

# 고체 및 구조역학 부문

부문위원장 : 신 창 균(한국기술교육대학교, 교수)

**고**체역학 분야는 전통적으로 탄소성 및 점탄성·점소성 변형거동에 관한 연구와 이와 관련된 응용분야인 구조역학으로 크게 나눌 수 있다. 이 분야의 주요한 특징 중 하나는 분기되고 세분화되면서 그 영역도 꾸준히 확충되어 왔다는 사실이다. 그 예로서 기존 금속재료뿐 아니라 비금속재료, 복합재, 동식물재료의 거동에 대해서 관심이 증가하고 있고 생체역학, 충돌 및 붕괴, 신뢰성역학 그리고 재료 내부의 응력과 변형률을 측정하기 위한 실험에 관련 분야의 연구가 증가하고 있다. 또한 특히 CAD(computer aided design)와 접목된 CAE(computer aided engineering) 분야의 연구활동이 매우 활발하다.

## 재료역학 및 연속체역학

재료역학이나 연속체역학의 범위는 다양하여 단순한 하나의 연구 주제를 이루기보다는 많은 응용 분야로 확장되고 있다. 재료역학 분야의 연구는 전통적으로 탄·소성 및 점탄성·점소성 변형거동에 관한 연구와 이와 관련

된 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 연구 분야가 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 연속체역학으로부터 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 연구 결과가 어느 정도 확립되어 있지만, 보다

복잡한 구성방정식, 이를테면 점탄성 폴리머나 전왜재료(electrostrictive materials), 고온 고압의 재료, 상변태를 수반하는 재료의 구성방정식에 대한 연구는 미미했으며, 최근에서야 활발한 연구가 이뤄지고 있다. 국내에서도 유변화회를 중심으로 폴리머의 구성방정식 모델링에 관해 많은 연구가 이루어지고 있다(The Korea Australia Rheology Journal 참조). 또한 상변태를 수반하는 재료의 구성방정식 규명을 위한 연구와 고체추진제의 점소성 구성방정식 모델링 관한 연구, 그리고 전왜재료의 균열선단에서의 응력장을 규명한 연구가 있었다. 첨단 산업분야에 이용되고 있는 다양한 신소재의 역학적 성질을 연구하기 위하여 미시/나노역학(micro-, nano-mechanics)에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 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 긴요하게 응용될 수 있는 분야이다. 또한 복합재료 역학 문제, 전자 패키징 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 따른 biomechanics 분야가 고체역학 연구자들에게 도전적인 연구주제들을 제시하고 있다. [임세영, KAIST]

## 구조설계 및 CAE 분야

2000년도의 구조설계 및 CAE 분야의 국내 연구활동을 크게 1) 전산 수치 해석기법, 2) 전산 구조 최적설계, 3) 전산 해석 응용으로 나누어 볼 수 있다. 작년에 이어, 2000년도에도 전산 구조 최적설계에 대한 연구가 더욱 증

가하고 있는 추세이다.

### 1) 전산 수치해석 기법

전산 수치 해석기법에 대한 전반적인 추세를 살펴보면 유한요소의 개선에 대한 연구는 크게 줄어들고 있다는 것이다. 혼합요소, 요소망 생성 등 관련 연구가 발표되고 있지만, 전체적으로 유한요소기법에 관련된 논문의 수가 줄어들고 있다고 볼 수 있다. 하지만 새로운 역학이론을 바탕으로 한 고차 폐단면 보요소 등에 대한 연구가 발표되기도 하였다.

전산 수치 해석기법과 관련된 전체적인 연구 동향은 무요소기법, 웨이블릿-갤러킨기법 등과 같은 새로운 해석 기법에 대한 논문이 다수 발표되고 있다는 점이다.

무요소기법은 전 세계의 많은 연구자들이 관심을 갖고 있는 주제로서 국내에서도 상당수의 연구자들이 관련 연구를 수행하고 논문을 발표하고 있다. 현재 추세대로라면, 내년에도 이와 관련된 연구논문이 상당수 발표될 것으로 예상된다. 그리고 웨이블릿을 이용한 수치해석기법이 기계학회지 논문으로 처음 발표된 바 있는데, 웨이블릿을 이용한 멀티스케일 수치해석에 대한 연구관심도 증가하고 있는 추세이다.

