

## 11. 학사논문 지도교수: 윤 군 진

- 11-1. 베이지안 업데이팅을 통한 열화된 구조재료의 신뢰성 해석에 관한 연구
- 11-2. 딥러닝 인공지능을 이용한 재료 모델링과 역해석
- 11-3. 복합재료의 Image-Based 유한요소 모델링 및 해석연구
- 11-4. 분자동역학 시뮬레이션을 이용한 응력발광재료의 계면결합재 영향 연구
- 11-5. 응력발광재료를 이용한 변형률 센서 개발에 관한 연구
- 11-6. Bio-inspired Evolutionary 최적화 알고리즘을 이용한 Hybrid Fiber Metal Laminate Composite의 최적설계
- 11-7. 극초음속 무인 비행체 개념설계에 관한 연구

교수 연락처 전화: (02) 880-8302, E-mail: [gunjin.yun@snu.ac.kr](mailto:gunjin.yun@snu.ac.kr)

실험실: 항공우주 구조 및 재료 연구실 (Aerospace Structures and Materials Laboratory)

연락처 전화: (02)880-8302, 담당조교: 임형준, E-mail: [ahnlm1206@naver.com](mailto:ahnlm1206@naver.com)

연구실 홈페이지: <http://asml.snu.ac.kr>

## 11-1. 베이저안 업데이트를 통한 열화된 구조재료의 신뢰성 해석에 관한 연구

학사논문 지도교수: 윤 군 진

본 연구의 목적은 구조물의 현재 상태를 기초로 구조물의 사용 수명과 공간적으로 분포하는 재료의 열화에 대한 신뢰성을 평가하기 위한 기술개발이다. 계측된 데이터를 직접 사용하여 Bayesian 이론에 따라 구조 재료에 연관된 매개 변수의 확률 모델과 신뢰성을 공간적 분포도로써 평가할 수 있다는 데 기존 기술과 차별성이 있다. 좀 더 정밀한 유지관리가 필요한 중요 구조물의 경우 사용이 일시적으로 중지되는 경우 기회비용 손실이 크기 때문에 본 연구가 필요하다. 1) 먼저 구조물의 열화 과정을 수학적으로 모델링하고 수치해석 모듈을 개발한다. 2) 열화 과정에 정의되는 변수의 확률적 변화를 고려하여 몬테칼로 시뮬레이션을 통해 사용 수명을 예측한다. 3) 모사 실험을 통해 가상의 계측 데이터로 랜덤 변수를 구하도록 한다. 4) Bayesian updating 을 통해 확률 모델을 확정하고 정의된 한계상태 함수에 따른 신뢰성을 평가한다. 연구 결과는 실제 구조물의 모니터링 시스템과 연계가 되어 사용 수명의 실제적인 평가가 이루어 질 수 있을 것으로 생각된다. 또한 전혀 다른 환경에서 사용되는 재료의 물리적 열화 과정을 이해할 수 있다면 개발된 방법론에 따라 앞으로 다양한 구조물에도 적용이 될 것으로 기대된다.

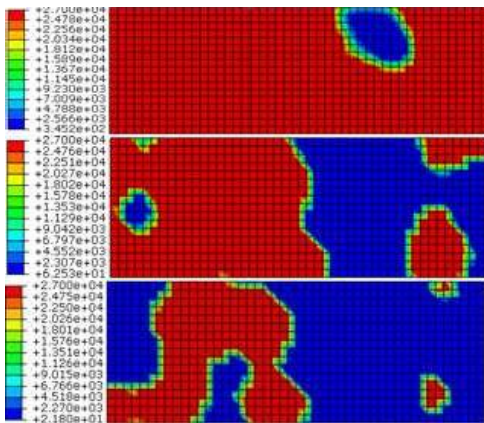


그림. 1 부식에 따른 탄성계수 분포의 변화, 위로부터 10<sup>th</sup> 년, 30<sup>th</sup> 년 and 50<sup>th</sup> 년

