

고체 및 구조역학부문

부문위원장 : 신 창 균(한국기술교육대학교, 교수)

재료역학 및 연속체역학

재료역학이나 연속체역학의 범위는 다양하여 단순한 하나의 연구 주제를 이루기보다는 많은 응용분야로 확장을 하고 있다. 재료역학 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 특징 중 하나는 재료역학 분야를 모태로 해서 방법론적인 측면과 응용적인 측면에서 연구분야가 분기되고 세분화되면서 그 영역도 꾸준히 확충되어 왔다는 점이다. 방법론적인 분기의 대표적인 예는 유한요소법을 중심으로 한 전산역학 분야를 들 수 있으며, 응용적인 측면에서의 분기의 예는 파괴역학이나 금속성형의 예를 들 수 있을 것이다. 이렇게 광범위한 연구 분야는 유한요소법이나 파괴역학, 소성가공, 전자패키징, 복합재료역학, 유변학과 같이 재료역학 및 연속체역

학으로부터 분기·확충·발전하여 독자적인 연구집단을 형성하고 상호 연관을 지녀 엄격한 구분 어려워지고 있다.

재료의 구성방정식에 관한 연구는 재료역학 및 연속체역학 분야의 중요한 연구영역이다. 그동안 탄성, 탄소성, 점탄성, 점소성 구성 방정식에 관해 연구결과가 어느 정도 확립되어 있지만, 보다 복잡한 구성방정식, 이를 테면 점탄성 폴리머(polymer)나 전왜재료(electrostrictive materials), 고온 고압의 재료, 상변태를 수반하는 재료의 구성방정식에 대한 연구는 미미했으며, 최근에서야 활발한 연구가 이뤄지고 있다. 국내에서도 유변화학을 중심으로 폴리머의 구성방정식 모델링에 관해 많은 연구가 이루어지고 있다. (The Korea-Australia Rheology Journal 참조)

점단 산업분야에 이용되고 있는 다양한 신소재의 역학적 성질을 연구하기 위하여 미시/나노역학(micro-, nano-mechanics)에 관한 연구가 해외에서 활발히 이루어지고 있다. 특히 Nano-system이나 Nano-structure에

관해서는 다양한 연구가 이뤄지고 있다. 예로서 Nano-indentor나 AFM(atomic force microscope)를 응용한 Nano-scale 물성 측정, Quantum wires나 Quantum dots과 같은 Nanometer-scale device의 Fabrication 및 design을 위한 Nanostructure Patterning에 대한 Multiscaling Modeling, 그리고 Nanoscale에서의 재료 failure를 해석하기 위한 실험적 접근 및 multiscale 해석 등을 들 수 있다. 또한 변형이나 응력이 전자적 물성과 연계되어 있는 device나 system에 대한 역학적 연구를 들 수 있다. 예로서 반도체소자에 널리 사용되고 있는 실리콘 재료 내의 전위슬립(dislocation slip)에 관한 연구와 다양한 신소재의 미시/나노 역학에 관한 연구들이 이루어지고 있다. 또한 biotechnology의 발전과 함께 생체의 구성 방정식과 modeling 및 cell의 역학적인 관점에도 많은 연구노력이 경주되고 있다. 이는 인공관절이나 치아 등 신체기관의 이식과 cell adhesion 등과 관련하여 점점 큰 주목을 받고 있는

분야이다.

기타 박판구조물(thin walled structure)의 변형에 관한 연구가 보고되고 있다. 이는 자동차의 충돌시 에너지 흡수 기구에 관한 규명과 관련하여 진요하게 응용될 수 있는 분야이다. 또한 복합재료 역학 문제, 전자패키징 문제, MEMS 분야, 용접변형 해석 등 다양한 분야에 재료역학 및 연속체역학이 적용된 연구가 보고되어 있다.(기계학회지, 복합재료학회지 참조)

결론적으로 고체역학 분야는 고체역학 자체로서 하나의 학문으로 존재가치를 인정받기는 어려운 시점에 이르렀다. 오히려 기술의 발전과 분기 그리고 산업사회의 필요에 따라 보다 새롭고 폭넓은 역할을 요구받고 있다. 예로서 반도체 및 정보산업의 발전에 따른 Nano-mechanics와 Biotechnology의 발전에 다른 Biomechanics 분야가 고체역학 연구자들에게 도전적인 연구주제를 제시하고 있다.[임세영, KAIST]

구조설계 및 CAE

2001년도의 구조설계 및 CAE (Computer Aided Engineering) 분야의 국내 연구활동을 크게 전산수치해석기법 연구, 전산구조 최적설계 연구, 전산해석응용으로 나누어 살펴보고자 한다. 특히 2001년도에는 전산구조최적설계에 대한 연구가 눈에 띄는데, 관련 기술이 기계부품, 광학부품, 전자 부품의 설계에 광범

위하게 적용되는 연구가 많이 보고되었다.

