

2. 학사논문 지도교수: 김 규 홍

- 2-1. 지구 재돌입 비행체 열방어 시스템(TPS) 성능 해석 연구
- 2-2. 스크램제트 열공력 및 열구조 해석 연구
- 2-3. 무격자 수치기법 개발 연구
- 2-4. 고엔탈피 풍동(High-Enthalpy Wind Tunnel) 해석 및 설계 연구
- 2-5. 초고압 가스 차단기(High-Voltage Gas Circuit Breaker) 해석 연구
- 2-6. 플라즈마 액추에이터를 이용한 유동 제어 연구
- 2-7. 고속열차용 더블헤드 타입 팬터그래프 팬헤드 단면의 형상 최적화 연구
- 2-8. 차량 공력 장치의 형상 매개변수 연구

실험실: 극초음속 유동 연구실 Hypersonic and Rarefied flow lab.

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

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

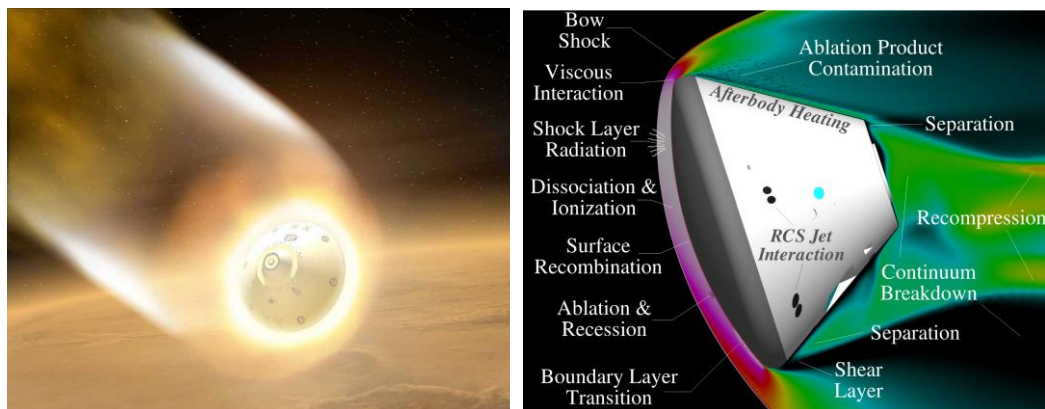
담당조교: 백진솔 (02) 880-8920, E-mail: hypersoniclab@gmail.com

2-1. 지구 재돌입 비행체 열방어 시스템(TPS) 성능 해석 연구

현재 우리나라는 우주 개발을 위한 제반 연구를 수행하고 있으며, 한국형발사체 개발 완료를 앞두고 있다. 그와 더불어 한국형발사체에 탑재되어 우주 미션을 수행한 후 결과 샘플을 확보하기 위해 지구로 무사히 귀환할 수 있는 우주비행기나 재돌입 캡슐에 대한 개발 연구 또한 활발해지고 있다.

우주비행기나 재돌입 캡슐, 행성탐사선 등은 지구 재돌입이나 행성 대기권 진입 시 극초음속 비행에 의한 공력 가열 현상으로 인해 수천 K 이상의 고온 유동에 노출된다. 이와 같은 극고온 환경으로부터 비행체를 보호하기 위한 열방어 시스템(TPS, Thermal Protection System)은 비행사 및 비행체의 안전 및 우주탐사 미션의 성패를 결정하는 중요한 구조물이다. TPS는 우주왕복선 전체 무게의 15~20%, 재돌입 캡슐 전체 무게의 30~40% 정도를 차지하며, TPS 중량 감량은 발사 비용 절감 및 탑재 중량 증가 등으로 이어진다. 그러므로 TPS 설계 단계에서 정확한 열차폐 성능 해석을 통해 비행체의 안전이 확보되는 범위 내에서 두께 및 형상을 최적화하며 무게를 최소화하는 효율적인 설계가 요구된다. 이를 위해 비행체로의 열전달량 및 TPS 고온 거동의 정확한 예측 능력이 확보되어야만 한다.

