

自動車の 空氣抵抗 (Aerodynamic Drag of Road Vehicle)

忠北大 工大 李 炳 坤*

자동차는 종합기계제품으로 다른 산업들과 많은 연관성을 가지며 그 수요와 생산규모가 커서 모든 나라가 국가적인 산업으로 육성하고 발전시켜 왔다. 이러한 자동차는 미국, 일본, 유럽 등 선진국의 독점물이었으나 우리 나라도 현대자동차(주)의 고유모델 개발에 힘입어 캐나다등지에 수출하고 있으며 전문구동차를 개발하여 방대한 미국시장에 뛰어들 준비를 하고 있다. 이와함께 대우자동차(주), 기아산업(주)등 여타 자동차 메이커들도 새 모델을 개발하여 세계시장에 진출하려 하고 있다.

그러나 우리 나라의 자동차가 세계무대에 진출하기 위해서는 선진국의 기술 수준과 경쟁력을 갖추어야 하는데 그 중 중요한 것으로 경제적인 연료 절약형 자동차의 개발이다. 근년에 있었던 두 차례의 석유파동과 석유 자원의 한정된 매장량으로 연료 절약은 자동차의 우열을 다루는 필수적인 과제가 되었는데 이에 관한 연구는 크게 소형경량화와 공기저항감소로 집약된다. 본고에서는 1982년 London에서 개최한 공기저항감소에 대한 국제학술대회에서 발표된 기술자료를 발췌 소개한다.

1. 공기저항감소의 효과

자동차가 주행시 받는 저항은 타이어의 노면저항(rolling resistance)과 공기저항(aerodynamic drag)인데 Fig. 1과 같이 주행속도가 60km/h 이

상에서는 공기저항이 노면저항보다 훨씬 커지며,¹⁾ 항력계수에 따라 연료소모율은 Fig. 2와 같이 변화하여 항력계수(공기저항계수)가 10% 감소하면 연료소모는 약 4%가 감소된다.²⁾

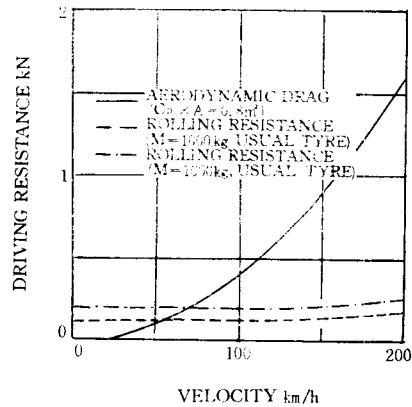


Fig. 1. Air and rolling resistances as a function of vehicle speed.

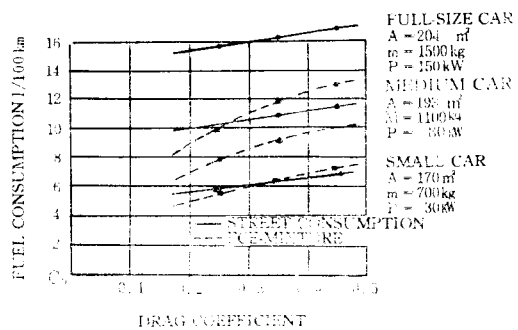


Fig. 2. Fuel consumption versus drag coefficient C_d .

* 機械技術士(流體機械), 工學博士

이러한 효과적인 연료절약면에서 공기저항에 관한 연구는 최근 더욱 관심이 집중되고 각국에서 많은 연구가 진행되어 기존차의 경우, 항력계수를 0.42에서 0.20~0.30 까지 낮출 수 있는 연구들이 제시되고 있으며, 신 모델인 경우, 0.05~0.10 정도의 미래형 저 공기저항차가 제안되어 실용화 되고 있다. 우리 나라 차로서 이러한 공기저항계수를 제시한 것은 필자가 알기에는 최근 현대자동차가 개발한 포니엑셀뿐으로 0.38을 제시하고 있는데, 이것은 81년도 유럽의 소형승용차 평균치인 0.42에 비하여 10% 정

도 개선된 것으로 매우 고무적이나 아직도 개선될 여지는 있다고 보아야 할 것이다.

