

자동차 개발에서의 유체공학 응용

이 글에서는 자동차 개발에 있어서 다양한 유체공학의 응용분야에 대해 실험적·해석적 접근방법에 대해 살펴보고자 한다.

자 동차 개발에 있어 유체 공학은 다양한 분야에 응용되고 있다. 주행 중에 받는 공기저항을 줄여 연비를 향상시키고 양력과 축력을 줄여 고속주행의 안정성을 확보하는 것이 대표적인 유체공학의 응용분야라 하겠다. 또한 바람소리 저감을 위한 고속주행 시 차체의 강성확보라든지 선루프의 효율적인 설계를 위해서는 유동정보가 필수적이다. 효율적인 엔진냉각성능 확보와 엔진룸 내의 주요 파트의 열해 문제를 해결하기 위해서는 엔진룸 내로 유입되는 공기의 흐름을 최적화시키고 엔진룸 내의 유동정보 확보가 필요한데 이를

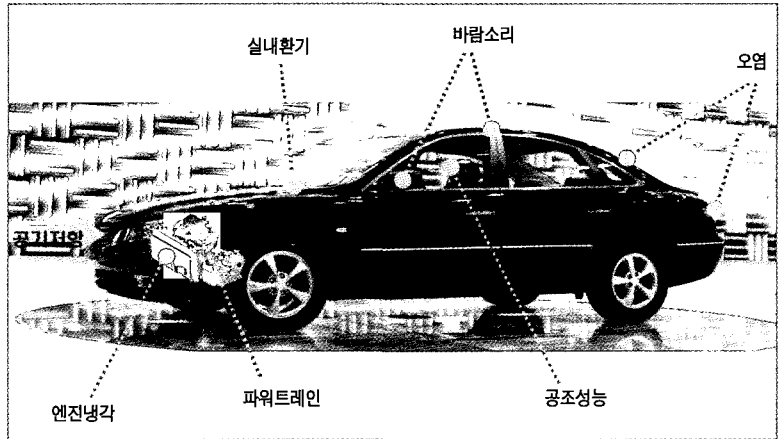


그림 1 유체공학이 자동차 개발에 사용되는 분야

위해 유체공학의 실험적 또는 해석적 방법이 사용되고 있다. 운전자의 안전운행에 영향을 미치는 실내 환기성능, 제상제습 성능의

개발 역시 유동개선을 통해 이루어지고 있다. 쾌적한 실내 환경을 조성하기 위한 공조시스템 (HVAC system) 개발에서는 효

올적인 에너지 사용을 위해 공조 유닛과 공조덕트에서의 유동저항 감소가 필요하고 승객의 쾌적성을 위해서 실내의 최적 유동분포가 매우 중요하다. 그 외에도 엔진을 포함한 파워트레인 설계와 자동차의 외부오염을 최소화하기 위한 개발에도 유체공학이 유용하게 사용되고 있다. 이 글에서는 자동차 개발에 있어서 다양한 유체공학의 응용분야에 대해 실험적, 해석적 접근방법에 대해 살펴보고자 한다.(그림 1)

공력 개발

1886년 독일의 칼 벤츠가 최초의 가솔린 자동차를 제작한 이래 120년 동안 자동차는 비약적인 발전을 이룩하였다. 하지만 1900년대에 이르기까지 자동차는 마차의 형태를 벗어나지 못하였고 1910년에 이르러야 상차형 대중차가 나타나게 되었다. 1930년대에 들어서 자동차 경주가 유행하면서 더욱 빠른 자동차가 필요하였고 유선형 차체를 가지는 자동차들이 만들어지기도 했지만 1970년대까지는 차량의 외관은 소비자의 신분과 품격을 과시하는 수단이었다. 하지만 두 차례의 석유파동을 통하여 비록 소 경제적인 자동차에 대한 관심이 높아지게 되었고 이를 위해 공기저항을 줄이는 연구가 활발히 전개되었다. 최근 유가폭등과 연비에 대한 규제강화 그리고 하

이브리드 및 연료전지 자동차등 친환경 자동차 개발이 진행되면서 공력개선의 필요성도 꾸준히 증대되고 있다.

