

10. 학사논문 지도교수: 여 재 익

- 10-1. [수치해석] 고에너지 물질의 데토네이션 수치해석
- 10-2. [수치해석] 가스터빈 연소불안정 해석
- 10-3. [수치해석] 스크램제트 흡입구/격리부 불시동 해석 및 연소기 해석
- 10-4. [수치해석] 다차원 연소/폭발 수치해석
- 10-5. [수치해석] 폭발 환경 소음
- 10-6. [수치해석] 축열재 시스템의 안정성 및 민감성 해석
- 10-7. [실험] Plasma spectroscopy (Virus and Deep learning)
- 10-8. [실험] Spark-induced breakdown spectroscopy
- 10-9. [실험] Shockwave and Microjet
- 10-10. [실험] Thermal analysis of the energetic materials
- 10-11. [실험] Electrical controlled solid propellant

실험실: 고에너지 응용 연구실 XEL(eXtreme Energy Lab.)

연구실 홈페이지: <http://ecl.snu.ac.kr/>

교수 연락처: (02) 880-9334, E-mail: jjyoh@snu.ac.kr

담당조교: 양준호 (02) 880-1507, E-mail: vkgkgk1002@snu.ac.kr

10-1. [수치해석] 고에너지 물질의 데토네이션 수치해석

RDX, HMX, TNT와 같은 고에너지 물질은 로켓 추진제, 고체 폭발물과 같은 용도로 여러 분야에서 활용되고 있다. 실제 폭발물은 이러한 고에너지 물질에 기계적 성질을 변화시키거나 연소 속도를 조절하기 위해 가소제 및 금속 입자를 첨가하여 복합적으로 구성되고 이로 인해 비균질적(Heterogenous)인 특성을 지닌다. 많은 선행연구에서 적절한 모델의 도입을 통해 고에너지 물질의 연속체(Homogeneous)적인 해석이 진행되어왔다. 연속체로서의 해석은 비교적 간단하게 폭속 및 폭압을 계산하는데 도움이 되지만 각각의 물질에 의한 충격파의 반사 및 증첩과 같은 마이크로 현상을 확인할 수 없는 한계를 지닌다. 이러한 마이크로 현상을 해석하기 위해서는 개별 물질의 고유한 상태방정식과 반응속도 모델이 반드시 고려되어야 하고 이를 적절히 풀 수 있는 수치해석방법이 필요하다. 본 연구에서는 다물질 해석 기법을 활용하여 메조스케일에서 고에너지 물질 내부의 각각의 입자가 충격파(Shock) 및 폭굉파(Detonation)를 지나면서 어떻게 거동하는지 확인한다. 연구를 수행하기 위해 기초적인 압축성 유체역학 및 연소공학 지식과 C언어 프로그래밍 능력이 필요하다.

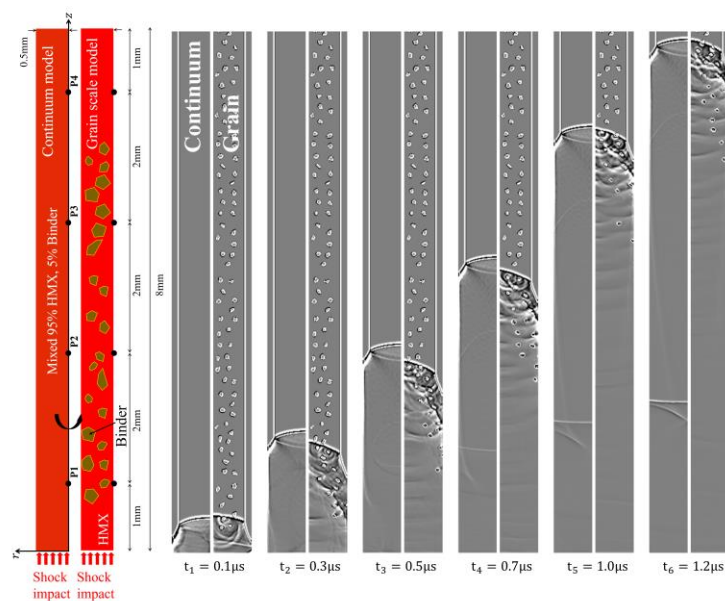


Fig. 1. 연속체(왼쪽) 및 메조(오른쪽) 스케일에서의 SDT 현상에 따른 Shadowgraph

학부생 선택 가능 논문 주제

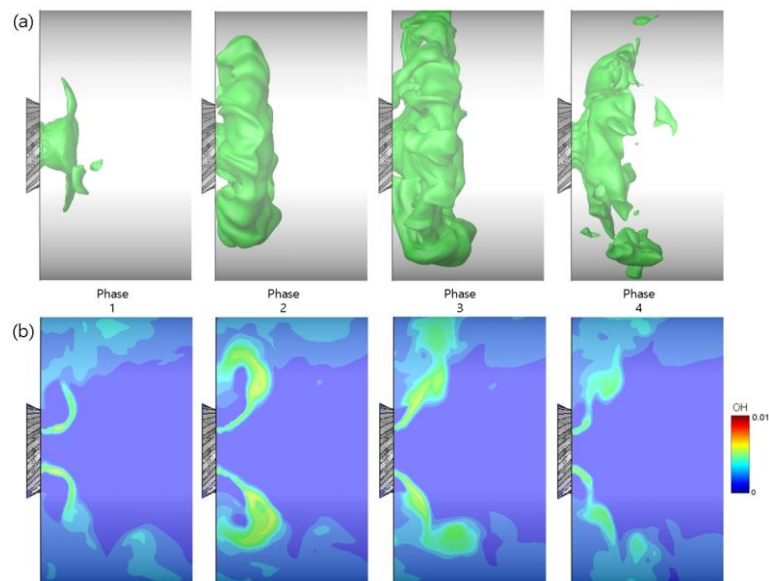
10-1-1. 다물질 고폭약의 메조스케일 영역 폭발 모델링

담당조교 : 한상엽 (iksy2005@snu.ac.kr)

10-2. [수치해석] 가스터빈 연소불안정 해석

연소불안정은 음향장과 연소현상으로 인한 열 발생, 그리고 공급계 유량의 섭동이 상호작용하여 연소기 내부에서 자체적으로 발생하는 강력한 압력 섭동이다. 추진 기관 내에서 발생하는 연소불안정은 구조물의 손상이나 파괴, 소음, 효율 저하의 원인이 되므로 주의 깊은 연구가 요구된다. 본 연구실에서는 오픈소스 기반의 전산유체역학 솔버인 OpenFOAM을 이용하여 연소불안정을 수치적으로 모사하는 연구를 진행하고 있다.

