 수직형 플러 분쇄기용 테이블라이너 재료인 SC450강의 Goodman 판별식에 의한 피로강도평가 등의 연구가 있다.

기타 응용

터빈블레이드나 내연소실의 열생성 알루미늄 박막의 크리프 특성연구, 박막의 인장시험법을 통하여 정적/피로 시험절차 개발, 폴리머 배터리 전극제작용 압연 고온롤의 열변형해석, 또한 우주 시대에 발맞추어 연구된 우주구조물인 고성능 반사경 지지부의 우주용 에폭시 접착제의 접착(전단)특성에 관한 연구가 있었다.

(김 철, 경북대학교)

고무역학

우리나라의 고무산업 규모는 세계 5~6위권에 이르고 있으나 관련된 기술수준은 이에 미치지 못하고 있다. 그간 관심과 인식부족으로 인해 선진국에 비해 매우 낙후되어 왔던 고무류 기계부품에 대한 기술수준도 최근 들어 여러 가지 정부지원 연구개발 과제 수행과 산학연 관계자들의 관심과 노력으로 인해 많이 높아지고 있으며 수입에 의존해 오던 고무부품의 국산화 개발도 추진되고 있다.

고무류 기계부품은 자동차, 철도차량뿐만 아니라 미래 산업분야인 반도체, 정보통신 등 전 산

업분야에 널리 활용되며, 동 부품의 특성평가 및 해석·설계기술 확보를 통한 품질 및 신뢰성 향상은 전체 기계 및 시스템의 기술고도화에 꼭 필요한 핵심기술이라 할 수 있겠다.

최근, 국내외적으로 각종 제품에 대한 품질 및 내구성 보증에 대한 요구가 높아짐에 따라 신뢰성 확보에 어려움을 겪어 왔던 고무부품에 대한 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 철도 차량 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. 지금까지 고무부품의 품질 및 신뢰성 보증을 위한 피로 내구성 평가는 주로 시제품 및 부품에 대한 피로시험에 전적으로 의존해 왔으며, 신뢰성이 높은 피로수명 데이터를 얻기 위해서는 많은 양의 피로시험이 요구되어 엄청난 시간과 비용이 소요되었으나, 최근 한국기계연구원과 관련 고무업체와의 공동연구를 통해 설계 초기단계에서 짧은 기간에 비교적 정확하게 고무부품의 피로수명을 예측할 수 있는 방법을 연구하여 고무류 기계부품의 설

계, 해석 및 평가 등에 관한 제반 기술을 종합한 통합설계시스템이 구축되었다.

개발된 고무류 기계부품 통합설계시스템은 고무재료에 대한 기계적 물성, 열화, 배합조건 등이 포함된 고무재료 물성 데이터베이스(data base)가 구축되어 있으며 고무류 기계부품의 비선형·대변형 특성해석 결과를 데이터베이스와 연계하여 고무 탄성체의 피로해석 모델을 개발하고 내구수명시험 결과를 통해 개발된 모델을 검증하며, 이상의 모든 정보를 통합한 설계시스템이 구축되어 고무부품 개발에 소요되는 시간과 경비를 절감하고 개발된 제품의 신뢰성이 향상되어 관련기술의 일류화 달성과 국제경쟁력 확보에 크게 기여할 수 있게 되었다.

(우창수, 한국기계연구원)

CAE기반 최적설계

시작품 제작이나 실험을 대체하기 위한 CAE는 설계, 실험, 제조 등 제품개발 공정 전반에 활용이 가능한 기술로서 그 분야가 대단히 넓다. 최근 제품개발 기간단축 및 원가절감을 목적으로 학계에서는 다양한 해석 및 설계 방법론을 제안하고 산업계에서는 상용 소프트웨어를 활용하여 제품개발 공정을 자동화/통합화/최적화하려는 시도를 진행하고 있다. 이러한 노력의 결정체

인 'CAE기반 최적설계' 분야와 관련하여 부문 내 2007년 초 · 추계학술대회 및 논문집에 발표된 논문들을 정리해 본다.

설계방법론

설계 대상이 주로 기계 구조물 이므로 전통적인 분류인 치수/형상/위상 최적화로 나누어 비교할 수 있고, 여전히 위상최적설계에 관한 연구 비중이 높은 것을 알 수 있었다. 레벨셋 등 새로운 위상표현 방법, 난이도가 높은 해석 분야로의 확장 및 적용이 그 특징이다. 또한 최적화 알고리즘 자체의 효율 향상을 위한 연구도 발표되었다. 구체적인 연구내용으로는 적응적 내부 경계 레벨셋 기반 위상최적화를 이용한 셀 구조물의 경량화 설계, 내부 요소 연결 매개법을 활용한 3차원 냉각핀의 위상 최적설계, 강성 완화를 통한 위상최적화의 안정성 향상에 관한 연구, 순차적 실험계획법과 인공신경망을 이용한 제한 조건이 없는 문제의 최적화 알고리즘 개발 등이 있다.

제품설계에 적용

설계방법론에서는 제안하는 방법의 타당성을 검증하기 위하여 간단한 수치 예제에 적용하는데 반하여 특정 제품을 설계하는 데 있어서 최적화 목적을 달성하기 위하여 기존 방법론을 활용 또는 개선하는 논문들이 다수 발표되었다. 대상 제품들은 미세한 회로

에서부터 항공기 부품, 치과용 임플란트에 이르기까지 다양하였다. 구체적인 연구 내용으로는 Thickness Optimization of an Automobile Body for Natural Frequency Maximization, 굴착기 작업장치 내구 경량 최적화 기법 연구, 그라운드 빔 조인트 기반 위상최적화법을 이용한 프레임 구조물의 조립 위치 및 강도 설정, 등가하중을 이용한 원자로 핵연료봉 지지격자 스프링의 비선형 응답 구조 최적설계, Optimization of Laminated Composite for Buckling Performance, 치형수정에 의한 기어의 최적설계에 관한 연구, 유한요소해석을 이용한 토션 빔 형상 최적화, 카메라 셔터 장치에 이용되는 자기 회로의 위상최적화, 최대 비틀림 파 발생을 위한 자기변형 패치 형상의 위상최적화, 대형 디젤엔진의 구조응력해석 및 베어링 캡의 최적설계, 피로 수명 연장을 위한 항공기 프레임 노치부위 국부형상 최적설계, 유한요소법을 이용한 치과용 임플란트의 형상 최적화 연구, 정강성과 동강성을 고려한 차량 후드 보강재의 최적설계 등이 있다.

CAE가 제품개발 공정에 필수적인 요소기술로 인식됨에 따라서 학계에서는 정확한 물리현상 전산모사 및 효율적인 방법론 개발을 위하여 연구할 것이고, 산업계에서는 본사 제품개발에 적합한 CAE 공정 확립 및 보다 다양

한 분야의 경쟁력있는 제품설계에 적용을 위하여 적극적으로 CAE기반 최적설계를 도입할 것으로 예상된다.