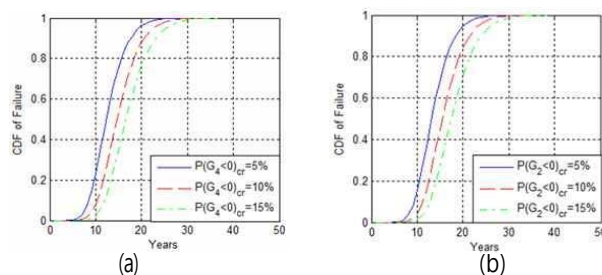


그림. 2 수명 예측을 위한 Cumulative Density Function 시간 변화

## 11-2. 딥러닝 인공지능을 이용한 재료 모델링과 빅데이터를 위한 역해석 학사논문 지도교수: 윤 군 진

그동안 복잡한 비선형(nonlinear), 비탄성(inelastic), 점탄소성(viscoelastoplastic) 재료의 거동을 위한 수학적 모델은 대부분 방대한 실험 데이터를 기반으로 경험적(Empirical) 모델로서 개발이 되어왔다. 하지만 실험 데이터의 불충분, 오차 그리고 확률적 변화(variability)에 따른 모델 정확성에 한계가 있어 왔다. 따라서 최근 주목받고 있는 딥러닝 인공지능을 변형률을 입력으로 받아 응력을 예측하는 재료모델을 구현하고 유한요소해석에서 사용한다. 딥러닝 인공지능 재료모델은 훈련을 위한 데이터가 필요하다. 따라서 딥러닝 인공지능 재료모델을 구조 및 재료 실험결과를 이용하여 점진적(autoproggressively)이고 자동적으로 훈련(training)시키는 유한요소기반 역해석을 수행하고 재료설계 연구에 사용할 수 있는 방안에 대해 연구한다.

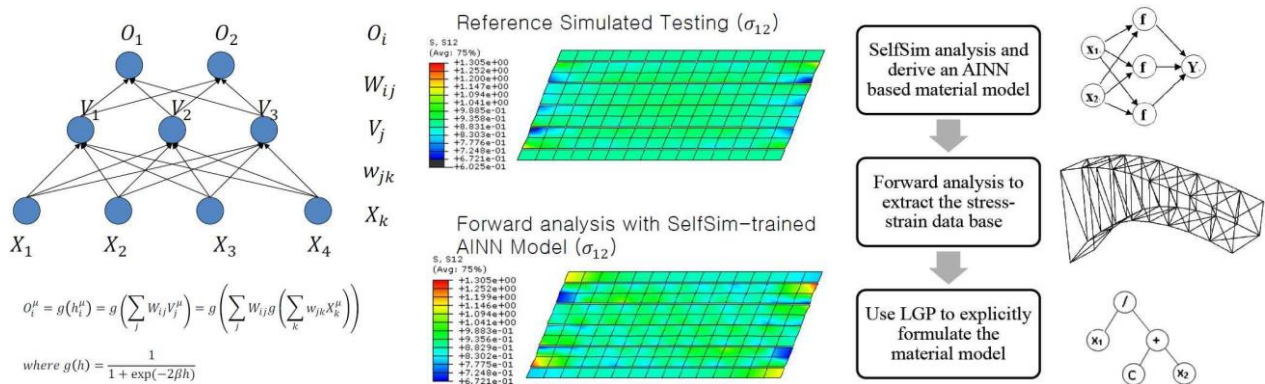


그림 3 인공지능 재료모델을 이용한 역해석과 재료거동 빅데이터 구축을 통한 수학적 재료 구성모델개발

### 11-3. 복합재료의 Image-Based 유한요소 모델링 및 해석연구

#### 학사논문 지도교수: 윤 군 진

항공우주 산업은 고부가가치형 산업으로 미래기술 선점을 위해 기술경쟁이 치열하다. 이에 따라 한국형 차세대 전투기 사업과 저궤도 실용위성을 위한 한국형 발사체 개발 사업이 추진 중이다. 항공우주 산업은 고온, 고압, 극초음속, 고방사능, 고충격, 극저온 등 극한적 운용 환경의 특성상 공력, 추진, 구조, 제어 체계(system) 기술의 고도화를 위해 새로운 복합재료의 개발이 여타 산업에 비하여 더욱 요구되고 있다.

복합재료는 서로 다른 물성을 갖는 재료가 물리적 또는 화학적으로 결합되어 더욱 향상된 물성을 갖게끔 설계된 재료이다. 특히 강화(reinforcement)재로 사용되는 다양한 filler의 농도, 형상(morphology) 등의 효과에 따른 MICRO 스케일에서의 균질화된 effective 강도의 해석,

그리고 파손의 기저원인 규명을 위해서는 실제적인 Image를 바탕으로 한 유한요소해석이 필요하다. 본 연구에서는 MICRO CT(Computed Tomography)를 이용하여 복합재료를 3차원으로 스캔하여 유한요소해석 모델을 개발하고 확률기반 해석 연구를 수행한다.



