

## 8. 학사논문 지도교수: 신 상 준

8-1. 지능형 로터 블레이드의 지상회전실험을 통한 헬리콥터 진동 하중 저감 연구

8-2. 차세대 회전의 비행체의 고속, 고정밀 설계 최적화 프레임워크

8-3. 회전의 함재기 비행갑판 충돌 해석 연구

8-4. 레이더 흡수 물질 및 거대 유전체 구조 전자파 해석 연구

8-5. 영역 분할 알고리즘을 통한 복합재료 병렬 멀티스케일 해석

8-6. KAI-SNU 공동연구그룹 차세대 로터시스템 시험 및 체계 종합 연구

8-7. 다분야 통합 도심항공 모빌리티 핵심기술 개발 센터

8-8. 국방 핵심 소프트웨어 (HHC) 연구

8-9. 무인기용 고효율 터빈기술 연구

교수 연락처 전화: (02) 880-1642, E-mail: [ssjoon@snu.ac.kr](mailto:ssjoon@snu.ac.kr)

실험실: 지능형 공탄성 및 헬리콥터 연구실 (Active Aeroelasticity and Rotorcraft Lab.)

연락처 전화: (02)880-1901, 담당조교: 이창배, E-mail: [lcb\\_109@snu.ac.kr](mailto:lcb_109@snu.ac.kr)

연구실 홈페이지: <http://helicopter.snu.ac.kr/>

## 8-1. 지능형 로터 블레이드의 지상회전실험을 통한 헬리콥터

### 진동 하중 저감 연구

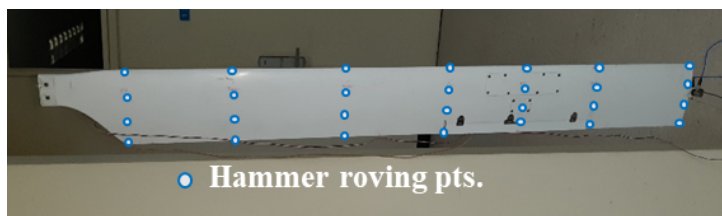
#### 학사논문 지도교수: 신 상 준

헬리콥터는 회전하는 로터 블레이드를 제자리 비행 및 수직 이착륙이 가능한 항공기이다. 회전하는 블레이드는 전진 비행시 로터의 좌우 면으로 유입되는 유동의 속도가 달라 회전시 로터 블레이드의 끝에서 발생한 후류가 뒤 따라오는 블레이드에 충격을 주기도 한다. 따라서, 헬리콥터 로터에 비대칭적이고 주기적인 공기력이 발생하여 헬리콥터 로터 블레이드에서는 진동 하중과 공력 소음이 발생한다. 이러한 지속적인 진동 하중과 공력 소음은 승객의 탑승감 저하와 헬리콥터를 구성하는 부품에 피로 하중을 유발한다.

일정한 주기를 갖는 진동 하중은 로터에 작용하는 공기력을 적절히 조절하면 저감시킬 수 있다. 진동 하중을 억제하기 위해 최근에는 능동적으로 로터 블레이드의 받음각을 변화시켜 진동 하중을 유발하는 공력을 적절히 조절하는 기법들이 연구되고 있다. 대표적인 기법으로 블레이드 뒷전 플랩이라고 하는 고양력 장치를 이용해 받음각을 제어하는 방법과 블레이드 자체의 비틀림을 유발하여 받음각을 제어하는 방법이 있다.