(민승재, 한양대학교)

나노역학

나노역학을 비롯하여 나노소재, 시험, 공정등과 관련된 논문은 약 80여 편 가량이 대한기계학회 학술대회 및 논문집을 통해 발표되었으며, 특히 2007년 초 · 추계 학술기계학회에서는 나노전산모사와 관련된 특별세션이 구성되어 관련 연구의 활성화와 저변확대를 위한 계기가 마련되었다. 최근 3년간의 연구추이로 미루어 볼 때, 나노역학 분야의 연구는 나노공정 및 소재 관련 기술에 대한 연구활성화에 발맞추어, 나노입자, 나노유체, 열 및 UV 나노임프린트 공정, 탄소나노튜브, 나노박막 등의 물성해석 및 거동예측 등을 중심으로 수행되었다. 따라서 나노역학 부분에서는 나노 전산역학과 연계된 나노소재 및 나노공정 관련 연구 동향도 함께 분석하였다.

나노전산역학

2006년 연구에서와 마찬가지로 대부분의 전산모사 연구는 분자동역학 전산모사와 관련된 논문이 26편으로 가장 많았고 특히, 다중스케일 해석기법의개발 및 적용에 대한 연구가 전년도에 비해 보다 활성화 되었다. 탄소나

나노튜브의 비틀림 거동, 탄소나노튜브/고분자 복합재의 기계적 물성 해석 그리고 나노스케일 계의 상태기준에 관한 논문이 대한기계학회 논문집에 발표되었으며, 학술대회를 통해서 단결정 구리 및 나노와이어 구조의 역학적 거동에 관한 논문이 4편 발표되었다. 또한 나노임프린트 공정에서의 고분자 레지스트의 밀도분포, 몰드/기판 소재의 조합에 따른 점착거동에 대한 연구도 5편이 발표되었고, 반도체 소재의 변형 해석과 단결정 구조의 인덴테이션 해석, 고분자 나노기둥의 변형 해석에 관한 논문이 각 1편씩 그리고 연속체 모델에 기반한 UV 나노임프린트 해석이 2편 발표되었다. 다중스케일 해석분야에서는, 양자역학/분자동역학/준 연속체/유한요소 해석기법과 같은 독립된 해석기법의 연계를 통해 효율성과 정확성을 높이는 연구가 시도되었으며, 나노튜브, 나노임프린트 공정, 나노박막 등의 해석에 적용된 논문이 각각 1편씩 발표되었다. 이 외에도, 새로운 분자동역학 해석 알고리즘의 개발과 적용에 관한 논문도 발표되었으며, 작동유도분자동역학, 전산모사 온도제어 기법, 이웃원자 리스트 작성등과 관련된 연구가 활발히 진행되었다. 향후 연구에서는 분자동역학 전산모사의 정확성과 연속체 기반해석의 효율성을 동시에 구현할 수 있는 다중스케일 해석기법의 개발이 보다

활성화 될 것으로 전망된다.

나노 공정기술

나노 공정기술은 나노구조물의 제작 및 나노임프린트 공정 조건에 관한 연구가 비교적 활발히 진행되었으며, 나노인덴테이션을 이용한 나노소재의 물성측정기법 개발과 관련된 응용연구도 함께 진행되었다. 이온식각 공정을 응용한 니켈 나노구조물의 제작, 마이크로 인덴테이션을 이용한 마이크로-나노 하이브리드패턴 제작, 기능성 마이크로 채널제작, 자기조립성질을 이용한 나노유체 필터 제작 등에 관한 연구가 기계학회 논문집을 통해 발표되었으며, 나노임프린트 공정에서의 열환경 제어와 관련된 논문 2편이 학술대회를 통해 발표되었다. 이 외에도 펄스 플라즈마를 이용한 나노입자 제조, 마이크로/나노스케일 계층구조 형성, 저밀도 이광자 광중합을 적용한 나노패턴 제작과 관련된 논문들도 학술대회를 통해 발표되었다. 특히 나노인덴테이션 기법을 이용하거나 나노공정을 적용하여 고분자 레지스트를 비롯한 금속박막 등의 기계적 물성을 해석하는 방법과 관련된 연구가 학회 및 JMST를 통해 5편 발표되었고, 향후 연구에서는 보다 일반화 된 물성측정기법으로 정립될 것으로 예상된다.

나노재료 및 나노소재

2006년도 연구에서와 마찬가지로

나노소재와 관련된 연구는 가장 활발한 연구가 진행되었으며, 30여 편의 논문이 발표되었다. 나노소재와 관련된 연구는 나노채널, 박막, 나노입자 등의 제작뿐 아니라, 나노잉크젯 프린팅, AFM용 탄소나노 튜브, 나노튜브/암모니아 나노유체, 나노구조물을 이용한 화학적 증기탐지 등과 같이 기존에 개발된 소재들을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되었다. 이 외에도 나노튜브 스마트 복합재를 이용한 인공뉴런 개발, 성장방법에 따른 나노튜브의 인장거동과 같은 나노튜브 기반 소재의 응용과 거동해석에 관한 연구도 발표되었으며, MEMS 및 NEMS 구조물의 제작과 응용에 대한 연구사례로서 나노담퍼, 증기탐지 구조물 등에 관한 연구가 발표되었다. 나노소재 기술과 더불어 나노 측정장비에 관한 연구도 진행되었으며, 미니형 주사전자 현미경 설계, 전자빔 팁, SEM용 전자검출기, 열전자 방사형 주사전자 현미경 해석, 수 나노미터의 해상도를 가진 전기용량형 변위센서 개발 등에 관한 연구가 춘계학술대회를 통해 발표되었다. 향후 나노소재 및 구조물의 제작 및 해석기술 분야에서는 다기능성 구현 및 광학, 바이오공학 등과 연계된 연구가 보다 활성화 될 것으로 예상되며, 이에 대한 나노전산역학 해석에 대한 연구도 병행될 것으로 전망된다.