전산수치해석기법

전산수치해석기법에 대한 전반적인 추세를 살펴보면 유한요소 개선에 대한 연구는 크게 줄어들었다. 하지만, 다양한 요소와 전산수치해석기법 등을 PC 등과 같은 플랫폼에 적용하기 위한 연구가 상당히 활발히 진행되고 있다. 그리고 지금까지 다루지 못했던 MEMS와 나노구조물 등과 같은 다물리현상이 연성이 된 복합문제를 해석하기 위한 해석, 전/후처리 연구가 발표되고 있다.

그리고 병렬처리 전산해석에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다는 점을 주목할 만하다. 특히 CAE 쪽에서는 무요소기법과 수학과 쪽에서 이론적으로 연구되었던 새로운 기법을 사용하여 기존의 방법으로는 구현하기 어려웠던 병렬처리기법이 많이 연구되고 있다. 특히, 병렬처리에서는 고성능 PC를 기반으로 하는 해석기술에 대한 연구가 활발하다. 이러한 기술을 실제적인 대형 문제에 적용하여 가시적인 결과를 얻으려는 노력이 많아지고 있다.

전산구조최적설계

2000년에 이어 2001년도에 가장 많은 연구된 주제는 전산구조 최적설계이다. 반응표면을 이용한 구조설계, 그리고 구조물의 강건설계 등에 대한 연구 등, 보다 다양한 최적화기법 이 연구되고 있으며, 이 방법들이 구조최적설계에 사용되고 있다. 특히, 중공

업과 전자 업계에서 최적설계의 필요성이 강조되면서 CAE를 이용한 핵심 구조물과 부품의 정밀해석과 최적설계에 대한 논문이 수가 증가함을 여러 학회지에서 살펴볼 수 있다. 주지할 사실은 산학협동을 통하여 기존에 CAE 분야에서 접근하기 어려웠던 MEMS를 이용한 IMU(Inertia Measurement Unit) 등의 강건설계와 최적설계 등이 이루어지고 있다. 앞으로 산업현장의 요구에 따라 이와 관련된 연구가 증가될 것이다. 이러한 추세는 전산구조 최적설계기술이 실제 설계 문제에 많이 활용되고 있다는 사실을 반영하는 것으로 관련 설계기술의 실용화를 촉진시키는 점에서, 상당히 바람직한 것으로 생각된다.

구조최적설계와 관련한 최근의 연구동향은 위상최적화, 또는 위상과 형상을 동시에 고려한 최적화 문제로 이동하고 있는 추세이다. 이것은 국내 관련 연구자의 수가 증가하고 있기도 하지만, 최적설계기술의 유용성이 더욱 커지고 있는 것으로 사료된다. 또한 국내 학계의 연구 수준이 빠르게 발전하고 있다. MEMS 구조물의 설계시 필요한 제작성과 강건성을 고려한 위상최적화기법 등이 활발히 연구되고 있다. 이 주제는 국제적으로도 관심이 집중되고 있으며, 향후 몇 년 동안 국제적으로 많은 연구 그룹에서 중점적으로 다루어질 것으로 예상된다.

전산해석 응용

전체적인 추세는 전산해석이

최적설계의 수단으로 이용되고 있다는 것이다. 산업계에서 CAE를 기반으로 한 연구를 보다 강화하고 있다. 또한 기존에 다루기 힘들었던 해석 설계 문제에 전산해석이 이용되고 있는 추세이다. 특히 2001년도는 과학기술부에서 '공학용 해석 소프트웨어 기술 개발 사업'이라는 새로운 국책 사업을 시작함으로써 국내 전산해석 기술의 자립화 및 상용화를 할 수 있는 계기를 마련한 한 해였다.[김윤영, 서울대학교]

실험역학

구조물의 응력해석에 사용되는 전 영역실험(full field experiment)에는 광탄성실험, 모아레간섭법, 홀로그래피, 전자스펙클간섭(ESPI : Electronic Speckle Pattern Interferometry), 그리고 SPATE(Stress Pattern Analysis by Thermal Emission) 등이 있다.

광탄성실험에는 투과형광탄성 실험법과 반사형광탄성실험법 그리고 응력동결법 등이 있다. 투과형광탄성실험법은 등방성체, 이종재료 그리고 직교 이방성체의 정적평면거동, 지능성재료의 정적평면거동, 지능성재료의 회복 응력 측정, 잔류응력 측정에 대한 연구도 다양하게 이루어지고 있다. 특히 투과형 광탄성 실험법에 의한 동적 하중을 받는 이종재료의 계면의 크랙이 일정한 속도로 전파될 경우의 이종재료의 동적 거동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 반사형광탄성실험법은 피로파괴의 문제와 실 구조물

의 거동해석에 관한 문제가 연구된다. 응력동결법에 의한 기계부품들의 3차원 응력상태도 연구되고 있으며, 특히, 치의학이나 정형외과 등의 의학 분야의 하학골이나 골 구조의 응력 상태도 응력동결법에 의하여 연구되고 있다.

또한 각종 광응력법칙을 이용하여 응력함수들의 계수를 구하는 하이브리드법이 연구되고 있다.