자동차의 공력개발 초기에는 주로 비행기 개발 시 얻은 기술을 많이 적용하였지만 자동차는 비행기와는 다른 유동 특성을 갖고 있기 때문에 이를 고려한 개선이 필요하다. 무엇보다도 자동차는 비행기에 비하여 지면과 매우 가깝게 이동하기 때문에 지면에 의한 영향을 받게 된다. 일반적으로 자동차는 공중에 날아다닐 때에 비해 항력은 증가하고 양력은 감소하는 경향을 갖는다. 그 외에도 자동차 하부에 있는 각종 요철은 추가적인 압력손실을 발생시켜 비행기에 비해 큰 항력을 갖게 된다.

공기저항은 주행속도의 제곱에 비례하기 때문에 고속으로 갈수록 영향력이 증가하는데 고속도로에서의 주행에서는 전체 주행 저항의 약 70%~80%를 차지하기도 한다. 이 때문에 공기저항의 개선은 자동차의 연비향상에 매우 중요하다. 또한 가속성능이나 최고속도 역시 공기저항에 직접적인 영향을 받기 때문에 공기저항을 개선한다는 것은 자동차의 다양한 주행성능을 향상시킬 수 있는 매우 중요한 작업이다.

자동차가 주행 중에 받는 바람의 힘에는 차량의 진행을 방해하는 방향으로 작용하는 공기저항(항력) 외에도 차를 뜨게 만들어

접지력을 약화시키는 양력(lift force) 그리고 측면에서 좌우로 작용하는 측력(side force)이 있고 이에 상관하여 요잉 모멘트(yawing moment), 피칭 모멘트(pitching moment), 롤링 모멘트(rolling moment)등 3개의 모멘트가 작용하는데 이 6개를 일반적으로 6분력이라고 한다.

양력은 고속주행 안정성 및 코너링 속도 등에 영향을 주는데 특히 유럽과 같이 평균 주행속도가 높은 지역에서는 고속에서의 양력 특성을 개선하는 것이 차량 안전에 매우 중요하다. 측력은 서해대교나 영종대교와 같이 바다위를 가로지르는 거대한 다리 위나 산골짜기 사이의 다리 위를 주행하는 경우 측면에서 불어오는 횡풍에 의해 작용하는데 차량이 운전자의 의지와 다르게 옆차선으로 쏠리거나 차량이 흔들리는 경우가 발생하게 되기 때문에 횡풍에 강건하도록 개발되어야 한다.

자동차의 주행 중에 받는 공기역학적 값들을 측정을 위해서는 풍동(wind tunnel)이 사용된다. 풍동은 정지된 자동차에 대형 송풍기로 주행속도와 같은 바람을 불어 주행 중에 받는 바람의 영향을 평가하는 장비이다. 앞서 언급한 6분력은 밸런스(balance)라는 전자저울을 이용하여 측정하고 이외에도 차체표면의 압력을 측정할 수 있는 전자압력계(EPSC : Electronic Pressure Scanner)

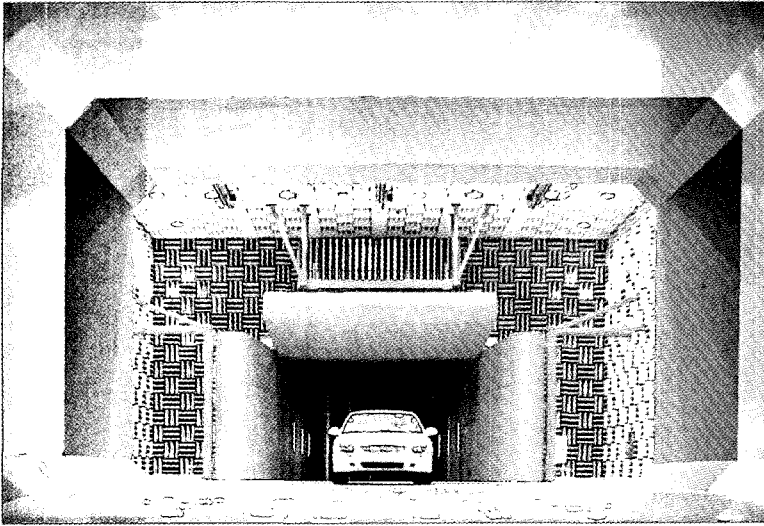


그림 2 현대자동차 실차 풍동

나 압력 감응 페인트(PSP : Pressure-Sensitive Paint), 그리고 속도장을 측정할 수 있는 열선유속계(HWA : Hot-Wire Anemometer), 입자영상유속계(PIV : Particle Image Velocimetry) 같은 계측장비들이 사용된다.(그림 2)

