



THEME 05

풍동을 이용한 자동차 공력 및 공력소음 개발 동향

이 강 덕 | 현대 · 기아 연구개발총괄본부 NVH연구위원 | e-mail : baramsolee@hyundai.com

자동차용 풍동은 대부분 난류강도를 최대한 낮게 하여 시험의 재현성과 반복성을 극대화하도록 하였다. 그러나 최근 들어 뚜렷한 두 가지 흐름이 일고 있는데 지면재현과 실도로에서 경험하는 난류 강도를 풍동에서 재현하고자 하는 움직임이다. 이 글에서는 그러한 움직임의 이유와 방향에 대해 짚어보고자 한다.

최초의 순환식 풍동은 1871년 현대적 기초과학 기술 발전에 많은 기여를 한 영국항공학회 소속의 프란시스 험버트 벤햄(Francis Herbert Wenham)에 의해 설계되었고 항공기 공기역학 연구가 목적이었다.

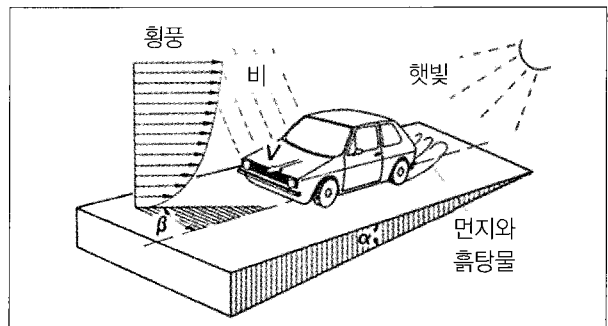
풍동을 자동차 개발에 활용하기 시작한 것은 그로부터 거의 100년이 거의 다돼서이다. 그 이유는 자동차 공기역학이 항공기 공기역학과 여러 가지 점에서 달랐기 때문이다. 예를 들어 자동차의 형상은 비행기와 비교하면 그리 공기역학적이지 않다. 그리고 자동차는 항공기처럼 드넓은 창공 속을 움직이는 것도 아니었을 뿐만 아니라 저속에서는 생각보다 공기저항의 영향이 크지 않았기 때문이다.

자동차 풍동시험은 도로에서 일정속도로 주행할 때 어떻게 하면 소비동력을 더 줄일 수 있을까 하는 목적에서 시작되었다. 1920년대 초에 이르러서야 엔지니어들은 고속에서의 공기저항을 줄이기 위한 형상 변화를 생각하기 시작했다. 1950년대까지 주로 독일과 영국에서 고성능 자동차를 개발하기 위해 공기저항의 제어에 대한 연구가 체계적으로 수행되었다. 오늘날, 대부분의 자동차업체는 자체 풍동설비를 갖추고 신차 개발 중에 공기역학적 측면을 충분히 검토하여 연비를 높이는 방안을 적용하고 있다.

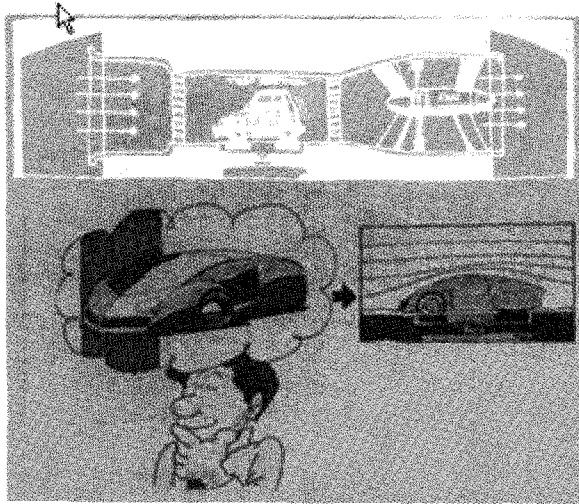
풍동에서 다양한 정보를 얻는다

자동차용 풍동은 많은 동력을 사용하여 바람을 불어 주거나 빨아들이면서 시험부에 설치된 시험모델이나 시험차에 작용하는 외력을 측정하거나 유동 흐름을 관찰할 수 있게 되어 있다. 공기역학적 외력은 거대한 저울로 측정하고 상세한 유동 구조는 유동가시화를 통해 이해한다. 이와 같이 풍동을 통해 얻을 수 있는 정보는 다음과 같다.