병렬처리 전산해석에 대한 연구도 활발하나, 올해에는 연구 논문으로 발표된 것은 많지 않다. 하지만, 상당수의 국내 연구기관에서 이에 대한 연구를 수행하고 있다.

### 2) 전산 구조 최적설계

작년에 이어 2000년도에 가장

많은 연구 주제는 전산 구조 최적설계이다. 반응표면을 이용한 구조설계, 그리고 구조물의 강건설계 등에 대한 연구 등 보다 다양한 최적화기법 이 구조설계에 사용되고 있다.

그런데 2000년에 주류를 이루고 있는 연구는 최적화기법 개발, 문제 정식화 등에 대한 것이라기보다는 최적설계기법을 구조설계에 응용하는 것으로 보인다. 이러한 추세는 전산 구조 최적설계 기술이 실제 설계 문제에 많이 활용되고 있다는 사실을 반영하는 것으로 관련 설계기술의 실용화를 가속화할 수 있다는 점에서, 상당히 바람직한 것으로 생각된다. 이러한 연구의 예로 하드디스크 구동기관의 설계, 최적 블랭크 형상 설계 등을 들 수 있다.

구조 최적설계와 관련한 최근의 연구동향은 위상최적화, 또는 위상과 형상을 동시에 고려한 최적화 문제로 이동하고 있는 추세이다. 이것은 국내 관련 연구자의 수가 증가하고 있기도 하지만, 그 최적설계 기술의 유용성이 더욱 커지고 있는 것으로 사료된다.

### 3) 전산해석 응용

최적설계 기법을 사용하지 않고, 전산해석만을 응용한 논문의 수는 작년에 비해 크게 줄었다. 하지만, 치아 교정에 유한요소해석기법을 사용하는 등, 전통적인 구조 문제가 아닌 분야에도 전산 해석 기법이 응용되고 있다. 역시 전체적인 추세는 전산해석이 최적설계의 수단으로 이용하는 것이라고 볼 수 있다.

그리고 국내에서도 PC 기반 유한요소 전용 프로그램이 상용화

되는 등 국내 전산해석 관련 소프트웨어가 상당수준에 이른 것으로 보인다. [김윤영, 서울대학교]

## 실험역학

실험 역학이 구조물의 응력해석에 사용되는 전 영역 실험(fuel field experiment)법을 소개하고 국내·외의 각 실험의 하이브리드 법 연구 동향을 설명하고자 한다.

먼저 하이브리드법이라 함은 어떠한 기하학적 조건을 가진 구조물이 결정되고 그 구조물의 재료와 그 구조물에 가하여지는 하중이 결정되면, 그 조건을 만족하는 응력 함수들은 반드시 존재한다. 따라서 대응되는 구조물의 실물 실험이나 모델 실험을 통해 얻은 실응력 상태의 데이터, 기하학적 조건 즉, 경계조건을 이용하여 응력 함수들의 계수를 수치해석을 통해 구함으로써 응력 함수들이 구해진다. 그 응력 함수를 이용하여 응력성분을 구하는 것을 각 경우의 하이브리드법이라 한다.

이러한 하이브리드법에 사용될 실응력 상태의 데이터를 구할 수 있는 전 영역 실험법에는 광탄성 실험, 모아레 간섭법, 홀로그래피, 전자 스페클 간섭(ESPI : electronic speckle pattern interferometry) 그리고 SPATE (stress pattern analysis by thermal emission) 등이 있다.

먼저, 광탄성 실험에는 투과형 광탄성 실험법과 반사형 광탄성 실험법 그리고 응력 동결에 의한 광탄성 실험법 등이 있다. 정적 투과형 광탄성 실험법은 등방성체, 이종재료 그리고 직교 이방성

