

14. 학사논문 지도교수: 정 인 석

14-1. 초소형인공위성 운영 시뮬레이션 연구

14-2. 큐브셋 서브시스템 연구 및 개발

14-3. 초소형인공위성 종합조립시험기법 연구

14-4. 초음속/극초음속 추진 기관 흡입구 유동 현상 연구

14-5. 초음속/극초음속 풍동을 이용한 실험기법 연구

14-6. 고속 유동장 내 충격파 등에 의한 aero-optics 연구

14-7. 고압 수소의 배관 내 누출에 의한 자연 발화 연구

14-8. 극초음속 풍동 고압 파열 격막 설계 기법 연구

실험실: 항공우주 연소·추진 연구실 (Aerospace Propulsion and Combustion Lab.)

연구실 홈페이지: <http://apcl.snu.ac.kr>

교수 연락처: (02) 880-7387, E-mail: enjis@snu.ac.kr

담당조교: 박지현 (02) 880-1905, E-mail: snug88@snu.ac.kr

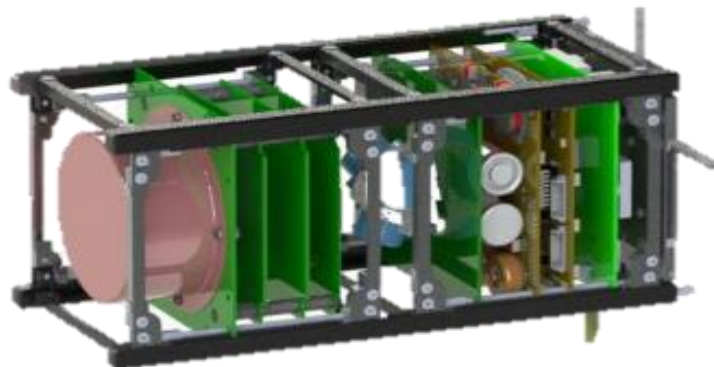
14-1. 초소형인공위성 운영 시뮬레이션 연구

규격화 초소형인공위성인 큐브셋은 짧은 개발 기간과 낮은 예산 덕분에 1999년 이후 관심이 급증되고 있다. 대학에서는 학생 교육 차원에서, 연구기관에서는 신기술 시험 플랫폼으로 시작되었지만 큐브셋 기술이 점차 발달하면서 기존 큐브셋의 한계를 뛰어넘기 시작하였다. 최근에는 큐브셋에 솔라 세일(Solar Sail) 또는 추력기를 장착하여 편대 비행, 우주파편 제거, 우주 탐사 등의 임무들이 설계되고 있다.

서울대학교에서는 QB50에 참여하면서 큐브셋 제작을 시작하게 된다. QB50이란 European Commission Seventh Framework Programme(EC FP7)으로 벨기에의 Von Karman Institute for Fluid Dynamics(VKI)에서 주관하는 국제 공동 프로젝트이다. 큐브셋 50개가 동시에 발사되어 하부 열권에서 장기간 탐사를 하여 시간/공간에 대한 데이터를 확보 후 지구 대기권 재진입 연구를 수행하게 된다. 이를 계기로 서울대학교는 본격적으로 큐브셋 연구를 시작하게 된다. 이 때, 시스템 요구사항 분석 또는 임무 설계를 위해 큐브셋 운영 시뮬레이션은 매우 중요한 역할을 하게 된다. 시스템 모사를 통해 예상 소비 전력, 궤도 모사를 통한 예상 생산 전력, 인공위성 수명 등을 제시 할 수 있다.

본 연구에서는 인공위성에 대한 기본 운동방정식 및 우주환경을 모델링하고 이를 응용하여 여러 운영 환경들에 대한 분석 방법들을 제시한다. 인공위성 운영 시뮬레이션에서는 기본적으로는 다음 방법들을 사용한다.