- 공력성능(Performance): 연비, 가속성능, 최고속도를 평가하기 위한 항목으로 이를 위해서 항력,

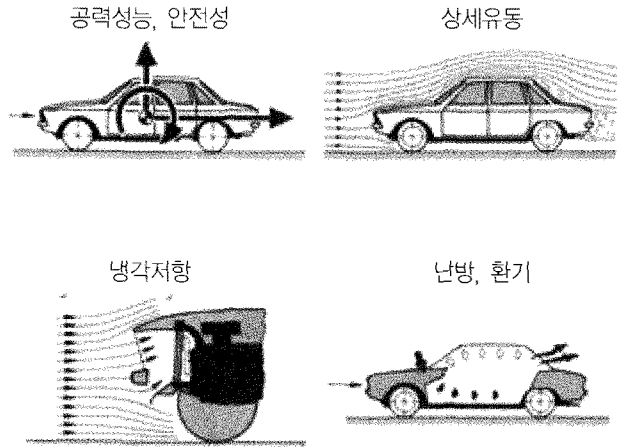


실제 도로를 주행 중인 차량이 받는 하중 : 재현성과 반복성을 높이기 위한 풍동이 실도로 주행 상황을 완벽하게 모사하지 못하고 있다. 황풍, 돌풍, 노면기울기 등이 일반적인 실도로 상황을 풍동에서 보다 정확히 모사하기 위한 노력이 기울여지고 있다.



실차풍동의 용도

- 양력, 측력을 측정하며 항력이 가장 중요한 측정 항목이다.
- 안정성(Stability): 고속주행안정성, 횡풍안정성을 평가하기 위한 항목으로 요잉 모멘트, 롤링모멘트, 피칭모멘트를 측정한다. 또한 양력과 측력의 영향까지 고려한다.
- 냉각저항(Engine cooling): 엔진 냉각과 관련된 항력측정과 라디에이터 냉각성능을 평가한다. 공력 풍동에서는 공기흐름과 관련된 부분으로 한정하여 평가한다.
- 환기(Heating & Ventilating): 실내 냉온방과 환기

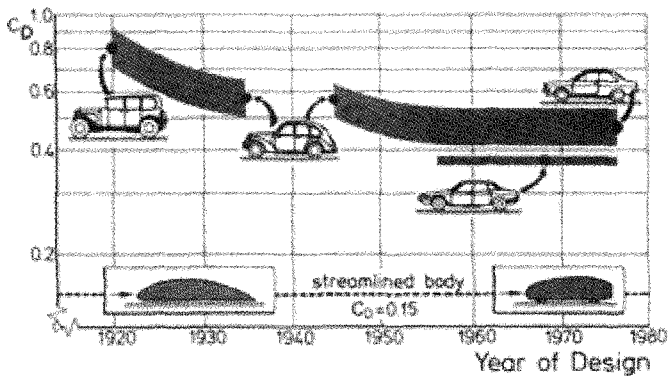


에 관련되며 환기성능에 영향을 주는 차체주변 압력분포를 영향을 평가한다.

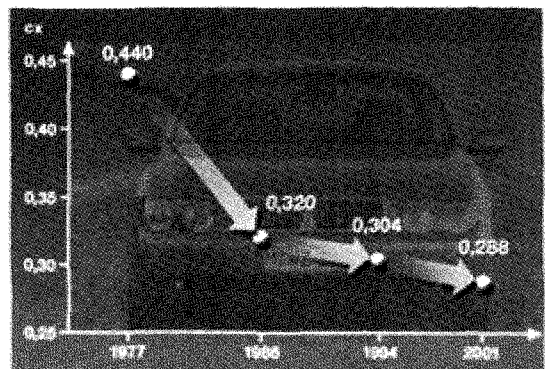
- 유동상세(Flow field in detail): 차량 국부적인 유동분포를 파악하고 먼지퇴적, 빗물퇴적, 와이퍼 닦임 등에 의한 시계성을 평가한다.