모아레간섭법에는 기하학적 모아레 간섭(geometric moire interferometry), 광학적모아레 간섭(optical moire interferometry) 그리고 전자모아레법(electron moire method) 등이 있다. 기하학적모아레 법은 주로 구조물의 변형을 측정하는 데 사용되고, 광학적모아레간섭과 전자모아레법 등은 미소변형을 측정하는 데 사용되며, 특히 전자패킹부품(electronic packaging component)의 열변형을 측정하는 데 이용된다. 기하학적모아레 간섭을 이용한 응력확대계수 측정과 복합체의 거동 등이 연구되고 위상 천이법을 이용하여 측정의 정확도를 높이는 방법, 측정분해능 향상, 측정시간 단축 등에 대한 것도 연구되며, 모아레간섭을 이용하여 복합체의 거동도 연구되고 있다. 또한 Hole-drilling Method와 모아레간섭을 혼용하여 용접부의 잔류응력과 잔류 응력확대계수 측정에 대한 것도 연구되고 있다.

모아레간섭의 위상천이법과 유한요소법과 모아레간섭을 혼용한 하이브리드법 등을 이용한 각종 재료의 거동문제와 CCD 카메라

와 모아레간섭을 사용하여 실험 중에 대한 변형의 문제가 연구될 것이다.

국내에서 홀로그래피 간섭계를 이용한 연구는 복합 적층판의 결합, 균열을 가진 박판의 좌굴 및 진동 특성, 미소변위, 3차원 변위 측정 등에 대한 것이고, 위상 변위법과 디지털 영상 처리를 이용한 평판 내의 속도 분포와 방사음장의 전방 예측 방법 및 신호처리 방법, 이중 펄스 레이저 홀로그래피 간섭을 이용한 평판의 탄성과 전파특성 등에 관한 연구도 있다. 홀로그래피 간섭은 생체역학의 변형과 파괴역학 등이 연구되어 왔고 연구될 것이다. Hole-drilling Method와 Holography 간섭이 혼합된 방법에 의한 구조물의 잔류응력에 관한 연구가 진행될 것이다.

전자스펙클간섭을 이용한 연구는 하니컴 구조물의 결합 검출, 복합 적층판에 내재된 층간분리의 검출, 미소 시험편의 실시간 변형 측정 그리고 면내 변형 측정 등에 대한 것인데, 앞으로 위상천이법이 혼합된 ESPI를 이용하여 전 영역 변형률 측정에 대한 연구가 진행될 것이다.

SPATE(Stress Pattern Analysis Thermal Emission)은 열탄성효과인 주응력 합과 열방출량과의 관계를 이용하여, 열방출량을 측정하여 주응력 합을 구하고 응력해석하는 최근에 개발된 실험법이 SPATE이다. 국내에서는 이 방법을 이용하여 연구한 것은 등방성체와 직교 이방성체의 응력확대계수 측정에 대한 것이고,

외국에서는 SPATE가 등방성체의 다양한 응력해석, 복합체의 열탄성 이론, 복합체의 손상, 하이브리드법에 의한 복합체의 응력 성분 분리법 등에도 이용되고 있다. 그리고 기계의 부품들의 손상이나 응력해석에도 이 실험법이 이용된다. 이 실험법은 복합체의 손상이나 실 구조물의 실응력 상태를 연구하는 데도 이용될 수 있다.

반사형광탄성실험법과 SPATE를 혼합한 새로운 실험법이 개발되고, 이 실험법이 개발되면 복잡한 과정을 거치지 않고 바로 전 영역의 임의의 지점의 주응력을 구할 수 있다. 그러므로 반사형광탄성실험법과 SPATE를 혼합한 새로운 실험법에 대한 연구가 진행될 것이다. 그리고 반사형광탄성실험법과 스트레인게이지, SPATE와 스트레인게이지 등을 실 구조물의 강도면의 취약점을 쉽게 찾고 그 지점의 응력 값을 정확하게 구할 수 있으므로 이러한 방법이 현장에 사용될 것이다. 잔류응력의 측정에는 전 영역의 실험법과 Hole-Drilling Method의 혼합법에 대한 연구가 진행될 것이다.[황재석, 영남대학교]

복합재 역학

우주·항공용 소재를 시작으로 현재는 기계산업의 전반적인 분야와 스포츠·레저 등의 다양한 분야에 적용되고 있는 복합재는 두 가지 이상의 성질이 서로 다른 물질이 거시적으로 혼합되어 각 성분이 원래의 성질을 유지하는 물질로 혼합되어 있는 각 성분의

특성을 모두 이용할 수 있다는 장점이 있으며, 복합재의 대표적인 예로 대나무, 사람의 뼈, 철근강화 콘크리트, 섬유강화 복합재료 등을 들 수 있다. 섬유강화 복합재료의 경우는 열경화성 수지를 모재로 사용하는 과거의 제한을 넘어서 세라믹, 탄소, 열가소성 수지 등을 모재로 사용하고 있으며, 특히 보수 및 재활용에 용이한 PEEK, Polypropylene 등의 열가소성 수지를 이용한 GMT(Glass Mat Thermoplastic)의 사용이 늘고 있다. 또한, 최근에는 특정 방향의 물리적 성질을 점진적으로 변화시켜 원하는 기능을 얻는 기능성 경사재료(FGM)와 나노미터 단위의 미세분말을 첨가하여 특정한 성질을 향상시키는 나노 복합재에 관한 연구도 점차적으로 늘어가고 있다. 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 거시적인 관점과 미시적인 관점에서 복합재 역학 및 최근 공작기계, 반도체 공정용 로봇팔 등의 적용으로 활발한 연구가 진행되고 있는 복합재 샌드위치 구조의 연구동향을 기술하고자 한다.