본 연구는 극초음속 유동의 특성과 TPS에 대한 기초적인 이해를 목적으로 한다. 지구 재돌입 물체의 형상 및 미션에 따른 지구 재돌입 궤적 도출, 화학적 비평형 유동 해석을 통한 지구 재돌입 비행체 주위 고온 유동장 및 공력 가열 해석, 해당 고온 환경에서의 열보호재의 고온 거동 해석 등으로 이어지는 TPS 성능 해석의 전반적인 과정에 대해 학습한다.



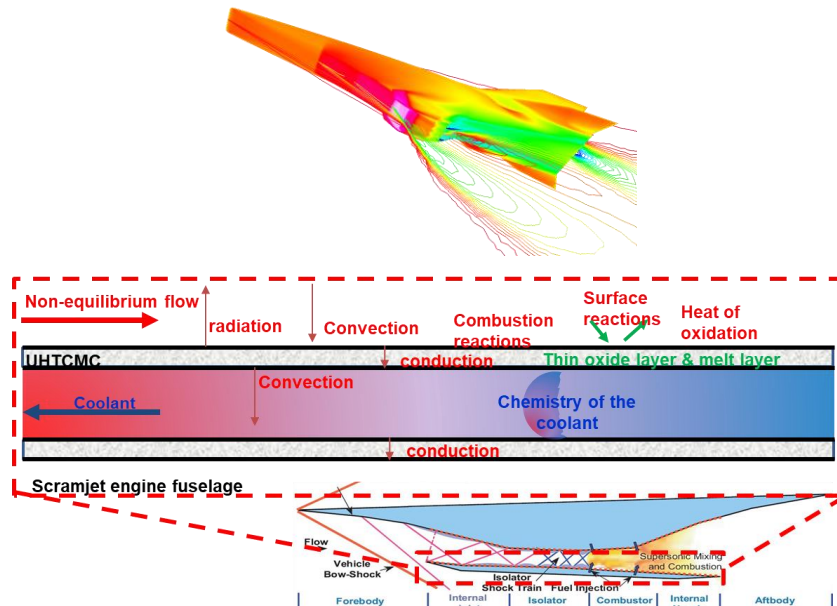
재진입 우주선 주위의 극고온 환경 모사도 및 극초음속 유동 현상

2-2. 스크램제트 열공력 및 열구조 해석 연구

스크램제트를 사용하는 극초음속 추진기관의 비행체에는 충격파 등에 의한 공기역학적 현상으로 고온, 고속의 유동장이 발생하며, 특히 곡률이 매우 작은 앞전 날개에서 큰 열적 부하를 겪는다. 또한 연소 반응이 발생하는 연소실은 초음속 난류 유동장에 의해 극심한 열적 환경에 노출되며, 연소실 내의 높은 압력뿐만 아니라 충격파와 경계층의 상호작용으로 인해 국소적으로 열이 집중되는 지점이 생긴다.

이와 같은 이유로 스크램제트의 운용환경으로부터 기관을 보호하기 위해 내열 소재는 압력에 강해야하며 높은 온도에서도 버틸 수 있는 소재로 구성되어야한다. 또한 적절한 냉각 능력이 구비되지 않으면 구조 재료의 녹는점이 넘거나, 극심한 열응력이 발생하여 구조물이 파괴될 가능성이 있으므로 냉각시스템 또한 필수적이다. 따라서 정확한 열공력 및 열구조 해석과 이를 기반으로 한 냉각 및 내열 설계, 성능 해석은 스크램제트 추진기관 구현에 필수적이다.

본 연구는 스크램제트 내외부 유동의 특성, 고속 추진시스템의 냉각 및 내열 방법에 대한 이해를 목적으로 한다. 극초음속 환경의 화학적 비평형 유동과 비행체 표면의 비평형 화학 반응에 대하여 학습하고, 스크램제트의 열공력 및 표면 열전달 해석 연구를 수행한다. 그리고 스크램제트 및 로켓 엔진 등에 이용되는 냉각 및 내열 방법의 종류와 각 특성을 파악하고 각각의 적용 방안에 대하여 학습한다.