자동차 공기저항 추세

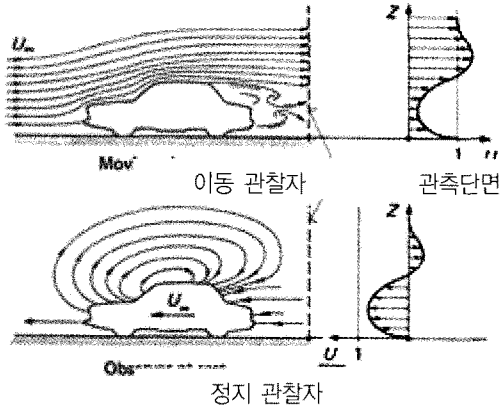
1920년대 자동차의 공기저항 계수는 0.8 수준이었다. 1975년경 그 절반 수준인 0.45 수준에 도달하였다. 이후 지속적인 연구에 힘입어 2008년 약 0.30 수준에



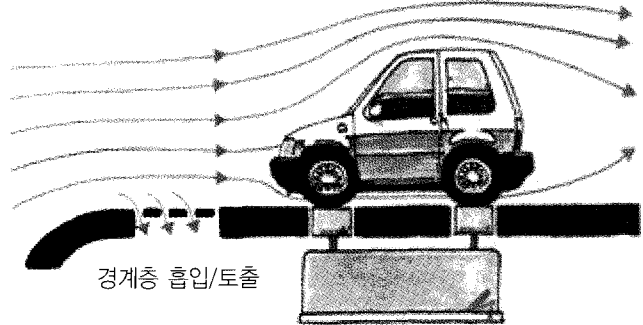
공기저항 저감의 역사



BMW의 공기저항 저감의 역사



관찰자 위치별 자동차 주위 유동장



실차 풍동의 일반적 경계층 제어

도달하였으며 가까운 미래에는 차체하부 형상과 유선형 디자인 및 공력개선품의 대폭 적용으로 최저 0.22 수준까지 가능할 것으로 예상하고 있다.

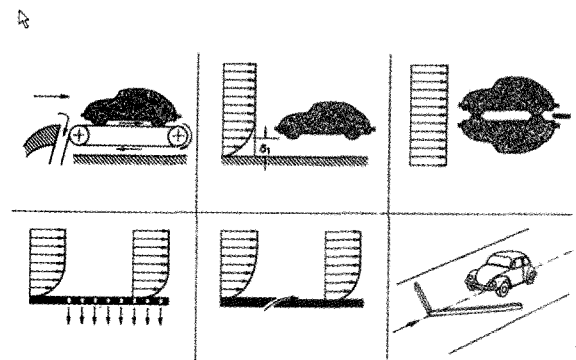
공기저항 감소 노력에 있어서 가장 적극적인 완성차 업체 중의 하나인 BMW의 경우 1977년부터 2001년까지 24년 동안 0.44에서 0.288로 그 개선량이 35%에 이른다.

최근 들어 불어 닳친 고유가 바람은 연비에 대한 고객의 요구수준을 더 높이는 효과로 나타났으며 연비를 좋게 하기 위한 노력의 일환으로 기존 풍동의 업그레이드와 새로운 풍동 신설에 투자를 아끼지 않고 있다.

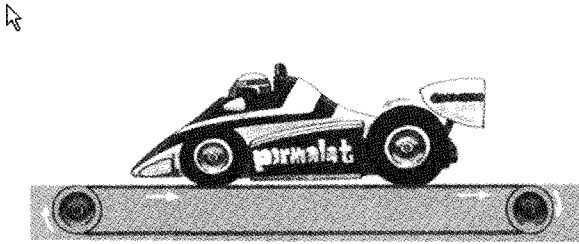
추세1: 경계층의 영향을 모사하라

풍동시험은 차량이 정지되어 있고 바람을 불어주는 이동 관찰자(Moving observer) 입장을 만들어준다. 반면에 실도로 주행에서는 공기는 정지되어 있는 반면 차량이 이동하는 정지 관찰자(Observer at rest) 입장이 된다. 실도로 주행에서는 외기 조건을 일정하게 하기 어려우므로 이동 관찰자 방식 평가 즉 풍동시험을 실시하며 이때 지면 조건은 실제 조건을 완벽하게 상사하기 어렵기 때문에 지면 경계층 발생에 의한 오차가 발생하게 된다.