해석 대상으로 서울대에서 실험이 진행된 can type의 부분예혼합 가스터빈 연소기와 카이스트에서 실험이 진행된 can-annular type의 예혼합 가스터빈 연소기를 선정하였으며 실험 결과와의 비교를 통한 전산해석의 타당성 검토가 이루어지고 있다. 수치해석을 위해 continuity, Navier-Stokes, energy, species transport 방정식으로 이루어진 지배방정식이 솔버 내에 적용되었다. 또한, 연소 해석을 위해서 energy 및 species transport 방정식의 source 항에 존재하는 production rate 에 대한 모델링이 아레니우스 식을 기반으로 이루어졌다. 이어서 연소기 내부의 난류 유동장에서 발생하는 아격자 스케일의 와류에 대한 모델링이 Large eddy simulation (LES) 모델을 바탕으로 수행되었다. 해석 결과 연소불안정으로 인한 압력과 (pressure wave) 가 연소기 내부에 생성되었으며, 이로 인한 화염의 떨림이 나타났다. 이에 대한 결과는 아래의 그림과 같다.



(a) Isosurface of OH mass fraction and (b) yz plane OH mass fraction profiles of oscillating flame in four different phases

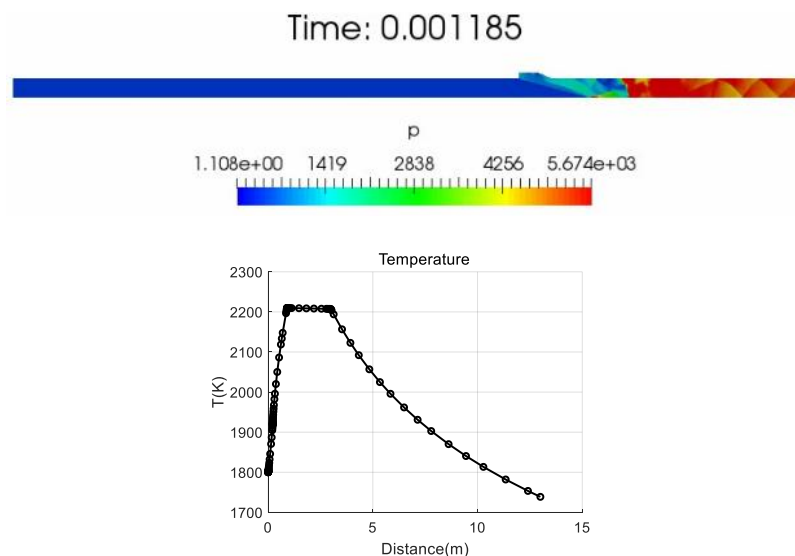
담당조교 : 남재현 (wogus@snu.ac.kr)

10-3. 스크램제트 흡입구/격리부 불시동 해석 및 연소기 Quasi 1-

D 해석

초음속 공기 흡입 추진기관인 스크램제트 엔진은 연소실에서 불안정한 연소로 인한 압력 상승이 흡입구로 전달되면 흡입구 불시동(Unstart)이 일어나게 된다. 스크램제트 내에서는 연료의 질량유량과 엔진의 입구 마하수 변화에 따라 경계층이 건널 수 있는 한계 압력을 넘어서게 되면 경계층 박리로 인해 격리부에서 다수의 충격파(shock train)이 발생하게 되며 불시동 현상이 일어나게 되면 스크램제트의 입구 밖으로 충격파가 밀려 나가는 현상이 발생한다. 이는 스크램제트의 비행에 큰 문제를 야기시키므로 주의 깊은 연구가 요구된다. 본 연구실에서는 오픈소스 기반의 전산유체역학 솔버인 OpenFOAM을 이용하여 불시동을 수치적으로 해석하는 연구를 진행하고 있으며 해석 결과는 아래 (a)와 같다.

스크램제트의 추진시스템의 최적 설계를 위해서는 엔진 제어가 필수적이며 급격히 변화하는 비행조건(고도, 속도)를 고려하여 안정적인 연소 상태를 유지할 수 있어야 한다. 스크램제트 연소기 내부 유동은 높은 마하수를 갖기 때문에 일반적인 연소상황에서 적용되는 연소 반응식을 사용할 경우 해석이 제대로 이루어지지 않는다. 따라서 빠른 연소가 일어나는 화학반응이 적용되어 해석이 진행되었으며 추진시스템 제어를 위한 스크램제트의 추력을 계산하기 위해서는 빠른 시간내에 압력과 온도, 속력이 계산이 되어야 하므로 근사 1차원 해석을 이용해 연소기를 단순화 시켜 계산이 진행되었다. 이에 대한 해석 결과는 아래 (b)와 같다.