(조맹호, 서울대학교)

복합 물리계 해석 및 설계

복합 물리계((Multiphysics System)는 두 가지 이상의 물리 현상(기계, 열, 전기, 자기, 음향, 유체 등)이 연성된 시스템을 의미하는데, 연성으로 인하여 해석 자체도 쉽지 않다. 특히 비선형 현상을 고려해야 하는 경우 해석이 상당히 어렵다. 그러나 근래에 관심이 증대되고 있는 마이크로-나노 스케일 레벨의 복합물리 시스템을 설계하기 위해서는 연성물리 현상의 이해는 물론 그것을 수치적으로 풀어내는 기법의 개발도 매우 중요하다. 이를 반영하듯, 2007년도에도 복합 물리계에 대한 연구가 상당히 활발하였다. 더욱이 해석의 효율성 향상을 위한 연구뿐만 아니라 산업에의 응용 사례도 눈에 띈다. 2007년에는 열과 관련된 복합 물리계의 연구가 상대적으로 많은 것으로 보이는데, MEMS나 나노스케일에서의 열전달에 의해 주변부에 발생하는 압력이나 변형, 모듈간의 간섭에 대한 연구 등에 연구가 이루어졌다. 또한 초소형 액추에이터를 이용한 인젝터에서의 유체의 급격한 분출이나 마이크로 채널에서의 열 유체에 의한 복합물리현상이나 영향을 고찰하는 연구결과도 발표되었다. 이러한 사례들을 보면 각종 기기들의 소형화에 의해 방열의 중요성이

부각되고 있다는 것을 알 수 있다. 더욱이 마이크로 스케일에서의 열 유체의 거동이 매크로 스케일에서의 그것과는 다소 다른 현상 때문에, 흥미로운 연구테마로 자주 등장하였다. 복합 물리계의 다양한 해석을 위해서 스크립트 형태로 해석을 쉽게 할 수 있는, COMSOL, Multiphysics™ 등과 같은 프로그램의 활용도 눈여겨볼 만한 동향이다. 이런 프로그램을 사용함으로써 과거에 비해 보다 손쉽게 예측 모델을 구성하여 복잡한 물리현상을 보다 쉽게 구현한다는 것이다.

2007년도 발표된 보다 구체적인 내용을 살펴보면 다음과 같다. 자기 영동을 이용한 생체 시료 중 자성 입자 분리 마이크로 칩에 대한 연구, 유동과 구조가 연성된 FSI(Fluid Structure Interaction) 기법에 대한 논문이 발표되었다. 또 터보 엔진용 배니 매니폴드나 터빈에서 발생하는 열변형현상에 대한 연구는 열-기계 복합 물리계의 주요 테마로서 꾸준히 연구되고 있으며, 형상 기억 합금 자체의 변형이나 이를 이용한 액추에이터에 대한 연구도 진행되었다. 프린터 인젝터 모듈간의 간섭이나 덕트 내의 열 폐색에 의한 모듈간의 간섭에 대한 연구와 같이 유동에 따른 구조물의 진동 문제도 관찰되었다. 전기-기계 문제로 가장 많이 연구되는 압전 소자에 대한 연구는 꾸준히 활발하여, 능동 진동

감쇠 모듈로서나, 근래 많은 관심을 얻고 있는 에너지 포획에 관한 연구도 눈에 띄었다. 복합 물리계의 특성이 가장 잘 나타나는 센서/액추에이터 부문은 전통적으로 많이 이용되는 압전 소자를 이용한 연구뿐 아니라 전기유변 유체를 이용한 센서/액추에이터나 비 접촉성 센서/액추에이터로서의 장점을 가지는 자기변형 패치에 대한 연구도 관심의 대상이 되었다. 2007년에는 예년보다 주로 관심의 대상이 돼 오던 연성된 물리계에 대한 연구가 계속 이뤄졌으나, 이러한 연구, 해석 기술을 바탕으로 2008년에는 아마도 광학-탄성 연성 물리계에 대한 연구가 이뤄질 것이라 기대한다.

복합 물리계의 대표적인 수치 해석법은 유한 요소법이며, 문제에 따라서는 BEM(Boundary Element Method)나 DTM(Differential Transform Method), DEM(Discrete Element Method) 등이 사용되기도 했다. 그러나 이러한 해석 기법 자체보다는 성공적인 복합 물리계의 해석을 위해서 각각의 물리계에 대한 충분한 이해와, 지배 방정식간의 꼭 필요한 연성만을 고려해서 해석을 간단히 하는 것도 매우 유용하다. 개선된 저차 변형 이론을 이용해 전기-기계 하중을 동시에 받는 구조물의 수치 해석 등은 그 좋은 예가 될 것이다.

복합 물리계의 설계는 연구자의 경험에 의한 기존 모델의 개선과 수치해석을 바탕으로 한 제작/실험/검증에 관한 연구도 있으나, 위상 또는 형상 최적 설계를 위한 코일 형상 설계나 최대 비틀림파 발생을 위한 자기 변형 패치의 위상 설계, 자기 토크 최대화를 위한 서터의 위상 설계 등은 전기-자기-기계 연성된 물리계에서의 최적 설계의 예가 될 수 있다. 이러한 최적 설계에는 민감도 기반의 최적 알고리즘이나 유전자 알고리즘이 주로 사용되는 가운데, 반응 표면법과 같은 기법도 꾸준히 사용되고 있다. 이러한 복잡한 최적화 문제를 위하여 다분야 통합최적 설계에 대한 방법론에 대한 연구도 꾸준히 진행되었다. 연성 시스템을 효율적으로 해석하기 위해 병렬 처리 기법의 연구도 이루어졌다.

이상에서 알 수 있듯이 2007년도에도 복합 물리계에 관한 연구가 상당히 활발하게 이루어졌다. 다음 연도에는 각 물리계간의 양방향 연성에 대한 정밀해석 기법, 복합 물리계의 최적설계 방법론의 확립에 대한 더욱 좋은 연구들이 나올 것을 고대한다.

(김윤영, 서울대학교)

실험역학

근래 들어서 자연현상의 규명에 대한 이론의 발달과 더불어

컴퓨터의 비약적인 발달이, 공학 분야에서도 실험에 의한 현상 분석이나 검증보다는 전산을 기반으로 한 수치해석이나 해석 소프트웨어를 이용한 전산해석 및 시뮬레이션 등에 대한 연구가 선행적으로 이루어지고 있음을 볼 수 있다. 특히 산업현장에서는 비용이 많이 드는 직접 모델 실험을 통한 분석보다는, 상대적으로 비용이 저렴하며 다양한 모델실험이 가능한 전산을 바탕으로 한 다양한 해석(CAE) 시뮬레이션을 실제 제품설계 등에 반영하려는 요구가 증가됨에 따라서 유체분야, MEMS분야, 수송기계분야, 센서 및 액추에이터 분야, 압력용기 분야 등으로 더욱 다양화되고 있음을 기술하고 있다(기계저널 제45권 제8호, 민승재). 또한 최근에는 나노/바이오 분야에서도 시뮬레이션기반 설계의 필요성이 대두됨에 따라 활발히 연구되고 있는 실정이다.

