

이러한 풍동들의 종류는 대개 Fig.1에서 보이는 바와 같이 Test Section의 상태에 따라 Open type, Closed type, Slotted wall type 그리고 Test Section의 모양이 실험대상물에 따라 달라지는 Adaptive wall type 등으로 나눌 수 있다.⁵⁾ Fig.2에 Adaptive wall type의 Test Section을 보인다.

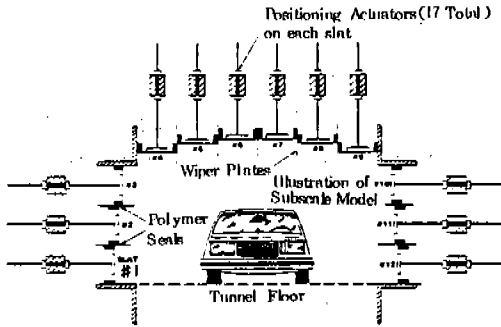


Fig.2 Adaptive wall test section concept illustration

Closed type의 경우에는 공간이 한정되어 있기 때문에 강제송풍된 유동이 실험대상물이 있는 Test section을 지날 때 Test section을 밀폐시키고 있는 벽면의 영향으로 인하여 유선들이 서로 인접하게 되고 따라서 실험대상물 주위의 유동속도가 빨라진다. 이러한 이유로 Closed type에서는 blockage ratio가 0.05를 초과할 수 없으며 blockage ratio가 0.05를 초과할 때는 data의 교정이 요구된다. 이에 반하여 Open type의 경우에는 Closed type의 경우와는 반대의 경향을 보인다.

이러한 단점들은 풍동내부의 유동과 외부유동을 각각 계산하여 두 유동이 Wall에서 동일한 상태를 갖도록 함으로써 높은 blockage ratio에서도 벽면의 영향을 줄일 수 있는 Adaptive Wall concept에 의하여 보완될 수 있으나 Adaptive Wall Type은 실험대상물에 따라 각각의 경우에 따라 벽면을 재조정해야 하므로 Cost가 비싸다는 단점이 있다.⁶⁾ Slotted wall type은 closed type과 open type의 결합형으로 Test section의 벽면에 길이 방향의 slot를 낸 형태로 slot의 면적을 변화시킴으로써

실험대상물의 여러가지의 모양과 크기에 대해서도 신뢰성 있는 Data를 얻을 수 있다.⁷⁾

Fig.3에 Blockage ratio가 0.05 이상일 때 Adaptive wall concept에 의한 실험결과를 보인다.

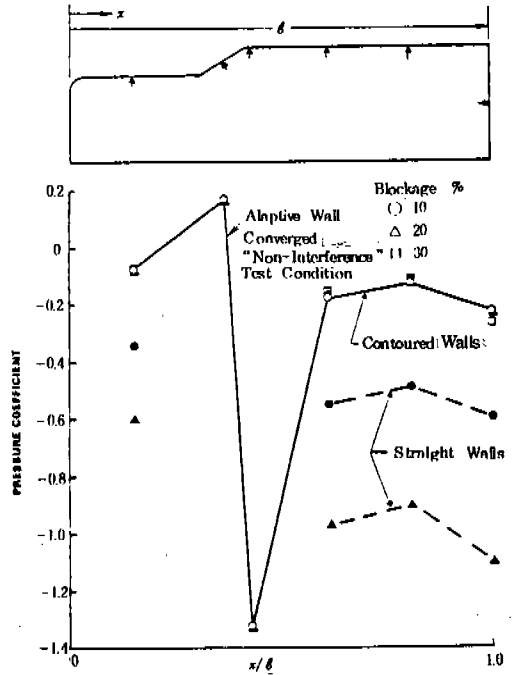


Fig.3 Model centerline pressures for the 10, 20, and 30 percent blockage models at the adaptive-converged/non-interference wall position zero yaw

현재 유럽등지에서 가동되고 있는 풍동들의 특성 제원들을 Table 1에 보인다. Table 1에 보이는 풍동들은 모두 closed return type으로 그 기본 구조는 Fan-Drive System, Airpath, Nozzle, 그리고 Test section 등으로 구성되어 있는 이는 항공기용 풍동과 크게 다르지 않다.

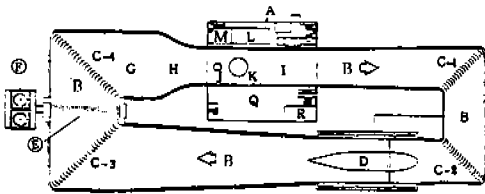
자동차용 풍동의 구조의 예로써 GM company에서 가동하고 있는 ESAL (Engineering Staff Aerodynamics Laboratory) Full-scale 풍동의 평면도와 BMW에서 가동하고 있는 풍동의 평면도를 Fig.4와 Fig.5에 보인다.