- 운동방정식: Cowell's Method/ Analytical Method
 - Universal Gravitation/Solar Radiation Pressure/Geopotential/Third Body/Atmospheric Drag/Tidal Force
- 대기 모델: Jacchia/ NRLMSISE-00
- 적분기: Runge-Kutta Method



담당조교: 박지현 (E-mail: snug88@snu.ac.kr)

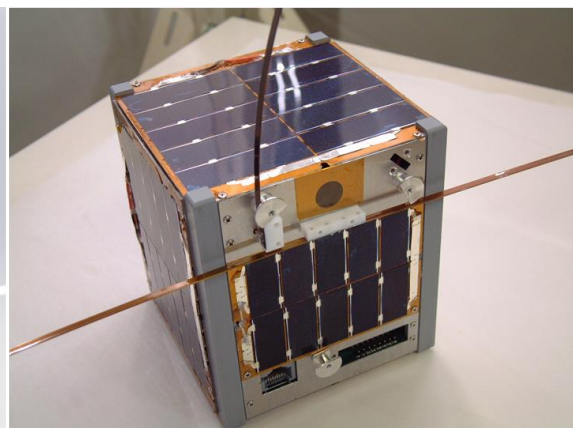
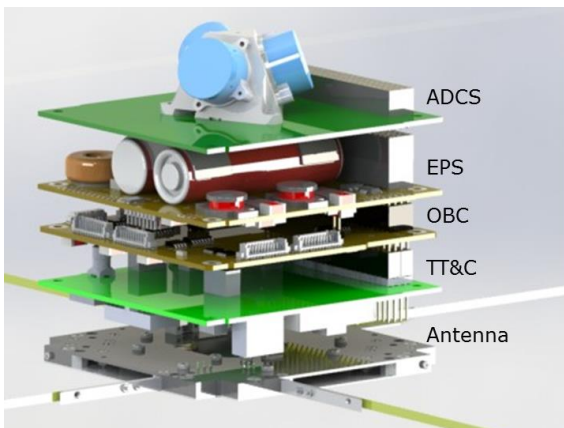
14-2. 큐브셋 서브시스템 연구 및 개발

큐브셋이란 규격화 초소형인공위성으로, 기본 1 Unit 큐브셋은 1000cm^3 , 1.33kg 이다. 서울대학교는 국제 협력 프로젝트인 QB50을 수행하며 본격적으로 2 Unit 큐브셋 연구 및 개발을 두 방법으로 접근 할 계획이다. 첫 번째 방법은 큐브셋을 구성하는 서브시스템들을 구입하여 알고리즘을 연구하는 것이며, 두 번째 방법은 하드웨어를 병행 연구하는 것이다. 서울대학교는 초소형인공위성 연구클러스터를 결성하여 한국항공우주연구원(KARI)에서 지원을 받으며 본 연구를 수행하고 있다.

하드웨어 쪽으로는 세계적 큐브셋 시장에 이미 Clyde-Space, Pumpkin, ISIS, GomSpace 등 대학 연구소에서 분리되어 나온 기업들이 여럿 진출했다. 필요한 경우 이런 기업들로부터 서브시스템들을 공급 받아 알고리즘만을 연구하여 사용할 수도 있지만, 장기적으로 교육적 차원 외에도 대학 내 대학간 임무 교류(자연대/의약학대 등), 산학연 협력 활성화, 신기술 주도 등 대학 큐브셋 개발 역량은 매우 중요한 역할을 한다.

본 연구에서 다음 중 한 서브시스템을 중점으로 서브시스템 요구사항, 서브시스템 호환성, 운영모드 및 운영알고리즘, 상용제품(Commercial Off The Shelf, COTS) 등을 연구 및 제작한다.

- Subsystem
 - Onboard Computer
 - Electrical Power System
 - Attitude Determination and Control System
 - Telemetry, Tracking and Command System
 - Antenna deployment system



담당조교: 박지현 (E-mail: snug88@snu.ac.kr)

14-3. 초소형인공위성 종합조립시험기법 연구

초소형인공위성은 개발 과정에서 종합조립시험(Assembly, Integration and Test)은 필수적이다. AIT에는 인공위성의 여러 구성품들의 조립과정뿐만 아니라 조립 후 구동시험 및 발사환경과 우주에서의 정상적인 운영을 시험하기 위한 시험절차들이 포함되어 있다. 하지만 너무 심한 정도의 시험은 인공위성의 고장 또는 개발 지연 등을 초래할 수 있으며, 초소형인공위성의 경우 상용인공위성에 비해 비교적 견고하기 때문에 초소형인공위성에 대한 종합조립시험기법을 따로 정립 할 필요가 있다.