(a) Scramjet shockwave propagation, (b) Scramjet combustor temperature plot

담당조교 : 양재훈 (paran6191@snu.ac.kr)

10-4. 다차원 연소/폭발 수치해석

오일러리안 기법 기반의 Hydrodynamic solver에서 사용하고 있는 레벨셋 기법은 물질의 내부와 외부 구분해주는 경계면을 부호거리 함수를 통해 설정해준다. 2차원 영역에서의 경계면은 함수 형태의 수식으로 설정가능하지만, 3차원 영역에서의 경계면은 2차원 영역에서 설정했던 방식으로 설정하는데 한계가 있다. 하여, Autocad 또는 Solidworks 등 3D-Computer Aided Design(CAD)를 이용하여 형상을 모델링한 후 Stereolithography(STL) file format으로 추출하여 3차원 형상의 경계면을 설정하는 알고리즘이 개발되었다. 이를 통해 본 연구에서는 복잡한 3차원 구조물을 계산영역 내에 구현하여 다양한 종류의 가연성 기체 연소 및 폭발현상에 대한 수치해석을 수행한다. 또한 FSI(Fluid Structure Interaction) 기법을 활용해 연소/폭발에 의한 유체와 고체의 거동에 대한 해석을 수행한다.

3차원의 대용량 계산의 부하를 최소화하기 위해 물리적 구배가 크거나 세밀한 분석이 필요한 부분에 격자를 세분화 시켜주는 Adaptive Mesh Refinement(AMR)과 병렬 계산을 통해 영역을 나누어 계산하는 Message Passing Interface(MPI)를 사용한다.