자동차 공력은 자동차의 형상이 절대적인 영향을 미치므로 디자인 단계에서 개선하는 것이 중요한데 이를 위해서 실험적 방법 이외에 전산유체해석(CFD : Computational Fluid Dynamics) 기법이 확대 적용되고 있다.

자동차의 공기저항과 관련하여 일반적으로 알려진 오류 중 하나는 에어로다이나믹 스타일이라는 디자인 컨셉으로 전체적으로 전면부터 후면까지 곡률이 많은 둥글둥글한 스타일을 뜻한다. 하지

만 실제 공기저항을 적게 하기 위해서는 전면 형상은 곡률을 가지고 후면부는 각진 스타일을 유지하는 것이 바람직하다는 것이다. 이는 전면부에서는 최대한 유동박리를 방지하여 에너지 손실을 방지하고 후면부에서는 일정 위치에서 박리를 시키는 동시에 코안다효과(Coanda effect)에 의해 발생하는 유도항력(induced drag)을 줄일 수 있기 때문이다.

냉각성능 개발

자동차 엔진에서 발생하는 고온의 열은 라디에이터의 전면 개구부를 통해 들어오는 바람과 냉각수의 열교환에 의해 냉각되고 고온의 배기가스는 배기계를 거쳐 외부로 방출된다. 자동차 엔진룸 내부의 열적 환경은 자동차

운영에 있어 중요한 엔진, 변속기 외에 성능 및 편의성을 향상시키기 위한 각종 첨단 부품 및 보기류의 장착으로 보다 밀집되어 가고 있으며, 더욱이 환경 규제와 연비개선을 위하여 배기가스 온도 역시 증가하고 있다. 이러한 고온의 열환경 때문에 엔진룸 내부의 열에 취약한 중요 부품들이 고온의 열에 노출되어 기능상의 손상, 즉 열해를 입을 가능성도 증가하고 있다.

효율적인 엔진냉각을 위해서는 주행풍이나 냉각팬에 의해 유입되는 바람이 라디에이터로 잘 유입되도록 하고 라디에이터의 통기저항을 최소화시켜 라디에이터 통과 풍량을 증대시키는 것이 중요하다. 또한 라디에이터를 통과하며 데워진 공기나 엔진 및 보기류에서 방출된 열에 의하여 온도가 상승한 엔진룸 내의 공기가 역류하여 다시 라디에이터를 통과하는 것을 막기 위해 적절한 대책이 필요하기도 하다. 엔진룸 내의 주요 부품들이 열해를 입지 않도록 방지하기 위해서는 열을 차단하는 장치 외에도 유로를 개선하여 주행풍에 의한 냉각이 이루어 지도록 해야 한다.

이렇듯 엔진룸 내 열적 환경을 개선하기 위해서는 설계 초기단계부터 전산해석 및 실차 시험을 병행하여 엔진 룸 내로의 냉각공기의 원활한 유입, 열에 민감한 부품의 적절한 배치 등 엔진룸 내부의 열 유동 특성을 종합적으