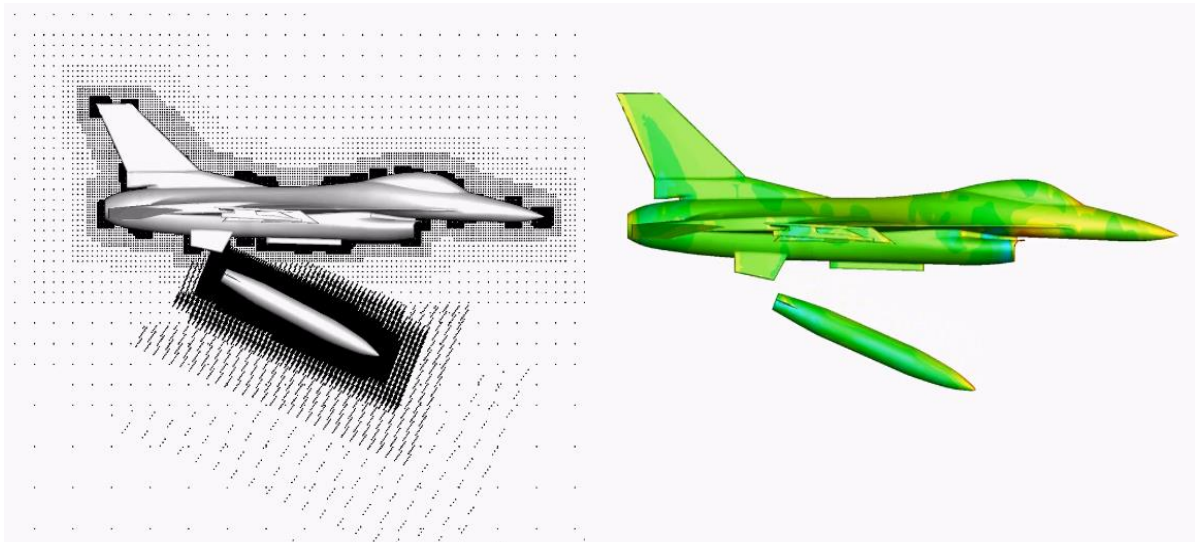


스크램제트 내외부의 고온 유동 현상과 냉각 및 내열 개념도

담당교표: 한다빈 (E-mail:hdb0621@snu.ac.kr)

2-3. 무격자 수치기법 개발 연구

유체 역학의 지배 방정식인 네비어-스톡스 방정식은 비선형 쌍곡 편미분 방정식으로 일 반해를 구하는 것이 어렵기 때문에 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용하여 수치해를 구해야 한다. 컴퓨터의 성능이 점점 향상됨에 따라 다차원의 비정상 유 동과 같은 복잡한 유동 해석까지도 가능하게 되었다. 그러나 현재까지 주로 사용 되고 있는 유한체적법을 기반으로 하는 수치 기법들은 복잡한 유동 해석 시, 격자 생성 등의 계산준비 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 그러나 무격자 해석 기법은 격자를 필요로 하지 않고 절점 데이터만을 이용하는 특성으로 인해 격자를 생성하는 번거로움이 없고, 격자생성을 위 한 전처리 작업이 필요 없기 때문에 복잡한 형상에서도 빠르게 수치 해석을 할 수 있다. 특 히 불규칙한 절점에 있어서도 강건하 게 수치해석을 수행하며, 움직이는 절점에 대응하는 적응성도 좋다는 장점이 있다. 반면 충 격과 전후 유동에서 수치적 불안정성이 생기는 문제 를 무격자 해석 기술에서 해결하는 연구 는 아직 미흡한 부분이 많은데, 본 연구에서는 충 격파를 포함하는 압축성 유동에서도 빠르면서 안정적이고 높은 정확도를 가지는 무격자 수 치기법을 개발을 목표로 하고 있다.



