

서울대학교 기계항공공학부 지능구조설계 연구실

조 맹 효*

(서울대학교 기계항공공학부)

1. 머리말

서울대학교 기계항공공학부 소속의 지능구조설계 연구실은 1999년 '첨단 재료 및 역학 연구실'의 명칭으로 처음 개설되었다. 복합재료 및 스마트 복합재의 정적·동적 거동 해석, 대형 시스템 해석을 위한 축소 기법 연구, 형상기억합금의 해석 등에 관한 주제로 연구를 수행하였고, 최근에는 과학기술계의 선도적 연구 분야 중 하나인 나노스케일 현상 해석으로 연구 분야를 확장시켜 나노-연속체 브리징(nano-continuum bridging) 해석, 분자동역학 전산모사 등의 연구를 진행하고 있다. 현재, 세계수준의 연구중심대학 육성사업(WCU)으로 '멀티스케일 융합 기계시스템 설계 및 제작기술 개발', 국가 지정 연구실 과제(현, 도약연구사업)로 '나노-컨티늄 브리징 기술 개발' 과 그 외 다양한 산학연 과제를 수행 중에 있으며, 95편의 해외 논문, 31편의 국내 논문, 그 외 다수의 국내·외 학술대회 참가를 통하여 활발하고 의욕적인 연구를 수행하고 있다. 2011년 현재, 연구실 구성원은 박사 후 연구원 2명, 박사과정 10명, 석사과정 13이며, 배출된 졸업생은 박사 8명, 석사 19명이다. 졸업생들은 현재까지 삼성전자, 현대자동차 등의 기업체와 한국항공우주연구원, 한국원자력연구원 등의 연구소에서 전산해석, 구조해석 및 설계, 프로그래밍 분야의 업무를 수행하면서 근무하고 있다.

* E-mail : mhcho@snu.ac.kr
TEL : (02) 880-1693
http://ssnd.snu.ac.kr



그림 1 지능구조설계 연구실 구성원

2. 주요 연구 분야

2.1 다기능성 나노복합재의 확률적(stochastic) 멀티스케일 해석

나노복합재는 기계, 열, 전기적 특성 등이 동시에 강화되는 다기능성(multi-functional properties)을 보인다. 10 nm 이하의 강화재의 경우 기지재료와 강화재 사이의 계면 체적비가 커짐에 따라 기존의 복합재와는 달리 다양한 특성에 대한 동시적인 강화효과 및 강화재의 크기에 따른 강화효과를 보인다. 따라서 나노복합재의 해석 및 설계를 수행함에 있어서 계면의 특성을 규명, 적용하는 것이 중요하다. 우리 연구실에서는 분자동역학 시뮬레이션을 수행하여 원자 수준에서 발현되는 물리적, 화학적 정보를 도출한 후, 이를 적용하여 미시역학, 균질화이론에 기반한 순차적 멀티스케

일 해석 기법을 개발하고 있다. 계면 특성을 고려한 멀티스케일 해석 모델을 통하여 강화재의 크기, 체적비 등의 다양한 조성비를 가지는 나노복합재의 효율적인 해석 및 설계가 가능하다. 또한 불완전결합, 강화재 표면의 결합, 강화재와 기지재료 사이의 물리적 결합 등의 다양한 계면 조건에 대한 특성 변화를 규명하고 이를 기반으로 계면 특성과 나노복합재 물성 사이의 상관관계 정립을 통하여 나노복합재의 다양한 조성변수를 고려한 stochastic 멀티스케일 해석 모델을 개발하고 있다.

2.2 미세구조 재료에 대한 멀티스케일 해석 기법 개발

미세구조 재료는 구성단위의 극미세 특성으로 인해 표면효과(surface effect)나 이종재료간의 유효계면(effective interface)효과 등과 같이