본 연구에서는 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어에 대한 종합조립시험기법을 설계하고 이를 실제 2U 큐브위성 SNUSAT-1에 적용한다. 종합조립시험기법 설계는 시험 종류, 시험 정도, 시험 장치 등에 대한 연구를 포함하며 각 서브시스템 또는 시스템 시험방법인 SILS(Software-in-the-loop) 그리고 HILS(Hardware-in-the-loop) 시뮬레이션 개발이 포함되어 있다. 발사환경시험의 경우 초소형인공위성은 상용위성과 달리 deployer에 장착되어 발사되기 때문에 환경시험을 수행할 때 발사체측에서 제공하는 발사환경을 적용하여 시험을 하면 안 된다. 따라서 초소형인공위성이 발사 될 때 사용되는 deployer의 분석 또는 내부 초소형인공위성에 작용하는 힘을 분석 할 필요가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 학생이 선택적으로 초소형인공위성 발사환경에 대한 연구를 수행 하게 된다.

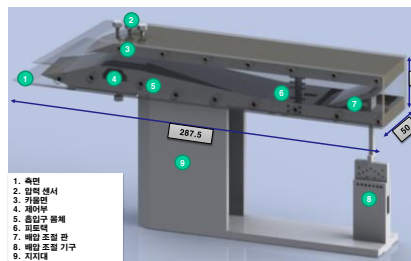


인공위성 환경시험 설비: shock test 설비(좌)와 진동시험 설비(우)

담당조교: 박지현 (E-mail: snug88@snu.ac.kr)

14-4. 초음속/극초음속 추진 기관 흡입구 유동 현상 연구

극초음속 비행체로 주목받고 있는 스크램제트 엔진의 실용적인 개발에는 극초음속 흡입구와 비행체 시동 시 문제가 되는 상대적으로 낮은 극초음속 영역($M=4$ 정도)에서의 초음속 흡입구의 설계가 매우 중요하다. 또한 현재 운용중인 대부분의 국방 무기체제가 초음속 또는 극초음속으로 비행하는데, 이러한 비행체의 성능에 공기 흡입구가 매우 큰 영향을 미치므로 고속 유동에서의 공기 흡입구의 작동 특성에 대한 연구는 필수적이다. 이러한 이유로 국내에서도 흡입구 연구는 국방과학연구소, 항우연과 같은 국가 연구소뿐 만 아니라 한국항공우주산업 등에서 차세대 전투기의 개발을 위해 수행되고 있다. 본 연구실은 수년간 초음속 흡입구에 관한 연구를 국방과학연구소 및 기타 연구기관과 함께 수행하고 있다.

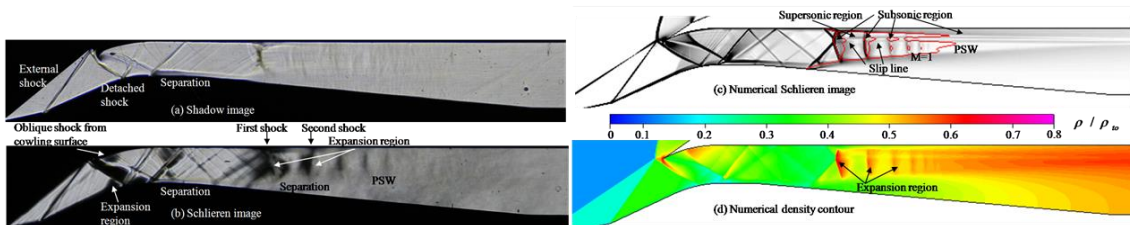


2차원 흡입구 실험 모델

초음속/극초음속 공기 흡입구는 극초음속 또는 초음속 유동의 공기를 감속/압축시켜 원하는 속도의 유동을 연소기로 공급하는 역할을 한다. 이러한 과정에서 추진 시스템이 높은 효율을 얻기 위해서는 가능한 작은 전압력 손실을 통해 공기를 감속시키는 것이 필수적이다.

흡입부를 통과한 공기는 초음속 확산부

를 거쳐 연소실로 유입되며 이 때 흡입 공기의 특성은 연소실 압력과 함께 엔진의 전반적인 성능에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 초음속/극초음속 공기 흡입구의 작동 특성 연구에 있어 비행 조건에 따른 엔진의 내부 유동 특성 및 성능에 대한 이해가 필수적으로 요구된다. 이에 본 연구에서는 고고도에서 높은 마하수로 운용되는 램제트/스크램제트 엔진을 대상으로 설계된 고속 흡입구 모델을 초음속 또는 극초음속 풍동을 이용하여 실험을 수행하거나 수치해석을 통해 흡입구 설계 및 유동 특성 파악 등 흡입구 전반에 걸쳐 연구를 수행하고 있다.



