15. 학사논문 지도교수: 이 복 직

15-1. GPU 활용 고성능 컴퓨팅 연구

15-2. 스크램제트 추진기관 연소유동 연구

15-3. 우주비행체 전기추진 성능해석 연구

15-4. 행성탐사선 및 귀환선 안정성 연구

15-5. 기계학습을 이용한 난류연소 모델링 연구

15-6. 초임계(Supercritical) 압축성 유동 1차원 수치해법 연구

교수 연락처: 301동 1304호, 880-7415, b.lee@snu.ac.kr

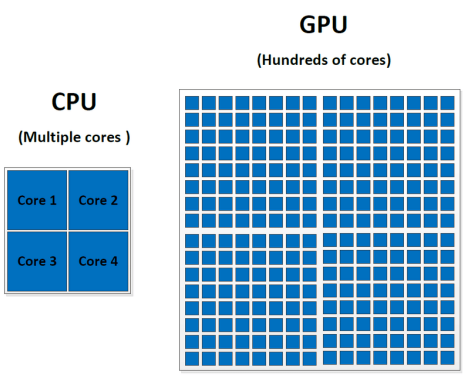
항공우주추진연구실 (Aerospace Propulsion Laboratory) 301동 1313호, 1355-2호

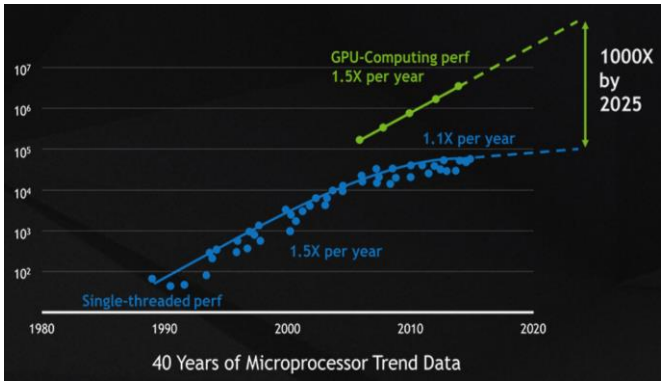
http://apl.snu.ac.kr

담당 조교: 김성돈 박사 (scream@snu.ac.kr)

15-1. GPU 활용 고성능 컴퓨팅 연구

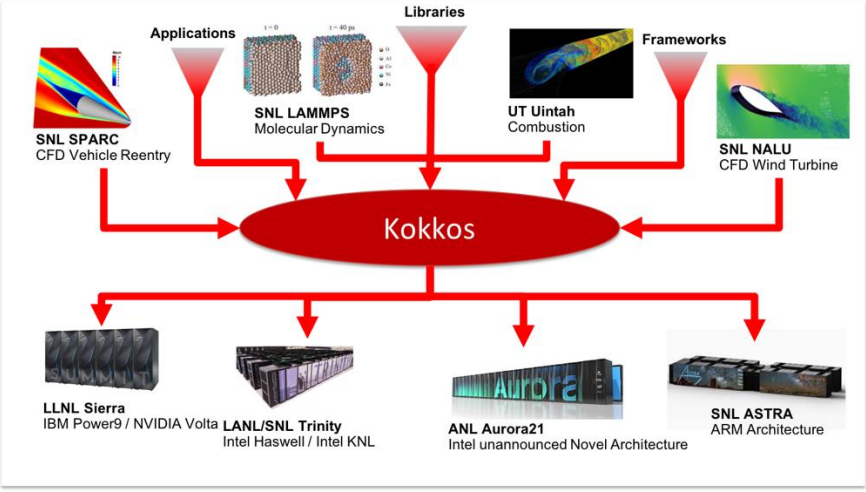
최근 고성능 계산과학(High Performance Computing)에서 하이브리드 컴퓨팅 아키텍처(CPU-GPU, Multicore-Manycore 등)가 종래의 CPU클러스터의 성능 한계를 뛰어넘는 하드웨어 개념으로 자리잡고 있다. 또한 GPU는 인공지능 적용을 위한 신경망의 학습 등에 적합하여 최근 그 수요가 급증하고 있고 GPU 기반 수퍼컴퓨팅 환경이 더욱 지배적으로 될 전망이다.