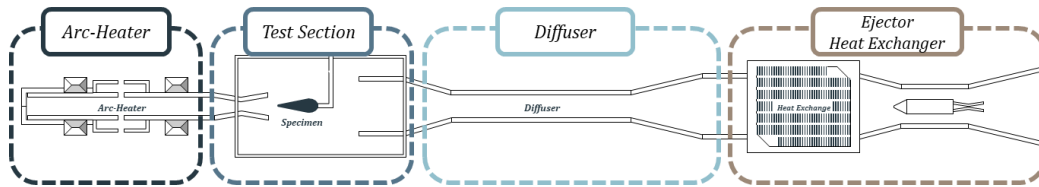
<무격자 기법을 통한 무장 분리 시뮬레이션>

담당조교: 이재상 (E-mail: jsrhee@snu.ac.kr)

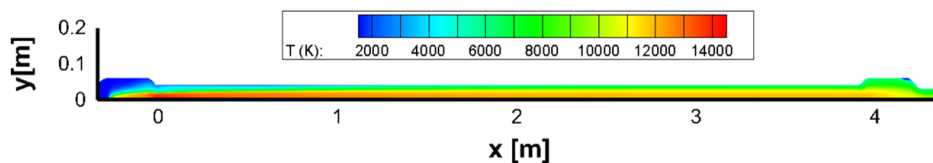
2-4. 고엔탈피 풍동(High-Enthalpy Wind Tunnel) 해석

및 설계 연구

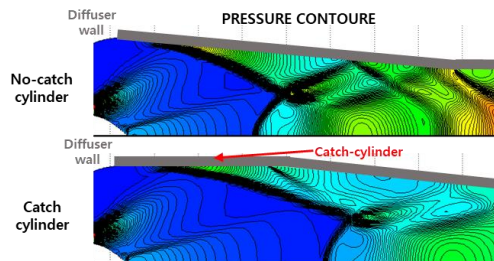
고엔탈피 풍동은 플라즈마 발생장치(아크히터), 노즐, 시험부, 압력회복장치(디퓨저, 열 교환기, 진공펌프)로 구성되어 초고속으로 대기권을 비행 또는 진입하는 비행체가 경험하는 고엔탈피 환경을 모사하는 실험 장치이다. 고온, 고속의 유동 환경에서 비행체의 공력가열 또는 구조물의 삭마 실험을 수행, 초음속/극초음속 비행체 및 다양한 분야의 내열소재 개발 연구와 열차폐 구조물(TPS) 설계 연구를 할 수 있다. 그러나 풍동 실험만을 이용한 연구는 제한적인 실험 조건, 높은 실험 비용, 공력 가열 및 삭마에 영향을 미치는 변수 측정의 어려움 등의 한계가 존재한다. 따라서 비행체 구조물 및 내열 소재에 대한 정확도 높은 연구를 위해서는 전산유체해석을 이용하여 실험의 한계를 보완하는 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 아크히터 해석을 위한 전기장, 복사 모델이 포함된 평형 플라즈마 해석 프로그램, 노즐, 시험부, 압력 회복 장치를 해석 하기 위한 평형/비평형 유동 해석 프로그램 및 유동-삭마 해석 프로그램을 이용하여 고엔탈피 풍동의 주요 구성요소에 대한 유동 구조 및 특성을 파악한다. 또한 해석을 바탕으로 안정적인 풍동 운용을 위한 요구조건을 만족하는 고엔탈피 풍동 설계 연구를 수행한다.



고엔탈피 풍동



아크히터 해석 결과(온도)



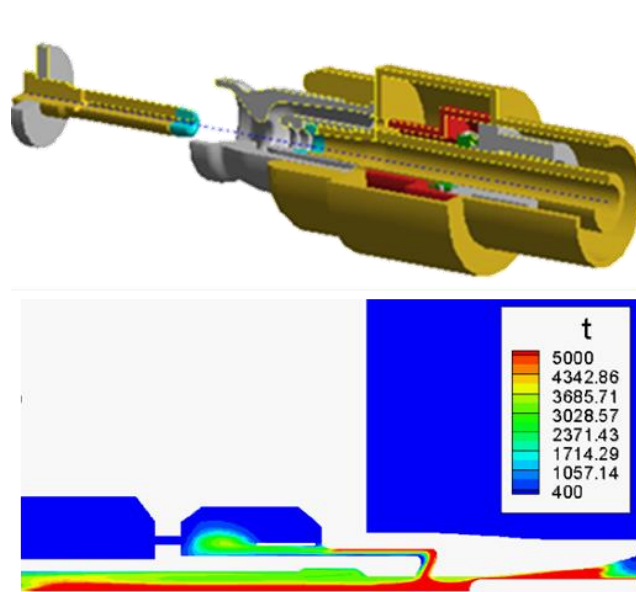
디퓨저 입구 해석 결과(압력) 및 Catch Cone 형상 설계

담당조교: 백진솔 (E-mail:solsol3909@snu.ac.kr)