풍동 실험을 통한 웨도우/쉴리엔 이미지 수치해석을 통한 쉴리엔 및 밀도 분포 이미지
2차원형 초음속 흡입구 내부 유동 특성 연구

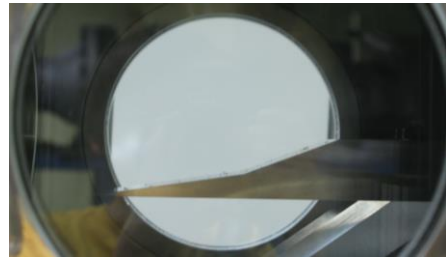
담당교: 박지현 (E-mail: snug88@snu.ac.kr)

14-5. 초음속/극초음속 풍동을 이용한 실험기법 연구

항공 우주 산업에 있어 각종 항공기 및 발사체의 개발은 비행시험에 앞서 수많은 지상시험을 통해 이루어지는데, 이때 가장 많이 이용되는 설비가 고속 풍동이다. 풍동은 고압의 공기를 노즐을 통해 팽창시킴으로써 원하는 유동 조건을 얻는 장치로 아음속, 초음속 및 극초음속 유동장을 연구하는데 사용되며 항공 분야뿐 아니라 자동차의 성능 향상 연구 등에 활용되고 있다. 흔히 풍동 실험은 실험 모델 주위에 존재하는 유동의 물성치를 얻고 다양한 실험 기법을 이용하여 유동의 정성적/정량적 특성을 얻는 것을 목적으로 하기 때문에, 항공에 관련한 공기역학적 특성 파악, 비행체의 기본 설계 및 성능 설계와 해석 등에 있어 가장 기본이 되는 매우 중요한 연구분야이다.

본 연구실에서는 마하 1.5~3.3의 초음속 풍동과 국내에서는 유일, 최대 크기의 마하 7의 극초음속 풍동을 보유하고 있다. 주로 공기 역학 및 압축성 유체 역학적 지식을 바탕으로 고속 유동의 공기역학적 특성뿐 아니라, 추진기관의 내/외부 유동 특성을 파악하는 것을 목적으로 하며, 연구주제 및 연구에 주로 이용되는 실험적 기법은 다음과 같다.

- 지상시험 설비(풍동) 성능향상을 위한 연구
- 고속 추진기관에 적용할 수 있는 고응답성 센서/앰프 개발 및 응용 연구
- 고응답성 압력/온도/열유속 측정 기법
- 유동 가시화 기법; 레이저 쉐리렌/쉐도우 이미지 기법, 오일 유동 기법
- 레이저 진단 기법; PLIF, LIF 기법을 이용한 연소장 가시화



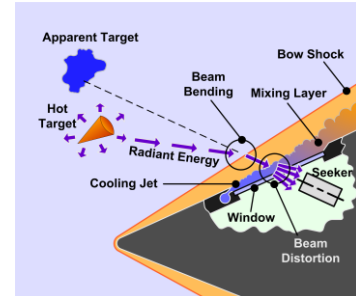
본 연구를 수행한 연구자에게는 고속 유동장에서 데이터 획득 방법과 다양한 가시화 기법을 이용한 연구 경험을 바탕으로 향후 연구소 등에서 관련 연구를 수행하는데 도움이 될 것으로 생각된다.



