

2. 학사논문 지도교수: 김 규 홍

2-1. 우주선 열차폐 구조물(TPS) 해석 연구

2-2. 우주 추진용 전기 추력기(Arc jet/MPD) 해석 연구

2-3. 튜브 운송장치 공력 해석 연구

2-4. 고속열차 팬터그래프 팬헤드의 형상최적화 연구

2-5. 화염(Plume)을 포함한 초음속 로켓 기저부의 비평형 유동해석

2-6. 차량 내부 및 외부 공력 해석 연구

실험실: 극초음속 및 희박 유동 실험실 Hypersonic and Rarefied flow research lab.

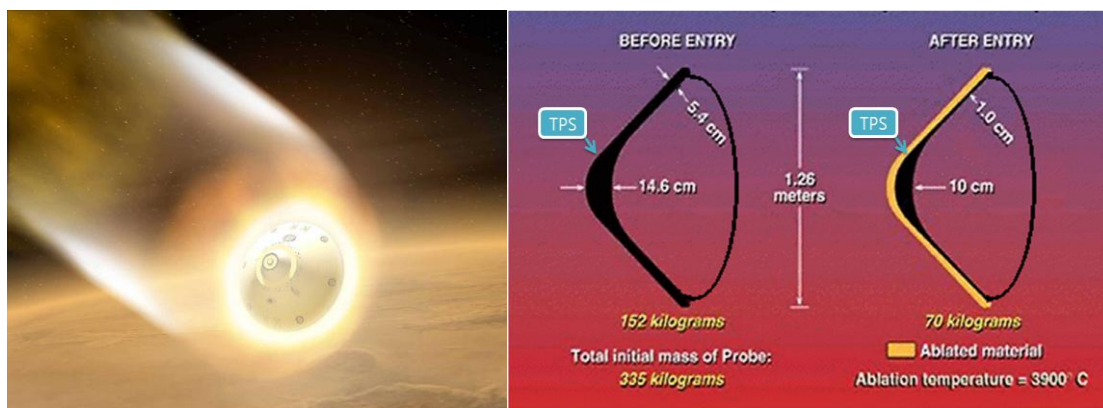
연구실 홈페이지: <http://hypersonic.snu.ac.kr>

교수 연락처: (02) 880-8920, E-mail: aerocfd1@snu.ac.kr

담당조교: 노성준 (02) 880-8920, E-mail: dykmis@snu.ac.kr

2-1. 우주선 열차폐 구조물(TPS) 해석 연구

2011년 은퇴한 NASA의 우주왕복선과 같은 재사용 우주비행체나 행성탐사선은 지구 재돌입이나 행성 대기권 진입시 극초음속 비행에 의한 공력가열 현상으로 10,000K 이상의 고온 유동에 노출된다. 이와 같은 극고온의 환경으로부터 비행체를 보호하기 위해서는 열차폐 구조물(Thermal Protection System)과 같은 열제어를 위한 구조물이 필수적이다. 일반적으로 TPS는 비행체 전방에서 내부로의 열전달량을 최소화하기 위하여 방사율이 크고 열전도율이 낮은 소재로 만들어지며, 열전달량이 극심할 경우 구조물의 열분해 및 삭마현상을 통하여 열을 흡수함으로써 비행체를 고온환경으로부터 보호한다. 이러한 TPS는 비행사 및 비행체의 안전 및 우주탐사 미션의 성패를 결정하는 중요한 구조물로서, 이를 설계하기 위해서는 비행체로의 열전달량 및 TPS 삭마량의 정확한 예측 능력이 확보되어야만 한다. TPS 구조물은 전체 비행체 질량 중 큰 비중을 차지하므로 비행체의 안전이 확보되는 범위 내에서 두께 및 형상을 최적화해야 하며, 이는 비행체 주위의 고온 유동장 해석(CFD) 능력과 표면 삭마량의 정확한 모사 능력이 요구된다. 본 연구에서는 비평형 유동 해석 코드를 이용하여 극초음속 유동의 특성을 이해하고 나아가 TPS 삭마현상에 대한 기초적인 경계조건 모델링을 통하여 극고온 유동 환경에서 열보호재의 삭마 현상을 알아 본다.