체의 정적 평면 거동과 지능성 재료의 회복 응력 측정 등에 다양하게 적용되고 있다. 동적 투과형 광탄성 실험법의 적용분야에는 등방성체, 직교이방성체 그리고 이종재료 등의 동적 평면거동에 대한 연구이며, 특히 동적 하중을 받는 이종재료의 계면의 크랙이 일정한 속도로 전파될 경우의 동적 투과형 광탄성 실험법에 의한 이종재료의 동적 거동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 반사형 광탄성 실험법은 모재가 광탄성의 성질을 띠지 않아도 되기 때문에 실 구조물의 거동해석에 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있으며, 최근에는 실 구조물의 응력해석뿐만 아니라 피로파괴의 문제에도 응용되고 있다. 응력동결에 의한 광탄성 실험법은 기계 부품이나 구조물이 받고 있는 응력상태를 광탄성 모델 실험을 통해 실제 응력상태의 3차원 해석이 가능하다는 장점이 있으므로, 기어나 터빈 날개 등의 기계부품의 3차원 응력해석이 연구되고 있다. 특히 최근에는 치의학이나 정형외과 등의 의학 분야의 하악 골이나 골 구조의 응력 상태에 관한 연구도 응력동결법을 이용하여 수행되고 있다.

이러한 다양한 광탄성 실험법을 사용하여 위와 같은 대상의 응력 성분을 구하고자 할 때에는 반드시 등색선 무늬 데이터와 등경선 무늬의 실험 데이터가 필요하였다. 그러나 등경선 무늬의 실험 데이터를 얻는 것은 번거롭고 매우 지루한 일이며, 특히 동적 광탄성 실험에서는 등경선 무늬 데이터를 얻는다는 것은 불가능한 일이다. 따라서 최근에는 등색선

무늬 데이터만을 사용하여 수치해석을 통해 각 조건하에서의 응력 성분을 구할 수 있는 광탄성 하이브리드법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

광탄성 하이브리드법의 응용분야로는 앞서 언급한 모든 정적인 문제에 적용될 수 있으며, 등경선 데이터가 필요치 않기 때문에 구조물의 동적 거동 평가(동적응력 확대계수, 에너지해방률, 균열전파예측, 피로파괴 등)에도 이용되고 있다.

각 경우의 광탄성 하이브리드법을 이용하여 응력함수들의 계수를 구할 때는 비선형 최소 자승법에 의한 수치해석법이 사용되며, 여기에는 많은 데이터를 필요로 한다. 그러나 반사형 광탄성 실험법에 의한 무늬차수는 대체적으로 적게 발생하기 때문에 무늬차수를 증분시킬 수 있는 RGB photoelasticity phaseshift method, 그리고 tricolor photoelastic technique 등에 대한 것도 연구되고 있다.

향후 연구될 광탄성 실험법의 분야는 무늬차수를 증분시키는 방법에 관한 연구와 각종의 광탄성 실험의 하이브리드법에 대한 연구이며, 특히 현장 적용성이 좋은 반사형 광탄성 실험법과 반사형 광탄성 실험의 하이브리드법 및 이러한 반사형 광탄성 실험의 등색선 무늬차수를 증분시키는 방법이 연구될 것이다.

하이브리드법에는 광탄성 실험에 의한 등색선 무늬 데이터뿐만 아니라 실제 응력상태에 대한 데이터를 얻을 수 있는 모든 실험법의 데이터가 이용될 수 있으며, 현재까지는 광탄성 실험과

SPATE 실험만이 이용되고 있다.

열탄성효과에 의한 열방출량과 주응력 합과의 관계를 이용하여, 열방출량을 측정하여 주응력 합을 구하는 응력 해석법이 최근에 개발된 SPATE 실험법이다. 국내에서는 이 방법을 이용하여 등방성체와 직교 이방성체의 응력확대계수 측정에 대한 연구가 있으며, 외국에서는 SPATE 실험법을 이용하여 등방성체의 다양한 응력해석, 복합체의 열탄성 이론, 복합체의 손상 및 하이브리드법에 의한 복합체의 응력 성분 분리법 등에도 이용되고 있다. 그러므로 이러한 SPATE 실험법과 SPATE 하이브리드법은 기계의 부품들의 손상이나 응력해석, 복합체의 손상이나 실 구조물의 실 응력 상태의 연구에도 이용될 것이다.

모아레 간섭법에는 기하학적 모아레 간섭(geometric Moire interferometry), 광학적 모아레 간섭(optical Moire interferometry) 그리고 전자 모아레법(electron Moire method) 등이 있다. 기하학적 모아레 간섭은 주로 구조물의 변형을 측정하는 데 사용되고, 광학적 모아레 간섭과 전자 모아레법은 기계부품의 미소 변형을 측정하는 데 사용되고 있으며, 특히 전자 패키징부품의 열 변형을 측정하는 데 이용된다. 모아레 간섭법에 하이브리드 개념이 적용된 적은 없으며, 향후에는 모아레 간섭의 위상천이법 그리고 유한 요소법과 모아레 간섭을 혼합한 하이브리드법을 이용한 각종 재료의 거동문제와 CCD 카메라와 모아레 간섭을 사용하여 실험중에 대한 변형의 문제가

연구될 것이다.