그러나 아무리 이론이 비약적으로 발전했고, 컴퓨터가 발달하였다 하더라도 “예외 없는 이론은 없다”고 했듯이 이론으로 설명되지 않는 많은 현상들이 존재하는 것이 사실이며, 또한 이러한 것을 설명하기 위해 또 다른 이론이 제시되고 있는 실정이다. 그러므로 제시된 이론결과의 유효성의 검증 및 이 이론을 바탕으로 한 전산해석 등의 유효성을 검증하기 위해서는 반드시 실험적인 검증 절차가 수행되어야 하

며, 새로운 이론을 제시하기 위해서도 실험적인 해석이 선행되어야 함은 부정할 수 없는 사실이다. 더욱이 이론으로 설명되지 않은 부분에 대한 연구에서는 반드시 실험적인 해석이 필요하다. 즉, 실험역학은 이론과 현장을 연결시키는 데 반드시 필요한 학문 영역이며, 이론과 이러한 이론을 바탕으로 한 전산해석을 통한 설계방법을 완전하고 체계화하는 데 필요한 영역임을 기술하고 있다. (기계저널 제46권 제8호, 황재석)

따라서 저자는 2007년도(2007년 7월부터 2008년 6월-대한기계학회 기준으로 논문 투고 후 게재까지 6, 7개월이 소요되므로 이 기간을 2007년도 논문으로 정의함) 대한기계학회 논문집 A, B권에 게재된 논문을 분석하여, 그 중 실험논문이 차지하는 비율을 조사함으로써 현재 우리나라의 기계공학 분야에서 실험역학이 차지하는 위치와 실험역학의 연구 동향에 대해서 기술하고자 한다.

표 1은 2007년도 대한기계학회 논문집 A, B권에 게재된 실험논문의 비율을 정리한 것이다. 여기서 A는 대한기계학회논문집 A권을, B는 B권을 의미하며, C는 게재된 논문의 총편수, D는 게재된 실험논문의 총편수를 의미한다. 또한 E는 실험논문 중 순수 실험논문, F는 실험이 이론(이론해석 및 수치해석 등의 전산해석 포함)보다 비중이 큰 논문 그리고

G는 이론이 실험보다 비중이 더 큰 논문으로 이전의 구분 방법(기계저널 제43권~제47권, 황재석)을 따랐다.

표 1에서 알 수 있듯이, 논문집 A권의 경우 전체 논문수에 대해 실험논문이 차지하는 비율이 64%이고, 이중 전체 논문수에 대해 순수실험 논문이 차지하는 비율이 29%로 논문집 B권의 경우 전체 논문수에 대해 실험논문이 차지하는 비율 48% 및 전체 논문수에 대한 순수실험 논문의 비율이 40%인 것과는 차이가 있음을 볼 수 있다. 즉 이는 상대적으로 이론정립이 잘된 분야인 재료 및 파괴, CAE 및 응용역학, 동역학 및 제어, 생산 및 설계공학 그리고 신뢰성 부문의 논문인

논문집 A권은 학문영역의 특성상 이론해석 및 전산해석을 통한 결과의 검증에 실험이 이용된 경우가 많았고, 순수 실험에 관한 논문이 적었던 것으로 생각된다. 이에 반해, 상대적으로 정확한 이론 정립이 미진한 분야인 열공학, 유체공학, 에너지 및 동력공학 부문의 논문집인 논문집 B권의 경우는 이론해석으로 설명이 어려운 점이 많기에 순수실험 논문의 비율이 높았던 것으로 생각된다. 이러한 것은 표에는 제시되지 않았지만, 논문집 A권의 경우 실험 논문에서 현상에 대한 시뮬레이션 논문이 7편인 반면, 논문집 B권에서는 한 편도 발표되지 않은 것도 이러한 이유인 것으로 판단된다.

그 외 2007년도 논문집 A권에 게재된 실험논문을 분석해 보면 기술논문이 7편 발표되었으며, 자연현상에 힌트를 얻어 이를 모방한 자연모사에 관한 논문이 2편(청각 유모세포를 모사한 미소 기계적 능동 증폭기, 저전압 대변위 고정도 구동을 위한 근육모사 직렬연결 디지털 구동기), 기계구조물의 설계 및 개발에 관한 논문이 총 18편이 발표되었다. 또한 최근 각광 받고 있는 압전재료에 대해 2편(파형 및 주파수해석에 근거한 굽힘 압전 복합재료 작동기 손상모드의 비파괴적 평가, 굽힘 압전 복합재료 작동기의 하중 특성), 연료전지에 관한 논문이 1편(단위 셀간 성능편차 및 접촉전압 강하 최소화를 위한 극

표 1 2007년도 대한기계학회논문집 A·B권의 실험논문 현황

연도	A권		B권		A권		B권		A권		B권		A권		B권		A권		B권	
	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
2007.07	11	9	7	5	3	5	1	0	3	0	64	56	27	56	43	100	14	0	43	0
08	11	10	7	5	3	4	1	0	3	1	64	50	27	40	43	80	14	0	43	20
09	10	10	8	4	3	2	2	1	3	1	80	40	30	20	38	50	25	25	38	25
10	10	10	8	6	5	4	2	2	1	0	80	60	50	40	63	67	25	33	13	0
11	10	10	9	7	3	5	5	0	1	2	90	70	30	50	33	71	56	0	11	29
12	13	10	9	2	6	2	2	0	1	0	69	20	46	20	67	100	22	0	11	0
2008.01	13	10	7	5	2	5	1	0	4	0	54	50	15	50	29	100	14	0	57	0
02	12	11	5	5	3	5	1	0	1	0	42	45	25	45	60	100	20	0	20	0
03	11	9	7	7	1	5	4	2	2	0	64	78	9	56	14	71	57	29	29	0
04	11	10	7	5	4	4	2	0	1	1	64	50	36	40	57	80	29	0	14	20
05	11	10	6	3	3	3	1	0	2	0	55	30	27	30	50	100	17	0	33	0
06	11	9	6	3	3	3	1	0	2	0	55	33	27	33	50	100	17	0	33	0
총 계	134	118	86	57	39	47	23	5	24	5	64	48	29	40	45	82	27	9	28	9

C: 총 논문수, D: 실험 논문수, E: 순수실험 논문수
 F: 실험에 비중이 큰 논문수, G: 이론(수치해석)에 비중이 큰 논문수

소형 직접메탄을 연료전지 스택의 설계 및 제작) 게재되었다. 이에 비해, 논문집 B권에서는 기술 논문이 4편 발표되었으며, 설계 및 개발에 관한 논문은 2편이 전부이고, 연료전지에 관한 논문이 1편(고분자 전해질 연료전지의 수소극 공급모드에 따른 성능특성) 게재되었다.