담당교표: 박지현 (E-mail: snug88@snu.ac.kr)

14-6. 고속 유동장 내 충격파 등에 의한 aero-optics 연구

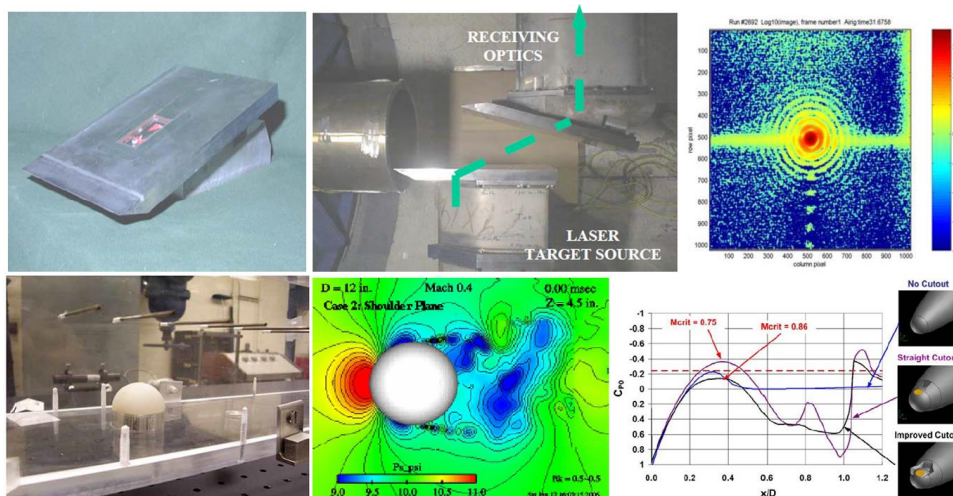
초음속/극초음속으로 비행하는 비행기체의 경우 충격파 및 난류 유동장 등에 의해 비행기체 내 광학기기의 측정이 어려워진다. 여러 유동 조건에서의 Shack-Hartmann Wavefront 센서 등의 계측 결과를 사용하여 이러한 광학기기의 제한적 사용을 보완하고자 하는 연구를 공기광학(aero-optics)이라 한다.



본 연구실에서는 레이저와 Shack-Hartmann Wavefront 센서를 사용하여 극초음속 유동에 대한 aero-optics를 연구한다. 본 연구를 수행하는 연구자는 shock tunnel을 이용한 공기광학 실험기법을 익힐 것이며, 구체적으로 다음 항목 중 한 가지를 선택하여 연구를 수행할 것이다.

- Shock tunnel을 활용한 공기광학 실험을 위한 장치 설계 및 예비 실험 수행
 - : Shack-Hartmann Wavefront 센서를 활용하는 공기광학 실험 장치 설계
 - : 대기 중 heated jet을 이용한 공기광학 예비 실험 수행
- Shock tunnel용 Contoured 노즐 설계 기법 연구
 - : MOC 및 경계층 보정 방법을 통한 노즐 설계 기법 분석

본 연구를 통해 연구자는 shock tunnel 실험, 절리렌 기법을 활용한 극초음속 유동 가시화, Nd:YAG 레이저 사용, Wavefront 센서 사용 등을 통해 극초음속 유동장 및 공기광학에 대한 이해도를 향상시킬 수 있을 것이다.



담당교표: 박지현 (E-mail: snug88@snu.ac.kr)

14-7. 고압 수소의 배관 내 누출에 의한 자연 발화 연구

수소는 무독성이며, 공기보다 가볍기 때문에 확산성이 뛰어나며, 이론적으로 대기 오염 물질이 전혀 배출되지 않기 때문에 최근 화석 연료의 고갈과 환경 문제로 인해 수소 에너지에 대한 관심이 증대되고 있다. 수소는 부피당 밀도가 매우 낮기 때문에 실사용을 위해서는 수소를 액화하여 저장하거나, 가압하여 저장하거나 혹은 화학적/물리적 방법으로 흡착하여 저장하는 방법을 사용해야 한다. 이 중 경제적으로 가장 실용적인 방법은 수소를 가압하여 고압 탱크에 저장하는 방법이다. 그러나 현재 가압을 하여 수소를 에너지원으로 사용하는데 난점은 고압 수소의 안전과 관련해서 알려진 것이 거의 없다는 것이다.