홀로그래피(holography) 간섭계를 이용한 국내의 연구는 복합적층판의 결함, 균열을 가진 박판의 좌굴 및 진동 특성 및 미소 변위와 3차원 변위측정 등에 대한 것이고, 위상 변위법과 디지털 영상 처리를 이용한 평판 내의 속도 분포와 방사 음장의 전방 예측 방법 및 신호처리 방법, 이중 펄스 레이저 홀로그래피 간섭을 이용한 평판의 탄성과 전파특성 등에 관한 연구도 있다.

홀로그래피 간섭은 생체역학의 변형과 파괴역학 등에 대한 연구가 진행되어 왔고 연구될 것이다.

전자 스펙클 간섭을 이용한 연구는 하니컴 구조물의 결함 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 변형을 측정에 대한 연구가 진행될 것이다.

전 영역의 실험법과 각 실험의 하이브리드법의 연구방향은 아래와 같다.

반사형 광탄성 실험법과 SPATE를 혼합한 새로운 실험법이 개발되고, 이 실험법이 개발되면 복잡한 과정을 거치지 않고 바로 전 영역의 임의의 지점의 주응력을 구할 수 있다. 그러므로 반사형 광탄성 실험법과 SPATE를 혼합한 새로운 실험법에 대한 연구가 진행될 것이다. 그리고 반사형 광탄성 실험법과 SPATE 등을 사용하여 1차적으로 실 구조물의 강도면의 취약점을 쉽게 찾고, 2차적으로 스트레인 게이지를 이용하여 그 지점의 응력값을 정확

하게 구할 수 있으므로 이러한 방법이 현장에 사용될 것이다. 또한 이미 많이 연구된 공탄성 실험법의 하이브리드법과 SPATE 하이브리드법 그리고 아직 연구되지 않은 모아레 하이브리드법, 홀로그래피 하이브리드법, ESPI 하이브리드법 등에 대한 연구가 계속 진행될 것이고, 특히 현장에 용이하게 적용할 수 있는 실험의 하이브리드법에 대한 연구는 점점 활기차게 진행 될 것이다. [황재석·신동철, 영남대학교]

### 복합재 역학

우주항공용 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 미세 분말을

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.

### 1) 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 경계 조건을 가지는 복합재 평판 및 원통에 대한 좌굴 및 진동에 대한 정확한 해석해를 구하기 위한 지배방정식의 구성에 관한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 연구는 기

본적인 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 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 해석 등도 활발하게 연구가 진행되고 있다.

### 2) 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.

### 3) 복합재 샌드위치 구조

복합재 샌드위치 구조는 굽힘 하중을 받는 경량 구조인 비행기, 고속전철, 쾌속정, 반도체용 로봇팔 그리고 공작기계 등에 적용되고 있다. 기존의 복합재 샌드위치 구조는 두개의 얇은 복합재 판 사이에 허니콤(honeycomb)을 넣어서 복합재 구조의 무게를 줄이고 굽힘강성을 높였지만, 허니콤을 이용한 샌드위치 구조는 굴곡이 심한 부분에는 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 현재 샌드위치 구조로 제작되는 많은 제품은 다양한 물성을 얻을 수 있고 복합한 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. 용한 실제 복합재 샌드위치 구조의 복합재와 코어의 접합성이나 실제 복잡한 형상을 지닌 복합재 샌드위치 구조의 응력해석분야등은 앞으로 많은 연구가 진행되어야 할 부분이다. 또한, 비행기나 고속전

철의 외판에 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. [이대길, KAIST]

## 충돌 및 붕괴

2000년도 국내 자동차의 충돌, 안전성은 건설교통부에서 실시하는 신차평가제의 실시로 제작사들뿐만 아니라 일반 소비자의 승용차 안전에 대한 관심의 폭이 넓혀졌다. 1999년 실시하여 매년 확대되어 가는 신차평가제도는 2000년도에는 중형차급 승용차 4 대에 대하여 평가를 시행하였다. 신차평가의 특성상보다 각 제작사별로 안전에 대한 우위를 차지하기 위해 최첨단의 고급 안전 관련 부품 즉 에어백, 프리텐션어 등에 대한 개발/실용화 연구가 진행되어 왔다. 향후, 제동성능, 측면 충돌보호 등 지속적인 신차평가 항목의 확대로 국민보호를 위한 충돌안전 연구가 활성화될 것으로 기대된다.