2. 항력계수의 정의와 전면투영면적

공기저항력은 항력계수(C_D)를 이용하면 다음 식으로 표시된다.

$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot A$$

여기서

D : 공기저항력

ρ : 공기 밀도

V : 주행속도

A : 전면투영면적

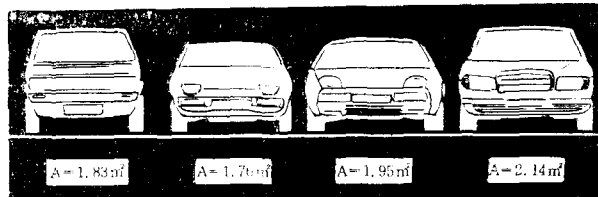


Fig. 3. Frontal areas of existing vehicles.

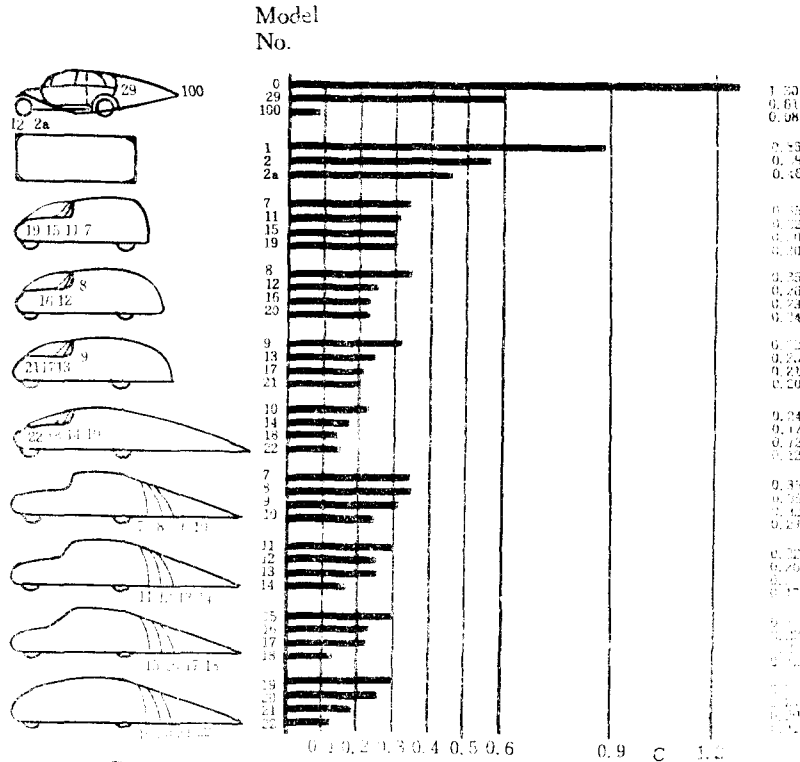


Fig. 4. Drag coefficient of different model variants.

이 식에서 알 수 있듯이 전면투영면적과 항력 계수가 공기저항력의 두가지 중요한 인자이다. 이 중 전면투영면적은 개략적으로 차체폭과 높이로 표시되며, 인체의 구조, 안락성, 안정성등을 고려하여 결정한다. Fig.3은 유럽차의 몇가지 모델들의 전면 투영면적이다.

3. 항력계수

항력계수는 차체형상에 좌우되는 상수로서 관련 인자들을 살펴보면 다음과 같다.

① 기본형태

Lay(1933)는 기본형태에 따라 Fig.4와 같은 항력계수의 변화를 제시하였다.³⁾

자동차의 초창기로서 뒤쪽 트렁크부분이 현재와 다소 다르긴 하나 훌륭한 기본자료를 제공하며 이것에서 항력계수는 길이/높이비에 반비례하는 것을 알 수 있다. 또 Hucho(1976)는 운곽인자를 도입하여 이에 대한 항력계수의 변화를 Fig.5와 같이 제안하였다.