본 연구는 뒷전 플랩을 이용하는 방식을 채택한 스케일 로터 블레이드의 설계 제작 및 지상 회전 시험을 목표로 한다. 로터 회전수의 3-5 배수에 해당하는 고 대역폭에서 블레이드 뒷전 플랩을 구동시키기 위해 압전소자 지능재료를 사용한다. 현재까지 연구는 공력 하중에서 구동하기 위한 플랩 구동 메커니즘에 대한 설계 및 공력탄성학적 해석을 통한 로터 블레이드 최적 설계가 이루어졌고, 블레이드 부분 시제품 제작 및 인장시험을 통한 설계 검토가 진행되었다. 시흥캠퍼스에 구축될 시험장치에서 제자리 회전시험을 통해 플랩 구동부에 대한 동특성 시험과 시스템 식별, 제어 알고리즘 시험을 진행하게 될 것이다. 이를 위해 구조 해석, 시험 및 제어계측 분야의 연구가 진행될 예정이다.

담당조교: 임병욱([goody147@snu.ac.kr](mailto:goody147@snu.ac.kr))



(a) 압전 작동기를 이용한 플랩 블레이드



(b) 회전시험장치

그림 1. 플랩 블레이드 및 시험장치

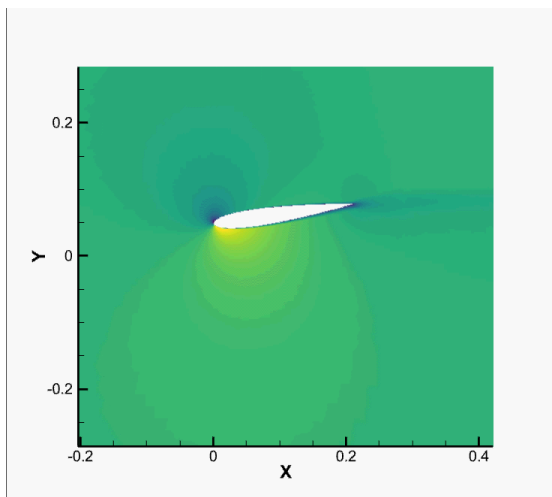
## 8-2. 차세대 회전익 비행체의 고속, 고정밀 설계 최적화

### 프레임워크

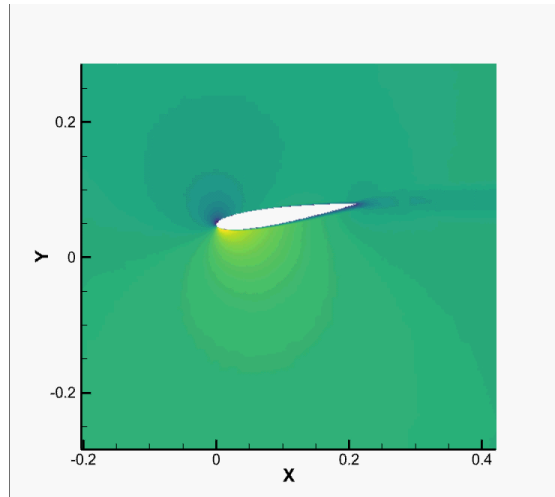
학사논문 지도교수: 신 상 준

현대의 비행체는 확장된 임무와 효율성, 저소음 저공해 특성을 목표로 하여 개발되고 있다. 이런 비행체의 개발을 위하여 유연 구조물에 대한 정확하고 신속한 FSI(Fluid-Structure Interaction) 해석 능력을 필요로 한다. FSI에는 유동과 구조 각각에 대한 해석이 동시에 진행되어야 하며, 이 과정에서 과도한 계산 자원과 해석 시간이 요구된다. 이에 대한 해결책으로 ROM(Reduced Order Modeling)이 활발하게 연구되고 있으며, 본 연구에서는 POD(Proper Orthogonal Decomposition) 및 deep learning 을 기반으로 하는 ANN(artificial neural network)을 활용하여 해석 시간의 단축을 목표로 한다. FSI 해석결과를 ROM 해석으로 확장하고, 기계학습의 한 종류인 비지도 학습을 활용하여 설계 영역 내에 설계 변수에 대한 정확한 값을 도출하고 해석시간을 줄여 효율적이며 정밀한 FSI 해석을 수행하며, 이를 기반으로 설계 프레임워크로 확장하고자 한다.