복합재료 거시역학

복합재 역학의 거시적 방법은

각 층 내의 섬유와 기지를 구별함이 없이, 두 물질의 성질이 완전히 혼합되어 평균 성질을 나타낸다고 가정하고 응력과 변형률을 계산하는 방법이다. 고전적층판이론(CLPT)은 복합재 평판의 응력 및 변형률 계산에 많이 사용되어 왔으며, 최근에는 다양한 하중을 받는 평판 및 원통의 두께 방향 응력 및 경계부근 응력을 정확히 구하기 위한 근사 해석해의 시뮬레이션에 관한 연구와 지배방정식의 비선형 고차항을 고려한 해석해에 관한 연구가 이루어지고 있다. 또한, 다양한 경계조건을 가지는 복합재 평판 및 원통에 대한 좌굴 및 진동에 대한 정확한 해석해를 구하기 위한 지배방정식의 구성에 관한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 연구는 기본적인 간단한 경계조건 및 기하학적 형상을 갖는 복합재 구조에 적용될 수 있으며, 경계조건이 복잡하거나 비대칭 형상의 구조 등의 해석은 대부분 유한요소를 이용한 수치해석을 통하여 이루어지고 있다. 두께가 얇은 셀 형상의 복합재 구조의 유한요소 해석은 층간응력 및 필(peel)응력을 모두 고려한 플라이(ply) 해석이 가능하나, 두께가 두꺼운 복합재 구조의 유한요소 해석은 유한요소 갯수 및 해석시간의 한계로 대부분 직교이방성 물성을 가지는 구조해석으로 제한된다.

복합재 파괴 모드 및 파손 기준에 대한 연구는 계속 새로운 이론이 제시되고 있으며, 정확한 예측이 가능한 이론은 아직까지 명확하게 정립되어 있지 않은 상태이

다. 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 해석 등도 활발하게 연구가 진행되고 있다.

복합재료 미소역학

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 활발하게 이루어지고 있다.

복합재 샌드위치 구조

복합재 샌드위치 구조는 굽힘 하중을 받는 경량 구조인 비행기, 고속전철, 쾌속정, 반도체용 로봇 팔 그리고 공작기계 등에 적용되고 있다. 기존의 복합재 샌드위치 구조는 두 개의 얇은 복합재 판 사이에 허니콤(honeycomb)을 넣어서 복합재 구조의 무게를 줄이고 굽힘강성을 높였지만, 허니

콤을 이용한 샌드위치 구조는 굴곡이 심한 부분에는 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 현재 샌드위치 구조로 제작되는 많은 제품은 다양한 물성을 얻을 수 있고 복잡한 구조의 샌드위치 구조에도 적용이 가능한 폼(foam)과 같은 물질을 이용하여 제작되고 있으며, 이에 따른 샌드위치 구조에 대한 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

기존의 허니콤을 이용한 평판 형태의 복합재 샌드위치 구조에 대한 해석은 많이 수행되어 있지만, 폼과 같은 새로운 코어를 적용한 실제 복합재 샌드위치 구조에 대한 해석이나 실험은 명확하게 정립되어 있지 않다. 폼을 적용한 실제 복합재 샌드위치 구조의 복합재와 코어의 접합성이나 실제 복잡한 형상을 지닌 복합재 샌드위치 구조의 응력해석분야 등은 앞으로 많은 연구가 진행되어야 할 부분이다. 또한, 비행기나 고속전철의 외관에 사용되는 복합재 샌드위치 구조는 외부충격에 견뎌야 하기 때문에 충격특성이 중요하지만, 현재 복합재 샌드위치 구조에 관한 연구는 간단한 해석이나 실험에 국한되기 때문에 실제 구조물에 적용하기 위한 실제적인 실험과 해석이 필요하다. 앞으로 비행기나 기차 등의 고속 이송수단을 포함한 많은 기계의 경량화 경향을 고려할 때, 복합재 샌드위치 구조에 관한 연구는 더욱 가속화될 전망이다.

복합재 성형공정 해석

오토클레이브를 이용한 복합재

의 진공백 성형공정은 주로 장섬유를 이용한 프리프레그(pre-preg) 형태의 복합재 플라이(ply)를 적층하여 성형하기 때문에 섬유의 유동보다는 경화 전의 레진의 유동과 복합재의 압밀 해석이 중요하다. 현재 레진의 유동에 대한 이론은 거의 정립이 되어 있는 상태이며, 복합재 압밀에 대한 이론은 해석의 복잡성 때문에 다양한 연구가 진행되고 있는 상태이다. 또한, 두꺼운 복합재의 진공백 성형에서는 복합재 내부의 발열에 의한 온도상승으로 복합재의 물성 저하가 발생할 수 있기 때문에 유동 및 압밀 해석뿐만 아니라 복합재의 열전달 해석도 중요시된다.