2-5. 초고압 가스 차단기(High-Voltage Gas Circuit Breaker)

해석 연구

가스 차단기는 비정상적인 회로 조건에서 절연 기체를 이용하여 전류를 차단하는 기계장치로, 초고압 가스 차단기는 약 72,000 V 이상의 고전압까지 차단이 가능하다. 가스 차단기는 내부의 양 전극의 개극과 동시에 방전으로 인하여 발생한 고온 아크 플라즈마를 소호하여 전극 사이의 전류를 차단한다. 아크 플라즈마의 소호는 압축실에서 압축된 저온의 절연 기체를 이용하며, 고온 난류 현상, 전기장 해석, 복사 열 전달 등의 물리 현상이 복합적으로 발생한다. 차단 성공 여부의 판단을 위해서는 실제 차단기의 차단 실험 수행, 전산 유체 해석을 이용한 차단기 내부 유동 분석 연구 등의 방법이 존재한다. 그러나 실제 차단 실험의 경우 경제적, 시간적으로 비용이 많이 들며 플라즈마 온도 등 변수 계측의 부정확성이 높다. 따라서 비교적 적은 비용으로 차단기의 설계 변수 변경이 가능하고 차단 성공 여부를 판단할 수 있는 전산 유체 해석을 이용한 차단기 연구가 필수적이다. 본 연구에서는 고온 플라즈마에 의한 전기장 및 복사 열전달 모델을 포함한 유동 해석 프로그램을 이용하여 초고압 가스 차단기 내부의 유동 해석을 수행, 유동 구조를 분석한다.



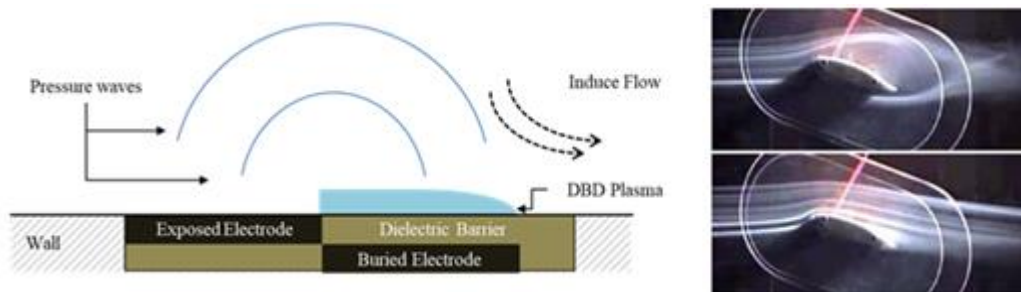
가스 차단기 형상 및 해석 결과(온도)

2-6. 플라즈마 액추에이터를 이용한 유동 제어 연구

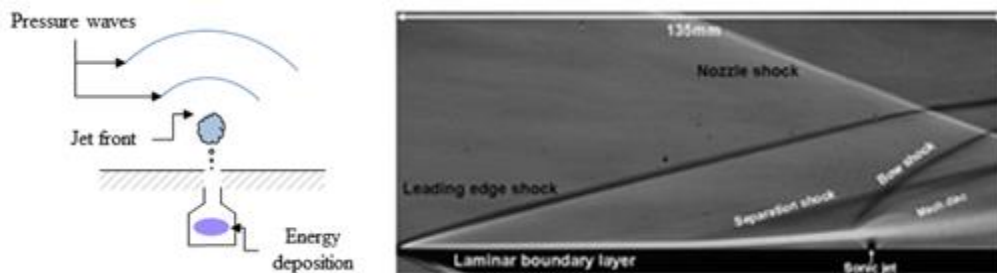
유동 제어 장치는 항공기의 형상에 큰 변화 없이 항력 감소, 양력 증가, 소음 감소, 유동 박리 억제, 조종면 대체 등 공력 성능을 향상시킬 수 있는 이점 때문에 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 능동 유동 제어 장치는 비행 환경에 따른 제어가 가능하기 때문에 수동 유동 제어 장치 보다 활용성이 우수하다. 그 중 플라즈마 액추에이터(plasma actuator)는 비행체 벽면 매립이 가능하기 때문에 고마하수에서 공력가열과 항력에 대한 장점을 지니며, 기계적인 움직임이 없기 때문에 응답 속도 또한 빠르다. 대표적인 플라즈마 액추에이터로는 DBD 플라즈마 액추에이터와 스파크제트 액추에이터가 있다.