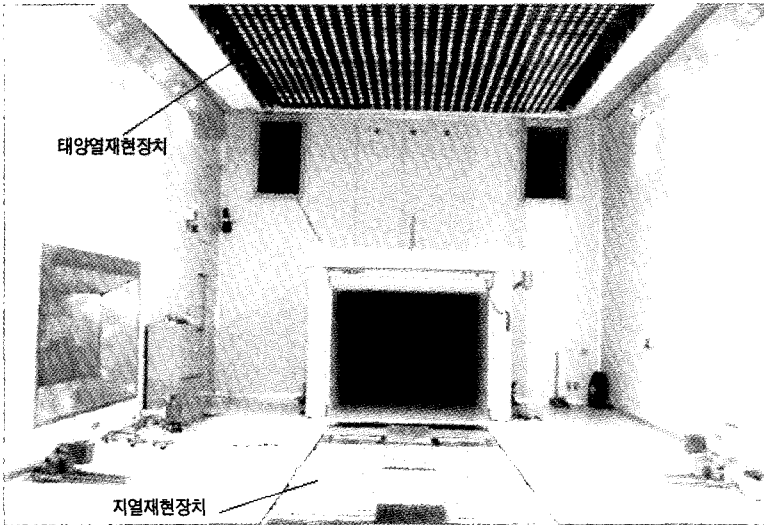


그림 3 고온 환경풍동

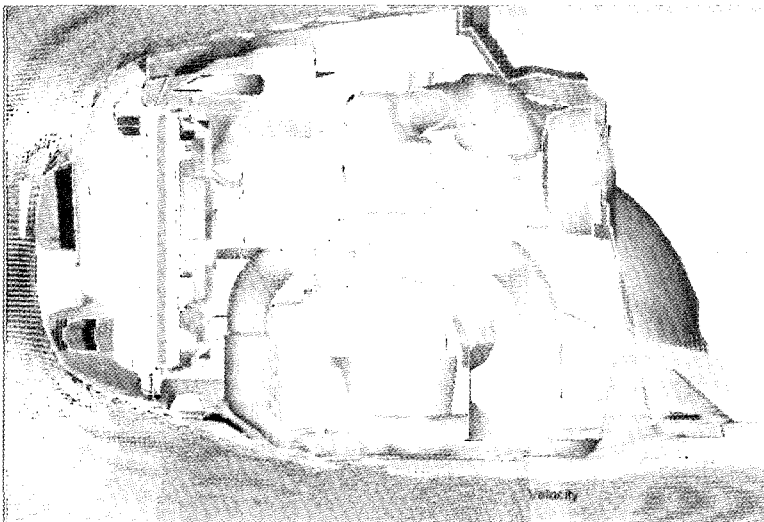


그림 4 엔진룸 유동해석

로 평가 및 예측하는 일이 중요하다.

자동차 메이커에서는 자동차 엔진룸 내부의 열환경을 개선하기 위하여 태양열 재현장치, 샤시 다이아모 장치, 지열 재현 장치, 온도 습도 유지 장치 등을 갖춘

고온 환경풍동을 운영하여 세계 각 지역의 특수한 기후 및 도로 상황에서 자동차의 고온환경 성능을 개발하는 데 사용하고 있다.(그림 3)

최근에는 전산유체 해석을 통해 복잡한 엔진룸 내부의 유동

특성을 실차 수준으로 묘사하는 것이 가능해지고 있다. 전산해석 기법은 엔진, 변속기 및 각종 엔진룸 내 부품을 설계 데이터를 가지고 모델링하며, 방열기, 냉각 팬 등의 단품 성능 시험결과에 실제 상황과 유사한 경계조건을 부여하여 최종 해석 모델을 구성한다. 이렇게 구성된 해석모델에 대해 병렬처리가 가능한 슈퍼컴퓨터에서 계산을 수행한 후 결과분석 과정을 거쳐 최종안을 도출한다. 아래 그림은 엔진룸 유동해석의 결과를 보여주고 있다.(그림 4)

이러한 전산 해석 기법에 의해 시작차 제작 이전에 설계상의 문제점을 충분히 검토함으로써 개발 기간 및 비용의 절감이 가능하다.