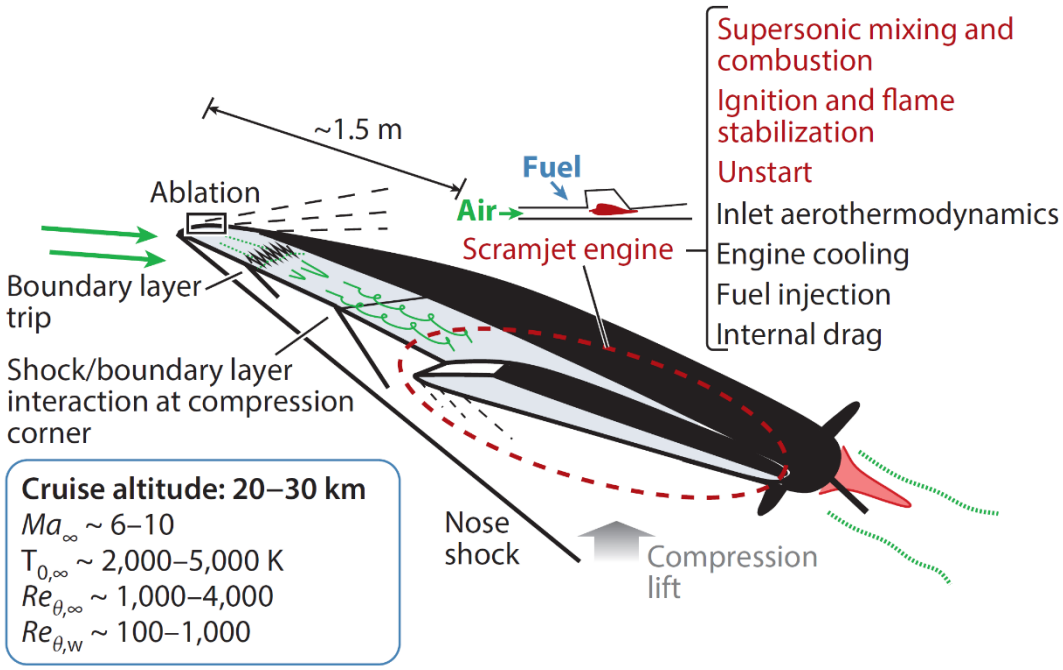
과학자/공학자가 본래의 연구목적 프로그래밍 및 모델링 연구에 집중할 수 있도록, 컴퓨팅 아키텍처에 따른 병렬 프로그램을 자동으로 구현해주면서 최적의 성능을 보장하는 Kokkos 라이브러리가 미국 Sandia National Lab 주도하에 개발되었다.

CUDA를 이용한 오픈폼의 하이브리드 컴퓨팅 성능 검증 및 개선 및 Kokkos를 이용한 전산유체역학 코드 개발 등을 통해 새로운 고성능 전산해석의 비전을 제시하는 프론티어 연구를 수행한다.



15-2. 스크램제트 추진기관 연소유동 연구

스크램제트 추진기관은 HIFiRE-2, HyTECH, HyShot, UVa 및 DLR 모델 등의 엔진시스템 실증 단계와 HyShot-2, HIFiRE-2, Kholod, X-43B, X-51 등의 극초음속 비행시험 단계를 거쳐 공기흡입식 극초음속 비행체 구현을 가능하게 하였다. 스크램제트, 지구 및 행성 재진입 등의 극초음속 유동은 강한 충격파와 고온 기체 반응을 수반한다. 따라서 스크램제트 추진기관은 열화학적 비평형인 초음속 상태에서 연료 혼합 및 연소과정을 완료하여야 한다. 실험적 연구가 매우 어려운 분야로 고신뢰도의 수치해석 기법이 반드시 필요한 분야이다.