그림의 운곽인자는 선적분으로 표시되어 복잡한 것 같으나 매 단위길이당 곡률변화를 구하면 되는 것으로, 변화율이 가장 완만한 달걀형이 가장 적은 항력계수를 갖는 것을 볼 수 있다.

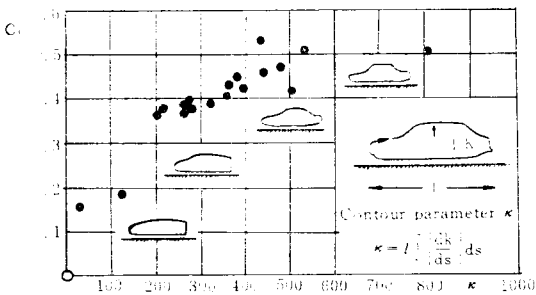


Fig. 5. Drag coefficient versus contour parameter determined for centre cross-section only.

② 선단부(본네트부) 형태

일반적으로 유동이 정체되는 본네트선단(Fig.6의 원형표시부)이 낮을수록 항력과 양력(차를 뜨게 하는 힘)이 작아진다.⁴⁾ 또 선단 반경이 커질수록 항력계수는 Fig.6과 같이 감소한다.⁵⁾

그림에서 모서리를 면취(chamfered) 시켰을 때가 반경이 40mm 범위내에서 더 작은 것은 상기한 유동정체점이 더 낮아지는 때문이다.

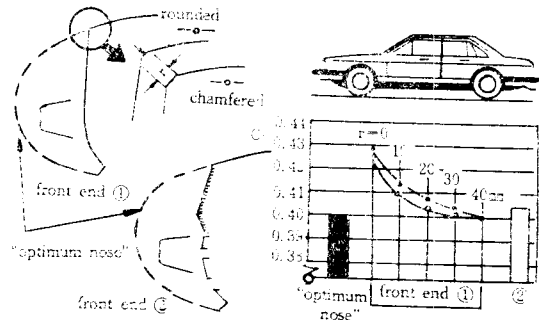


Fig. 6. Optimization of the front end of a mid-size vehicle.

Carr(1968)는 본네트 경사각(α_F)에 대한 항력계수의 변화를 Fig.7와 같이 제시하였다.⁶⁾

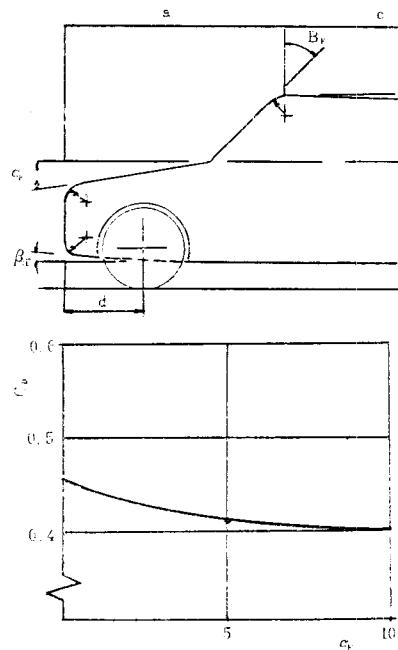


Fig. 7. Effect of bonnet slope on drag coefficient.

이러한 연구들에서, 큰 본네트 경사각으로 본네트 길이가 길수록 항력이 작아진다고 생각할 수 있다.

