

## 14. 학사논문 지도교수 : 이 수 갑

- 14-1. 도심 항공 모빌리티(UAM)의 공력 및 공력소음 해석  
(Aerodynamic and Aeroacoustic Analysis of Urban Air Mobility)
- 14-2. 도심 항공 모빌리티(UAM)의 저소음 로터 설계  
(Low-Noise Rotor Design of Urban Air Mobility)
- 14-3. 능동 소음 제어를 활용한 로터 소음 저감 연구  
(Rotor Noise Reduction using Active Noise Control)
- 14-4. 전산공력음향학 기법 연구 및 활용  
(Computational Aero-Acoustics (CAA) Method and Application)
- 14-5. 풍력 블레이드/풍력발전단지 최적화 및 소음 저감 기술 연구  
(Wind Turbine Blade/Farm Optimized Design and Noise Reduction)
- 14-6. 항공기 소음의 청각화 기법 연구 및 적용  
(Aircraft Sound Auralization Method and Application)

실험실: 공력소음 및 소음제어 연구실, AANCL (Aero-Acoustics and Noise Control Lab.)

연구실 홈페이지: <http://aancl.snu.ac.kr/>

교수 연락처: (02)880-7384, E-mail: [solee@snu.ac.kr](mailto:solee@snu.ac.kr)

담당 조교: 고정우 (02)880-7394, E-mail: [gowoo1314@snu.ac.kr](mailto:gowoo1314@snu.ac.kr)

## 14-1. 도심 항공 모빌리티(UAM)의 공력 및 공력소음 해석

### (Aerodynamic and Aeroacoustic Analysis of Urban Air Mobility)

최근 전 세계적으로 환경문제가 화두이다. 회전하는 로터, 블레이드로부터 양력과 추력을 얻으며, 제자리 비행이 가능하여 군사적 목적뿐만 아니라 인명 구조 등 민간 목적으로도 널리 사용되고 있는 헬리콥터도 이 흐름을 빗겨 갈 수 없다. 다른 운송기체에 비해 낮은 고도에서 운용되는 도심 항공 모빌리티(이하 'UAM')은 복잡한 유동 현상과 그로 인한 많은 소음원이 존재한다. 민간 운용 시 주민들에게 소음 피해를 주기 때문에 운용에 제한을 받게 된다. 게다가 군사적으로 이용될 때에도 소음은 UAM의 피탐지성 및 생존성에 직결된 문제로 성능 해석 기술과 더불어 소음 예측 및 저감 기술은 UAM 개발에 필수적인 요소이다. 실제 Uber, Airbus, Lilium 등 세계적인 UAM 제조회사들은 블레이드 소음 저감을 위한 R&D 규모를 확장하고 있다.

본 연구에서는 UAM 로터에 의한 공력 성능 및 소음에 대한 수치해석을 수행한다. UAM은 쿼드로터, 동축반전로터, 덕티드 팬 등 다양한 형상을 기반으로 개발 중이며, 각각 적합한 해석방법으로 공력 및 공력소음 현상을 해석할 필요가 있다. UAM 설계 형상에 따른 공력 및 소음 특성 분석, 후류와 블레이드의 간섭현상 해석 등을 바탕으로 차세대 고성능/저소음 UAM 설계 연구를 수행한다.