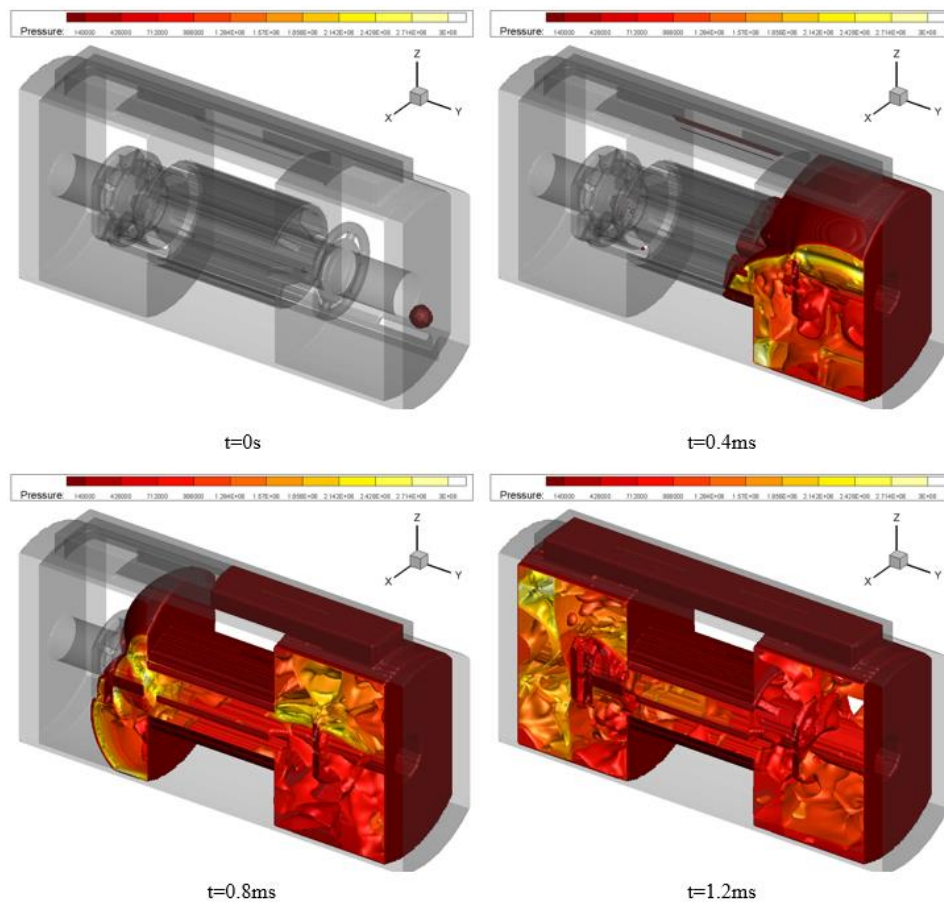


Fig 1. 3-Dimensional simulated pressure contours of acetylene-air mixture

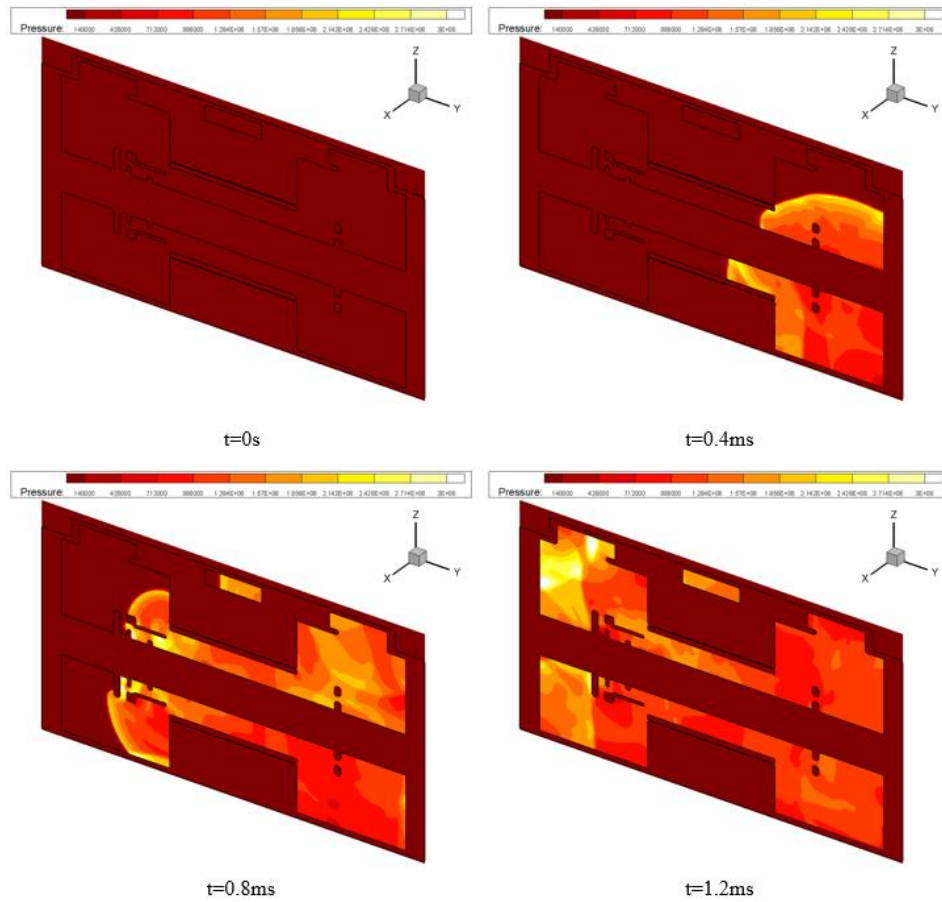


Fig 2. 2-Dimensional simulated pressure contours of acetylene-air mixture

학부생 선택 가능 논문 주제

10-4-1. 다양한 형상에서의 다차원 가연성 기체 화염 모사

담당조교: 조수영(201926776@snu.ac.kr)

10-5. [수치해석] 폭발 환경 소음에 관한 연구

고체 연료나 폭약이 폭발하게 되면 고온, 고압의 가스가 방출되고 이는 폭음을 동반한 폭풍파(Blast wave)로 이어져 환경 소음을 만들게 된다. 이는 사회적으로 문제가 큰 문제가 되기 때문에 소음에 대한 실험, 수치적 연구가 필요하다. 본 주제에서는 고에너지연구실에서 사용하는 하이드로코드를 통해 폭약의 반응에 따른 폭발 압력을 수치적으로 정확히 예측하고 이에 대한 소음 분석을 주로 다룬다. 폭풍파는 비교적 넓은 범위까지 전파되기 때문에 정확한 수치 분석을 위해 실제 지형을 계산 영역으로 불러와 포함시켰다. 국토지리정보원과 Google Earth로부터 고도에 대한 데이터를 추출한 뒤 AutoCAD를 이용하여 계산 영역에 실제 지형을 삽입하였다. 이를 통해 실제 지형에 의한 반사, 흡수되는 압력을 예측하고 압력 변화로부터 소음 정도를 파악한다.

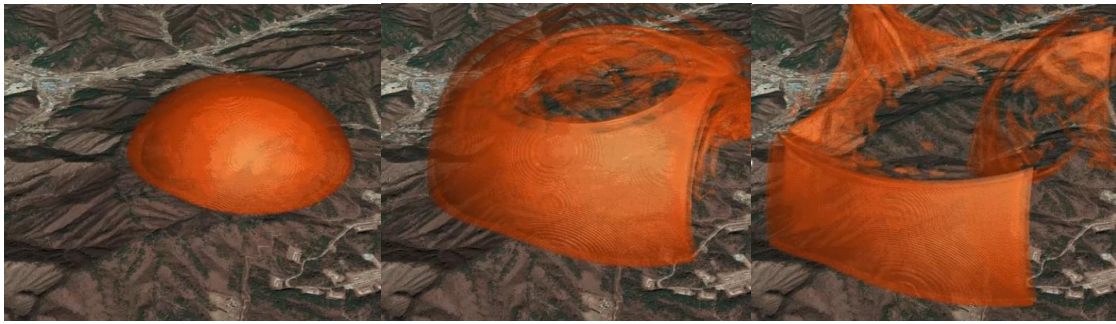


Fig 1. Pressure iso-contour result in terrain with Google Earth image

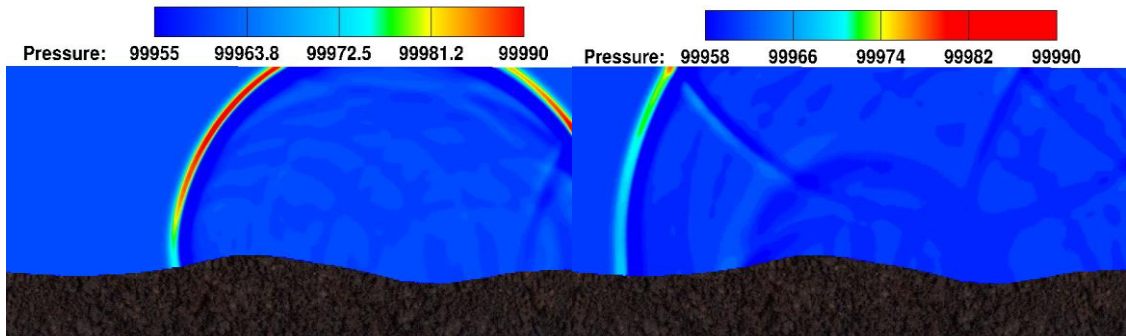


Fig 2. Pressure contour from explosion test site to measurement

학부생 선택 가능 논문 주제

10-5-1 Large scale domain 에서의 폭발 압력에 대한 소음 연구

담당조교 : 지준태 (chijt17@snu.ac.kr)

10-6. 열분석 실험을 바탕으로 한 축열재 시스템의 안정성 및 민감성 해석

고체 혹은 액체 상의 추진제, 화약 등과 같은 고에너지 물질의 정확한 전산 모사를 위해서는 기본적인 Navier-Stokes 지배 방정식에 더하여 정확한 형태의 화학반응 속도식이 구성방정식으로서 필요하다. 이에 대해 시차주사 열량계(Differential Scanning Calorimetry, 이하 DSC)를 통하여 구성된 화학반응 속도식을 사용한다. 이는 계산 코드상에서 계산 되는 화학종 변수가 1개로 유지되기 때문에 1-step 화학반응식의 높은 계산 효율을 가진다. 그리고 매 질량분율마다 변화하는 매우 구체적인 속도식 변수로 표현하기 때문에 높은 정확성을 동시에 획득할 수 있다.