수지에 함침된 섬유를 회전하는 맨드릴 주위에 일정하게 감은 후 경화시키는 필라멘트 와인딩 공정은 섬유의 장력을 조절과 섬유에 함침되는 수지의 양이 가장 중요하기 때문에 장력제어를 위한 서보 시스템에 대한 연구가 주로 이루어졌다.

복합재구조의 대량생산에 적합한 펄트루전, RTM 그리고 압축 성형 공정에서는 레진과 섬유의 함침과 금형 내부에서 복합재의 유동에 관한 연구가 이루어져 왔다. 특히 낮은 압력으로 제품을 성형할 수 있는 RTM과 사출성형에 비하여 비교적 간단한 압축 성형 공정은 레진의 함침과 유동이 제품의 품질을 결정하기 때문에 레진 함침과 유동에 관한 유체 역학적인 접근과 실제 제품 성형 공정을 예측하기 위한 시뮬레이션(simulation)에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 현재 장섬유

를 이용한 복합재구조의 성형에 대한 이론적 접근이나 성형공정의 시뮬레이션은 거의 이루어져 있는 상태이지만, 사용영역이 점점 넓어지고 있는 단섬유를 이용한 복합재구조의 성형에 대한 해석은 불규칙하게 분포된 단섬유의 유동을 예측하기 어렵기 때문에 적절한 시뮬레이션을 위한 다양한 연구가 시도되고 있다.[이대길, KAIST]

충돌 및 붕괴

우리나라의 자동차 안전도는 정부의 안전기준의 강화, 신차평가(NCAP)제도, 리콜제도 강화 등 자동차 관리제도 개선 등으로 최근 크게 향상되었으며, 또한 최근 안전띠 착용 강화 실시 등의 노력으로 교통사고 사망자와 부상자는 점점 감소하는 추세에 있다. 어린이 탑승자 보호를 위한 정부의 안전성 확보 정책이 매우 미흡하여 매년 약 2만 5,000건의 초등학생 이하 어린이 교통사고가 발생하여 500여 명 사망, 25,000여 명이 부상하고 있다. 차대 보행자 사고도 전체 교통사고 사망자의 약 40%로 매년 수천명의 사상자가 발생하고 있으나, 유럽, 미국, 호주 및 일본 등에서 보행자 및 어린이 보호장비에 대한 연구 및 법규제정 움직임이 있음에 따라 국내에서도 차량이나 어린이 보호장구 등의 안전기술에 관한 연구는 진행되었다. 특히 KAMA가 유럽에 수출하는 차량에 대하여서는 유럽보행자 법규에 합의하여 보행자보호를 위한

차량의 전면부의 설계해석 및 실험에 대한 연구가 진행되었다.

대외적으로는 미국의 NHTSA에서는 1999년 하반기에 그 동안의 충돌안전 및 승객보호에 대한 연구를 종합하여 일부 법규개정이 이루어졌다. 특히, 에어백에 대한 법규강화로 인해 기존의 50%tile Hybrid III에 대한 충돌 안전을 포함하여 5%tile, 95%tile 및 3세, 6세 어린이뿐만 아니라 12개월의 영아에 대한 보호규정이 제정되면서 국내에서도 이에 대비하여 Smart Air bag에 대한 연구가 활발히 진행되었으나, 미국의 법규가 시행되는 2003년에 대비하여 신차 개발 기술연구가 보다 심도있게 진행될 것으로 예측된다. 그리고 미국이 어린이 보호장비(child restraint system)에 대한 법규를 제정함에 따라 어린이 보호에 대해 유아용 시트를 제작하는 부품업체와 정부를 중심으로 CRS의 설치방법에 대한 연구가 진행 중이다.

또한, 유럽에서 신차평가제도(NCAP)의 정착은 자동차 충돌 안전 기술개발 및 연구에 상당한 영향을 주고 있다. 북미, 국내에서 시행되는 전통적인 100% 고정벽 충돌과는 달리 40% Offset Barrier의 충돌은 Fil barrier 시와는 다른 차체 붕괴형상을 보여 주므로 차체의 강성 및 붕괴에 대한 정확한 이해가 필요하고 차체 구조의 Integration에 대한 연구가 진행되었고 앞으로도 지속될 전망이다. 또한 EURO-NCAP의 차대 보행자 시험 및 Pole Test로 의 확장은 충돌에 대비한 차체구

조설계의 전략적 수정을 요구하고 있다. 종래에는 충돌의 경우 사안별(정면, 측면, Offset)로 독립적인 해석 및 설계를 진행하여도 큰 문제가 없었지만, 이제 선진국에서의 법규는 차량에 대한 전방위적인 충돌 안전성을 요구하고 있다. 그러므로 향후 자동차 충돌안전에 대한 연구는 차체구조의 붕괴특성과 승객보호와의 상관관계에 보다 많은 연구가 진행될 것으로 예측된다. 국내에서도 보행자 관련 안전법규의 강화를 위해 정부차원에서 이에 대한 연구가 진행되고 있는데 주로 유럽의 EEVC 보행자 시험법을 근거로 정책안을 수립하고 있다.