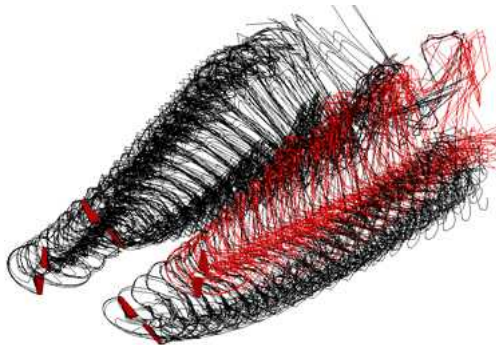


그림 1 VLM 기반의 멀티로터 유동 해석

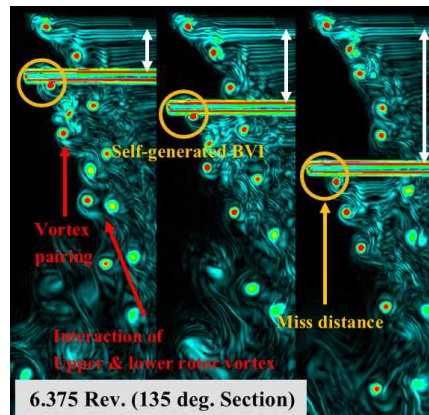


그림 2 동축반전로터 후류 해석

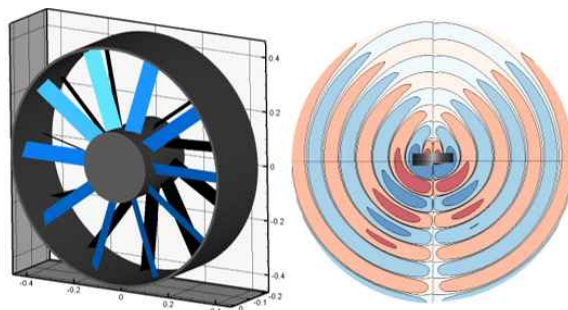


그림 3 덕트, 스테이터, 로터 상호간섭 해석

담당 조교: 김종희 (02)880-7394, E-mail: [speedbobs@snu.ac.kr](mailto:speedbobs@snu.ac.kr)

## 14-2. 도심 항공 모빌리티(UAM)의 저소음 로터 설계

### (Low-Noise Rotor Design of Urban Air Mobility)

과거 UAM 기술 개발은 군용으로 시작하여 센서 및 비행 제어, 통신 네트워크 등의 기술 위주로 많은 진전이 있었다. 그러나 민간 부분으로 UAM의 보급이 확대되고, 성능 및 중량의 증가에 따라 사생활 침해 문제, 환경 소음 문제 등 사회적 문제도 점차 문제가 되고 있다. 그 중 UAM의 활용을 위협할만한 가장 큰 문제 중 하나는 UAM 소음으로 인해 민간 영역의 정온한 환경이 침해되는 것이다. 이미 국가 민원의 80% 이상이 소음으로 인한 문제 제기임을 감안한다면, UAM 활용에 있어 소음 문제는 막대한 사회적 비용을 발생시킬 여지가 있다. 아무리 뛰어난 UAM 기술이 개발된다 하더라도, 국민들의 반대로 인해 군사적인 측면 이외의 활용이 제한될 우려도 있다. 이러한 소음 피해 문제를 사전에 방지하기 위해서는 UAM의 환경 소음 예측 및 평가 기법, 소음 저감 기술에 대한 연구가 필수적이다. 또한 UAM의 주된 사용 목적에 있어서도, 영상 촬영 시에는 UAM 자체 소음이 음향 녹취에 많은 제한을 주게 되며, 군사적 활용 시에는 소음으로 인해 발견 및 격추 가능성이 높아질 수밖에 없다. 따라서 UAM 저소음 디자인 기술 개발은 무인기의 활용적 측면에서 반드시 수반되어야 하는 기술이라 할 수 있다. 국내에는 UAM의 비행 및 자세 제어에 관한 연구만이 이루어지고 있을 뿐, 소음 저감 문제와 관련된 연구는 이루어지지 않고 있다. UAM 소음 관련 연구로는 2016년 무인기를 활용한 방송 촬영을 위해 전기적으로 프로펠러 및 모터 소음 신호를 삭제하는 기법을 발표하였으나, 직접적으로 UAM의 소음 자체를 줄이는 연구는 이루어진 적이 없다. 본 연구에서는 해석 및 실험을 통해 단일 로터, 또는 멀티콥터 타입 무인기의 공력 및 소음을 해석하고 저소음 로터를 설계하는 것을 목표로 한다.