본 주제에서는 DSC 실험을 바탕으로 한 축열재 시스템의 안전성 및 민감성 등의 특성을 파악하고 이를 전산코드에 적용하여 해석을 진행한다.

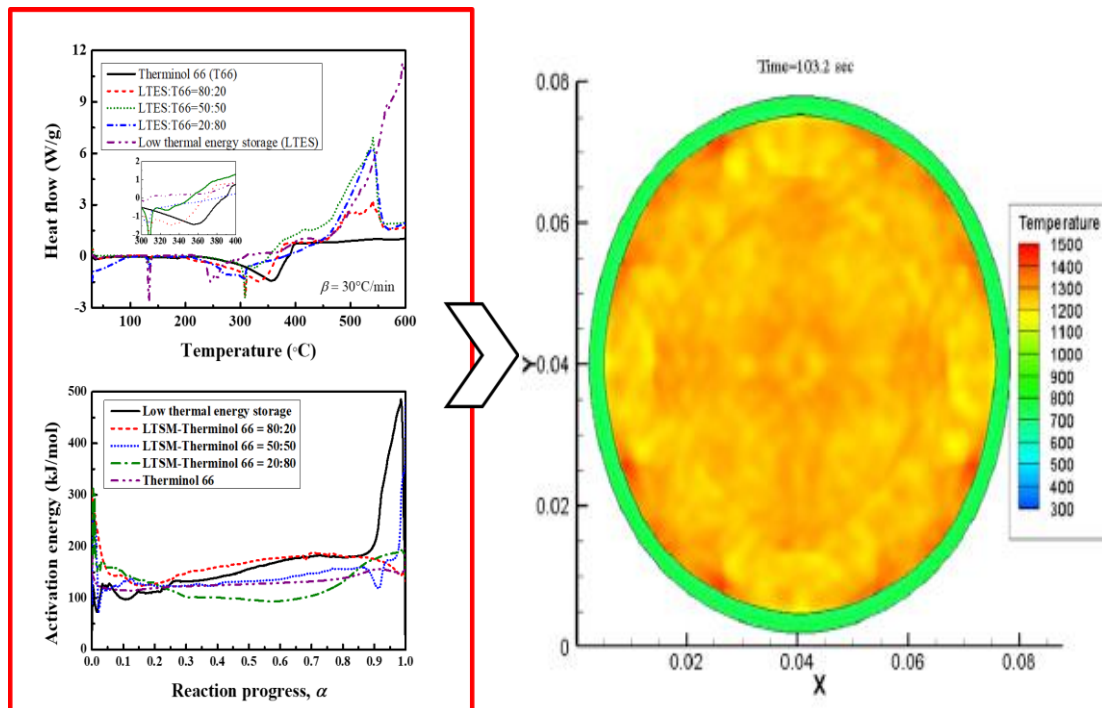


Fig. Illustration of thermal and aging analysis of the energetic materials.

학부생 선택 가능 논문 주제

10-6-1 DSC kinetics를 활용한 고에너지 물질의 연소 해석

담당조교 : 정해웅 (jjungs0616@snu.ac.kr)

10-7-1. [실험] Spark induced plasma spectroscopy (SIPS) for real-time analysis about fine dust and virus air propagation (양준호)

- Spark-induced plasma spectroscopy and new sensing device
 - SIPS utilizes an electrical discharge from a high voltage at a low current to produce plasma when the applied voltage is higher than the ambient voltage
 - This compact sensing device was used in combination with a new quantitative analytical method using Bandpass filter and photodiode
- Real-time monitoring of toxic components from fine dust and virus
 - In current study, the development of an innovative and effective technique for real-time, quantitative monitoring of toxic fine dust and virus using plasma emission spectroscopy is presented