Table 1. Main Wind Tunnel Characteristics

Wind Tunnel	Tunnel Type	Nozzle				Test Section				
		Area (m ²)	Height (m)	Width (m)	Contraction Ratio	Geometric Blockage Ratio*	Divergency Side wall	Angle Ceiling	Length (m)	Max. Air Speed (km/h)
Volkswagen	Göttingen closed return, semi open test section	37.5	5	7.5	4:1	0.050	—	—	10	180
GM-ESAL	closed return closed test section	56.3	5.4	10.4	5:1	0.033	0.24° ¹⁾	0	21.3	258
Lockheed LSWT	closed return closed test section	35.1	4.96	7.09	7:1	0.053	0.28° ¹⁾	0	13.1	320
NRC	closed return closed test section	81.9	9.15	9.15	6:1	0.023	0.29° ¹⁾	0	22.9	200
DNW German-Dutch Wind Tunnel	closed return closed test section	48	6	8	9:1	0.039	0.2° ¹⁾	0	20	421
I. A. T. de St. Cyr S 4	closed return semi open test section with slotted walls	15	5	5	5:1	0.124	1.15°	0.57°	10	144

*) Related to VW correlation Vehicle

1) Per side



- A - Laboratory building
- B - Airpath
- C - Corner turning vanes
- D - Fan-drive system
- E - Heat exchanger
- F - Cooling tower
- G - Flow screen
- H - Contraction nozzle
- I - Test section
- J - Scale-model balance
- K - Main balance
- L - Control room
- M - Customer room
- Q - Model support area
- R - Vehicle elevator

Fig. 4 Plan view of ESAL with second floor of laboratory building

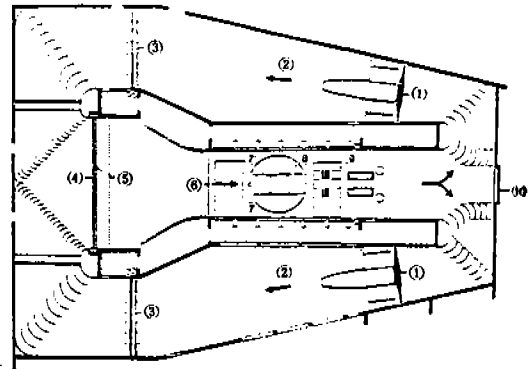


Fig. 5 Ground-plan of the wind tunnel: 1-fan, 2-return passage, 3-radiator, 4-honeycomb, 5-turbulence-screens, 6-nozzle, 7-slotted walls, 8-turning table, 9-dynamometer, 10-entrance

Fig. 4과 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 Test Section에는 공기역학적 힘들을 측정하기 위하여 대개 자유도가 6인 Balance 장치를 설치하고 있다. 이러한 Balance를 이용하여 Lift 나 Drag 또는 Yaw moment 등을 측정하게

되는데 이중 Lift의 측정은 동일 대상물에 대하여서도 풍동에 따라 편차가 크므로 실험자료가 잘못 해석되는 것을 막기 위해서는 실험 조건에 따라 적당한 교정이 요구된다.⁵⁾ Fig. 6에 Mechanical balance의 설치예를 보인다.

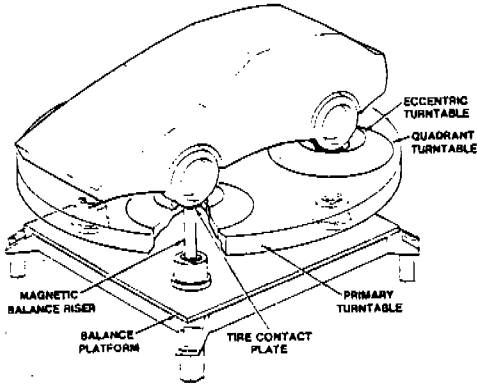


Fig.6 Schematic view of the mechanical balance platform, balance riser, balance turntables, and test vehicle

3. 자동차 풍동실험의 예

Full-scale 풍동에 의한 자동차에 대한 실험은 그 자체로써 자동차설계에 있어 유용한 정보를 제공할 뿐만 아니라 실제 주행상태에서는 정확한 공기역학적 계수 들에 대한 정보를 얻을 수 없는 현실을 고려할 때 실제 주행중인 자동차에 미치는 공기역학적 힘들에 대한 신뢰성 있는 정보를 제공함으로써 실험결과를 전자계산기에 의한 유동의 Simulation에 사용할 수 있다는 점에서 그 중요성은 강조될 수 있다.⁸⁻¹¹⁾

그러한 예들 중의 하나로써 일반승용차에 대한 경우를 Fig.7에 보인다.