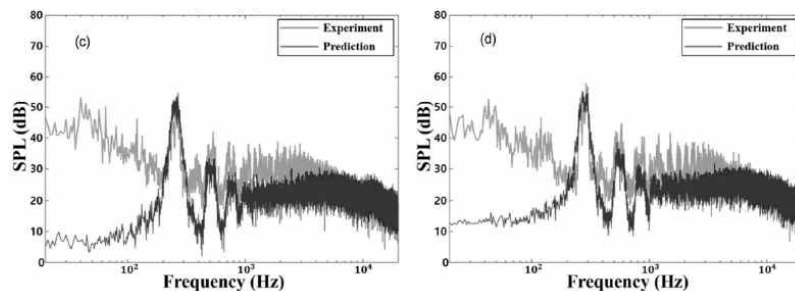


그림 1 측정된 소음에 대한 공력 및 소음 수치해석을 이용한 예측 결과

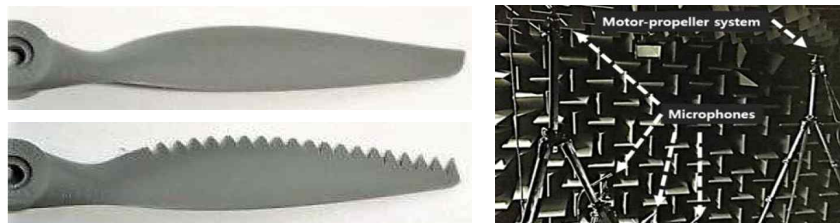


그림 2 (좌) 소음저감을 위한 로터 디자인, (우) 무향실 환경에서의 측정실험

### 14-3. 능동 소음 제어를 활용한 로터 소음 저감 연구

#### (Rotor Noise Reduction using Active Noise Control)

능동 소음 제어는 음파의 상쇄 간섭 원리를 이용한 소음 저감 방식으로써, 저감하고자 하는 소음과 진폭은 동일하면서 위상은 반대인 소리를 발생시켜 소음을 저감시키는 기법이다. 이론적으로 매우 간단해 보이는 이 기법은 소리의 시간 지연과 프로세서의 연산 속도 등의 문제로 인해 연구가 더디게 진행되어 왔다. 하지만 고속 연산 처리 장비의 개발과 구현 알고리즘의 발전으로 어느덧 상용화 단계에 이르렀다. 따라서 능동소음제어 기법을 현재 활발히 연구되고 있는 UAM에 활용할 수 있도록 로터 소음 저감 연구를 진행하고자 한다.

본 연구에서는 로터에 적용 가능한 능동 소음 제어 알고리즘들을 살펴보고, 주어진 목표와 환경에서 최적의 알고리즘을 선택한다. 나아가 능동 소음 제어를 이용해 음향을 디자인하고 이를 구현하기 위한 알고리즘을 개발하며, 최적의 센서 및 스피커의 개수 및 배치를 제안하는 것을 목표로 한다.

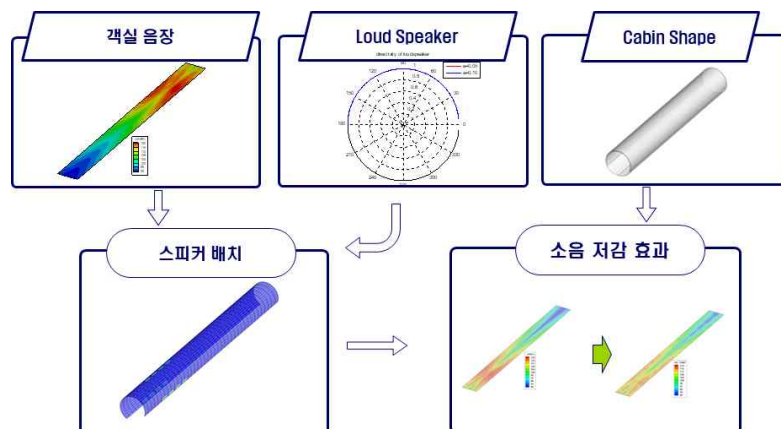


그림 1 비행기 동체 내 객실 음장에 대한 능동 소음 제어 시뮬레이션

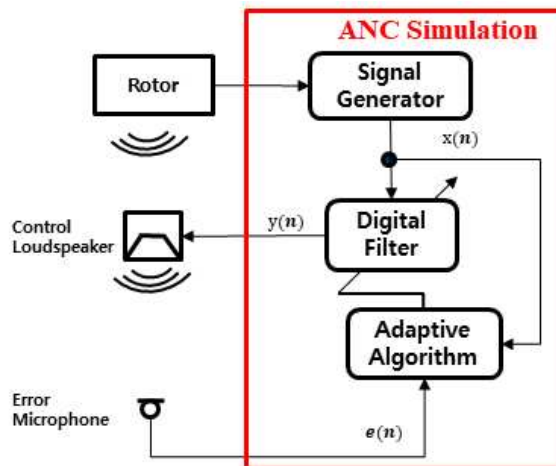


그림 2 Rotor 능동 소음 제어 시뮬레이션 개략도

담당 조교: 김동욱 (02)880-7382, E-mail: [ehdrk1029@snu.ac.kr](mailto:ehdrk1029@snu.ac.kr)