담당조교: 이시훈([leesihun@snu.ac.kr](mailto:leesihun@snu.ac.kr))



CFD



POD-ANN

그림 1. ANN을 활용한 ROM 사례

### 8-3. 레이더 흡수 물질 및 거대 유전체 구조 전자파 해석 연구

#### 학사논문 지도교수: 신 상 준

3차원 복잡 구조체의 스텔스 성능 확인을 위해선 전자파 산란 특성 시뮬레이션이 필수적이다. 특히 항공기와 같은 구조의 전자파 해석을 위해선 계산공간의 형태에 제약을 덜게 받고 이종(heterogeneous) 물질 상에서 야기되는 특이성으로부터 강점이 있는 유한요소법(finite element method, FEM) 알고리즘이 적용되기도 한다. 본 연구는 이와 같은 목적으로 다양한 형태를 가지는 3차원 대형구조체상에서의 전자파 해석 연구를 위한 유한요소해석 프로그램을 개발하고자 한다. 또한, 이종 물질 상에서의 전자파 해석을 위한 유한요소 알고리즘을 개발한다. 최종적으로 해석 가속화를 위한 preconditioning 및 영역 분할 기법 적용, 계산 병렬화를 수행한다.

이를 통해 3차원 복잡 구조체의 레이더 반사 면적(radar cross-section, RCS) 해석을 수행하여 스텔스 성능을 확인하고자 한다. 또한 개발된 해석 프로그램은 Maxwell 방정식기반의 상용프로그램(예: ANSYS HFSS) 결과와 비교를 통하여 검증하고자 한다.

담당조교: 강승훈([shkang94@snu.ac.kr](mailto:shkang94@snu.ac.kr))

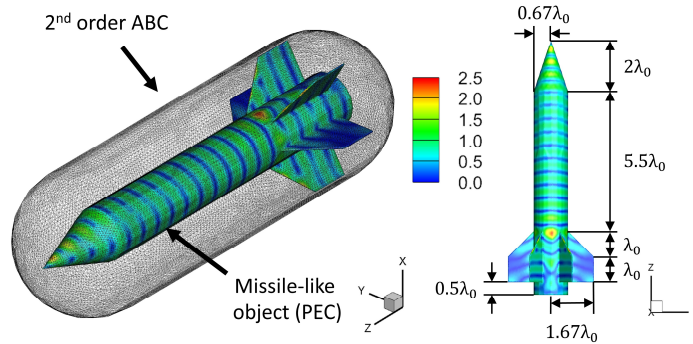


그림 1. 전자기장 분포 및 기하 형상

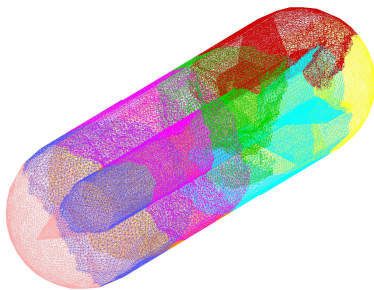


그림 2. 유한요소 영역 분할

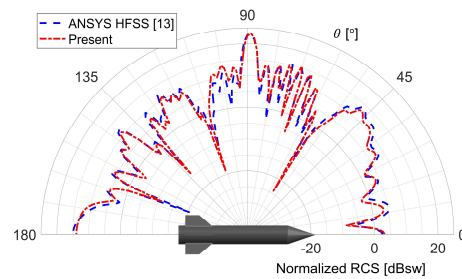


그림 3. RCS 해석 결과



## 8-4. 회전익 함재기 비행갑판 충돌 해석 연구

학사논문 지도교수: 신 상 준

본 연구는 회전익 함재기가 탑재된 함선의 회전익 함재기 충돌 시나리오에 따른 함선 갑판 및 함선 구조물에 가해지는 피해를 평가하여 이를 함선 설계를 위한 환류를 목적으로 한다. 이 때 함재기 운용 함선 비행 갑판 및 회전익 함재기 간의 충돌 시나리오를 도출하여 이를 기반으로 구조물의 충돌 해석을 수행하고자 한다. 본 연구에서는 아래와 같은 구조해석 프로그램을 개발하고자 한다.