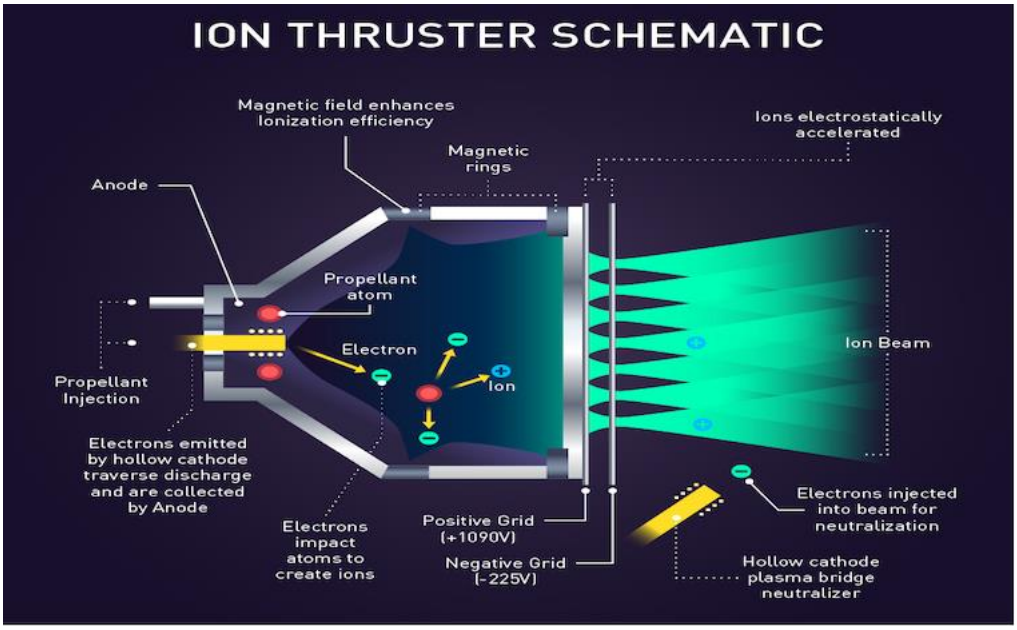
스크램제트 추진기관의 주요 물리적 현상

- 극초음속 공기흡입구 유동해석 (충격파/경계층 상호작용, 열화학 비평형 모델 효과)
- 스크램제트 isolator/combustor 유동해석 (충격파/경계층 상호작용, 열화학 비평형 효과)
- 초음속 유동장 내 연료/공기 혼합 특성 연구 (isolator/combustor)
- 초음속 유동장 내 연소 구현 연구 (isolator/combustor)
- 극초음속 공기흡입구와 isolator/combustor 상호작용 연구
- 압축성 압력기반 반응유동 오픈폼 솔버 개발

15-3. 우주비행체 전기추진 성능해석 연구

전기추진 시스템은 비추력이 높아 인공위성, 우주탐사선 등의 탑재체 중량 증가와 장기간의 임무수행 요구에 적합하다. 미래 전기추진기관에 대한 세계적인 기술 격차는 상대적으로 낮은

분야이며 수치적 모델링을 통한 전기추진기관 연구의 중요성 또한 매우 높다. 전기추력기는 연속체 방정식으로 모델링 될 수 있는 시스템과 기체역학적 접근법으로 모델링 될 수 있는 시스템으로 구분할 수 있다. 두 접근법 모두 장단점을 지니고 있으며 물리적 복잡성으로 인해 보다 정확한 모델링 개발을 위한 기초연구 요구도가 높은 단계에 있다.