⇒ ⇒ ⇒ 국내연구실 소개

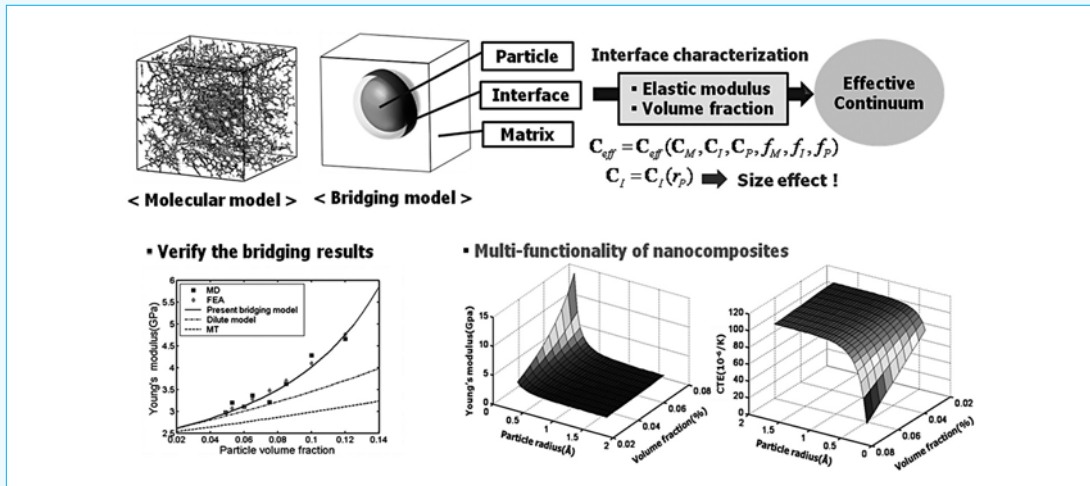


그림 2 멀티스케일 해석을 통한 나노복합재의 다기능성 규명

연속체, 마이크로 스케일 수준에서는 나타나지 않았던 다양한 특성이 나타나는 재료이다. 그 중 나노박막, 나노와이어, 나노스프링 등의 물질은 표면효과가 크게 나타나는 구조이다. 하지만 이 구조물들은 두 가지 이상의 구성단위를 가지고 있어 서브마이크론 이상의 차원을 가지게 된다. 그러므로 기존의 원자적 계산 방법으로 연구하는 데에는 어려움이 있고, 다양한 스케일에 적용 가능한 해석방법이 필요하다. 우리 연구실에서는 나노스케일에서 나타나는 물리, 화학적 특성을 유지하면서 연속체 모델의 장점을 갖는 나노-컨티뉴움 브리징 기술을 개발한다. 원자수준에서의 전산모사를 통해 미세구조 재료의 물리적 특성과 나노스케일에서 발견되는 현상에 대한 파라미터를 분석하고 이를 보다 상위스케일에서의 해석기법인 연속체 모델로 전달하는 순차적 정보전

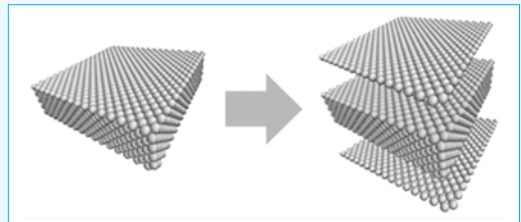


그림 3 표면효과를 고려한 박막 해석 모델

달 기법을 개발하고 있다.

2.3 멀티스케일 분석을 통한 에너지 관련 물질 연구 : Ab initio calculation

원자 수준에서의 물질의 특성 및 현상을 이해하기 위해서 양자 역학 기반의 Ab initio 계산을 수행한다. Ab initio 계산은 원자의 전자 구조를 바탕으로 원자의 상태 및 거동을 해석할 수 있다. 이를 통해 다양한 물질의 기계, 전