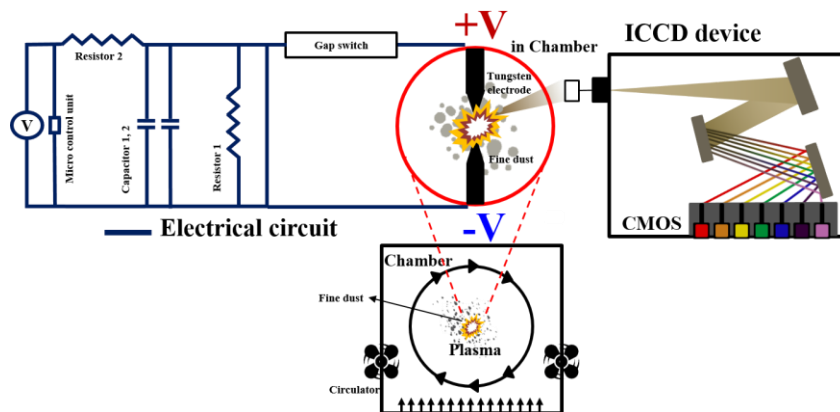


Fig. Schematic of experimental setup about SIPS

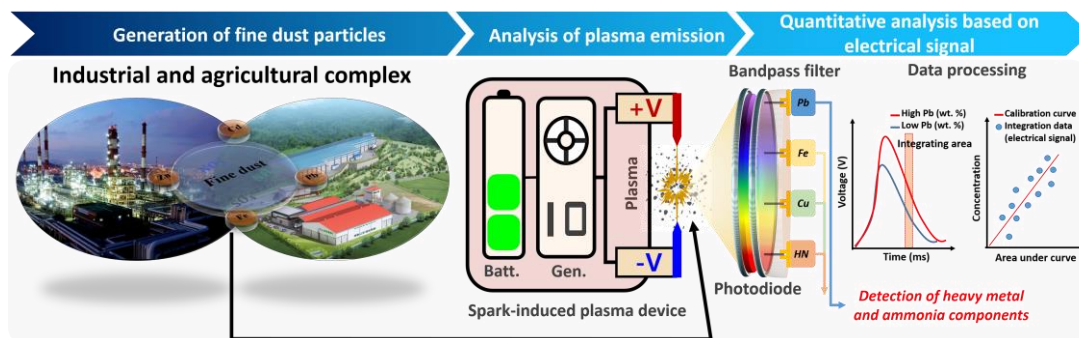


Fig. How to conduct real-time analysis using proposed sensing device

담당조교 : 양준호 (ykgkgk1002@snu.ac.kr)

10-7-2. [실험] Classification of the source of virus using spark-induced plasma spectroscopy combined with deep learning (Convolutional neural network) (양준호)

- Spark-induced plasma spectroscopy combined with deep learning
 - Recently, plasma spectroscopy coupled with supervised machine learning, partial least squares, and artificial neural networks has demonstrated great utilities for efficient classification of samples with similar chemical composition
 - This work presents a new attempt on the use of deep learning in identifying the source of viruses. To enhance the classification accuracy, a two-dimensional convolutional neural network (CNN) is trained to automatically classify the sources according to the plasma emission
- How to use CNN in plasma spectroscopy
 - The emission spectrum is transformed into black and white images and classified through the feature extraction
 - Moreover, the structure and parameters of the two-dimensional CNN model are optimized and determined to be the suitable for the classification
 - The performance of the proposed CNN method is shown to improve the results obtained via other learning methods such as support vector machine, partial least squares discriminant analysis, and artificial neural network

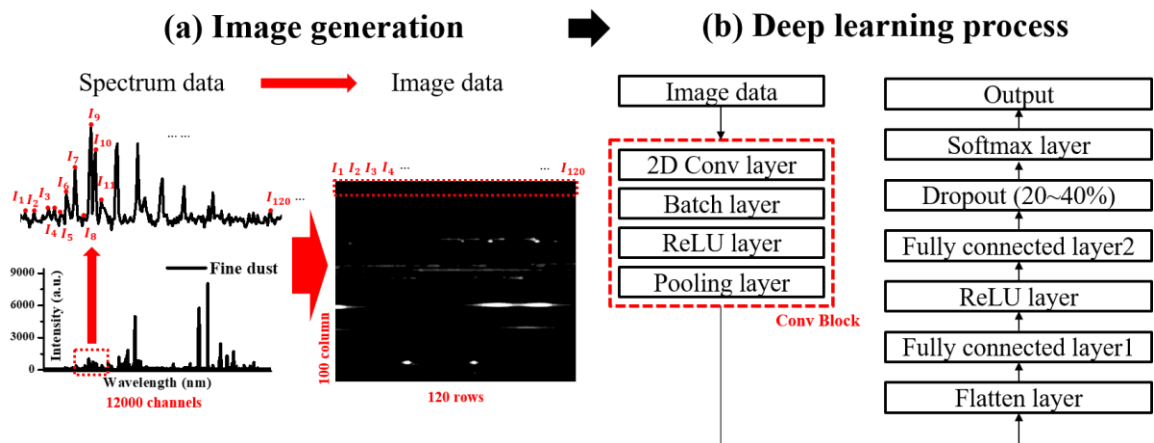


Fig. How to conduct real-time analysis using proposed sensing device

담당조교 : 양준호 (vkgkgk1002@snu.ac.kr)

10-8. [실험] An optimal configuration for spark-induced plasma spectroscopy for space exploration (정재현)

- Spark-induced plasma spectroscopy
 - SIPS utilizes an electric spark to induce a strong plasma for collecting atomic emissions
- An optimal configuration of SIPS
 - This study analyses the potential for using a compact plasma spectroscopic device instead of conventional laser-induced breakdown spectroscopy in utilization of space exploration, fine dust analysis, and virus detecting

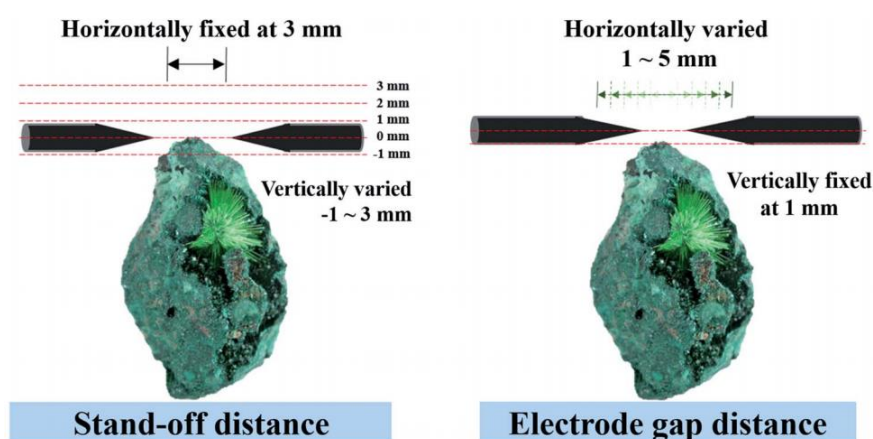


Fig. Schematic of experimental setup about optimal configuration



Fig. JAAS paper cover

담당조교 : 정재현 (Ishjihjjg@snu.ac.kr)

10-9. [실험] Dielectric Breakdown-induced Shockwave and Microjet (함휘찬)