그림 4. CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) 복합재료의 MICRO CT(Computed Tomography) 이미지, 3D printed Model, 유한요소해석

## 11-4. 분자동역학 시뮬레이션을 이용한 응력발광재료의 계면결합재 영향 연구

학사논문 지도교수: 윤 군 진

복합재료는 서로 다른 물성을 갖는 재료가 결합되어 더욱 향상된 성능을 나타내는 재료이다. 서로 다른 재료가 인접하고 있는 경계면의 결합특성에 따라 재료의 성능에 많은 차이가 나는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 분자동역학 시뮬레이션 방법을 이용하여 세라믹(응력발광재료) Filler가 에폭시와 같은 고분자 기지(matrix)에 합침이 되어 있는 경우 두 재료의 계면 에너지와 직교 및 전단방향으로의 강도를 해석함으로써 계면 결합재의 설계에 적용한다.

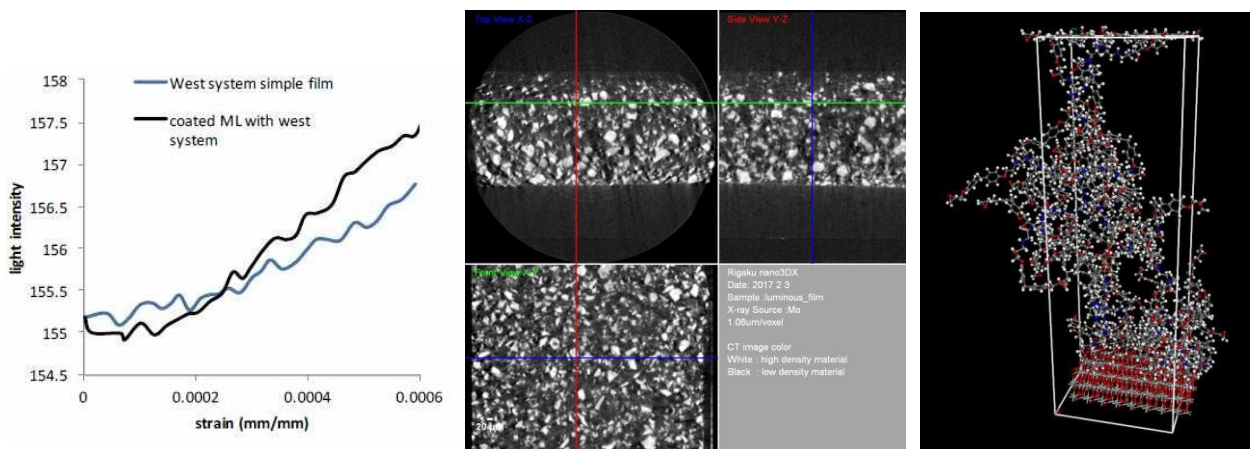


그림 5 코팅된 응력발광재료와 코팅되지 않은 응력발광재료의 발광특성 실험적 비교, 응력발광필름의 Computed Tomography Image 그리고 분자동역학 시뮬레이션 모델

## 11-5. 응력발광재료를 이용한 변형률 센서 개발에 관한 연구

학사논문 지도교수: 윤 군 진

최근 응력발광 (Mechano-Luminescence: ML) 재료에 대한 관심이 증가되고 있고 응력 및 변형률 sensor, 균열 sensor, 새로운 비파괴 시험방법, photoelectric converter, bio-imaging 등 광 범위하게 연구되어 다양한 공학적 응용 가능성이 예상되고 있다. 본 연구에서는 응력발광 반응을 실험적으로 특성화하고 빛의 강도를 이용하여 구조물 표면 전역에서 "정량적"으로 변형률을 측정하는 새로운 기술을 개발하는 것으로 한다.

전역 변형률 측정은 기계/항공, 자동차, 토목/건축 등 다양한 분야의 구조 및 기계제품의 품질 관리, 제품 설계 및 비파괴검사 방법뿐만 아니라 신소재를 위한 기초적 연구에도 요구된다. 응력발광(Mechano-Luminescence: ML) 재료의 발광 빛의 강도는 응력의 크기뿐만 아니라 변형률 속도에 의존적으로 알려져 있고 시간에 따른 빛의 강도 감쇠도 발생하여 빛의 강도를 직접적으로 변형률로 보정 변환하기에는 어려움이 많았다. 따라서 최근 연구까지도 빛의 강도를 전역적 응력 또는 변형률 값으로 변환하기 위한 연구보다는 비틀과 같은 부재 내력과의 관계에 초점이 맞추어져 있거나 빛의 강도와 응력과의 상관관계를 정성적으로 보여주는 연구 단계에 그치고 있다. 본 연구에서는 최근 발표된 응력발광 특성화에 대한 연구결과를 바탕으로 픽셀의 분해능을 가지고 전역적 변형률을 정량적으로 측정할 수 있는 새로운 방법을 개발하는 것으로 한다.