표 2는 최근 6년간(2002년도~2007년도)의 대한기계학회 논문집 A, B권에 게재된 논문에서 실험논문의 비율 현황을 나타낸 것이다. 그림 1~3은 표 2의 내용을 그래프로 나타낸 것이다. 총 논문편수는 2002년도(2002년 7월부터 2003년 6월까지)에 대한 기계학회논문집 A권 (이하 '논문집 A권'으로 칭함) 308편, 대한 기계학회논문집 B권(이하 '논문집 B권'으로 칭함) 198편이던 논문 게재수가 격감하여 2007년도(2007년 7월부터 2008년 6월까

지)에 논문집 A권 134편(56.5% 감소), 논문집 B권 118편(40.4% 감소)로 감소하여 국내 학계의 국내저널을 등한시하는 풍토를 그대로 보여주는 것 같아 씁쓸한 마음이 드는 것은 사실이다. 그러나 이러한 게재 논문 양의 감소에도 불구하고 표 2와 그림 1에서 보듯이 논문집 A권에서 전체 논문에 대한 실험논문이 차지하는 비율은 40~50%를 유지하던 것이 2007년도에는 64%로 급증하였음을 볼 수 있다. 또한 B권의 경우는 50~60%를 유지하고 있으며, 2007년도에도 48%로 다소 감소하긴 하였으나 평년의 수준을 유지하고 있음을 볼 수 있다. 즉, 이것은 컴퓨터의 비약적인 발전에도 불구하고 그 결과의 검증을 위해서는 실험이 반드시 필요하였음을 보여주는 것이라 하겠다. 특히 그림 2에서 알 수 있듯이, 아직 명확한 이론의

정립이 미진한 열·유체분야의 논문인 논문집 B권의 경우(40~50%)가 상대적으로 이론정립이 잘된 분야인 고체·재료 및 가공·제작 등의 논문인 논문집 A권의 경우(20~30%)보다 순수 실험논문이 차지하는 비율이 높음을 볼 수 있다. 그러나 차츰 두 분야간의 순수 실험논문이 A권에서 차지하는 비율이 차츰 증가함으로써 점차 그 격차를 줄여나가고 있음을 볼 수 있는데, 이는 MEMS 및 나노분야의 연구가 활발해짐에 따라 이에 대한 순수 실험논문이 증가한 것으로 파악된다.

전체 실험 논문수에 대한 순수 실험 논문의 비율을 나타낸 그림 3에서도 논문집 A권인 경우 평균 56%이고 2007년도의 경우 감소한데 비해, 논문집 B권의 경우는 80%이고 2007년도에는 증가했음을 볼 수 있다.

표 2 연도별 대한기계학회논문집 A·B권의 실험논문 비율 현황

종류	2002		2003		2004		2005		2006		2007	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
D/C [%]	46	60	44	55	39	46	48	55	45	59	64	48
D(연구)/C [%]	30	45	32	39	20	34	33	46	34	29	54	36
D(산업)/C [%]	16	15	12	16	19	12	15	9	11	30	10	12
E/C [%]	27	45	22	36	24	51	26	46	30	45	29	40
E(연구)/C [%]	19	44	17	27	15	31	15	38	26	23	24	31
E(산업)/C [%]	8	14	5	9	9	18	11	8	4	22	5	9
E/D [%]	59	75	48	72	62	91	56	84	67	75	45	82
E(연구)/D [%]	42	54	37	53	39	58	32	67	57	39	38	64
E(산업)/D [%]	17	21	11	19	23	33	24	17	10	36	7	18

C: 총 논문수, D: 실험 논문수, E: 순수실험 논문수
*(연구): 순수연구 분야 실험논문, *(산업): 산업체 관련 실험논문

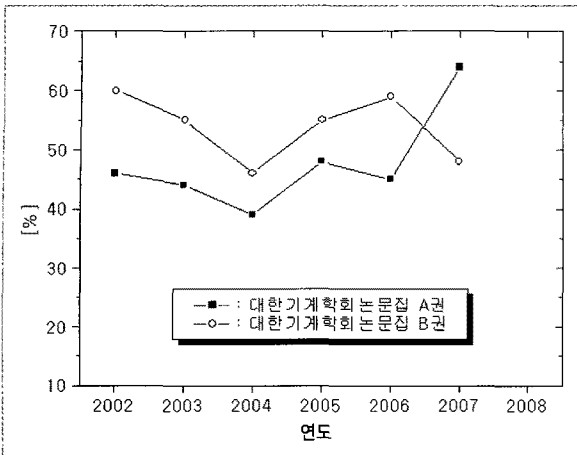


그림 1 전체 논문에 대한 실험논문의 비율

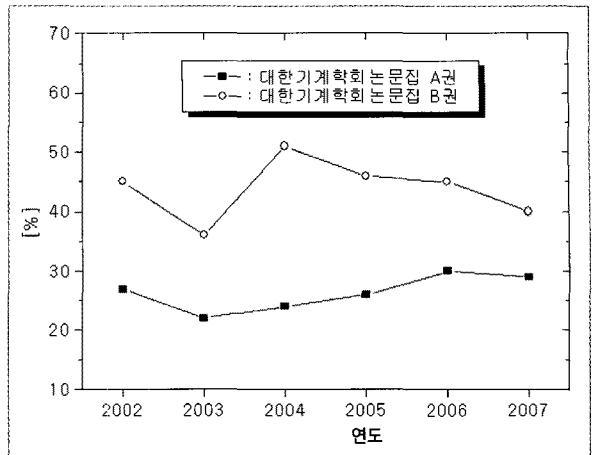


그림 2 전체 논문에 대한 순수 실험논문의 비율

MEMS 및 나노분야의 논문의 현황을 살펴보면 논문집 A권의 경우 2003년도 7/240편 (MEMS 및 나노분야 논문수/총 논문수), 2004년도 9/253편, 2005년도 8/189편 그리고 2006년도 7/205편으로 전체 논문편수는 점차 감소하나 매년 일정 논문이 발표되었던 것이 2007년도에는 15/134편으로 편수 뿐만 아니라 그 비율도 급격히 증가했음을 알 수 있다. 논문집 B권의 경우는 2003년도 5/204편, 2004년도 6/199편, 2005년도 12/148편, 2006년도 4/148편 그리고 2007년도 5/118편으로 논문집 A권과 마찬가지로 전체 논문편수는 점차 감소하나 매년 일정 논문이 발표되어 오고 있으나, 논문집 A권처럼 2007년도에 급격한 증가는 없었다.