재진입 우주선 주위의 극고온 환경과 Galileo의 TPS

2-2. 우주 추진용 전기 추력기(Arc jet/MPD) 해석 연구

현재 대부분의 우주비행체들은 주로 화학 연료를 사용하여 추진을 한다. 기존의 화학식 추진기는 추진력(Thrust)이 높아 우주 비행체가 대기권을 탈출하는데 효율적이지만 우주에 나가서 혹은 장거리 우주여행에는 효율적이지 못하다. 그 이유는 연료가 큰 공간을 차지하고 있고, 비추력(Specific Impulse)이 낮기 때문이다. 반면 전기 추력기는 화학연료 대신에 전기를 이용하여 추진력을 발생시킨다. 전기 추진기의 추진력은 화학연료를 이용한 것보다 낮지만 비추력이 높기 때문에, 우주에서 비행체의 자세제어, 궤도수정 및 장거리 우주 탐사 등에 이용된다. 우리나라도 위성의 추진기를 비롯하여 우주 탐사 등에 운용될 추진장치를 개발하기 위해서는 반드시 전기 추력기에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 대표적인 전기 추력기로 아크젯과 MPD 추력기를 예로 들 수 있다. 이 장치들은 내부에 플라스마라고 불리는 극고온 상태의 유동이 존재한다. 이러한 플라스마 유동을 정확히 연구하기 위해서는 전자기유체역학(MHD)에 대한 이해가 필수적이고 이를 해석할 수 있어야 한다. 전자기 유체역학의 방정식은 일반적으로 우리가 유동을 해석할 때 이용하는 Navier-Stokes 방정식을 기반으로 하며, Maxwell 방정식이 결합된 방정식을 다룬다. 또한 로렌츠 힘, Joule 가열, 복사, 난류, 화학반응 등의 복잡한 현상이 융합된 유동현상을 다루게 된다. 본 연구에서는 MHD방정식을 기반으로 전기 추력기의 일종인 아크젯 추력기나 MPD 추력기에 대한 기초적인 전산해석을 수행하고 전기 추력기의 특성을 이해하여 본다.

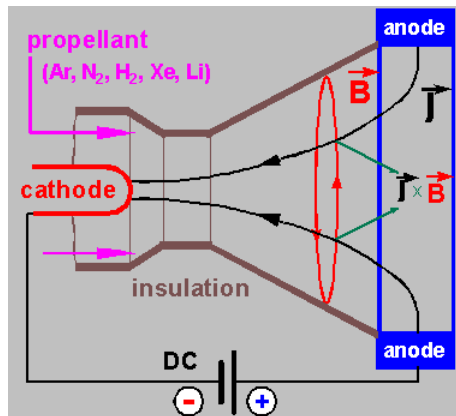


그림. 전기추력장치인 MPD추력기의 개략도

2-3. 튜브 운송장치 공력해석 연구

튜브 운송장치는 진공 터널(튜브)을 뚫어서 대기압의 1/10~1/100 수준의 아진공 상태를 만들어 그 내부로 자기부상 열차가 운행하는 Door to Door 방식의 고속 운송 시스템이다. 튜브 내부에서 고속의 운동을 하는 만큼 주행저항, 튜브내부압력, 막힘비율, 운행속도 등이 반드시 고려해야 할 중요한 변수가 된다. 따라서 설계 과정에서부터 형상 별, 설계 변수 별 공력해석을 요하게 된다.

본 연구에서는 내부 유동 및 초음속 유동의 이해를 기반으로 세계 각국의 튜브 운송장치의 제원 및 관련 연구 내용을 조사하고, 이를 토대로 다음과 같은 연구 중 하나를 선택하여 진행하게 된다. 첫 번째는 튜브 운송장치의 고려해야 할 설계 변수 및 공력특성 등을 평가할 계획이다. 또한 본 연구실에서 보유하고 있는 해석 코드 혹은 상용 프로그램을 이용하여 본 시스템의 효율 및 유동을 향상시키기 위한 최적 설계 방안에 대하여 연구를 수행할 것이다. 두 번째는 튜브 운송체 전체 시스템의 공력특성을 해석할 계획이다. 수십 킬로미터에 해당하는 초대형 시스템을 단순화하여 각 서브 시스템간의 공력 영향을 분석하는 것으로, 이러한 해석을 위하여는 1차원-3차원 혹은 1차원-2차원 Hybrid Mesh 기법 및 Moving Mesh 기법 등을 사용하게 된다. 세 번째는 초고속으로 운행하는 운송체의 주행저항을 줄이기 위하여 유동을 제어하는 연구를 수행 할 것이다. 이러한 유동제어는 주로 객차간 그리고 차량 후방부에서 수행된다. 본 연구에서는 이러한 다양한 공력해석들을 토대로 튜브 운송장치에 대한 기초적인 이해 및 학습을 목표로 하고 있다.