한편, 대외적으로, 미국의 NHTSA에서는 1999년 하반기에 그 동안의 충돌안전 및 승객보호에 대한 연구를 종합하여 일부 법규 개정이 이루어졌다. 특히 에어백에 대한 법규강화로 인해 기

존의 50%tile Hybrid III에 대한 충돌안전을 포함하여 5%tile, 95%tile 및 3 세, 6 세 어린이뿐만 아니라 12 개월의 영아에 대한 보호규정이 제정되면서 국내에서도 이에 대비하여 Smart Airbag에 대한 연구가 활발히 진행되었으나, 미국의 법규가 시행되는 2003년에 대비하여 신차개발 기술연구가 보다 심도 있게 진행될 것으로 예측된다.

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 Full 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 차체구조설계의 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. 또한 유럽에서 진행중인 보행자를 보호하는 법규에 대비하여 시험법에 대한 실험적 평가, 해석방법론의 가능성, 설계 적용성에 대한 연구가

자동차 제작사를 중심으로 진행돼 있었다. 그러나 문제의 핵심은 연구결과 보행자 보호를 위해 차체의 후드의 구조 및 범퍼의 구조강도에 대한 설계를 변경을 고려하여야 하는데 이들의 설계변수는 차량의 시계성, 공기역학성, 그리고 기존의 범퍼법규와 상반될 가능성에 많으므로 이에 대한 연구가 앞으로 보다 폭넓게 진행될 예정이다.

한편, 전통적으로 충돌연구는 자동차가 주류가 되어 연구가 진행되었지만 이들 기술개발을 기반으로 전 산업에 충돌해석기술이 광범위하게 확산되는 추세이다. 특히 범국가적으로 진행되는 G7과제인 한국형 고속전철의 개발사업에도 열차 충돌안전성에 대한 연구도 지난 1997부터 지속적으로 진행되어 충돌 시나리오의 선정, 충돌 에너지 흡수력에 대한 분배, 열차의 헤드스톡, 동력차, 동력객차 및 객차의 충돌특성분석, 설계 및 열차승객의 충돌안전성에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 소형 가전제품의 보급으로 인해 Portable 가전제품에 대한 충격내구성에 대한 연구가 급속히 확산되고 있는 추세이다. [윤영한, 한국기술교육대학교]

## 생체역학

생체역학 분야는 생체공학 분야의 일부로 간주할 수 있다. 생체공학이 인체에 사용되는 의료기기 및 재활기기의 설계 및 가공에 수반되는 기계공학적인 연구를 통칭한다면, 생체역학은 인체 조직의 주변 기계학적인 환경변화에 따른 생물학적인 변화에 대

한 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 연구지원사업의 활성화에 따른 관심의 증대, 기계학회에서의 생체역학 특별세션 개최 및 최근 3년 동안 지속적으로 활동하고 있는 생체역학 연구회의 활동 등으로 빠른 성장을 보이고 있다.

생체역학의 연구분야를 크게 나누면 인체조직 및 적용되는 기계공학의 분야에 따라, 근-골격계, 순환계, 호흡계 등으로 나눌 수가 있으며, 대상 인체장기, 조직에 따라 보행 및 장기의 운동에 관한 기구학적 분야, 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 2000년의 생체역학 분야의 국내 연구활동을 요약하면 아래와 같다.

우선 근-골격계 조직은 주변의 기계적인 환경에 가장 민감하게 반응하는 인체조직이기 때문에 생체역학 분야의 관심이 집중되고 있는 분야이다. 우선 인공관절 분야에서는 수술전 환자에 적합한 인공관절의 선택을 위한 3차원 CT영상에 기반한 인공고관절 모의수술시스템 개발 및 인공관절과 뼈의 정합도(fitness)를 정량화 하는 연구가 보고되었다. 관절의 척추분야에서는 척추주변의

근육들을 고려한 3차원 척추모델에 대한 연구, 유한요소법을 이용한 나이에 따른 척추의 형상 및 구조변화에 대한 연구, 또한 척추 뼈와 치료를 위한 기구의 하나인 cage의 접촉면에서의 기계공학적 민감도에 대한 연구가 보고되었다.