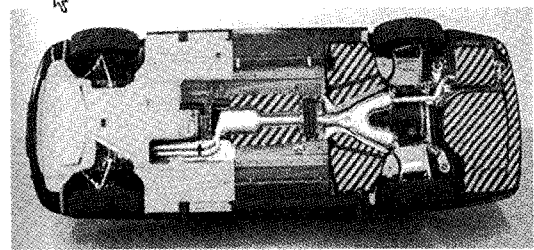
여기서 지면경계층은 풍동 바닥 면의 마찰력이 공기 흐름에 작용하여 발생하는 속도가 느려지는 영역이다. 이 영역은 차량 하부 및 타이어 영역에서 발생하는 항력의 크기를 실제와 다르게 모사하기 때문에 지면재현장치가 필요하다. 풍동에서 사용되는 일반적인 형태의 지면재현장치로 경계층 영역 공기를 흡입하는 흡입식과 바람을 불어서 운동에너지를 공급하는 방출식이 있으며 현대자동차 풍동은 흡입식을 채택하고 있다. MIRA풍동에서 사용하는 긴 울타리에 의한 와류발생 방식도 있고 모형풍동이나 항공기용 풍동을 이용한 자



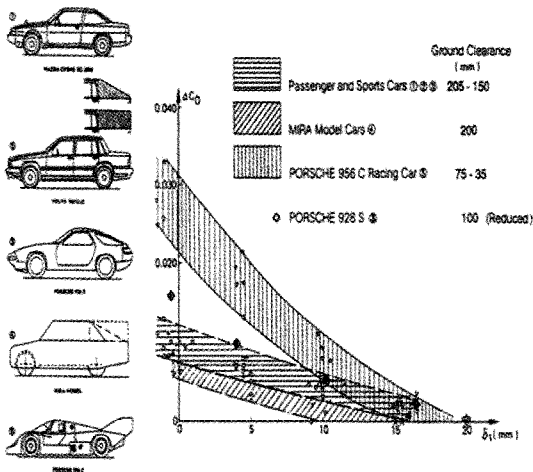
풍동의 경계층 제어 방식 : 지면 재현의 다양한 방식. 경계층에 의해 공기저항 저감에서 매우 중요한 하부 유동이 과소평가되거나 과대평가되는 경우를 피하기 위해 다양한 경계층 제어방식이 적용되고 있다.



무빙벨트 시스템 : 낮은 지상고로 경계층의 정확한 모사가 필요한 경우, 무빙벨트 시스템이 적용되고 있다. 휠 회전 효과까지 볼 수 있는 장점이 있다.



하부 평평화용 언더커버 : 공기저항 감소를 위해 적용하는 하부 언더커버는 경계층의 영향을 정확하게 모사하지 못할 경우 그 효과를 잘못 예측할 수 있다.



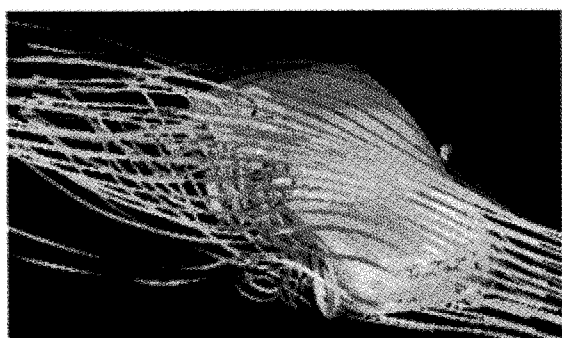
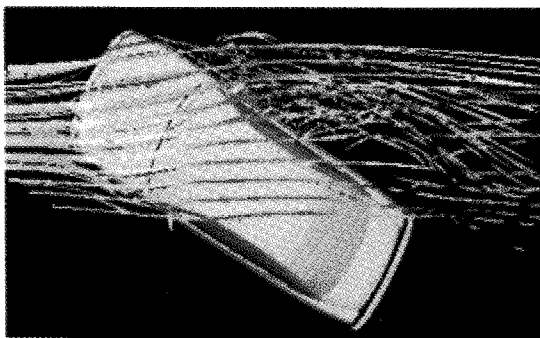
지상고와 경계층 두께가 공기저항에 미치는 영향

동차 시험에서 사용하는 방법으로 시험모델을 지면경계층 바깥에 설치하는 것과 동일한 모델을 대칭되게 설

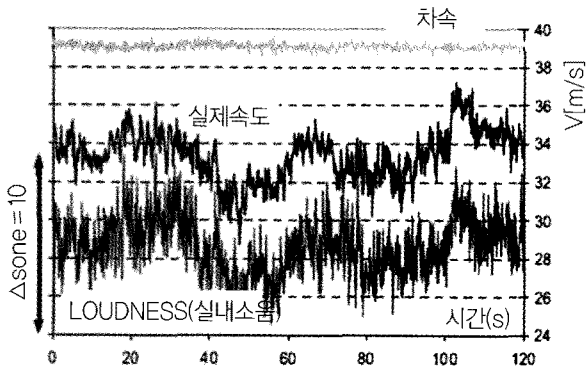
치하여 시험하는 것도 있다. 그러나 이러한 방식은 유힘 회전에 의한 영향까지는 볼 수 없는 한계를 안고 있다.