공조성능 개발

자동차에 공조시스템이 적용되기 시작한 지는 자동차 역사에 비교해 볼 때 오래되지는 않는다. 초기 자동차가 외부와 분리된 공간을 구성하기 시작하면서 공조 장치는 단순한 환기성능을 공급하는 장치에서 시작하여 소비자의 욕구 증대에 따라 승객실의 온도를 제어하는 장치가 적용되기 시작하였다. 1930년대 후반 처음으로 자동차에 에어컨 시스템이 장착되면서 현재는 차량에서는 없어서는 안 될 필수 부품으로 여겨지고 있다. 자동차 공조 장치는 운전자에게 어느 기후조건에서도 주행안전을 위해 시야

를 제공하여야 하고 승객에게 열적 쾌적성을 제공해야 한다. 그러므로 공조시스템 개발을 위해서는 실내 공기의 유동분포와 열부하에 대한 정보가 필수적이고 차량 개발 초기 단계에서부터 실차 시험 및 전산 해석을 병행하여 차 실내 열유동환경을 종합적으로 평가 개선하고 있다.

실차 평가에 의한 개발 방법은 고온 환경풍동을 이용하여 고온 조건 상태에서 차 실내온도가 얼마만큼 빠르게 저온 쾌적상태에 도달할 수 있는가를 평가하는 냉방 성능평가와 저온 환경풍동을 이용하여 저온 외기 상태에서 주행 시 실내온도가 얼마 만큼 빠르게 고온 쾌적상태에 이르는지를 평가하는 난방성능 평가가 있다. 또한 윈드실드 표면에 형성되는 성애와 차창 김서림을 제거하여 전후방시계 확보성을 평가하는 윈드실드 제상제습성능 평가가 이루어지고 있다.

이러한 실차 평가 방법에 더하여 전산 해석 기법을 이용한 제상제습 성능 개발, 실내 유동, 습도, 온도장 해석과 버츄얼 더미를 활용한 승객의 열적 거동해석, 에너지 효율적인 에어컨시스템 개발을 위한 열유동 해석 등이 널리 활용되고 있다. 향후 자동차에서 공조 성능 개발의 추세는 일반적인 공조장치에서 승객의 쾌적성을 향상시킬 수 있는 다양한 편의장치의 성능해석으로 그 영역을 확대하고 있다. 미래형 차

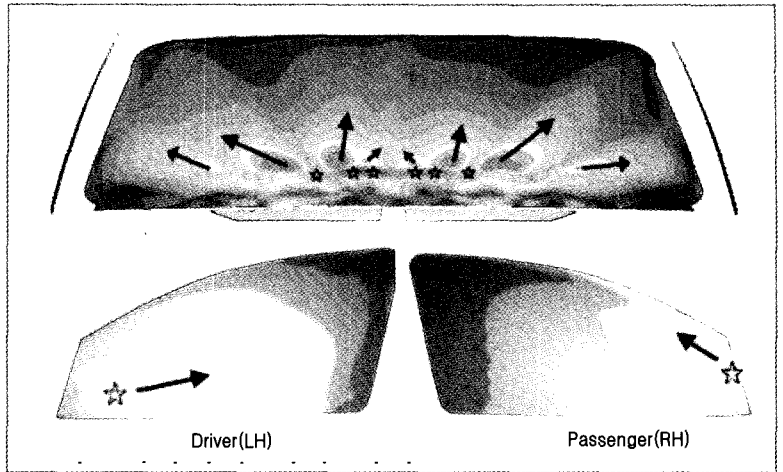


그림 5 제상패턴 해석 결과

동차 개발과 더불어 공조시스템 개발의 중요도는 더욱 높아질 것으로 예상된다.(그림 5)

공력소음 개발

바람소리라고도 불리는 자동차 공력소음은 차량 외부의 유동장과 차체 표면의 상호 작용에 의해 발생하는 소음으로 여기서 상호 작용이란 차량 외부의 공기 유동이 차체 표면의 압력을 교란하는 현상과 차량의 형상이 공기 흐름을 변화시키는 현상을 모두 포함한다. 무항 풍동 시험에 의하면 공력소음은 속도의 5.6승에 비례하기 때문에 고속주행 시에는 주소음원으로 작용을 한다.

자동차 공력소음은 발생 구조에 따라 풍절음, 흡출음, 공동소음 및 떨림음으로 분류한다. 풍절음은 난류 유동에 의해 유발되는 차체 표면의 압력 교란 중 자동

차 실내로 전파되는 소음으로 주로 차량의 스타일링에 의해 발생된다. 가장 대표적인 예가 A-필라(pillar)나 아웃사이드 미러 주변에서 발생하는 소음이다.