- Full-scale 유한요소해석을 대체한 간이 해석 프로그램 개발
- 3차원 유한요소를 이용한 구조해석 프로그램 개발
- 함재기-함선의 접촉해석 모듈 개발
- 손상 해석 모듈 개발

이를 통해 함선에 가해지는 응력 분포 및 소성 변형을 예측하여, 각 시나리오에 따른 손상을 평가하여 위험도를 파악한다. 또한 개발될 해석프로그램은 상용프로그램 해석 및 실험 결과와의 비교를 통하여 검증하고자 한다.

담당조교: 황민호(hmh2989@snu.ac.kr)

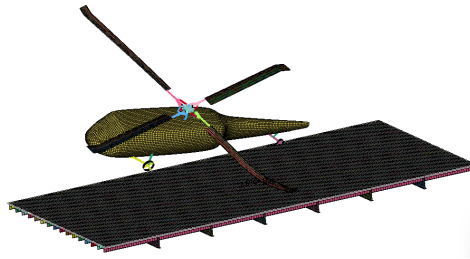


그림 1. 회전익기 갑판 충돌 시나리오 모사

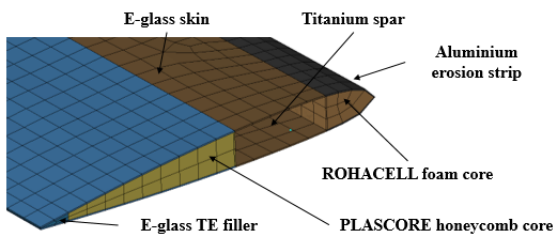


그림 2. 복합재료 블레이드 유한요소 모델링

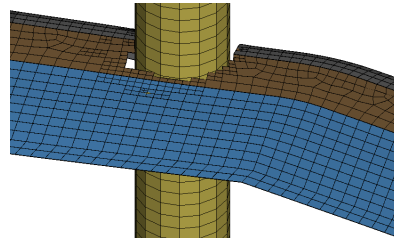


그림 3. 회전익 블레이드 충돌 해석

## 8-5. 영역 분할 알고리즘을 통한 복합재료 병렬 멀티스케일 해석

학사논문 지도교수: 신 상 준

복합재료는 서로 다른 종류의 재료가 조합되어 특정 물성을 향상한 재료이다. 이 중 탄소섬유강화 복합재료(carbon fiber reinforced plastics, CFRP)는 경량, 고강도 등의 특성으로 항공분야에 널리 사용되고 있다. 탄소섬유강화 복합재료는 에폭시(epoxy)와 같은 매트릭스(matrix) 및 탄소섬유의 조합에 따라 이방성 물성 양상이 달라지며, 이러한 물성은 각 조합에 따라 인장, 압축, 휨 실험 등을 수행함으로써 획득할 수 있다.

위의 시편 실험과 더불어, 최근 멀티스케일(multi-scale) 해석을 통해 복합재료의 특성을 수치적으로 확인하는 시도가 늘고 있다. 멀티스케일 해석은 나노(nano)/마이크로(micro) 스케일부터 매크로(macro) 스케일까지 다양한 스케일을 아우르는 해석을 의미하며, 통상적으로 과도한 계산 비용을 요구한다.

본 연구에서는 탄소섬유강화 복합재료의 멀티스케일 해석을 수행하여 그 특성을 확인하고자 한다. 또한 영역 분할(domain decomposition) 알고리즘 중 하나인 FETI(finite element tearing and interconnection)을 도입하여 병렬 클러스터 컴퓨팅 환경에서 다중 CPU 계산을 수행하여 계산 시간을 절감하고자 한다.