수소는 가연 범위 및 폭발 범위가 넓고 화염 전파 속도가 매우 빠르기 때문에 고압 수소의 자연 발화 및 폭발 현상을 규명하기 전에 고압 수소를 에너지원으로 사용한다는 것은 잠재적인 위험을 동반하는 일이다. 이러한 이유로 현재 세계 각국에서는 수소의 안전한 이용을 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 최근 연구에 따르면 고압 수소와 관련된 사고 중 90% 이상이 수소의 자연 발화 현상과 연관되어 있으며 이 중 60%는 아직까지 점화원이 밝혀지지 않은 것으로 조사되었다. 특히 고압 수소가 배관 시스템의 튜브 등을 통해 누출됨으로써 특별한 점화원 없이 자연 발화 또는 폭발 현상이 발생된 사고가 여러 차례 관찰되어 이에 대한 원인과 자연 발화 및 폭발 메커니즘을 규명하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이에 본 연구에서는 고압 수소의 안전한 사용을 위한 기초 연구로써 간략화된 배관 시스템 또는 튜브를 이용하여 수소를 누출시키고 자연 발화 현상을 관찰하고 그 메커니즘을 규명하고자 한다. 따라서 본 연구를 수행하는 연구자는 수소의 자연 발화 현상에 대한 이해도를 높이고 향후 수소 자동차와 같은 실제 제품의 개발을 위해 필요한 기초 지식을 확립할 수 있을 것으로 기대된다.



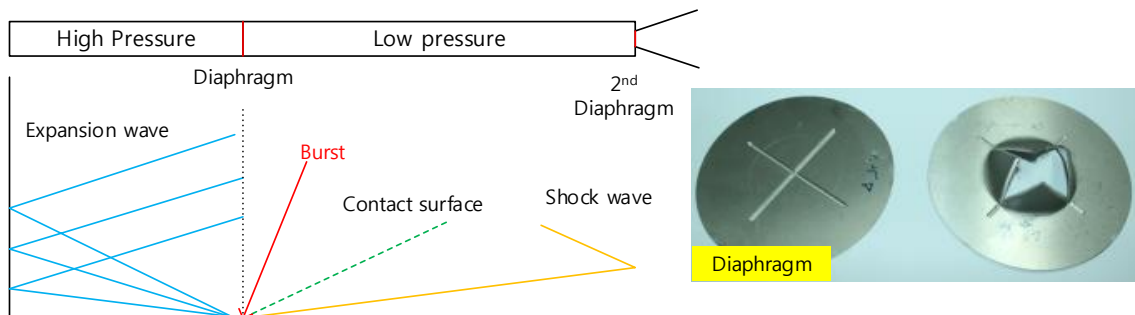
담당교표: 박지현 (E-mail: snug88@snu.ac.kr)

14-8. 극초음속 풍동 고압 파열 격막 설계 기법 연구

극초음속 풍동은 고압관과 저압관의 압력 차이를 통해 충격파를 생성하여 시험 기체를 가열 및 가압하는 고엔탈피 실험에 사용한다. 극초음속 풍동에서 충격파가 발생하기 위해서는 고압관과 저압관 사이의 경계가 순간적으로 제거되어야 하기 때문에 격막을 주로 이용한다. 격막은 다음의 조건을 만족해야 한다. 우선 시험부 유동의 조건이 고압관과 저압관의 압력비, 압력 등에 따라 달라지기 때문에 요구하는 압력에서 격막이 파열해야 한다. 또한 격막은 파열 순간 열리는 순간이 짧아야 하며, 파편이 튀어서는 안 된다.

격막으로 사용하는 재질은 다양하며 PET 필름, 금속 등을 이용한다. PET 필름은 사용이 간편하지만 재질이 약하다는 단점으로 사용에 한계가 있다. 특히 재질이 강하지 않기 때문에 고압에서 사용하기에는 불편해 고압 실험에서는 금속 재질의 격막을 주로 이용한다. 그러나 금속 격막은 표면에 홈을 가공해야 하며 격막의 두께, 홈의 모양, 홈의 깊이 등에 따라서 격막의 특성이 달라진다. 따라서 금속 격막 설계 방식에 따라 달라지는 파열 압력, 파열 형태 등을 분석하는 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 극초음속 풍동 운용 시 중요한 역할을 하는 격막을 제작하여 파열 압력 및 형태를 분석하는 연구를 수행한다. 특정 조건에서 격막이 파열하고, 순간적인 파열 및 격막 파편이 발생 하지 않도록 설계하는 기법을 연구한다. 이를 위해 소형 충격파관인 격막 시험 장치를 활용한다. 궁극적으로 설계한 금속 격막에 따라서 극초음속 풍동 운용 조건을 재단한다.



(좌) 극초음속 풍동 $x-t$ 선도; (우) 금속 격막

담당교표: 이상윤 (E-mail: maesyl0226@snu.ac.kr)