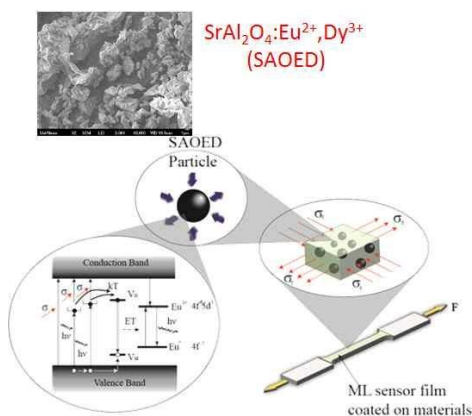


그림 6. ML 재료의 응력발광 미케니즘

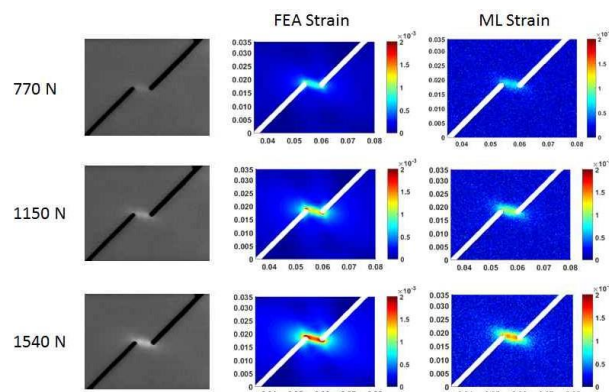


그림 7. ML센서에 의한 변형률 검증



## 11-6. Bio-inspired Evolutionary 최적화 알고리즘을 이용한 Hybrid Fiber Metal Laminate Composite의 최적설계

학사논문 지도교수: 윤 군 진

단일 재료로 구성된 항공기 프레임 구조의 설계는 다양한 운용환경을 고려할 때 강도와 내구성 측면에서 바람직하지 않다. 따라서 최근에 금속의 높은 강성/강도와 폴리머기지 복합재(PMC)의 높은 강성 및 강도비의 장점을 합한 GLARE, ARALL, TiGr 그리고 CentraI과 같은 Hybrid Fiber Metal Laminate(FML)가 주목을 받고 있다. 앞으로 사용될 항공기 구조재료는 운항중 열-산화뿐만 아니라 지상에서는 hygrothermal 등의 작용에 의해 지속적으로 운용에 불리한 환경에 노출되어 안전성과 수명 단축에 크게 영향을 받을 것이다. GLARE의 알루미늄의 경우 고온에 약할 뿐만 아니라 galvanic corrosion에 의해서 carbon fiber와는 적합하지 않다. 알루미늄 대신 Titanium을 사용하면 고온 내열성능이 우수하여 center core의 PMC보호할 수 있을 뿐만 아니라 충격과 지압에 대한 저항성도 우수하다. 이와 같은 이유로 Boeing이 TiGr를 개발하고 있기도 하다.

본 연구에서는 Bio-inspired evolutionary 최적화 알고리즘을 이용하여 TiGr 재료의 최적설계 방법의 개발을 목표로 한다. Particle swarm optimization과 Firefly 최적화 알고리즘을 적용한다. 유한요소모델을 이용하여 FML을 모델링하고 Titanium판의 강도와 PMC층의 적층각도를 설계변수로 한다. 여러 하중 조건에서 최적설계를 수행하여 일반 탄소섬유강화 복합재료와 성능도 비교하는 것으로 한다.



그림 8: Hybrid 개념: ARALL (C-17), GLARE (A380 aircraft)과 TiGr (Boeing 7E7 and V22 engine door)

## 11-7. 극초음속 무인 비행체 개념설계에 관한 연구

학사논문 지도교수: 윤 군 진

최근 항공우주산업에서 극초음속 항공기에 관한 연구가 진행되고 있다. 미국, 중국, 러시아, 독일이 군사적, 상업적 목적을 가지고 경쟁적으로 연구하고 있다. 본 연구는 극초음속 무인비행체에 대한 기체 형상의 정의와 Hypersonic Aerospace Sizing Analysis (HASA)를 이용한 중량과 사이즈 분석 그리고 공력-구조-열해석을 통해 무인비행체 개념 및 예비설계의 과정에 관한 연구를 진행하는 것을 목표로 한다.



그림 9 M=10을 기록한 X-43A