담당조교: 강승훈([shkang94@snu.ac.kr](mailto:shkang94@snu.ac.kr))

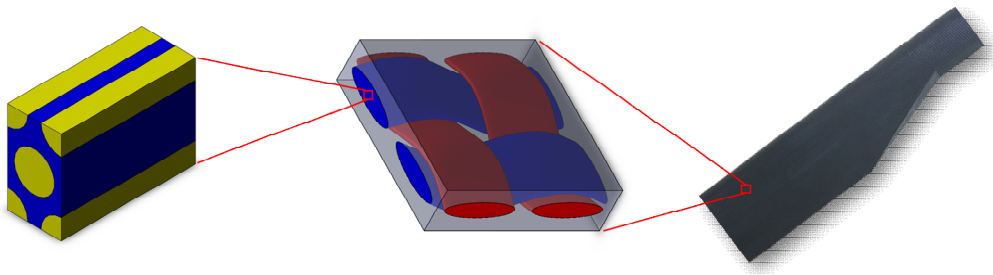
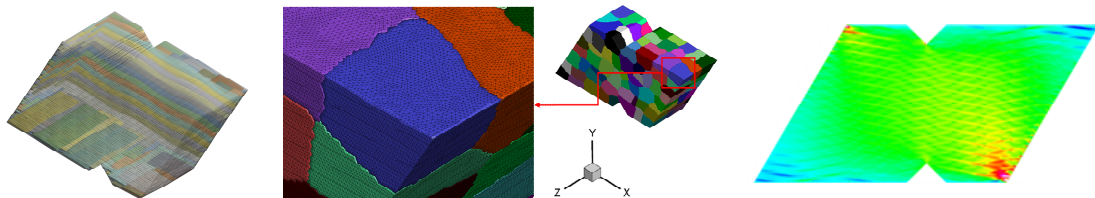


그림 1. 복합재료 멀티스케일 해석 개요



CAD 모델

유한요소 영역 분할

해석 결과 (응력 분포)

그림 2. V-notched 직조 복합재료 시편의 멀티스케일 해석

## 8-6. 차세대 로터시스템 시험 및 체계종합 연구

### 학사논문 지도교수: 신 상 준

고속 전진 비행, 낮은 피탐지성, 넓은 작전반경 등 차세대 전장 환경에 적합한 고속 복합형 회전익기의 개념설계 및 로터시스템의 연구 개발을 수행한다. 회전익 항공기의 주종을 이루고 있는 현재의 헬리콥터를 미래 전투 환경에 적용하고자 해석 기법 개발 및 신규 로터시스템 메커니즘에 대한 국내의 독자적인 기초 연구 기술을 확보하고자 한다. 이를 위해 KAI-SNU 공동연구 클러스터 그룹 3의 차세대 로터시스템 연구그룹은 서울대학교 항공우주공학과와 구조 및 재료, 공기역학 분야의 연구실로 구성되어 있다.

본 연구의 목표는 “차세대 기동 회전익기 로터시스템 개발”이며, 이를 위한 목표 “PMGW 30,000lb급 고속복합형 회전익기 로터시스템 설계 및 실험적 검증”을 설정하였다. 30,000lb급 고속복합형 회전익기 로터시스템 개념설계를 위한 체계종합 및 지상시험 연구와 형상설계, 공기역학, 구조설계 각 세부 연구로 구성함. 지상시험 연구에서 체계종합 역할을 수행하며 전기제/축소로터 시스템 포괄해석 및 기능실험을 수행할 예정이다.

대표적 차세대 회전익기인 틸트로터와 동축반전 형상의 V-280과 SB>1 Defiant에 대해 성능해석, 개념설계 해석과 비용 분석을 수행하며, KAI의 수요에 따라 틸트로터 혹은 동축반전로터의 로터시스템 드라이브 시스템, 구동 시스템 등의 상세한 기구학적 다물체 구조모델링 및 해석을 수행할 예정이다.