## 14-4. 전산공력음향학 기법 연구 및 활용

### (Computational Aero-Acoustics (CAA) Method and Application)

전산 해석 기법의 발전으로 유동뿐 아니라 유동 기인 공력소음 현상에 대한 수치 해석적 연구도 활발히 진행되고 있다. 음향학에서는 압력의 섭동(perturbation) 값을 관심 대상으로 하므로, 전산 유체 역학(CFD)에서 사용하는 수치 기법 대신 전산공력음향학(CAA)이라는 독립적인 해석 기법을 바탕으로 연구가 이루어진다.

전산공력음향학이 적용되는 분야는 매우 다양하다. 항공기에서는 터보팬 엔진 내부에서의 유동장 해석을 통한 팬 소음 예측, 랜딩 기어 주변에서 발생하는 음장 해석, 그리고 플랩과 같은 고양력 장치에서 발생하는 소음 예측 등이 이루어질 수 있다. 전산공력음향학은 자동차나 열차와 같은 교통수단의 설계 및 해석에서도 적용될 수 있으며 군사 무기와 같이 실험을 통한 연구에 제약이 많은 분야에도 전산공력음향학이 적용된다.

음향해석은 유동과 구조물 사이의 연성 해석을 수행하는 것이 중요하다. 일반적으로 구조물 주변 유동은 body-conformal 또는 non-conformal 격자로 해석된다. 가상 경계 방법(Immersed boundary method, 이하 IBM)은 body non-conformal 격자에 포함되며 경계 조건을 유동적으로 다루어 직교좌표계에서 복잡한 구조물에 대해 쉽게 격자 생성을 할 수 있다. 또한, 단순한 직교좌표계를 사용하므로 고차 수치해석에 장점을 가진다. IBM은 구조물 근처에 많은 격자를 생성할 수 없다는 단점이 있으며 이를 Adaptive Mesh Refinement (AMR)을 도입하여 해결하는 방법을 연구 중이다. 본 연구실의 IBM-AMR 및 구조 연성 해석을 활용하여 여러 공력소음 현상을 해석할 수 있을 것으로 기대된다.