DBD 플라즈마 액추에이터는 비행체 표면에 DBD 플라즈마를 발생시켜 유동에 줄가열 에너지와 전기력에 의한 로렌츠 힘을 전달하여 유동을 제어한다. DBD 플라즈마는 비평형 플라즈마이기 때문에 전기장 해석을 통해 플라즈마의 화학반응을 모사해서 유동에 영향을 주는 줄가열 에너지와 전기력 계산이 필요하다. 스파크제트 액추에이터는 비행체 표면 아래 캐비티에서 아크 플라즈마를 발생시켜 외부 유동으로 분출되는 제트 모멘텀과 압력파를 이용해 유동을 제어한다. 아크 플라즈마는 평형 플라즈마이기 때문에 평형 유동 물성치를 고려한 해석이 필요하다.

두 플라즈마 액추에이터의 실질적인 적용은 아직 한계가 있는 실정으로, 액추에이터의 성능 향상에 미치는 인자들 간의 관계를 규명하고 실질적인 활용 연구를 수행한다.



<DBD 플라즈마 액추에이터 개략도와 유동 박리 제어 예시>



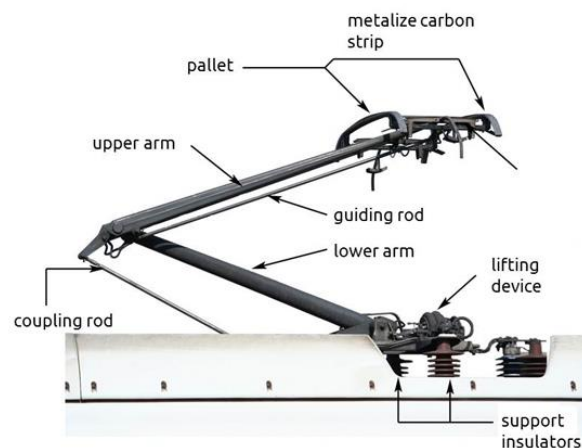
<스파크제트 액추에이터 개략도와 초음속 유동 교란 예시 >

담당교표: 남한솔 (E-mail : ska3213@snu.ac.kr)

2-7. 고속열차용 더블헤드 타입 팬터그래프 팬헤드 단면의 형상최적화 연구

열차용 팬터그래프는 열차의 상단에 설치되어 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 유선형의 열차 형상에서 돌출된 형태인 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. 또한 팬헤드의 단면 형상으로 인한 전체 열차 시스템의 공력항력 증가 및 공력소음 증가 요인이 된다.

본 연구에서는 전산유체역학 해석과 최적화 기법을 이용하여 이러한 팬터그래프의 팬헤드 단면 형상을 최적설계 하도록 한다. 연구에 사용되는 팬터그래프는 그림과 같은 더블헤드 타입이며 자유류방향의 전방과 후방의 단면형상을 각각 따로 최적화를 수행하여 최적설계를 수행한다. 형상최적화를 통해 팬터그래프의 공력저항과 공력소음을 최소화하며 양력 변동성을 최소화한다. 본 연구를 통해 고속열차 팬터그래프 시스템의 이해 및 최적설계과정을 학습하도록 한다.