최근 들어, 유힘 회전에 의한 저항까지 모사하면서 지면을 공기와 같이 이동시켜서 지면경계층이 발생하지 않도록 하는 무빙벨트 시스템이 많이 적용되고 있다. 경주용 차나 지상고가 낮은 차량일수록 지면경계층의 영향이 커져서 차량하부가 경계층이 많이 잠기게 되므로 항력이 실제보다 낮게 측정된다. 따라서, 지상고가 낮거나 차량하부 언더커버의 적용이 많은 최근 추세에 맞추어 무빙벨트를 사용하는 풍동의 숫자가 증가하는 추세에 있다.

풍동시험에서는 차량의 자세 즉 최저 지상고에 따라서 항력이 달라지는데 그 요인 중 하나가 바로 지면경계층의 속도결핍 현상이다. 즉, 지면경계층 영역에 차량이 많이 잠길수록 항력이 작아지는 것이다. 지면경계



유힘풍이 만드는 외부 유힘동 : 유힘풍 상황은 자동차에 공기역학적으로 비대칭적인 힘을 작용하고 안정성을 크게 위협한다.



실제속도와 실내음 간의 상관성 : 정속주행을 하는 차량 주위에 횡풍을 포함한 4Hz 성분의 전체 유속과 실내소음은 상관성이 매우 높게 나타난다. 이것은 인간의 귀가 시간에 따라 변하는 변동성 소음에 더욱 민감하게 반응하는 특징과 맞물려 풍동에서 외는 전혀 다른 느낌을 준다.

층을 점차적으로 감소시키면 Racing 차량(지상고 35~75mm)의 경우는 항력이 0.03까지 증가하며 승용차(지상고 150~205mm)의 경우는 약 0.01 증가한다.

추세2: 실제 난류를 모사하라

실제 도로를 주행할 때는 횡풍이나 돌풍, 앞서 가는 차에서 발생하는 와류, 지역 환경 등에 따라 동일한 속도에서도 풍동과 다른 성능을 나타낸다. 가장 대표적인 사례가 실도로 연비, 횡풍안정성과 고속주행안정성 등 주행안정성과 윈드 노이즈이다. 차이의 원인은 실도로 상황에서 겪는 난류강도가 풍동의 깨끗한 유질과는 다른 특성을 나타내기 때문이다.

대기 조건에 따라서 다르지만 평균적으로 요우각 5~10도 수준의 횡풍은 항상 존재한다. 이런 상황을 보정하기 위해 실도로 연비를 계산할 때 0도에서 15도 사



난류강도 모사용 와동 발생장치 : 노즐 상류에 난류강도를 높이기 위해 설치한 와동발생 장치. 꼬깔 모양의 구조물은 와동을 만들어 난류강도를 높이는 역할을 하도록 설계되었다. 그러나 실도로의 저주파 에너지를 재현하기는 어려운 것으로 알려져 추가적인 연구가 진행되고 있다.

이의 평균항력 계수값을 사용하기도 한다.

대기 횡풍 영향을 평가하고 돌풍 형태의 횡풍에 대한 안정성을 평가하기 위해서는 횡풍을 재현할 수 있어야 하고 보다 정확한 시험을 위해서는 대기경계층을 포함하는 횡풍 재현까지 고려해야 한다.

난류 강도를 고려하지 않는 일반 풍동에서의 결과는 실제 고객의 불만과 연결이 잘 안 되는 경우가 허다하다. 이런 모순을 해결하기 위해 최근 풍동에 정해진 난류강도를 만들어내는 부가장치를 설치하는 경우도 있다.

향후, 미래 풍동의 모습은 대기경계층(Atmospheric boundary layer), 난류강도 재현기(Turbulent generator), 지면재현장치(Moving ground system)를 포함하게 될 것이다. 즉, 실제 주행노면 주위 환경을 완벽하게 제어하여 재현하고자 하는 방향으로 나아갈 것이다.