흡출음은 틈새를 통해 유입되는 소음인데 제작상의 틈새나 주행 상태에서 외부 유동에 의해 차량 실내외 간 압력차에 의해 틈새가 발생되거나 순간적으로 실링(sealing)이 약화된 부위로 유입되는 소음이다. 흡출음은 고주파 성분이 대부분이기 때문에, 주행 중 피로감을 촉진시키고 주의 집중을 흐리게 하므로 어떠한 주행 상황에서도 발생하지 않도록 세심한 고려를 해야 한다.

공동 소음(cavity noise)은 공동을 스치는 유동에 의해 발생한다. 가장 대표적인 예가 선루프를 열고 주행했을 때 발생하는 소음으로 순음 성분의 소음과 광대역 성분의 소음이 모두 발생한다.



그림 6 실차 무향풍동에서 외부 바람소리 측정

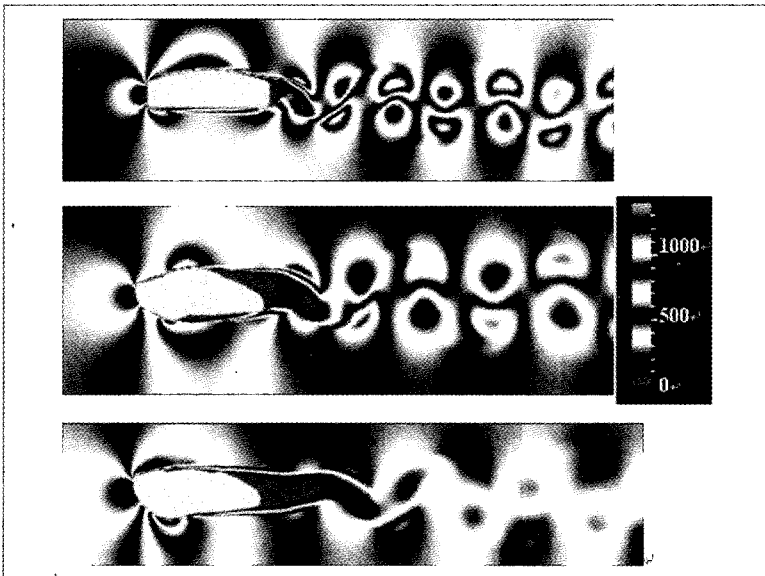


그림 7 루프랙 크로스바 후류 해석결과

에서 평가한다는 장점은 있지만 엔진소음이나 노면소음 등의 영향을 받기 때문에 공력소음만을 분리해서 평가할 수가 없다. 이에 비하여 실차 무향풍동은 일정한 시험조건을 설정할 수 있으며 특정 부위에서 발생하는 소음의 개선에 유용하게 사용할 수 있다. 또한, 기타 소음을 제거한 유동에 의한 소음만을 분리할 수 있기 때문에 개선의 일관성을 확보할 수 있는 장점을 가지고 있다. 실차 무향풍동을 이용한 공력소음 시험 방법은 차 실내에서 흡출음 발생 부위와 풍절음, 공동소음 등을 평가하는 실내음 평가와 자동차 외부에서 소음원의 위치 및 전파경로 등을 파악하는 외부 소음 평가가 있다. 외부 소음원 파악과 풍절음 개선을 위한 음향 홀로그래피(acoustic holography) 기술과 유동 구조를 파악하기 위한 유동 가시화 기법이 사용되고 있다. 다음 그림은 CCD 카메라가 달린 바람소리 안테나(acoustic mirror)와 음향 홀로그래피를 이용하여 하부 소음을 측정하는 모습을 보여 주고 있다.(그림 6)

최근에는 공력소음 해석기술의 발전과 컴퓨터 연산처리 능력이 급격히 향상되면서 다양한 공력소음해석이 시도하고 있지만 실차 상태의 정량적인 분석까지는 아직까지 극복해야 할 부분이 많이 남아 있다. 하지만 유동과 관련된 부분적인 개선을 위해서

떨림음은 장착 불량이나 재질이 무른 고무를 사용하여 몰딩(molding)을 제작했을 때, 유동에 의해 강도가 취약한 부위가 진동하면서 방사되는 소음이며, 매우 듣기에 거슬리는 소음이다. 이 소음은 실내에서 들었을 때

발생 위치를 파악하기 어려울 정도로 모든 위치에서 크게 발생한다.