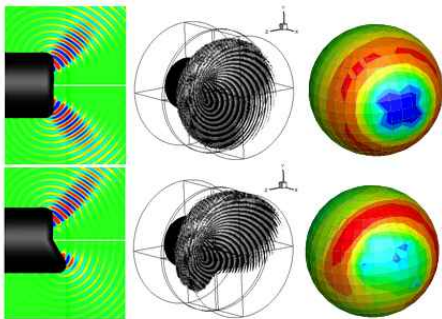


그림 1 터보팬 형상에 따른 음향 방사 해석

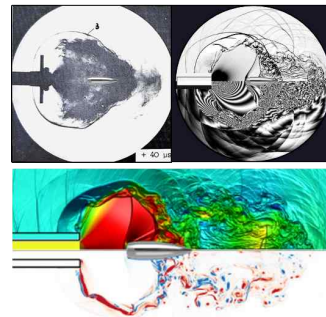


그림 2 총구 발생 충격파 유동 및 소음 해석

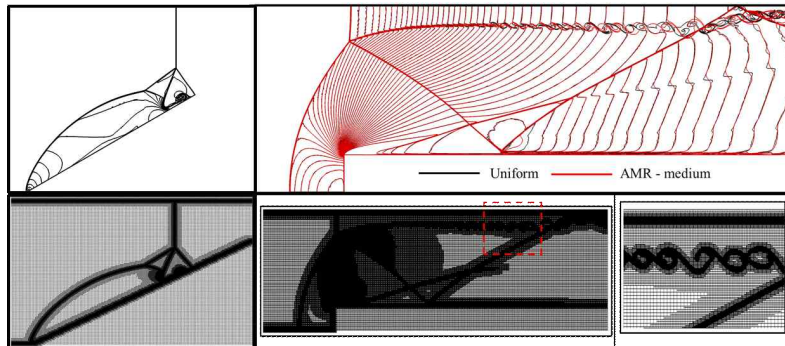


그림 3 AMR을 활용한 flow dependent 격자 분포



## 14-5. 풍력 터빈 블레이드/풍력발전단지 최적화 및 소음 저감 기술 연구

### (Wind Turbine Blade/Farm Optimized Design and Noise Reduction)

재생에너지에 대한 세계적인 관심의 증가로 인해 풍력 발전기에 관한 연구는 활발히 진행되고 있다. 본 연구실에서는 대표적으로 풍력 터빈 블레이드/풍력발전단지의 최적화 및 소음저감 기술 등의 연구를 수행하였다.

풍력 발전기의 공력 특성을 계산하기 위하여 비정상 와류 격자 기법이 사용되었다. 대형화된 풍력 블레이드의 특성으로 인해 생기는 풍속 전단 및 풍속 변화에 따른 요 에러로 인한 비정상 유동 특성은 구속 와류를 가감시켜 Look up table과의 오차가 일정한 기준을 만족할 때까지 계산하는 반복 기법을 이용하여 풍력 발전기의 공력 특성을 해석하였다. 소음저감을 위해 기존의 블레이드에 서레이션을 부착하여, 기존의 소음 단위가 큰 난류들을 소음 단위가 작은 난류들로 변환함으로써 소음을 저감하였다. 블레이드에 서레이션을 부착시켜 소음 및 공력에 미치는 영향을 확인하고, 최적화하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

단일 풍력 발전기의 공력 해석을 수행하기 위해서는 풍력 발전기 간의 후류 간섭 효과는 고려할 필요가 없으나, 풍력발전단지의 배치 최적화를 수행하기 위해서는 다중 후류에 대한 고려가 필요하다. 풍력발전단지의 최적화를 통해 가장 경제적인 배치를 구하기 위해서 단순히 연간 에너지 생산량뿐만 아니라, 기반 설치 비용, 그리드 비용 등 각종 비용함수를 고려하였다. 또한, 전역 최적화를 수행하지 않고 계산 비용을 최소화하기 위해서 최적화 알고리즘으로 NSGA2 와 COBLA 등이 사용되었다. 본 연구에서는 단일 풍력발전기에 대한 공력 해석, 다중 후류의 간섭 효과, 여러 비용함수, 최적화 알고리즘이 포함된 시스템을 개발하여, 풍력발전단지의 배치 최적화를 수행했다.