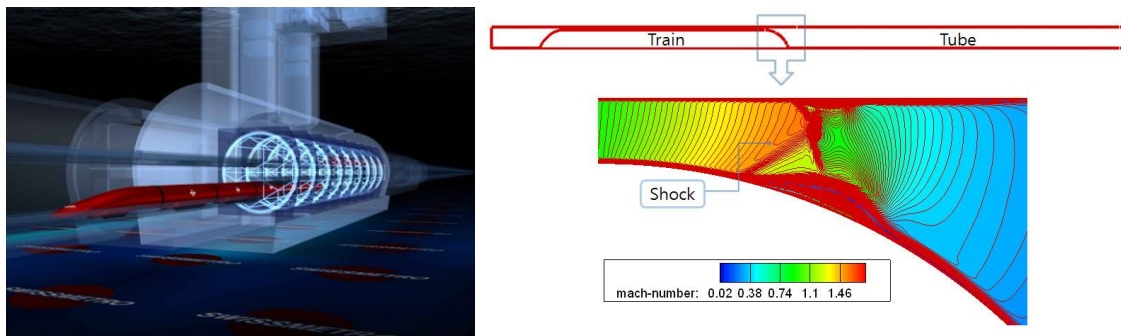


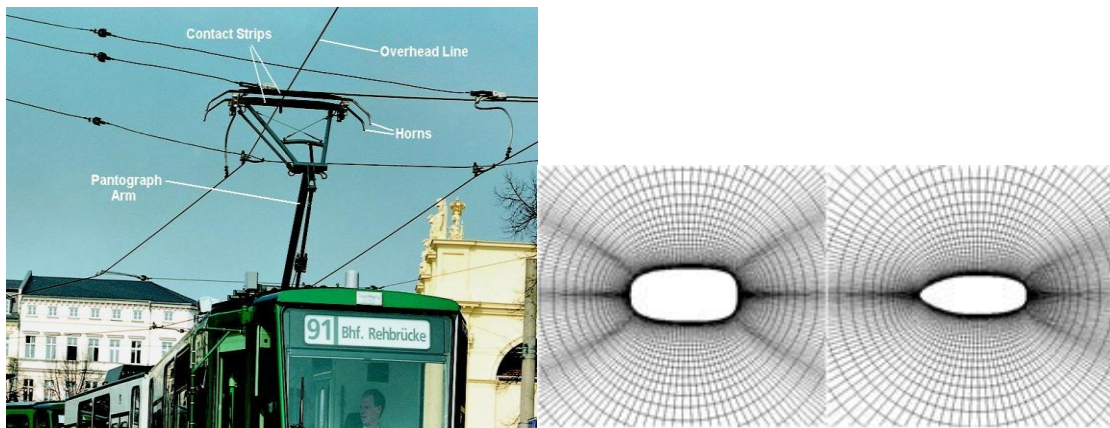
그림. 튜브 운송장치의 개념도 및 초음속 조건의 공력해석결과

2-4. 고속열차 팬터그래프 팬헤드의 형상최적화 연구

팬터그래프는 전동차의 지붕 위에 위치하며 높이가 조절되는 금속프레임 모양의 구조물로써 크게 열차 위쪽의 전선에 직접 닿아 전류를 전달하는 팬헤드와 링크 지지대 및 전기 절연체로 구성되어 있다.