뼈 및 연골조직에 대한 기초연구로는 망상골의 remodeling 예측을 위한 체적 변형률을 이용한 유한요소 알고리즘이 개발되었으며, 진자실험을 통한 근육의 경직에 대한 정량적인 평가에 대한 연구가 보고되고 있다. 또한 각종 스포츠나 과격한 운동으로 인체에서 가장 손상이 빈번한 전방십자인대의 변형률을 체외에서 측정하는 연구가 보고되었다. 임상적 치료를 위한 새로운 연구로는 초기 대퇴골두 무혈성 괴사증 치료에 있어서 괴사영역의 위치와 치료시 발생하는 천공(core) 방향의 변화에 따른 생체역학적 연구도 보고되었다. 또한 Notchplasty 기술을 보다 기계공학적으로 분석하여 기술의 tunnel 형상을 설계하는 보고도 있었다.

재활에 관련된 연구도 활발하여, 보행시 지면에 접촉하는 발의 압력분포를 측정하기 위한 측정 시스템에 개발되었으며, 힘 측정관과 레이저 광을 이용한 정적 의족정렬장치의 개발도 보고되었다. 또한 근전도를 이용한 근육의 피로와 피로도의 정량화에 대한 연구도 보고되었다.

2000년 한 해 가장 연구보고가 활발한 분야는 혈관 및 혈류유동 연구분야이다. 복부대동맥 분기관에서의 벽면 전단응력 분포에 대한 연구 및 복부대동맥의 벽 전

단변형률 측정에 관한 연구, 맥동 유동하에 있는 탄성혈관에서 벽면운동과 임피던스 phase angle 이 벽면 전단응력에 미치는 영향에 대한 연구, 심장 내 이식형 축류 혈액펌프 특성에 관한 연구, 기계식 인공심장판막에서의 혈액 유동과 판막운동의 상호작용에 대한 보고도 있었다.

상기의 연구들은 기계학회 춘·추계학술대회 및 의용생체공학회 학술대회, 대한정형외과 기초학회, 대한정형외과 생체역학회 등 국내의 학술대회와 미국의 Orthopaedic Research Society, American Society of Biomechanics 등을 통하여 발표되었으며, 생체역학 연구자들로 구성된 생체역학연구회의 회원의 연구가 대부분을 차지하고 있다. [최귀원, KIST]

## 신뢰성공학

재료역학분야에 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, 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 신뢰성평가 (reliability evaluation)는, 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.

### 1) 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, 평면 변형파괴인성치 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 강도

의 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 분포 특성과 랜덤하중하에서의 피로균열 진전속도의 신뢰성에 대하여 연구하였다.

### 2) 신소재 강도의 신뢰성 및 파손확률 등

신소재 강도의 신뢰성에 관한 연구로 권재도 등은 인공부식재의 통계학적 수명예측을 하였고, SiC 휘스커 보강 알루미늄 복합재료의 통계학적 피로균열 진전수명에 대하여 실험과 몬테칼로 시뮬레이션을 하였다. 김선진 등

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

한국기계연구원을 중심으로 기계와 부품들에 대한 신뢰성평가를 위한 연구센터 조성을 준비하고 있으며, 공작기계연구센터 등에서도 신뢰성 시험을 위한 체제 구축에 노력하고 있다. [배성인, 창원대학교]

## 기계용어 해설

### ▶ 미세 압축 성형(Micro Compression Molding)

플라스틱을 유리전이 온도 이상으로 올린 후, 미세 패턴이 가공된 금형을 사용하여 재료를 압축하여 미세패턴이 제품에 전사되는 공정으로 미세사출성형에 비해 공정시간은 길지만,

공정이 단순하고 제어가 용이하여 예비성형이나, 연구개발 단계에서 주로 적용된다. 특히 최근 MEMS기술의 발전에 따라 LIGA공정 등에서 Hot Embossing 등의 미세압축성형에 의하여 소형 정밀 광부품의 제작에 응용되고 있다.