표 2에서 연도별 발표된 논문을 순수 연구분야의 논문과 산업체와 관련된 논문으로 나누어 보

면, 논문집 A권의 경우 2007년도 전체 논문수에 대한 순수 연구분야의 실험논문(D(연구)/C)이 54%(30%, 32%, 20%, 33%, 34%), 전체 논문에 대한 순수 연

구 분야의 순수실험 논문 (E(연구)/C)이 29% (27%, 22%, 24%, 26%, 30%) 그리고 전체 실험 논문에 대한 순수 연구분야의 순수 실험논문(E(연구)/D)이 45% (59%, 48%, 62%, 56%, 67%)인데 비해, 논문집 B권의 경우 2007년도 전체 논문수에 대한 순수 연구분야의 실험논문 (D(연구)/C)이 36% (45%, 39%, 34%, 46%, 29%), 전체

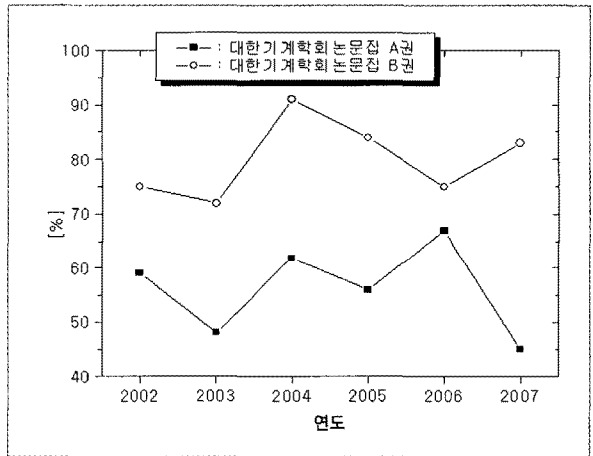


그림 3 실험논문 중 순수 실험논문의 비율

논문에 대한 순수 연구 분야의 순수실험 논문 (E(연구)/C)이 40%(45%, 36%, 51%, 46%, 45%) 그리고 전체실험 논문에 대한 순수 연구분야의 순수 실험 논문(E(연구)/D)이 83% (75%, 72%, 91%, 84%, 75%)로 전체 논문에서 순수 연구분야의 논문이 차지하는 비율이 논문집 B권의 경우가 논문집 A권의 경우보다 높음을 볼 수 있으며, 산업체

관련 실험논문의 비율도 논문집 B권의 경우가 높음을 표 2를 통해서 알 수 있다. 위에서 괄호안의 퍼센트는 각각 2002년도에서 2006년도까지의 해당 항목의 데이터들이다.

지금까지 2007년도(2007년 7월부터 2008년 6월까지) 대한기계학회논문집 A, B권에 게재된 논문을 분석하여 현재 우리나라의 기계공학 분야에서 실험역학이 차지하는 위치와 실험역학의 연구동향에 대해서 기술하였다. 앞에서도 언급한 것처럼 아무리 잘 정립된 이론이라 하더라도 모든 현상을 다 설명할 수 없으며, 아무리 뛰어난 컴퓨터가 개발된다 하더라도 복잡한 자연현상을 완벽하게 재현하는 것은 불가능하다. 그러므로 1276년 Roger Bacon이 "The Scholar who does not know mathematics does not know any science but without experiment nothing can be adequately known"이라 했듯이 보다 완벽한 이론의 정립과 더욱 정확한 전산해석을 통한 기계구조물 등의 설계에의 오차를 극복하기 위해서는 더욱더 실험역학의 중요성을 인식하고, 적극적인 지원이 필요하다 하겠다.

[신동철(부산대학교), 황재석(영남대학교)]

원자력 구조해석 및 설계

2007년에는 원자력 구조해석

및 설계와 관련된 연구논문이 춘계 및 추계 학술대회에서 각각 8편, 4편 등 총 12편이 발표되었다.

춘계학술대회의 원자력 및 원자로 세션에서 발표된 논문의 내용을 살펴보면 지구 에너지 자원의 한계성이 점점 다가오는 시점에서 한국원자력연구원에서 우라늄 자원의 효율성 측면에서 야심차게 연구/개발하고 있는 제4세대(2020년 이후) 원자로의 일종인 액체금속로와 수소생산원자로에 대한 연구결과를 발표하였는데 "소동냉각 고속로 KALIMER-600 원자로의 구조 개념설계(이재한, 박창규, 김종범, 구경희)"에서는 KALIMER-600 원자로의 주요 설계 특성, 구조 개념, 핵심 기술 등에 대하여 발표하였고, "수소생산용 원자로에서 주요기기의 예비개념설계(송기남, 김용완, 이수범)"에서는 원자력에너지에서 얻어진 초고온 열(약 950°C의 He 기체)을 이용하여 물을 분해하고 궁극적으로 청정에너지인 수소를 생산하는 원자로에서 원자로의 주요 설계 특성과 주요기기인 고온가스관, 열교환기 등의 구조개념, 예비강도/열팽창 평가 등에 대하여 발표하였으며 "핵연료 노내조사시험설비 설치공사 완료(박국남, 이정영, 지대영, 박수기, 심봉식, 안성호, 김학노, 이종민)"에서는 국내 유일의 다목적 연구용원자로(HANARO)의 원자로 내 중성자 조사(Neutron Irradiation) 시험설비의 설치공사에 관련된 공정, 검증시험, 기

대효과 등에 대한 연구결과를 발표하였다. 기존 상용 원자로와 관련된 연구로는 "설계공리를 이용한 원자로상부구조물의 설계(최우석, 이규만, 김태완, 김종인)"에서는 한국원자력연구원에서 개발하고 있는 일체형원자로의 주요특징을 기술하고 원자로상부구조물의 기능적 요구사항에 상응하는 설계 파라미터를 선정하고 독립공리를 만족하는 원자로단속패널을 설계하였는데 설계공리를 통한 설계해를 바탕으로 유한요소 해석을 통하여 세부치수를 결정하였고 구조물의 개념설계 시에 유용하게 적용될 수 있음을 보였으며, "신뢰성공학에 근거한 하중-강도계수 설계법과 부분안전계수의 개념 및 적용(유연식, 김태완, 김종인)"에서는 근래까지 사용되어온 결정론적 설계평가방법과는 달리 리스크 정보를 활용함으로써 결정론적 설계평가방법론에서 사용되어온 안전계수의 타당성과 문제점을 명확하게 할 수 있는 근거가 되었고 또한 과도한 보수성을 밝힐 수 있는 단초를 제공하였으며, "경수로 핵연료 지지격자체의 충격해석(III)(송기남, 이수범, 이현아, 김종기, 박경진)"에서는 핵연료 지지격자체의 충격해석 모델링 및 검증에 대한 연구결과를 발표하였다. 포스터 세션에서 발표된 논문을 살펴보면 "등가하중을 이용한 원자로 핵연료봉 지지격자 스프링의 비선형 응답 구조 최적설계(김도원, 이현아, 김용일, 송기남, 박경진)"

에서는 종래까지 연구되어온 선형 응답 구조 최적설계에서 진일보하여 비선형 응답 구조 최적설계를 수행한 연구결과를 발표하였으며, “선용접방법으로 제작된 16x16 최적화 H형 스프링 지지격자에 대한 진자식충격시험(김재용, 윤경호, 송기남)”에서는 용접선의 길이를 증가시킨 지지격자체의 충격시험결과를 발표하였다.