- Mechanism
 - Dielectric breakdown by short pulsed voltage discharging.
 - Effective underwater streamer propagation by pre-existence of bubble catalysts.
- Shockwave treatment & Medicine injection
 - Application to extracorporeal shock wave lithotripsy
 - Hormonal medicine injection such as insulin, vaccine and antibiotics
 - Chlorhexidine injection to treat periodontal disease

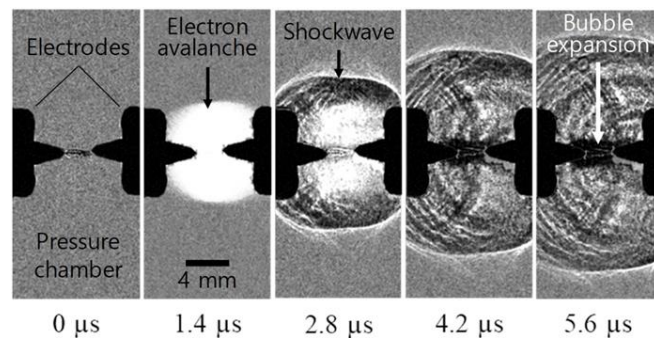


Fig. Pressure contours as per dielectric breakdown

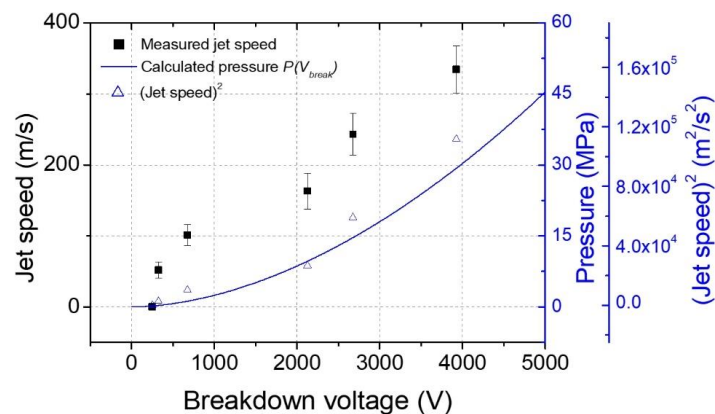


Fig. jet speed and pressure with respect to breakdown voltage

담당조교 : 함휘찬 (hamn2012@snu.ac.kr)

10-10. [실험] Thermal analysis of the energetic materials using

calorimetry based experiments (오주영)

- Thermal analysis for
 - Aged energetic materials (pyrotechnics, propellants, and explosives)
 - Thermal energy storage
- Identification of aging effects & extraction of reaction kinetics
 - Physical/chemical changes and thermodynamic characteristics
 - Variation in kinetic parameters (activation energy and pre-exponential factor)
 - Reaction analysis (endo- or exothermic reactions, peak temperature, etc.)

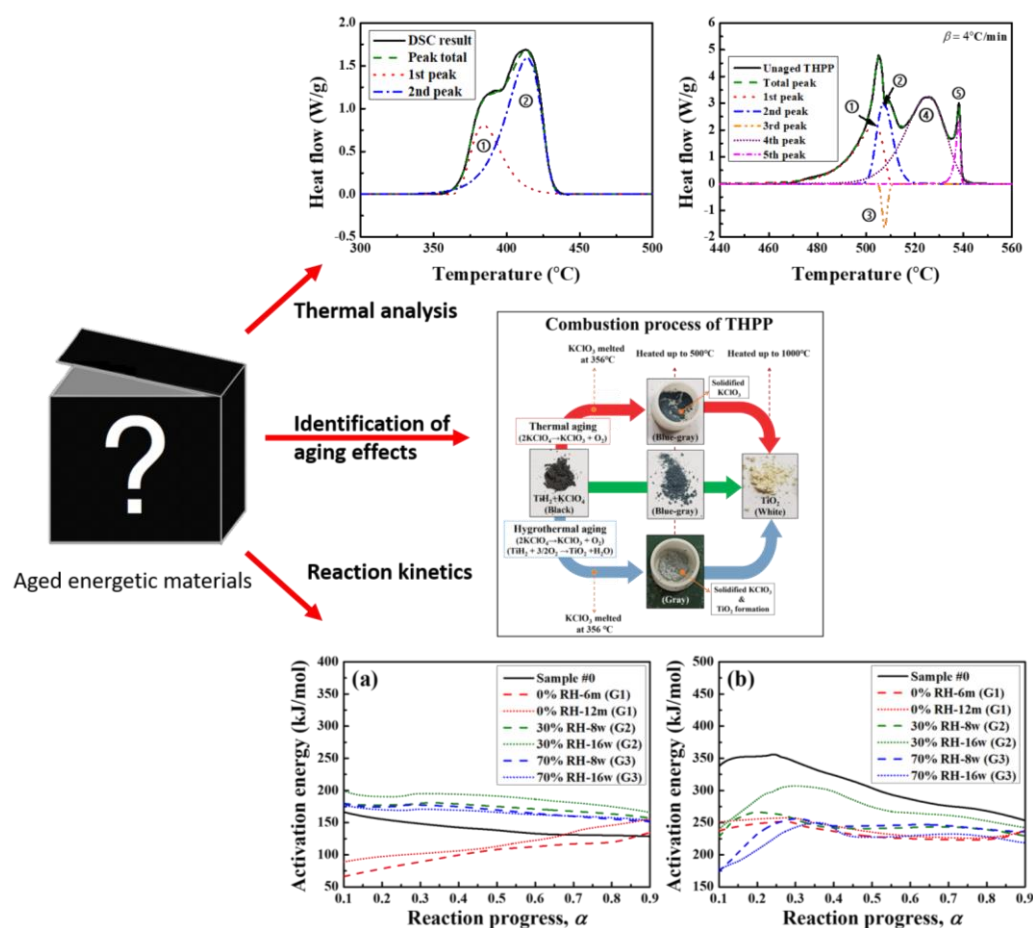


Fig. Illustration of thermal and aging analysis of the energetic materials.