담당조교: 이현재(hyunlee@snu.ac.kr)

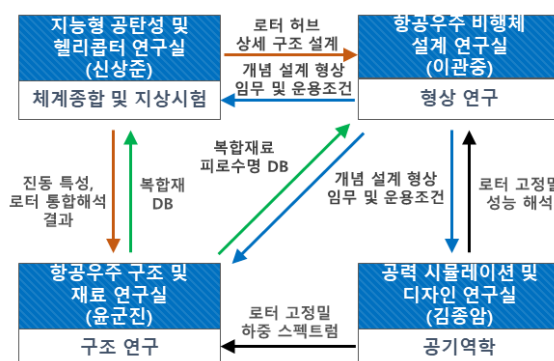


그림1. KAI-SNU 공동연구그룹3

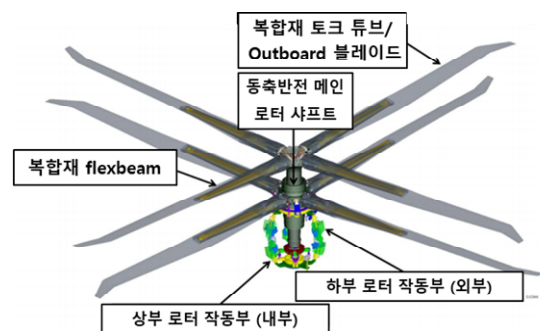


그림2. 동축반전로터시스템 모델링 및 해석

## 8-7. 다분야 통합 도심항공 모빌리티 핵심기술 개발 센터

### 학사논문 지도교수: 신 상 준

글로벌 시대에 도심은 인적자원이 집중되면서 지상 교통 혼잡이 지속될 것으로 예상되며, 이를 해결하기 위한 대안으로 도심 항공 모빌리티(Urban Air Mobility, UAM)가 주목을 받고 있다. UAM은 도심 운용의 특수성으로 인하여 다양한 분야에 대한 유기적인 고려가 수반되어야 하는데, 이와 관련하여 국내 항공우주, 자동차, 전기 추진 및 자율 비행 등 학계의 다분야 역량을 결집할 시 초기 상용화 및 기술 획득이 가능할 것으로 예상된다. 따라서 본 센터에서는 도심 항공 모빌리티의 핵심으로 적용될 수 있는 분야별 핵심 기술의 개발을 수행하고자 한다. 이를 위해 본 센터는 형상 설계(1 그룹), 비행제어(2 그룹), 공기역학/소음/구조/진동 해석(3 그룹)으로 나뉘져 유기적으로 연구개발을 수행하고 있다.

본 연구에서는 개념설계 프레임워크를 구축하기 위한 회전익기 신속 고정밀 개념설계 도구인 NDARC®와 로터의 설계와 해석에 특화된 CAMRAD II®를 주로 활용해 진행하고 있다. 다분야 통합 최적 모빌리티 설계를 위해 위 프로그램을 사용해 틸트로터, 틸트윙, 리프트+크루즈, 멀티로터에 대한 형상 설계를 진행한 뒤 센터에서 개발한 개념설계 기법을 적용하여 축소 시제기의 형상을 설계하고 제작해 핵심기술을 검증하고자 한다. 이후 다분야 통합 핵심기술을 기반으로 디지털 트윈 시뮬레이션을 구축하고 2차 시제품을 제작해 해당 시뮬레이션의 타당성과 정확성을 검증할 예정이다.

담당조교: 이동열(ehdduf3845@snu.ac.kr)