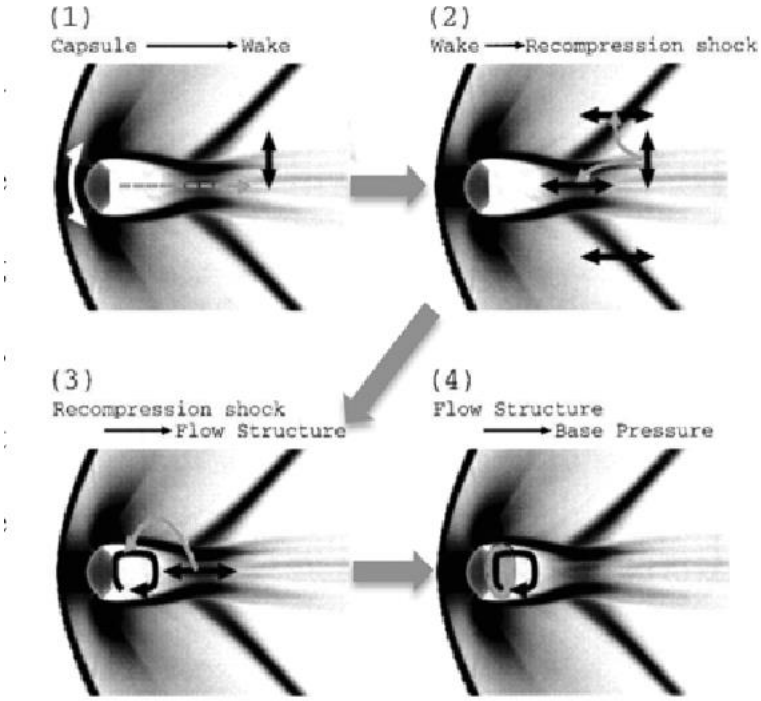


본 연구에서는 선행연구 분석을 통해 전기추력기 해석에 필요한 자료를 확보하고, 전기추진기관 특성에 대한 기초 연구를 수행한다. 본 연구실에서 보유한 다양한 RANS/LES 솔버와 현재 개발 중인 Plasmadynamics 해석 코드를 이용하여, 0-D, 1-D, 2-D 코드를 개발한다. 이를 통해 우주비행체를 위한 전기추진기관 설계의 원천 기술 개발과정을 습득한다.

- 전기추력기 리뷰 및 연구 동향, 수치적 모델링을 위한 방법론 수집
- 전기추력기 설계/해석을 위한 0-D, 1-D 수치모델링 구축
- Plasma thruster 의 0-D, 1-D 해석을 통한 전기추진기관 요구도 분석 및 설계, 해석

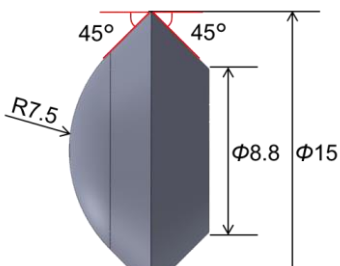
15-4. 행성탐사선 및 귀환선 안정성 연구

행성탐사선의 행성 대기 진입 및 우주탐사선의 귀환을 위한 지구재진입 등에는 뭉뚝한 형태의 캡슐 비행체가 사용된다. 이러한 진입용 비행체(entry capsule)는 매우 높은 속도에서 최종적으로 0에 가까운 속도로 랜딩할 때까지 감속을 거쳐야 하는데, 천음속 구간에서 불안정성과 함께 큰 항력 진동을 겪는 현상이 발견되었다. 일본 동북대 유체과학연구소의 실험시설을 통해 비행체 모델을 직접 공기중으로 날리고 고속카메라를 이용해서 충격파 및 캡슐 후류의 유체 특성 및 탄도 특성을 계측한 바 있다. 본 연구에서는 전산유체 수치해석으로 공력 불안정성의 원인을 규명하고, 알려진 탐사선 및 귀환선의 캡슐 형태에 대한 평가 및 최적화를 연구한다.