담당조교 : 오주영 (5_ju0@snu.ac.kr)

10-11. [실험] Thermal analysis of the energetic materials using calorimetry based experiments (Gnanaprakash Kanagaraj)

Electrically controlled solid propellants (ECSP) are special class of propellants, which exhibit specific combustion characteristics that are uncommon with typical composite solid propellants. Most important features are to achieve ignition and undergo combustion only when sufficient electric power is supplied to this material, completely extinguish in the absence of external electrical source when the operating pressure is below a certain threshold, establish discreet impulse bits and multiple start/stop operations. This pyroelectric behaviour of these propellants entices a lot of potential propulsion applications in various fields and creates opportunities to vastly explore such unique energetic materials.

ECSPs utilization in propulsion device offer creative use in wide array of applications in various fields such as gas generator systems, on-demand variable throttle control devices, pulsed plasma thrusters, micro-propulsion systems, commercial space vehicles for satellite station keeping, mission/deorbit corrections, defence propulsion system's attitude controls, long duration spacecraft applications, long range solid rocket motors and launch vehicles.

In this laboratory, new propellant formulations would be developed that possess better efficiency, performance, ballistic properties, stability and safety. The influence of oxidizer and binder content on the pyroelectric/combustion behaviour of ESP and the inclusion of metal particles (Al) in ECSP formulations would be investigated. Flame sensitivity experiments evaluate the thermal response of the propellant to an external flame at atmospheric conditions. Electrochemical dependency tests provide quantitative measurements of voltage, current, and recession rates at the electrode as a

function of time at atmospheric conditions. An experimental arrangement will set up with identified electrodes to perform these tests under atmospheric conditions. For combustion tests under pressurized conditions, the windowed strand burner setup, available at our XEL laboratory, will be utilized. Further, the thermal characterization of these propellants using DSC/TGA would also be performed. Finally, the micro-thruster system would be designed and incorporated with ECSP to test for its performance in order to meet the requirements of space applications.

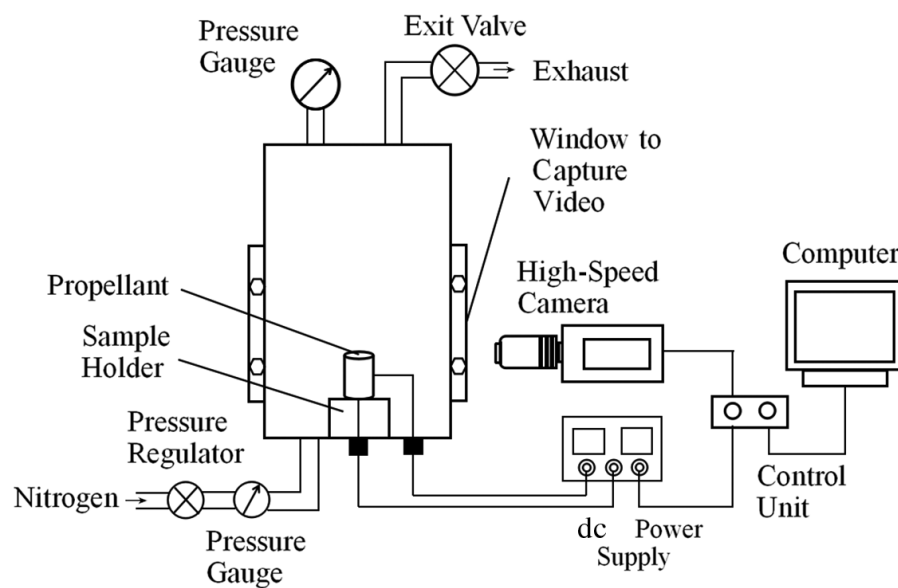


Fig. 1 Schematic of the experimental setup for combustion tests

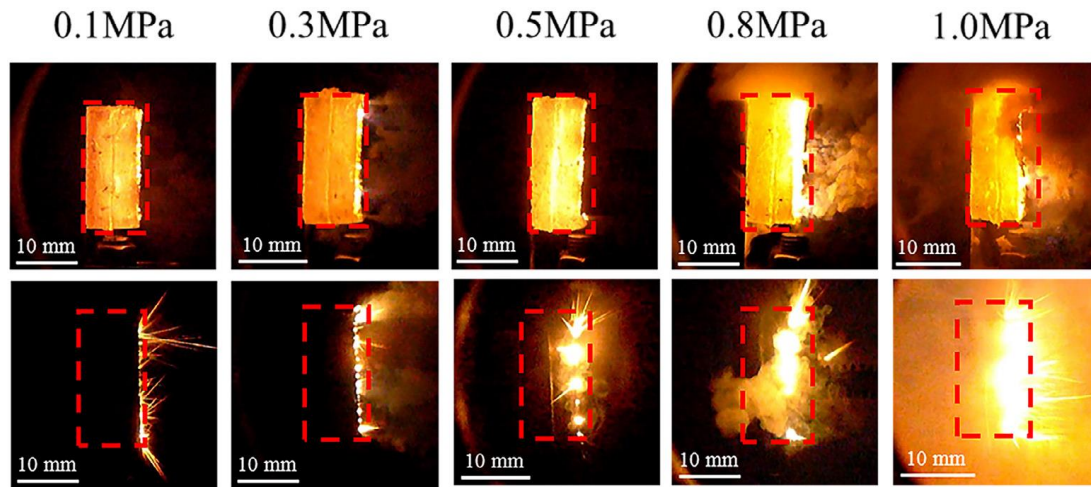


Fig. 2 ECSP burning inside a strand burner with 200 V DC supply at different pressures

담당조교 : Gnanaprajash Kanagaraj (gnanaprakashk@snu.ac.kr)