한편, 정부의 G7과제인 차세대 자동차 사업이 올해로 종료됨에 따라 2002년 7월부터는 산자부 주관으로 진행되는 미래형 자동차 사업의 화두는 2리터 자동차 개발이므로 안전도 부분에서는 경량화를 추진하면서도 날로 강화되는 안전법규를 만족하기 위한 기술개발 및 연구가 진행될 예정이다.

최근 충돌 안전도 부분에 대한 연구의 특성은 실험계획법(DOE)을 이용한 설계 변수에 대한 연구가 대종을 이루고 있는 추세이다. 이는 미국의 새로운 FMVSS 208 법규가 수많은 법규시험을 요구하고 있고 또한 안전 법규들이 독립적이 아니고 서로 유기적으로 연결되어 있어 이를 대비하기 위해 최적의 설계변수를 구하기 위한 방법으로 사용되고 있다. 예를 들면 보행자법규를 만족하기 위한 범퍼와 정면충

들에 강한 차체의 전면부는 서로 상반관계를 이룰 수 있어 이들 두 법규를 모두 충족하는 최적의 조건을 찾기 위해 수많은 실험 및 해석보다는 제한된 횟수의 실험 및 해석을 통하여 최적의 해를 구하기 위한 방법으로 이용되고 있다. [윤영한, 한국기술교육대학교]

생체역학

생체역학 분야는 생체공학 분야의 일부로 간주할 수 있다. 생체공학이 인체에 사용되는 여러 가지 의료기기 및 재활기기의 설계 및 가공에 수반되는 기계공학적 연구를 통칭한다면, 생체역학은 인체조직의 주변 기계학적인 환경변화에 따른 생물학적인 변화에 대한 상관관계의 연구, 반대로 생물학적인 변화로 인한 조직의 기계적 특성의 변화에 대한 연구 등 기초적인 학문을 연구하는 분야로 간주할 수가 있다. 국내의 연구 및 학술활동은 아직 타 기계공학 분야에 비하면 초기 단계로 미미한 실정이나, 1995년 이후 생체역학 분야에 대한 연구 지원사업의 활성화에 따른 관심의 증대, 기계학회에서의 생체역학 특별세션 개최 등으로 빠른 성장을 보여주고 있다. 또한 최근 노인인구의 증가에 따른 Silver Engineering 분야의 국내외적인 연구의 필요성 증가에 따른 생체역학 분야, 특히 재활공학 분야의 연구에 대한 연구지원의 증가 및 국가적인 연구사업의 기획으로 국내 연구자의 관심이 집중되고 있다.

생체역학의 연구분야를 크게 나누면 대상 인체조직에 따라, 근-골격계, 순환계, 호흡계 등으로 나눌 수가 있으며(bone biomechanics, soft tissue biomechanics, circulatory biomechanics, sports biomechanics 등), 또한 적용되는 기계공학 기술에 따라 기구학적 분야(kinematics), 조직의 물성 및 기계적 특성에 대한 조직역학(tissue mechanics), 또한 각종 세포의 물성 및 기계적 거동에 관한 세포역학(cell mechanics) 등으로도 나눌 수 있다.

지난 2001년의 생체역학 분야의 국내 연구활동을 요약하면, 우선 생체공학분야의 연구에 대한 관심의 증대를 들 수 있다. 생체역학연구회의 공식적인 연구회 활동의 종료에도 불구하고 연구회 참석 인원은 증대하고 있으며, 본 연구회의 지속적인 활동을 위해 2002년부터 한국정밀공학회에서 생체공학 부문을 신설하여 생체역학 및 관련 공학 연구를 한 곳으로 집중하는 계획을 수행 중에 있다. 연구분야에서는 앞에서 기술한 바와 같이 국내적으로 Silver Engineering 연구에 대한 관심의 증대로 그 분야의 근간이 되는 생체역학 분야의 연구내용이 기획되고(생산기술연구원의 기획보고서 및 보건산업진흥원의 보건산업기술 진흥을 위한 기획서 등) 있으며, 특히 근-골격계의 노화에 따른 동작분석 및 재활분야에 관심이 모여지고 있다. 한편 국제적인 학술대회의 단체 참가가 시도되어 2001년 대만에서 개

최된 International Society of Biomechanics(ISB) 학회에는 한국의 생체역학연구회 회원이 정식으로 초청되어 국제적인 지도를 얻었다. 현재 ISB의 공식적인 회원국으로 인정을 받는 절차를 밟고 있다.