자동차 풍동실험은 실험대상물이 주어진 주행조건하에서 받게 되는 공기역학적 힘들과 실험대상물 주위의 유동을 조사하는데 그 목적이 있고 이 목적들은 Balance에 의하여 공기역학적 힘들을 측정하거나 압력계에 의하여 실험대상물 주위의 압력분포를 구하거나 또는 유

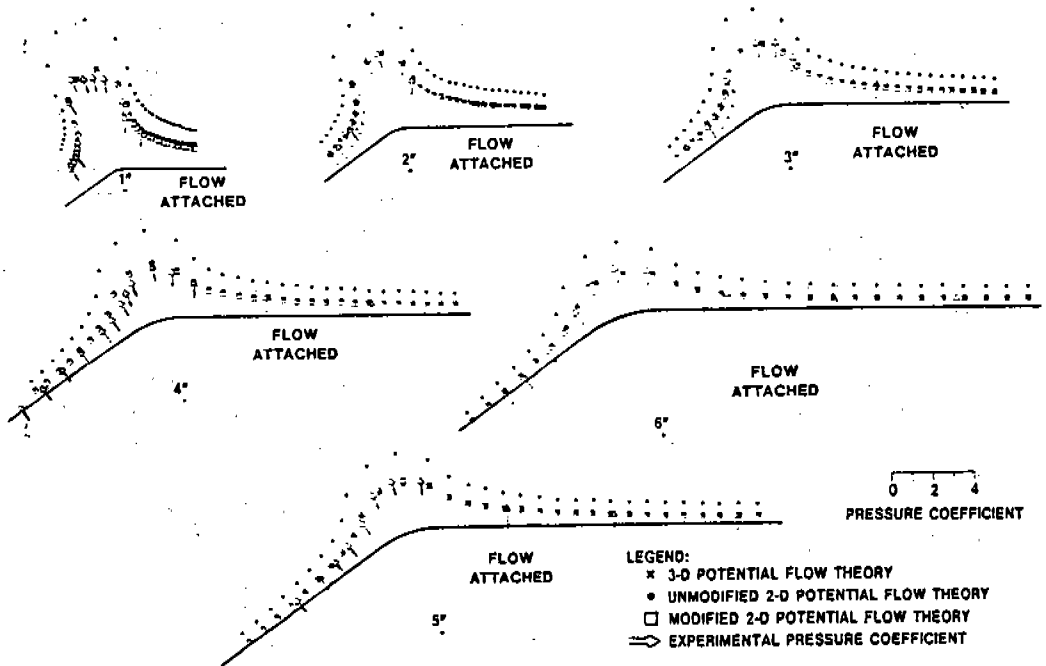


Fig.7 A Comparison of Measured and Potential Flow Pressure Distributions About Six Circular Arc Windshield Headers

등의 가시화 등의 방법에 의하여 달성된다. 이때 공기역학적 힘들과 압력 변화 등은 컴퓨터에 의하여 일정시간간격 동안의 평균값들로 자료로써 저장되는 경우가 많다.

Fig.8은 Truck에 대한 실험결과로 Yaw angle의 변화에 따른 항력 계수들의 변화를 보인 것으로 이 실험은 서로 다른 4개의 풍동에서 각각 이루어졌으며 또한 Truck에 Fuel

saver를 장착한 경우와 장착하지 않은 경우로 나누어서 이루어진 것이다.

Fig.9는 Fig.8의 실험의 경우에 Smoke를 이용하여 유동을 가시화한 것이다.

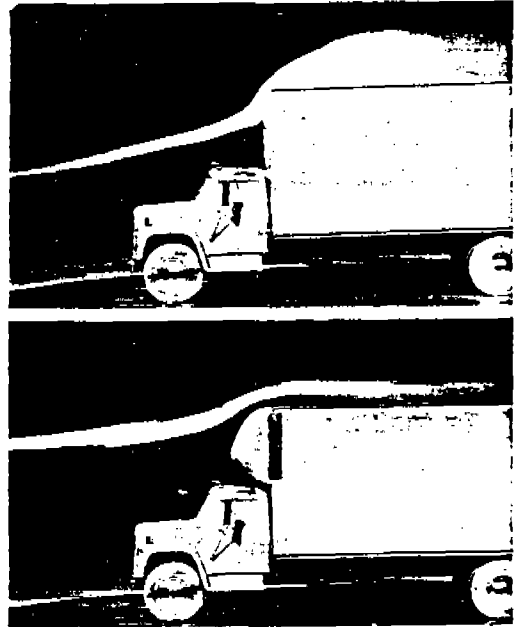


Fig.9 Smoke flow visualization of the IH standard(top) and fuel saver(bottom) configurations