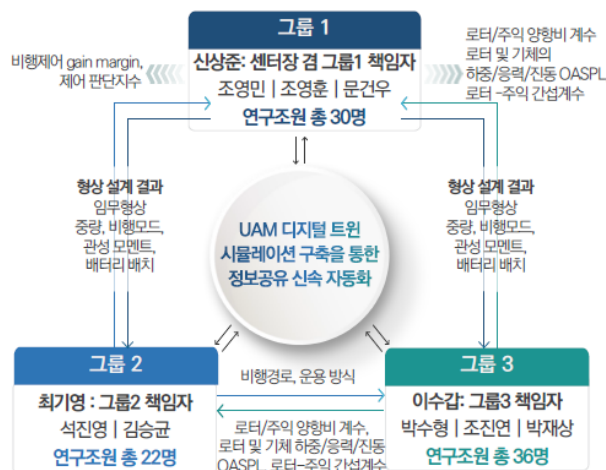


그림 1. ERC 연구그룹

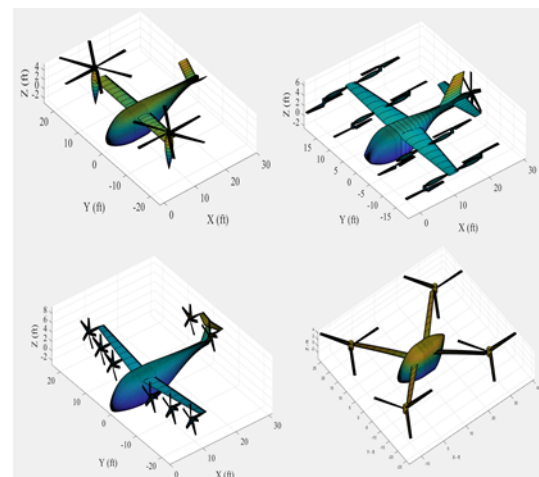


그림 2. 시각화된 형상 설계 결과물

## 8-8. 국방 핵심 소프트웨어 (HHC) 연구

### 학사논문 지도교수: 신 상 준

회전익기는 로터를 이용하여 양력을 발생시킴에 따라 굉장히 복잡한 공기역학적 환경에 노출되며, 이에 따라 상당한 규모의 진동 및 소음이 유발된다. 이러한 진동은 그 수준에 따라 조종사 및 승객이 장기간 탑승할 시 심각한 탑승감 저하를 초래하며 구조적인 측면에서도 피로 수명에 영향을 미치므로 설계 시 중요 고려 사항으로 작용하며 소음 또한 주변 환경에 미치는 영향, 사회적 수용성 및 군사 임무에서의 피탐성 등에 미치는 영향을 생각할 경우 설계 과정에서 또다른 중요 변수로 작용한다. 따라서 진동과 소음을 제어하는 방안에 관한 연구는 헬리콥터 설계 분야에서 지속적으로 연구되어 왔다.

진동 및 소음 제어의 일환인 능동 제어(Active control approach)는 로터 시스템에 별도 작동기를 부착하여 진동원인 로터 시스템의 진동을 직접 제어함으로써 전체 기체의 진동을 제어하는 방법이다. 이 중 가장 오래 연구되어온 방법론인 고조화제어(Higher Harmonic Control, 이하 HHC)는 비회전 스와시플레이트에 부착된 작동기를 통해 로터 시스템에 회전 당 1 회를 초과하는 진동수로 가진하는 방법론이다.

본 연구에서는 중형 헬리콥터에의 HHC 적용 가능성을 예측하기 위해 실제 중형 헬리콥터의 해석 모델을 작성하여 구조-유체 연계 해석을 수행하는 것을 목표로 한다. 선형 작동기가 반영된 로터 시스템을 구현하여 실험값과 하중 데이터를 비교하며, 작동기의 주파수 응답 및 대역을 이용하여 실 기체 적용 시에 요구되는 주파수 특성 등을 도출한다.

이후 꼬리 로터 등이 포함된 동체의 구조 모델링을 통해 구조 해석 시 로터-동체 상호 작용을 구현하며, 완성된 구조 모델의 동특성을 획득하여 주파수 성분에 따른 진동 응답을 예측한다. 전산 유체 해석을 통해 향상된 정확도의 로터 주변 유동 현상 예측을 이용하여 보다 더 정확한 해석 결과를 도출하는 것을 본 연구의 최종 목표로 한다.