생체역학 분야의 연구 현황을 보다 면밀히 살펴보면, 우선 근-골격계 연구가 활성화되어 이에 따른 연구를 들 수 있다. 이는 재활분야의 관심의 증대 및 근-골격계 조직은 주변의 기계적인 환경에 가장 민감하게 반응하는 인체조직이기 때문이다. 보행분석 및 재활보조기 착용에 따른 생체역학적 변화, 재활용 인공의수족의 인체적용시 주변의 인체조직에 가해지는 응력해석, 미세운동 해석 등이 실험적, 해석적으로 연구되었으며, 정적인 상황과 충격 하중의 상황에서의 해석도 보고되고 있다. 인공관절 및 인공치아, 척추나사의 연구에서는 기계적인 전단응력이 연골세포의 생성과 대사에 미치는 영향에 대한 연구, 인공치아 표면의 고분자 피막으로 인한 기계적 특성의 변화가 골세포의 성장에 미치는 영향 연구 및 인공치아의 설계에 따른 골성장 예측에 대한 연구도 보고되었다. 또한 골다공증에 있어서 척추골절시 PMMA의 주입량 및 주입부분에 따른 척추의 기계적 강도의 회복에 대한 연구, 척추보강술에 따른 골밀도 변화 연구, 3차원 척추체의 유한요소모델의 개발을 이용한 골다공증 환자의 척추체의 골질 위험성에 관한 생체역학적 연구 등은 임상에서 발생

하는 문제점을 기계공학적으로 해석하려는 연구로 의학자-공학자 간의 협동연구로 진행되고 있다.

2001년은 세포역학에 대한 연구보고가 활성화되었다. 주기적인 압축변형이 골세포의 발현에 미치는 영향은 전단응력이 세포의 증식에 효과적인 반면 압축응력은 세포의 분화에 효과적이라는 연구결과 보고가 있었고, 세포의 접착력을 Micro-pipet을 이용한 정밀한 실험을 통해 측정된 연구결과가 발표되기도 했다. 또한 단위 세포의 기계적 물성치를 측정할 수 있는 실험장치가 개발되었으며, 이에 따른 각종 세포의 물성치 연구가 활성화될 전망이다.

근전도를 이용한 척추동작에 따른 피로도의 측정, 근전도로부터 근력산정을 위한 수학적 모델의 구축 및 기능적 근육자극에 따른 마비환자의 운동기능 회복에 관한 연구 등은 생체공학 분야의 재활공학 연구에 기초를 제공하고 있다.

이외에도 혈류의 유동특성 연구, 동맥류에서의 유체-구조 상호작용에 대한 연구, 혈류유동의 가시화 연구 등은 순환계 생체역학 분야의 기초연구로 보고되고 있으며, 또한 의료영상기술을 이용한 인체조직의 3차원 가시화 연구, 웹 상에서의 3D영상 가시화 연구, 가상 수술을 위한 시뮬레이터 연구 등도 생체역학의 한 분야로 연구가 활성화되고 있다.[최귀원, KIST]

신뢰성공학

재료역학 분야에 관련된 신뢰성공학은 기계, 기기, 장치, 구조물과 그들 구성 요소의 강도적 기능의 신뢰성을 정량적으로 해석, 평가해, 설계와 보존에 도움을 주고, 신뢰성과 안전성의 확보와 향상에 이바지하는 것으로 구조신뢰성공학(structural reliability engineering)이라고도 한다. 이와 관련된 용어로 신뢰성해석, 신뢰성평가(reliability evaluation), 신뢰성설계란 용어도 함께 사용되고 있다. 신뢰성해석(reliability analysis)은 신뢰도의 계산, 파손확률에 준하는 척도로서의 안전성 지표의 설계, 파손확률에 대한 관계인자의 영향도 비교를 하는 영향도평가와 FTA(Fault Tree Analysis)등을 다룬다. 그리고 신뢰성평가는, 신뢰성해석과 같은 의미로 사용되고 있는 경우가 많지만, 시험에 의한 평가도 행해지고 있어, 신뢰성해석보다도 내용이 넓다. 또한 신뢰성설계(reliability-based design)는 경험적인 안전계수를 이용하는 설계에 대비되는 설계법으로, 파손확률과 안전성지표가 허용치 이하가 되도록 설계하는 수법이고, 확률론적 설계(probabilistic design)라고도 한다.

강도의 통계적 특성

구조신뢰성공학 분야의 연구는 강도(strength)의 통계적 취급이나 분석, 하중(load) 또는 응력(stress)의 통계적 분석, 그리고

이들 사이에서의 파손확률의 계산방법으로 크게 나뉜다고 할 수 있다. 이제까지의 강도의 분포는 인장강도, 항복강도, 경도, 평면변형과과인성치 등 정적강도는 주로 정규분포와 와이블분포에 따르며, 변동계수는 개략 5% 이내에 있고, 피로한도, 균열발생수명, 균열전파수명 등은 대수정규분포나 와이블분포에 따르며, 변동계수의 정도는 10~50%의 수준에 달하는 것으로 알려져 있다.