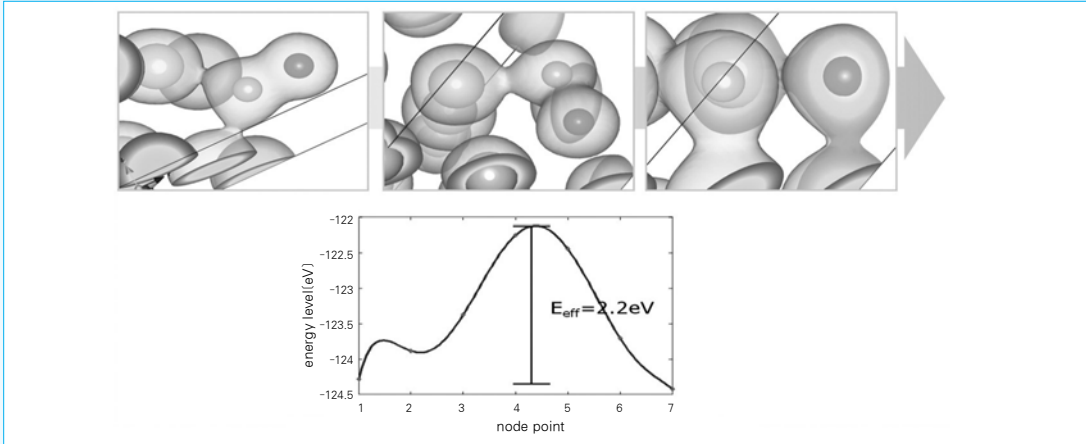


그림 4 Ab initio - 로듐(100) 표면에서의 산화 질소의 활성화 에너지

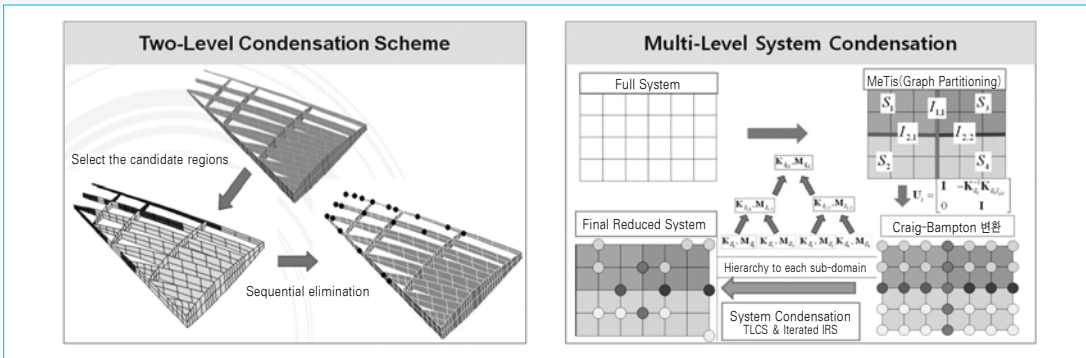


그림 5 시스템 축소 기법 - 2단계 축소기법 및 다단계 부분구조 기법

자적 성질 및 거동을 해석 하며, 실험적으로 밝혀지지 않는 물질 혹은 특정한 성질을 요구하는 새로운 물질의 설계하는데 사용되고 있다. 이를 통해 우리 연구실에서는 분자 단위에서 물체의 구조를 전산모사 할 뿐만 아니라, 이 결과를 이용하여 연속체 단위 모델링

에 적용을 수행 중이다. Ab initio 기법을 이용하여 리튬 이온 배터리의 음극 내에서 리튬 이온들의 이동 메커니즘을 해석하고 있으며, 그 결과를 유한요소 기법과 결합시켜 음극 물질의 응력 응집에 관한 연구를 진행하고 있다. 또한 전해질과 전극 사이의 계면에 대한

⇒ ⇒ ⇒ 국내연구실 소개

연구를 진행하고 있다. 이외에도 귀금속 촉매에 일산화질소 분해에 대한 양자역학적인 접근을 통해 촉매와 일산화질소 분해에 대한 연구를 수행 중이다.

2.4 대형 시스템 해석을 위한 시스템 축소 기법

우리 연구실에서는 축소 시스템 기법 개발 및 활용에 대한 연구가 진행 중이다. 효율성과 정확성을 동시에 구현할 수 있는 축소기법을 개발하였고, 이를 통해 정적, 동적 거동 해석뿐만 아니라 다양한 최적화 기법에 적용한 응용 연구가 수행되어 괄목할 만한 결과를 창출하였다. 현재 비비례 댐핑을 가진 구조물에서의 주자유도 선정 기법 연구 등 축소 기법 자체의 개발 연구가 진행 중이다. 더불어, 이러한 축소 시스템 기법을 damage detection이나 structural health monitoring 등에 적용할 수 있는 structural system identification 기법, 등가 정하중 기법과 연동한 최적설계 문제 등 다양한 응용 연구가 이뤄지고 있다. 또한, 압력/변위 사상을 통한 공력/구조 연계 해석기법을 개발하였고 이를 항공기 날개의 구조 설계 기법에 적용하였다. 공탄성을 고려한 구조 설계 기법

에 등가 정하중 기법이나 축소법을 적용하여 보다 효율적인 설계 기법을 개발하는 연구 또한 진행 중이다. 현재, 이와 관련하여 국방과학연구소와 비행체 특화센터의 연구 프로젝트를 수행하고 있다.

2.5 적층 복합재료의 해석 및 설계

적층 복합재는 뛰어난 재료적 특성으로 인하여 최근 기계·항공 등 여러 분야에서 주된 하중을 지지하는 일차적 구조물로 사용된다. 우리 연구실에서는 이러한 적층 복합재의 다양한 물리적·기계적 성질을 해석하고 설계하는 연구가 진행 중이다. 이방성, 불균질성을 가지는 복합재 판과 보, 샌드위치 판의 정확한 해석을 위하여 효율적 고차 지그재그 이론과 개선된 일차 전단변형 이론의 개발하였고, 기계적 하중 하에서의 해석뿐만 아니라, 압전재료가 포함된 스마트 복합재에 열, 기계, 전기 하중이 복합적으로 작용하는 다물리(multi-physics) 환경 하에서의 해석, 복합재의 박리(delamination), 좌굴(buckling), 진동 해석 등을 수행하였다. 또한, 복합재의 파괴를 유발하는 자유 경계 효과(free-edge effect)를 고려하여 복