담당교표: 공건혁([drkong123@snu.ac.kr](mailto:drkong123@snu.ac.kr))

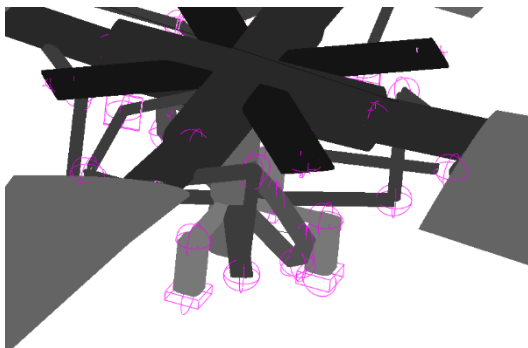


그림 1. 작동기를 포함한 로터 시스템 모델

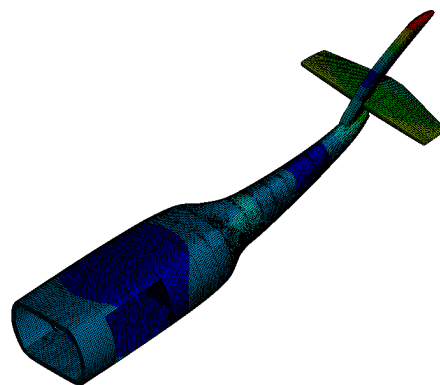


그림 2. 동체 유한요소모델의 모드 해석

## 8-9. 무인기용 고효율 터빈기술 연구

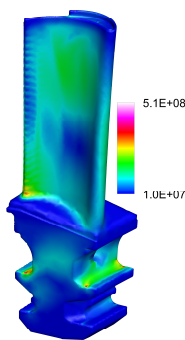
### 학사논문 지도교수: 신 상 준

본 연구는 고효율 가스터빈을 개발하기 위해 고온터빈의 냉각/구조 성능을 해석적으로 검증할 수 있는 통합 해석 모델 개발을 목표로 한다. 무인기용 고효율 가스터빈은 고온/고압의 환경에서 작동되며, 이는 주로 실험적인 접근 방법 등을 통해 개발되어 왔다. 하지만 최근 실험적으로 예측하기 어려운 복잡한 현상 등에 대해 최근 해석적으로 접근하는 추세이다. 본 연구는 아래와 같은 구조해석 프로그램을 개발하였으며, 이를 통해 고효율 가스터빈 블레이드의 응력 분포 및 수명을 예측하고자 한다.

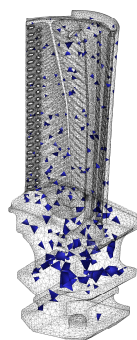
- 3차원 유한요소를 이용한 구조해석 프로그램 개발
- 온도 및 회전을 포함하는 응력해석 기법 개발

개발한 구조해석 프로그램의 계산 비용 절감 및 정확도 보강을 위해 최신 유한요소 해석 기법을 다방면으로 적용 중이다. 신속 계산을 위해 축소차수기법이 고려되며, 내부 홀(hole) 부근에서의 보다 정확한 응력 도출을 위해 등기하해석(isogeometric)이 적용된다. 또한, 비선형성을 고려하는 주파수 응답 해석인 조화균형법(harmonic balance method)의 적용이 진행 중이다. 최종적으로 유동해석 결과 및 재료 비선형 모듈을 연동하여 블레이드의 저주기(low cycle fatigue) 및 고주기(high cycle fatigue) 피로를 예측하고자 한다.

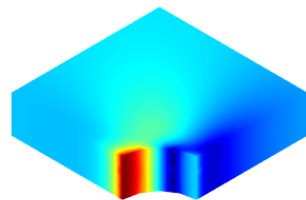
담당조교: 강승훈([shkang94@snu.ac.kr](mailto:shkang94@snu.ac.kr))



교번 응력 해석 결과



요소 샘플링 (축소차수기법)



등기하해석

그림 1. 터빈 구조 해석 프로그램 고도화