그 동안 국내에서는 주로 강도의 통계적 특성에 대한 많은 연구가 진행되었다고 볼 수 있다. 주로 강도에 있어서 문제가 되는 피로에 관해서는 윤한용 등은 초기 크랙의 분포가 피로크랙 진전수명에 미치는 확률특성과 크랙진전속도의 분포, 크랙진전속도의 불안정성 평가방법 등 주로 피로에 있어서 균열 전파 수명의 확률적 특성 등에 관한 연구를 체계적으로 수행하였다. 또한 권재도 등은 피로균열발생 및 진전수명의 통계적 분포특성과 수명평가에 대한 연구를, 김정규 등은 두께변화에 따르는 피로균열진전의 변동성과, 단일 과대 하중하에서의 피로균열진전지연거동의 확률론적 해석을 수행하였다. 배성인은 연강과 주철의 인장강도, 충격치, 파괴인성치 등의 통계적인 분포특성과 랜덤하중하에서의 피로균열 진전속도의 신뢰성에 대하여 연구하였다.

신소재 강도의 신뢰성 및 파손 확률 등

신소재 강도의 신뢰성에 관한



테마기획

연구로 권재도 등은 인공부식재의 통계학적 수명예측을 하였고, SiC 휘스커 보강 알루미늄 복합재료의 통계학적 피로균열 진전 수명에 대하여 실험과 몬테칼로 시뮬레이션을 하였다. 김선진 등은 탄소섬유강화 복합재료 강도의 통계적 분포 특성을 2모수와 이블 분포로 정리하였고, 피로균열전파저항의 변동성을 통계적으로 연구하여 패리스법칙의 지수 m 의 변동성을 연구하였다.

또한 반도체 패키지의 신뢰성

확보를 위하여 이순복 등은 기계적 진동 및 과대하중에서의 실험적 연구, 열하중에 의한 땀납 연결부의 피로수명예측에 관한 연구와 패키지의 신뢰성을 극대화하는 연구를 수행하였다.

파손 확률의 계산방법에 관한 연구로는, 배성인 등의 신뢰도와 신뢰수준을 통합하고자 하는 연구가 있다. 이는 신뢰성설계에서는 통상적으로 강도분포의 파라미터(모수)를 모르기 때문에 그 값의 추정에 신뢰도와 함께 신뢰

수준을 도입하여 사용하게 되므로 실제의 신뢰도를 알기가 어려워 이들을 통합하고자 하는 연구를 수행하였다.

한국기계연구원에서 기계와 부품들에 대한 신뢰성평가를 위한 첨단기계류·부품기술개발사업단이 구성되어 활동하고 있고 공작기계연구센터 등에서도 신뢰성 시험을 위한 체제 구축에 노력하고 있다. [배성인, 창원대학교]

기계응용어 해설

■ 근사합성(Approximate Synthesis)

근사합성법은 요구되는 운동을 많은 수의 운동위치로 표현하고 그 운동위치를 최대한 근접하게 구현하는 기구를 구하는 합성법으로서 요구되는 연속적인 기구의 운동을 몇 개의 운동위치로만 표현할 수 있는 정밀점 합성에 비하여 비교적 많은 수의 운동위치를 합성의 입력값으로 사용할 수 있으므로 보다 실제적인 운동을 구현하도록 기구를 합성할 수 있다. 최소 자승법 등의 최적화 기법을 이용하는 오차 최소화법과 선택적 정밀도 합성법 등으로 분류할 수 있다.

■ 준비연성 설계(Nearly-Uncoupled Design)

비연성 설계와 유사하지만 비대각 요소들이 완전히 '0'이 되지 않는 설계를 의미한다. 다시 말해 허용된 공차보다 작은 영향력을 '0'으로 간주하는 설계이다.

■ 탄성파(Acoustic Emission)

어떤 물체가 외력 또는 내부의 힘에 의해 변형이나, 파괴가 일어나게 되면 재료 내부에 축적되어 있

던 변형에너지(strain energy)는 파면 형성 에너지, 열에너지, 격자 변형 에너지, 그리고 탄성파와 같은 여러 형태의 에너지로 변환된다. 이때 외부에서의 계측장치의 힘에 의해서 가시적으로 검출된 탄성파를 AE신호라 한다. 탄성파는 본질적으로는 물체의 구성입자들이 사방으로 진동하여 가는 현상이며, 이러한 진동이 압전센서에 의해서 전기적 신호로 변환될 때 비로써 AE신호로 검출되게 된다.

■ 후류천이(Wake Transition)

유동 속에 놓여 있는 물체의 후류유동은 레이놀즈수가 증가할수록 2차원 층류에서 3차원 난류유동으로 발전한다. 후류천이는 그 중간단계의 유동 형태 중 하나를 말하며, 전단층에 의한 Kelvin-Helmholtz 와가 발생되기 이전 단계이다. 후류 천이 영역에서의 유동특성은 불안정성에 의해 Karman와류가 변형되면서 2차 와류가 발생하기 때문에 3차원 유동구조를 가진다. 그리고 불안정성의 발생원리, 2차와류의 스케일에 따라 모드 A와 모드 B 영역으로 세분화할 수 있다.