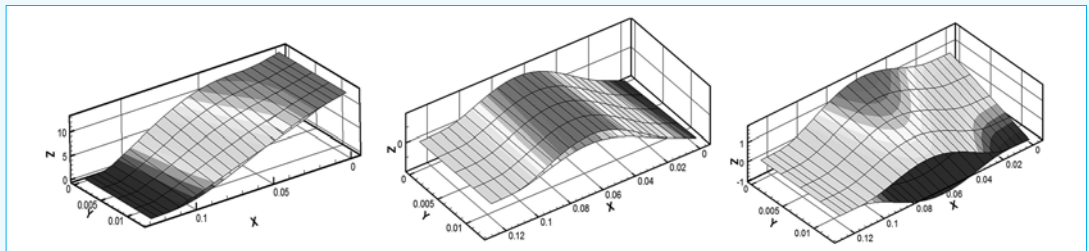


그림 6 다중 박리를 내포한 적층 복합재의 진동 해석

합재의 적층 배열 최적 설계를 수행하였다. 현재는 복합재의 더욱 효율적이고 정확한 해석을 위하여 변형 에너지를 이용한 접근과 고정단 경계에서의 복합재 경계조건 효과에 대한 해석을 위하여 접근 전개(asymptotic expansion)를 도입한 멀티스케일 해석을 수행하고 있다.

2.6 형상기억합금 모델 개발 및 응용

형상기억합금(SMA-shape memory alloy)은 상변이(phase transformation)에 의해서 열-기계적 대 변형이 발생하는 지능재료이다. 형상기억합금의 기계적·열적 하중의 조정을 통해 이러한 오스테나이트상과 마르텐사이트상의 상변이의 제어가 가능하고, 이를 통해 형상기억합금을 사용한 구조물의 형상을 제어한다. 이러한 특성을 이용하여 형상기억합금은 다양한 지능 구조물에 적용되고 있으며 국내·외적으로 활발히 연구가 진행 중이다. 우리 연구실에서는 Gibb's free energy를 이용한 SMA 3차원 구성방정식을 구축하여, Micro-Gripper의

양방향 거동의 예측 및 반복 거동을 위한 하중 조건에 대해 연구하였으며, 형상기억합금을 내재한 복합재의 해석을 통해 거동 특성을 파악하고 실험을 통해 검증하였다. 현재는 보다 일반적인 거동을 모사하기 위한 소성에 기반한 형상기억합금 구성방정식을 개발 중에 있으며 형상기억합금 스프링을 작동기로 사용하는 지능구조물에 대한 연구도 수행 중이다.

3. 맺음말

지능구조설계 연구실은 나노 단위의 미시적 스케일에서부터 대형 시스템의 거시적 스케일까지의 포괄적인 연구를 진행하고 있다. 다중 스케일의 관점에서 재료·구조의 해석을 통해 새로운 관점의 융합 연구를 지향하고 있으며, 다양한 물리적 특성을 가지는 지능재료, 복합재료, 나노 박막, 나노 스프링 구조, 그리고 다물리적 접근을 필요로 하는 공력/구조 연계해석, 스마트 복합재 해석 등의 고급 해석과 설계를 효율적으로 수행하고자 노력하고 있다. 아울러 나노-연속체의 통합뿐만 아니라 양자 역학에 기반한 해석과의 결합을 통하여 아직 밝혀지지 않은 미시 세계의 물리적·역학적 현상을 공학적 견지에서 정확하고 효과적으로 규명하고자 한다. 우리 연구실의 연구 결과는 고전적, 거시적 시스템에서부터 현대적, 미시적 시스템에 이르기까지 다양한 분야에서 새롭게 활용될 수 있을 것이라 사료된다. **KSNVE**

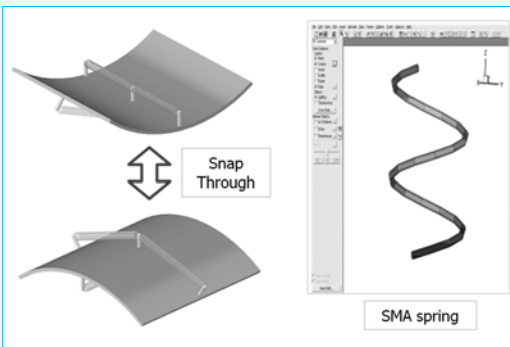


그림 7 형상기억합금 스프링을 작동기로 사용하는 쌍안정복합재