또 차량전면의 공기갭(Fig.8에서 바퀴사이의 겹쳐 칠한 부분)도 그 높이에 따라 Fig.8과 같

이 항력 및 특히 양력에 큰 영향을 준다.⁷⁾

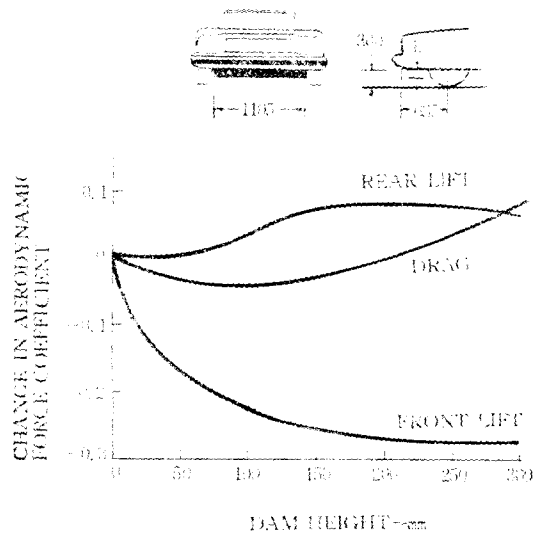


Fig. 8. Typical lift and drag effects of front underbody dams.

③ 탑승부 형태

앞 유리창의 경사각은 Fig.9와 같이 경사가 클수록 항력계수가 작아지며, 지붕의 길이 방향

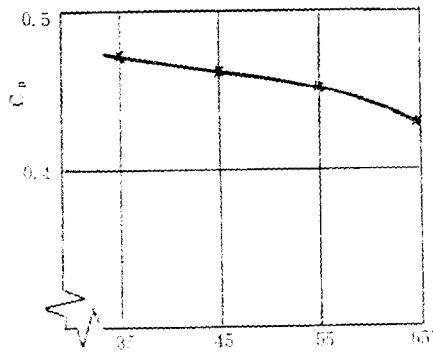


Fig. 9. Effect of windscreen rake on drag coefficient.

(a) 및 폭방향(α_h)의 캠버는 Fig.10과 같이 전면 투영면적과 항력계수에 동시에 영향을 준다.

④ 후단부(後端部, 트렁크부) 형태

후단부는 경사각이 작아질수록 Fig.11과 같이 저항이 감소되며 30° 이상의 squareback-type

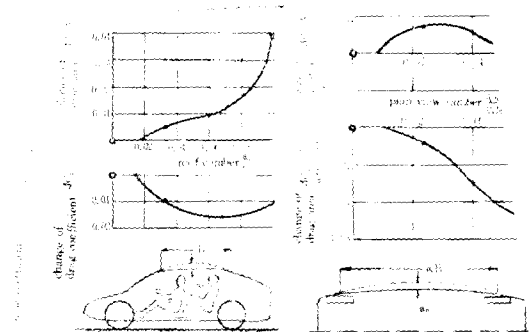


Fig.10. Influence of roof shape and plan view camber on drag.

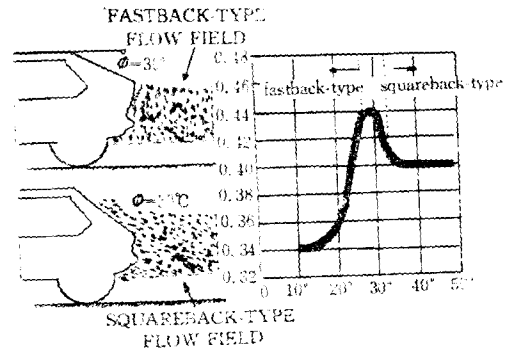


Fig.11. Fastback and squareback flow and related air drag.

에서는 일정하다.

Fig.12는 트렁크부위의 폭의 감소에 대한 저

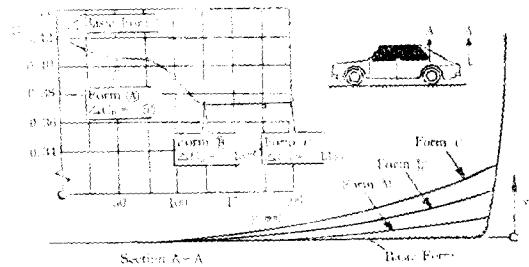


Fig.12. Air drag versus side panel contraction.