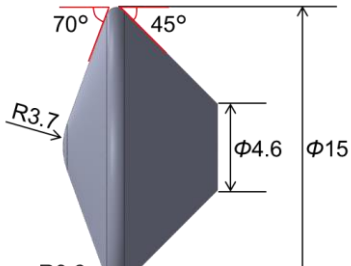


Projectile

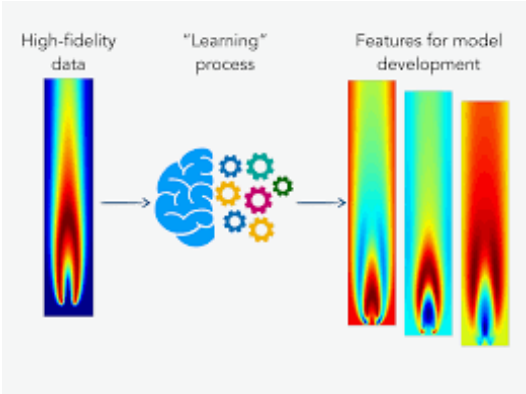
HAYABUSA model



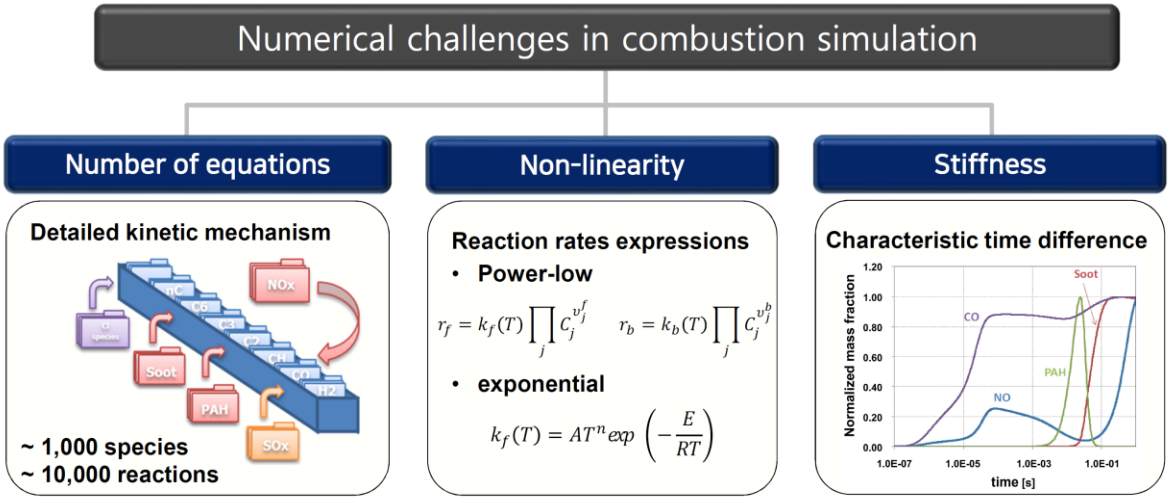
Mars entry model

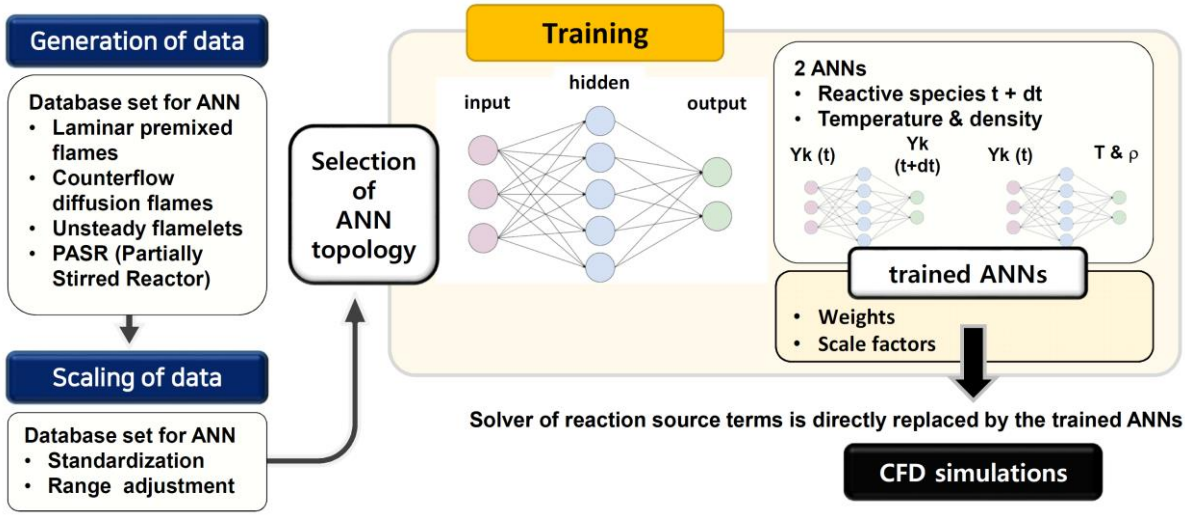


15-5. 기계학습을 이용한 난류연소 모델링 연구



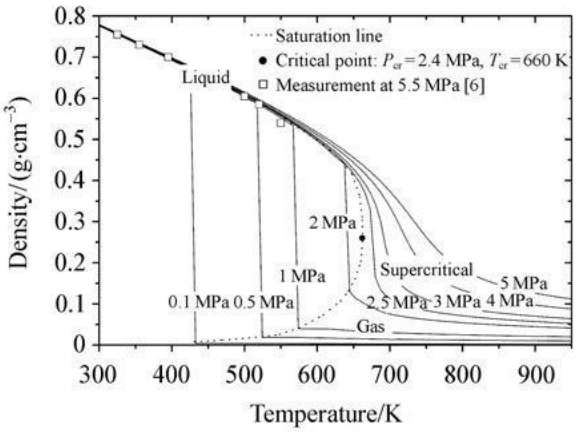
반응유동해석을 위한 상세반응기구는 수백 또는 수천 개의 화학종을 포함하고 그에 따른 방정식 규모는 매우 커지게 되며 반응식의 비선형성과 수치적 강성 문제는 반응유동 수치해석을 위한 막대한 계산비용을 초래한다. 본 연구에서는 정규화된 화염의 수치해, 직접모사를 통한 난류 화염 데이터 등을 활용하여 기계학습을 적용하고, 상미분 방정식의 적분과정을 신경망으로 대체하는 기술의 유효성을 실증한다.

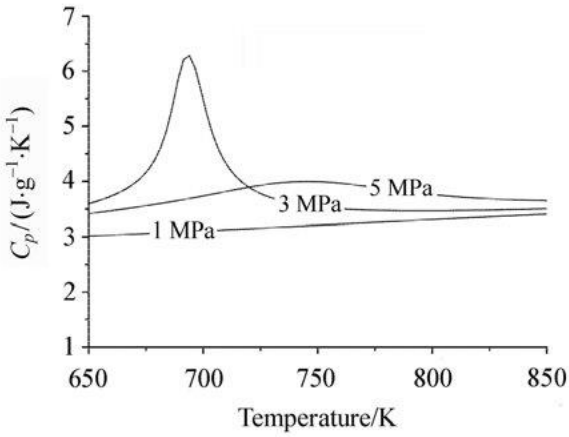


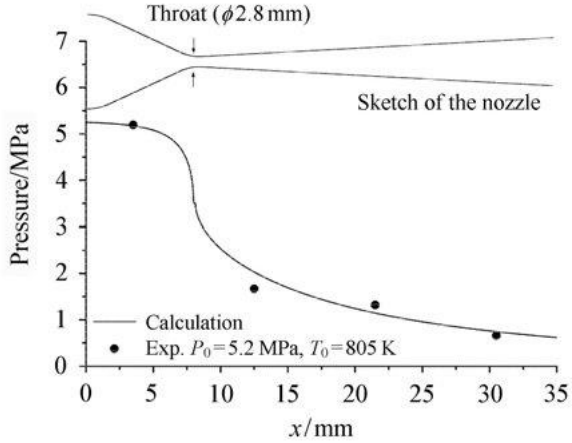


15-6. 초임계(Supercritical) 압축성 유동 1 차원 수치해법 연구