최근 들어 열차가 더욱 고속화 고성능화 됨에 따라 이러한 팬터그래프 시스템이 고속열차의 성능을 제한하는 매우 중요한 요소의 하나로 부각되고 있다. 열차가 고속으로 주행하게 되면 팬헤드 압상력 증가로 인한 전선의 과도한 마모, 외부 풍환경에 대한 민감성 증가, 공력소음 발생 등과 같은 여러 가지 문제가 팬터그래프 시스템에서 발생하게 된다. 따라서 열차가 고속으로 주행할 경우 동력전달성능은 공기역학적 특성에 매우 민감하게 영향을 받게 되며 특히 팬헤드와 그것에 연결된 혼이 전체 시스템의 공력소음 및 공기역학적 특성을 결정짓는 매우 중요한 부분이 된다.

본 연구에서는 전산유체역학 해석과 최적화 기법을 이용하여 이러한 팬터그래프의 팬헤드 단면 형상을 최적설계 하도록 한다. 형상최적화를 통해 팬터그래프시스템은 적절한 압상력을 얻을 수 있고 항력과 공력소음을 최소화된다. 본 연구를 통해 고속열차 팬터그래프 시스템의 이해 및 최적설계과정을 학습하도록 한다.

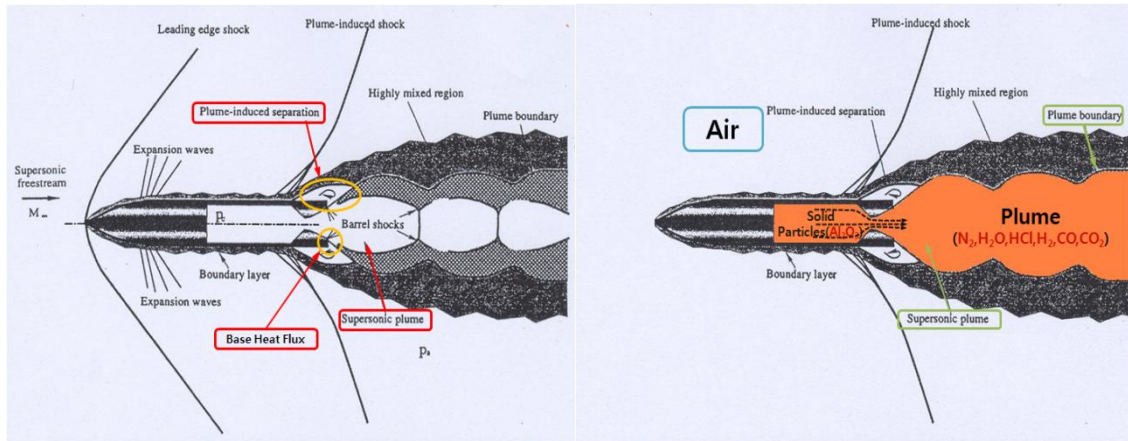


담당조교: 이상아 (E-mail: scirus26@snu.ac.kr)

2-5. 화염(Plume)을 포함한 초음속 로켓 기저부의 비평형 유동해석

위성을 궤도에 올리기 위해 사용되는 대형 로켓이나 고속 발사체는 원하는 추력을 얻기 위해 높은 에너지를 필요로 한다. 높은 에너지를 견디기 위해서는 열에 잘 견디는 노즐 재료에 대한 연구와 더불어 노즐의 효율적인 냉각에 대한 연구가 필요하며, 이를 위해서는 노즐 기저 및 근처에 대한 정확한 열전달량의 예측이 필수적이다. 아래 그림에서 볼 수 있듯이 초음속으로 비행하는 로켓 형상 주변에는 복잡한 유동 현상이 발생한다. 우선 전두부에서 궁형 충격파(bow shock)가 발생하고 동체 전방에서 발생하기 시작한 경계층이 기저부에서 플룸의 영향으로 표면에서 박리된다. 박리가 일어나면 재순환 영역이 발생하게 되고 이곳에서 열전달량이 급격하게 증가한다. 이러한 열전달량의 정확한 예측을 위해 외기와 플룸의 정확한 모델링이 필요하다.