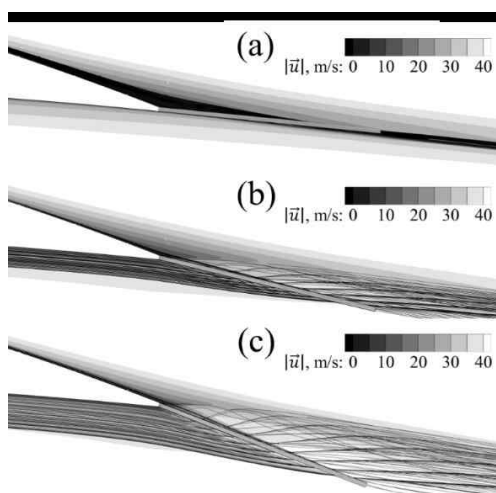


그림 1 서레이션 주위 유동을 보여주는 유선

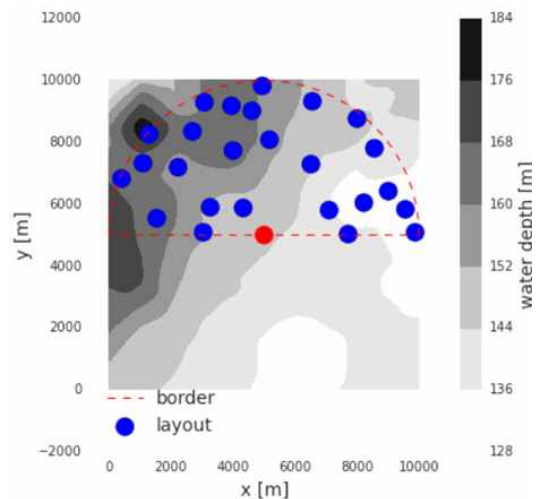


그림 2 풍력발전 단지 최적 배치 결과

## 14-6. 항공기 소음의 청각화 기법 연구 및 적용

### (Aircraft Sound Auralization Method and Application)

소음 신호는 소음 측정 기준 대신에 사람이 직접 들을 수 있도록 생성되면, 더욱 정확하게 소음 신호를 비교하고 해석할 수 있다. 이를 위해서 수치 데이터로부터 사람이 들을 수 있도록 sound file을 생성하는 기술인 청각화(Sound auralization)가 중요하다. 항공기 산업에서 청각화의 역할은 중요한데, 항공기 소음 영향을 이해시키기 위해서 관계자들에게 소음을 직접 들을 수 있게 하는 수단이 될 뿐만 아니라, 새롭게 설계한 항공기에 대해 설계자에게 소음에 대해서 피드백을 제공한다. 현재 청각화를 활용하고 있는 연구의 예시로서, 최근 새로운 교통수단으로 주목받고 있는 UAM이 있다. 대부분의 UAM은 멀티로터 기반인데 멀티로터는 사람이 인지하는 소음 특성이 일반적인 항공기와 다르다. 따라서, 최근 심리음향(Psychoacoustics) 측면에서 UAM 소음에 대해 사람의 인식에 관한 연구가 진행되고 있다. 이를 위해서 UAM의 소음을 청각화하고 사람이 직접 들음으로서 소음 영향에 관한 정확한 평가와 분석이 필요하다.

본 연구에서는 항공기 소음의 청각화 기법 연구를 수행한다. 수치 기법, 실험 및 소음합성을 통해 수치 데이터를 생성하고 청각화를 함으로서 항공기 인지 소음 연구 및 소음 저감 연구에 적용하는 것을 목표로 한다.

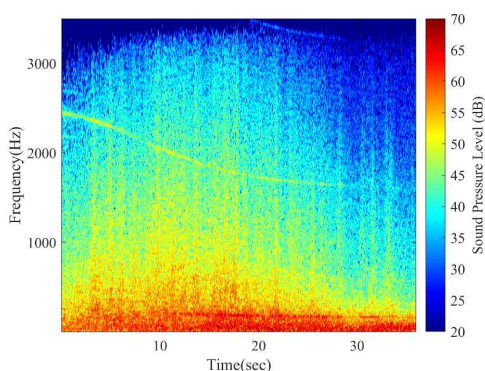


그림1 B747-400 flyover noise spectrogram

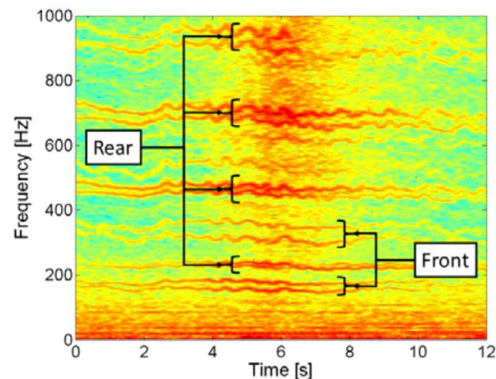


그림2 Multirotor flyover noise spectrogram

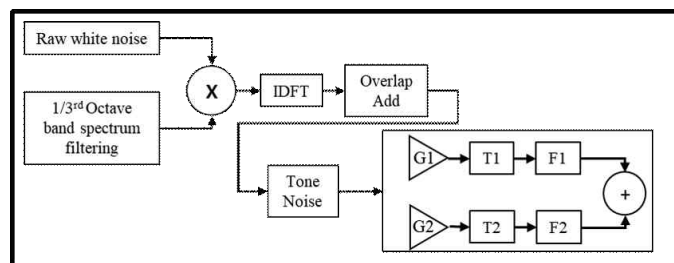


그림3 소음합성 및 청각화 개략도