추계학술대회의 원자력 및 원자로 응용기술세션에서 발표된 논문의 내용을 살펴보면 “수소생산용 원자로에서 고온가스덕트의 예비 설계분석(송기남, 이수범, 이형연, 김용완)”에서는 초고온 열(약 950°C의 He 기체)을 이용하여 물을 분해하고 궁극적으로 청정에너지인 수소를 생산하는 원자로에서 원자로와 열교환기를 연결하는 고온가스관의 구조개념, 피로-크리프 등에 대하여 예비평가 결과를 발표하였고, “핵연료 시험용 고온고압 압력용기의 제작(박국남, 이종민, 심봉식, 손재민, 안성호, 유성연)”에서는 핵연료 노내조사시험설비(FTL)의 노내시험부 압력용기조립체 제작 및 기능시험결과를 발표하였고, “환형 핵연료 소결체의 열·구조 해석(이강희, 김형규, 양용식, 송근우)”에 대한 연구에서는 핵연료 성능 및 안전성 측면에서 여러 이점이 있는 환형 소결체의 열·구조해석에 대한 기초 연구결과를 발표하였으며, “핵연료 지지격자체 구조물에서 용접길이 변화에 따른 충격강도 분석(송기남,

이수범)”에 대한 연구에서는 지지격자체의 충격강도를 향상시키기 위한 방안으로 용접 길이가 증가한 경우에 대한 해석 및 실험결과를 발표하였다.

추계 및 추계학술대회를 통해 발표된 논문들을 살펴보면 보수성이 많았던 기존의 설계방법론을 개선하려는 노력과 해석모델 검증 등에 초점이 맞추어지고 있는 것으로 나타났으며 내년에는 보다 많은 연구결과가 원자력 부문에서 발표될 것 기대해 본다.

(송기남, 한국원자력연구원)

총돌 안전성능

21세기 자동차 산업은 무분별한 화석연료의 사용으로 인한 환경문제, 고유가 시대를 대비한 연비 절감, 차체 편의시설 증가로 인한 자동차 중량 증가 등의 문제에 직면해 있다. 이에 따라 자동차 업계는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 자동차의 연료 소비 및 배출가스 감소를 위한 경량화를 추구하고 있으며, 이러한 추세에 맞춰 알루미늄 합금, 마그네슘 합금 등의 경량화 소재들의 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 차체의 경량화는 차체의 강성과 밀접한 관계가 있으며, 날로 강화되고 있는 총돌 안전 법규에 대응하기 위해서는 다양한 안전장치와 제조공법 개선을 통한 안전성 확보가 필요하다.

차량 총돌 법규는 차량의 안전과 관련하여 나날이 관심의 대상

이 되어 가고 있으며, 이는 차량 사고에서 운전자와 승객을 비롯한 사람에 대한 상해가 가장 큰 관심이 되기 때문이다. 최근 대표적인 총돌 안전 법규로는 NCAP(New Car Assessment Program)이 있으며, 이는 새로 출시되는 자동차에 대하여 총돌 시험과 제동능능시험을 통해 안전성을 평가하고, 그 결과를 소비자에게 공개하는 제도이다. 소비자에게 자유로운 선택의 기회를 제공하고 제작사가 좀 더 안전한 자동차를 제작하도록 유도하기 위해 마련된 것으로, 자동차안전도평가제도라고도 한다. 1978년 미국에서 시행한 후로 유럽, 호주, 일본에서 실시하고 있으며, 각국의 특성에 따라 조금씩 다른 평가방법을 사용하고 있다. NCAP은 기존 법규보다 가혹한 조건으로 실시해 오고 있으며, 이와 관련하여 기존 법규 또한 점차 강화되고 있는 추세이다. NCAP의 시행으로 자동차 제작사는 보다 좋은 등급을 받기 위해 노력하고 에어백, 커튼 에어백, 사이드 에어백, 프리텐셔너 등을 장착하여 자동차의 안전성을 높일 수 있는 연구를 진행하고 있다. 기아자동차의 유럽 진출 성공작인 씨드(cee'd)의 경우 Euro NCAP에서 만점인 별 다섯(★★★★★) 평가를 받아 20만 대 이상의 판매를 기록하며 현지화에 성공한 사례로 꼽히고 있다.

기존의 총돌 법규는 주로 운전자를 비롯한 승객의 안전에 초점

을 맞춰 제정되고 연구되어 왔으나, 최근에는 승객의 안전을 넘어 보행자의 안전에도 많은 관심을 가지고 있다. 특히 우리나라의 교통사고의 경우 양적인 측면에서는 감소추세에 있지만 보행자 사고로 인한 사망률이 매우 높고 사고에 의한 손실이 높기 때문에 운전자를 비롯한 승객의 안전과 더불어 최근에는 보행자에 대한 안전도 이슈화 되고 있다. 또한 전 세계의 자동차 생산 업체에서는 보행자 보호를 위한 첨단안전장치 개발을 위한 연구를 진행하고 있으며, 다양한 평가 방법을 마련하고 있는 실정이다. 보행자 안전과 관련된 시험 방법으로는 차량 전면부에 의한 상해를 측정하기 위한 레그폼 임팩트 시험, 차량 보닛 가장자리 부분에 의한 상해를 측정하기 위한 윗 레그폼 임팩트 시험, 보행자의 머리가 차량 보닛을 충격했을 때의 상해치 평가를 위한 헤드폼 임팩트 시험(성인, 어린이) 등이 있다. 이러한 시험을 통하여 보행자 상해치 감소를 위한 범퍼 개발, 상해 감소를 위한 자동차 보닛 구조물 설계 등의 다양한 연구가 진행 중이다. 현재까지 보행자 안전에 대한 강제 법규가 완전히 제정되지는 않았지만 그 시간이 얼마 남지 않았고 유럽을 비롯한 북미에서 제정되게 되면 제품을 수출하는 데 상당한 영향이 있을 것으로 판단된다.

앞으로 자동차의 충돌과 관련된 연구는 기본적인 차체 강성에 관한 연구를 비롯하여 운전자와 승객에

대한 안전을 넘어서 보행자의 안전까지 생각하는 연구가 필수적이다.

(김현영, 강원대학교)

전산역학

전산역학 분야의 2007년도 연구동향은 다양한 해석 방법의 개발과 응용이 있었으며 좀 더 난이도가 있는 문제들에 대한 연구가 이루어졌다. 기존의 방법들을 더욱 보완하고 새로운 해석 방법을 개발하였으며 보다 도전적인 문제들에 적용하는 시도가 있었다. 기존의 유한요소법이나 경계요소법의 단점을 극복하기 위한 방법의 개발과 접촉과 유체-구조물 상호작용 해석과 같은 복잡한 문제들의 효율적인 해석 방법의 연구가 활발히 이루어 졌으며 다중스케일 문제의 해석과 대형 구조물의 축소 해석 기법과 병렬처리 기법의 개발 등의 많은 연구가 있었다. 여기서는 전산역학 분야의 전반적인 연구 주제와 방향과 더불어 대한기계학회논문집에 게재된 논문들을 같이 소개하고자 한다.