로켓 주변 유동장에는 공기를 매질로 하는 로켓 동체 주변의 외부 유동과 추진기관에서 발생하는 연소 가스에 의한 노즐 내부와 플룸 영역에서의 다양한 화학종이 공존한다. 그러므로 외기와 플룸의 정확한 모델링을 위해서는 이 화학종들 간의 반응을 고려해야 한다. 본 연구에서는 플룸을 구성하고 있는 화학종들을 계산에 적용하고 상호간의 화학 반응을 고려하여 비평형 유동해석을 수행하도록 한다. 이를 통하여 비평형 유동장에 대한 기본적인 이해를 하여 본다.



2-6. 차량 내부 및 외부 공력 해석 연구

녹색성장이라는 새로운 패러다임의 탄생으로 선진국들은 자동차에서 발생하는 CO₂ 규제를 통해 기술장벽을 구축하고 있으며, 이에 따라 자동차 CO₂ 배출량에 대한 세계 각국의 규제가 심화되고 있다. 실제로 미국은 지난해 연비 규제안을 제정, 2016년까지 평균 연비를 현재 10.5km/ℓ보다 대폭 상향된 15.1km/ℓ를 충족시키도록 하였고, 유럽에서는 2012년부터 신규승용차의 경우 평균 130g/km의 이산화탄소 배출한계치를 준수해야 하며, 2020년부터는 95g/km로 강화된다.

이러한 기술장벽은 자동차 수출국인 우리나라에게 커다란 기술적 위협으로 다가오고 있다. 따라서, 세계 각국의 규제를 통과할 수 있는 성능을 보유한 자동차 설계가 필요한 실정이다. 이러한 추세에 맞추어 연비 고효율화의 필수적인 차량 항력 감소를 목표로 한 연구가 진행 중이다. 차량에서 발생하는 항력은 차량 형상에 의해 발생하는 형상 항력(58%)과 엔진룸 내부에서 발생하는 냉각항력(12%)이 많은 부분을 차지한다. 따라서, CO₂ 배출량 저감과 연비 고효율화를 위해서는 이 부분에 개선이 필요하다.

본 연구에서는 자동차 형상에 따른 내, 외부 공력 현상의 해석을 수행하고, 항력 발생에 주된 영향을 미치는 설계 변수를 선정하게 된다. 또한 공력해석 결과를 바탕으로 유동을 최적화 할 수 있는 단순한 형상변경 및 설계를 하게 되며, 필요에 따라서는 유동제어 장치를 고안하여 적용 및 공력해석을 진행하게 된다.

이상과 같은 연구를 통해 차량 유동에 대한 전반적인 이해를 높이고, 공력 저항 저감을 위한 차량 설계 및 새로운 방안 제시에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

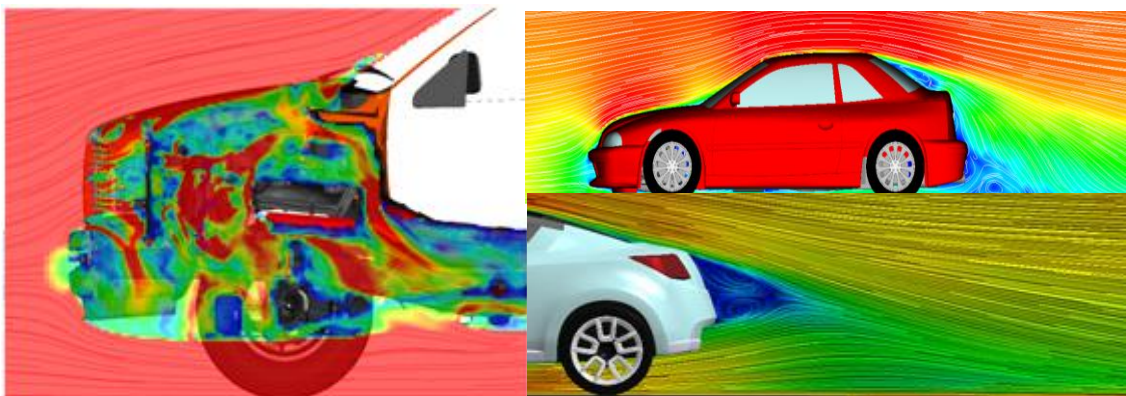


그림. 차량 내, 외부 유동 해석 결과