자동차 공력소음 평가는 실도로 주행 평가법과 실차 무향풍동을 이용한 방법이 있다. 실도로 주행 평가법은 실제 고객의 입장

는 유용하게 사용되기도 하는데 그림7은 그 한 예로 루프랙 크로스바의 형상개선에 사용된 경우를 보여주고 있다. SUV차량이나 RV 차량에 주로 장착하는 루프랙 크로스바는 일정한 익형 단면을 갖고 있으며 유동장 내에 놓일 경우, 주기성이 강한 칼만 와열이 후방에 형성되며 강한 주기성으로 높은 피크를 갖는 소음(aeolian tone)을 발생시킨다. 따라서 칼만 와열의 주기성을 깰 수 있는 상하 비대칭 단면을 통해 개선안을 찾을 수 있다.

아래 그림은 루프랙 크로스바의 개선안에 대한 해석결과로 맨

아래 그림의 단면은 상하 비대칭으로 되어 있는데 아래 위에서 형성되는 와동의 주기와 강도와 다르고 회전 방향도 서로 반대여서 상하에서 생성된 와는 후류 영역 내에서 상호작용하여 일정한 와열의 형태를 찾아볼 수 없게 되며 소음도 거의 발생하지 않는다.(그림 7)

기 타

자동차 주위의 오염문제에 있어서 운전자의 시계가 확보되어야 하는 앞뒤 그리고 좌우의 유리창과 램프 주위 같은 특정부위

에 가능한 오염이 되지 않도록 유동을 조절해야 한다.

또 다른 주요 유체공학의 적용 분야는 엔진과 변속기등과 같은 파워트레인 개발이라고 하겠다. 엔진 실린더 내부에서의 효율적인 연소와 냉각 그리고 흡배기계의 유동개선 등을 위하여 유체공학의 기술들이 적용되고 변속기나 각종 구동 또는 제동장치의 냉각에도 사용된다. 유체공학은 이외에도 자동차 개발의 많은 분야에서 응용되면서 자동차 개발을 위한 중요한 공학분야로 자리매김 하고 있다.

기계용어해설

난류전단유동(Turbulent Shear Flow)

일반적으로 유체 유동은 벽 등의 경계조건(boundary condition)에 의해 점성력의 효과가 요동성분(fluctuation component)으로 나타나게 되며, 이러한 요동속도성분은 유동의 위 아래로 난류전단응력이 발생하게 된다. 이러한 전단응력(shear stress)에 의해 발생하는 유동 형태를 난류전단유동이라고 한다.

2차모멘트 닫힘(Second Moment Closure)

나비에 스토크스 방정식(Navier Stokes equation)은 비선형 편미분방정식이며, 이러한 비선형 부분이 난류에 의해서 발생하게 된다. 그러므로 모형화로 풀이의 한계를 정의해서, 방정식을 풀어가는데 닫힘(closure)이라고 하며, 이러한 비선형적인 부분에 대한 모형화를 2차 모멘트 형태로 모형화(modeling)를 수행하는 것을 2차모멘트 닫힘이라고 한다. 예를 들어 레이놀즈 응력 모형(RSM : Reynolds Stress Mode)

촉매 반응기(Catalytic Reactor)

높은 활성에너지를 갖는 반응을 촉매를 이용하여 활성 에너지를 낮춰 반응을 일으키는 반응 장치를 말한다.

소음기(Silencer)

소음을 감소시키는 장치이다. 화포 사격 시 방사되는 에너지의 양을 조절하여 최대 및 평균 압력을 감소시킨다.

제퇴력(Muzzle Brake Force)

화기의 사격 시 발생하는 퇴력을 제거해주는 장치이며, 화기의 경량화 및 기동성의 증대를 가져온다.