초임계 유체는 실제유체상태방정식을 이용하여 모델링할 수 있는데, 비열 등의 열역학 물성치 계수와 점성 등의 전달계수가 이상기체와 크게 달라질 뿐 아니라, 가짜끓는점을 경계로 singularity에 가까운 특이값을 갖게 된다. 압축성 유체 지배방정식을 이용하여 준1차원 노즐 유동이나 1차원 충격파관 문제 등을 분석하는 수치해법을 구현할 수 있으며, 이때 상태방정식과 열역학 및 전달물성치를 실제유체 모델 또는 데이터베이스를 이용하여 산출하여야 한다. 초임계 유체의 압축성 거동에 대해서는 거의 알려진 지식이 없으며, 본 연구는 초임계유체를 활용하거나, 초임계환경에서 운용되는 다양한 실제 문제들에 적용될 수 있는 매우 유용한 수치해석도구를 제시하는 의의가 있다.


Saturation line
Critical point: P_{cr}=2.4 MPa, T_{cr}=660 K
Measurement at 5.5 MPa [6]
Liquid
2 MPa
1 MPa
0.1 MPa 0.5 MPa
Supercritical
5 MPa
2.5 MPa 3 MPa 4 MPa
Gas
Density/(g·cm^{-3})
Temperature/K


5 MPa
3 MPa
1 MPa
C_p/(J·g^{-1}·K^{-1})
Temperature/K


Throat (ϕ2.8 mm)
Sketch of the nozzle
Calculation
Exp. P_0=5.2 MPa, T_0=805 K
Pressure/MPa
x/mm