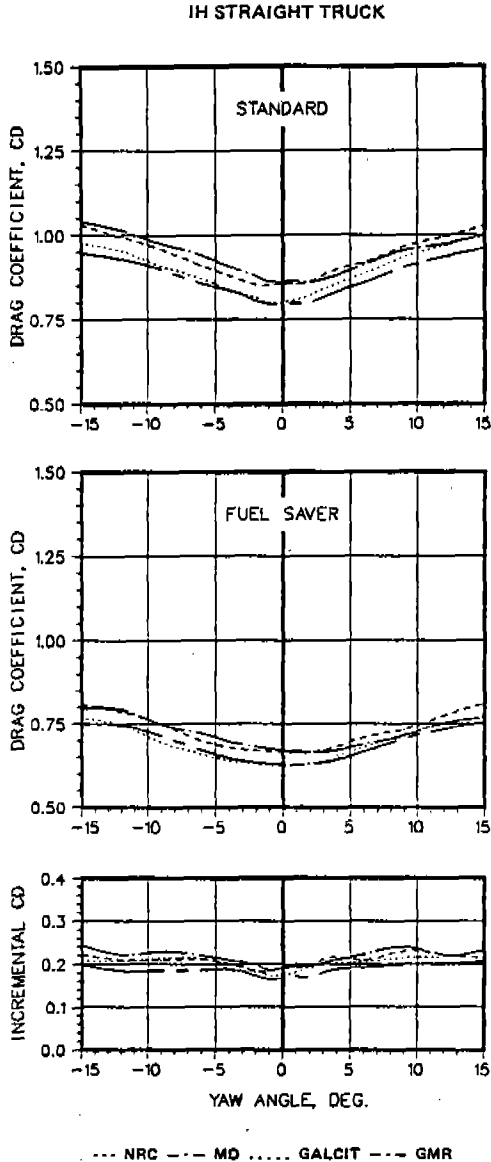


Fig.8 Yawed-shifted Drag coefficients

4. 맺는 말

이상에서 현재 가동중인 자동차를 Full-scale 풍동의 구조와 그 풍동에 의한 실험에 대하여 살펴보았다.

날로 증가하는 자동차에 대한 수요는 연료 경제성을 가지고 다양한 취향을 충족시키는 여러가지 감각적인 모양의 자동차를 요구하고 있다. 연료경제성을 추구하는데 있어서는 항력의 감소가 효과적인 대응책이 되고 있으며 이와 더불어 소비자의 다양한 취향에 호응하여 공기역학적 설계가 자동차 제작회사들의 주된 관심사가 되어 있다. 따라서 풍동실험은 새로운 모델의 자동차 제작시 반드시 수행되는 중요한 과정이므로 국내에서도 자동차용 풍동실험에 관심을 보이게 되는 여건이 하루속히 조성되었으면 한다.

참 고 문 헌

1. 李澤植, “自動車돌레의 流動의 數值 Simulation - $k-\epsilon$ 亂流 model에 의한 數值解의 比較例一”, 韓國自動車工學會誌, 第9卷 第3號, pp.36~45, 1987.
2. 姜信榮, 鄭石浩, 金晟蕙, “自動車の 空氣力學”, 韓國自動車工學會誌, 第9卷 第3號, pp.46~54, 1987.
3. K.B. Kelly, L.G. Provencher, and F.K. Schenkel, “The General Motors Engineering Staff Aerodynamics Laboratory - A Full-Scale Automotive Wind Tunnel”, SAE 820371, 1982.
4. S. Egle, N. Herzum, G. Hofele, and H. Konitzer, “Wind Tunnel for Aerodynamic Research” SAE 820372, 1982.
5. R. Buchheim et.al, “Comparison Tests Between Major European and North American Automotive Wind Tunnels”, SAE 830301, 1983.
6. J.D. Whitfield, J.L. Jacocks, W.E. Dietz, and S.R. Pate, “Demonstration of the Adaptive-Wall Concept Applied to an Automotive Wind Tunnel”, SAE 820373, 1982.
7. R.G.J. Flay, G.M. Elfstrom, and P.J.F. Clark, “Slotted Wall Test Section for Automotive Aerodynamic Tests at Yaw” SAE 830302, 1983.
8. J.C. Paul, and J.G. LaFond, “Analysis and Design of Automobile Forebodies Using Potential Flow Theory and a Boundary Layer Separation Criterion” SAE 830999, 1983.
9. K.R. Cooper, W.T. Mason, Jr., W.H. Bettes, “Correlation Experience with the SAE Wind Tunnel Test Procedure for Trucks and Buses”, SAE 820375, 1982.
10. J.N. Kettinger, “Tractor-Trailer Fuel Savings with an Aerodynamic Device - A Comparison of Wind Tunnel and On-Road Tests”, SAE 820476, 1982.
11. R.M. Santer, and M.E. Gleason, “The Aerodynamic Development of the Probe 4 Advanced Concept Vehicle”, SAE 831000, 1983.