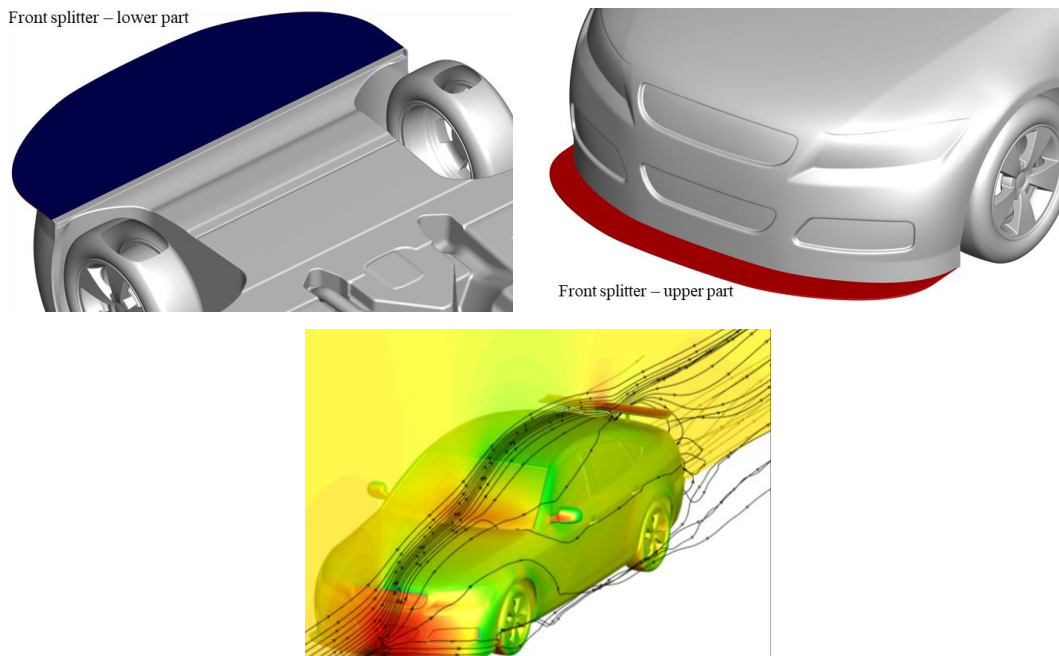
<더블헤드타입 팬터그래프 구조도>

담당조교: 정성민 (E-mail: jungsm0710@snu.ac.kr)

2-8. 차량 공력 장치의 형상 매개변수 연구

차량이 주행 중에 발생하는 공기역학적 항력과 다운포스는 주행 성능에 직접적인 영향을 미친다. 120 km/h로 주행 중인 차량의 경우, 공기 저항은 전체 저항의 약 40%를 차지하고 있으며 주행 속도가 증가할수록 이는 더욱 커지게 된다. 항력이 감소되면 차량의 가속 성능과 최고 속도를 개선하는 효과가 있으며 또한 주행 연비를 개선할 수 있다. C_D 0.3 전후를 갖는 차량의 항력이 10% 감소하면 연비의 약 2%가 향상되는 것으로 알려져 있다. 녹색성장이라는 새로운 패러다임의 탄생으로 인해 세계 CO_2 배출량 규제가 엄격해짐에 따라 연비에 대한 관심이 증가하였고 이 규제를 통과하기 위하여 항력을 감소시키기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 차량의 다운포스와 전방 들림 피칭 모멘트는 주행 안정성 개선과 밀접한 관련이 있으며, 주로 고성능차와 모터스포츠용 차량을 개발할 때 고속 직선, 곡선 주행을 위해 필수적으로 고려하는 요소이다. BMW, Benz, AUDI, Volkswagen과 같은 자동차 제조 업체에서는 자체적인 고성능차 라인업을 갖추고 있으며 일반적인 양산차를 베이스로 공력 성능을 높이기 위한 공력 장치를 개발 및 적용하고 있다.

본 연구에서는 일반적인 패스트백 차량의 공력 장치의 설계를 수행한다. 차량에 공력 장치를 적용하여 전산유체해석을 수행하고 양력과 항력 발생에 주된 영향을 미치는 설계 변수를 선정한다. 선정한 설계 변수에 대한 매개변수 연구를 수행하고 변수에 따른 차량의 양, 항력의 경향성을 확인한다. 이와 같은 연구를 통해 차량 유동에 대한 전반적인 이해를 높이고 공력 성능을 향상시키기 위한 공력 장치의 설계 및 새로운 방안을 제시한다.



<차량 공력 장치의 설계 및 전산해석 결과>

담당조교: 최원석 (E-mail : choiws421@gmail.com)