적응적 격자 분할을 위한 개선된 오차 평가(posteriori error estimation)의 개발과 혼합 유한요소법을 위한 오차 평가자와 요소 세분화 기준의 새로운 제시가 있었으며 다중스케일 문제의 해석을 위한 적응적 해석 방법의 연구가 이루어졌다. 또한 대형 구조물의 해석에서 부구조화(sub-structuring)에 대한 반복적 동적 축소법을 적용하여 동적 구조

해석에서 컴퓨터 메모리의 효율성과 계산 효율을 향상시킨 방법이 소개되었다. 축소된 유한요소 모델을 사용한 MOR(Moment-matching based model Order Reduction)을 사용하여 고유치와 주파수응답 해석을 보다 작은 자유도를 사용하여 해석하는 방법이 연구되었다. 다중스케일 문제의 해석 기법의 개발과 대형 구조물 해석을 위한 효율적인 방법들의 연구는 지속적으로 이루어지고 있다. 더불어 대형구조물의 분리를 통한 병렬처리 해석에 관한 연구가 활발히 이루어 졌는데 FETI(Finite Element Tearing and Interconnection) 방법의 프리콘디셔너(preconditioner)의 개발에 대한 연구가 있으며 다중스케일 문제의 효율적인 영역 분할 방법과 여기에 따르는 병렬처리 기법의 연구가 있었다.

전산역학 분야에서 해석을 위한 격자의 구성에 관한 연구는 요소 생성 방법이나 CAD에서 사용하는 기법들을 유한요소 모델의 구성에 적용하는 방법들의 연구가 활발히 이루어지고 있는데, NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline) 기법을 사용하여 셀(shell) 요소에 실제 형상과 동일한 기하학적 특성을 부여하여 CAD 모델을 정확하게 반영하는 방법의 연구가 이루어 졌으며, NURBS를 사용하여 셀 구조물의 표면을 구성하고 중간 면에 절점을 위치시키고 삼각형 요소를 자동 생성하는 연구가 있었다. 또한

역공학(reverse engineering)에서 주로 사용하는 STL 형식을 사용하여 유한요소 모델을 일반적으로 구성하는 방법이 제시되었다.

기존의 유한요소법이나 경계요소법 등의 단점을 해결하고 새로운 해석 방법을 개발하는 연구는 다양하고 활발히 이루어지고 있는데, 혼합 무요소법(hybrid meshless method), X-FEM, 확장 무요소 갤러킨 방법(extended meshless Galerkin method), 무요소 포인트 배열법(meshless point collocation method), 부영역 배열법(subdomain collocation method), 무요소 입자 방법(meshless particle method) 등이 소개 되었다. 이 방법들 중에서 X-FEM를 사용하여 혼합 균열 요소(hybrid crack element)를 개발하였고 응집 균열(cohesive crack)과 균열 진전의 해석에 적용되었다. 또한 계면에서 불일치 격자(nonmatching meshes)의 결합에 관한 연구가 MLS(Moving Least Square) 방법을 기반으로 한 연구와 라그랑지 승수(Lagrange multiplier)를 사용하여 일반화된 3차원 불일치 격자를 결합하는 연구가 이루어졌다. 불일치 격자의 결합은 계면에서 만족해야 하는 연속, 적합, 완전성 조건들을 효율적으로 처리하는 접근 방법이 필요한데 전산역학 분야에서 계속적으로 연구가 이루어지고 있는 연구 주제이다. 대표적으로 접촉 문제의 경우가 불일치 격자의 접

촉 조건을 처리해야 하는데 접촉면 사이에서 상호 수식화(dual formulation)를 통한 하중 전달의 일관성을 유지하는 연구와 부드럽지 않은 접촉면의 처리 기법에 관한 연구 등이 이루어졌다.

전산역학 분야에서 최근에 와서 더욱 관심이 증가되는 연구 주제가 유체-구조물 상호작용에 관한 연구로 안정화된 유한요소(stabilized finite element)의 개발과 유체와 구조물 결합 방법과 움직이는 격자의 해석 방법 그리고 유체 구조물의 계면에서의 불일치 격자 사이의 하중과 상태 변수들의 전달 방법에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 유체 영역과 고체 영역을 분리하여 상호 반복적으로 해석하며 정보를 교환하는 방법을 더욱 효율적으로 만드는 연구와 유체와 고체 영역을 동시에 유한요소 모델을 구성하여 상호 결합 관계식을 포함한 통합 해석 방법에 관한 연구들이 이루어지고 있다. 유동 해석의 안정화와 구조물의 대변형에 따른 격자 이동 그리고 경계면에서의 상태 변수들의 처리 방법에 관한 어려운 문제들을 복합적으로 해결해야 하는 도전적인 연구 과제이므로 많은 연구가 이루어지고 있다. 최근에 구조물이 유체 내부에 겹쳐서 독립적으로 모델링 되고 경계 영역을 적절한 가중 함수를 사용하여 처리하는 IFEM(Immersed Finite Element Method) 방법의 개선과 다양한 유체-구조물 상호작용

해석에 적용을 하고 있다.

적응적 내부 경계 레벨셋 방법을 바탕으로 위상최적화를 셀 구조물 경량화에 적용한 연구가 있었으며 다분야 통합 최적화에 병렬처리 기법의 적용과 다양한 방법들의 비교 검토가 이루어 졌다. 균열이 있는 구조물의 파괴 인성치를 계산하기 위하여 유한요소 교차 방법(finite element alternating method)이 제시되었는데 균열이 있는 구조물의 유한요소 해석과 균열이 없는 구조물의 유한요소 결과를 반복적으로 사용하여 3차원 균열에 대한 해석을 수행하였다. 또한 VIEM(Volume Integral Equation Method)를 사용하여 무한고체에 계재물이 있는 탄성문제의 해석을 수행하였다. 다양한 하중 하의 오일러-빔(Euler-beam)에 대하여 미분변환법(differential transformation method)를 적용하여 급수 전개로 해를 구하는 방법과 수렴성을 보여주는 연구가 있었다. 실제적인 응용 해석으로는 폴리머 배터리 전극제조용 압연 고온롤 표면의 형상에 대한 유한요소 해석에 관한 연구가 있었으며 레이저 필렛 용접의 비드 형상 예측에 관한 해석을 용접 조건에 따라서 해석하는 연구가 있었다. 전산역학 분야에서는 산업계의 다양한 해석에 관한 연구 결과가 있었으며 보다 개선되고 효율적인 해석 방법의 개발을 위한 지속적인 연구가 진행되었다.

(김현규, 서울산업대학교)