항감소를 보여주며, Fig. 13 은 경주용차에 대한 후단부 형태에 따른 항력 및 양력의 차이를 보여준다.

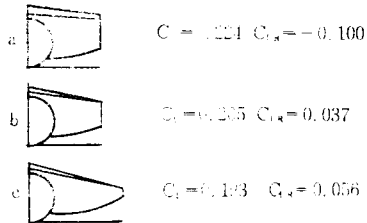


Fig. 13. Comparison of different racing car rear-end shapes.

Fig. 14 는 노치백형에 rear deck lip 을 부착하였을 때 양력과 항력변화를 도시한 것으로서 앞쪽의 양력과 항력은 약간 증가하나 뒤쪽 양력은 급속히 억제되어 이의 도입을 고려해 보는 것도 좋을 듯하다.

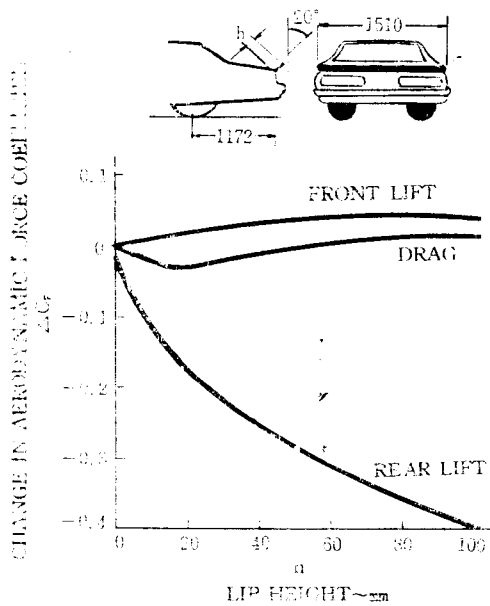


Fig. 14. Effect of rear deck lip height on lift and drag of a notch-back sedan.

Fig. 15 는 후단부를 늘였을 때의 항력계수 변화를 나타낸다.

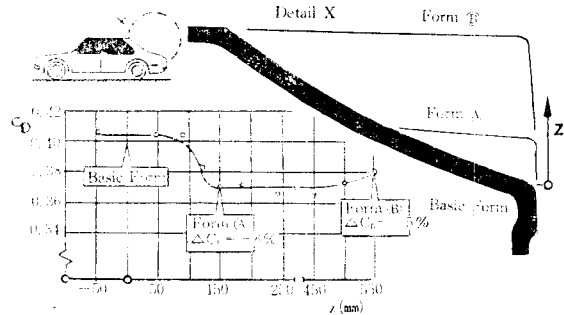


Fig. 15. Air drag versus rear-end elevation.

⑤ 내부유입공기

엔진을 포함한 구동계통의 방열을 위하여 공기를 유입하여야 하는데 이 유입되는 공기량에 따라 항력계수는 Fig. 16 과 같이 증가한다. 이 증가되는 양은 대략 2~10%이다. 환기를 위한 실내공기 유입은 그 양이 매우 적어 별로 영향을 주지 않으며, 그 환기입구는 압력이 높은 곳에, 또 출구는 압력이 낮은 곳에 설치하면 별도의 팬이 필요하지 않게 된다.

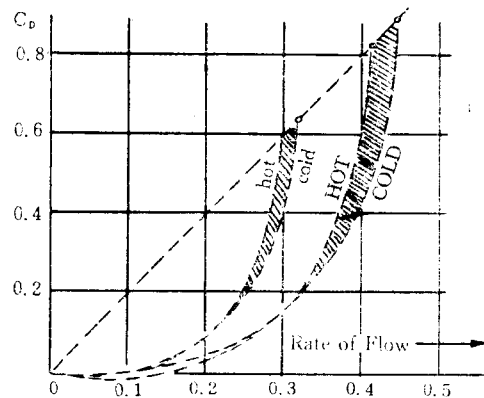


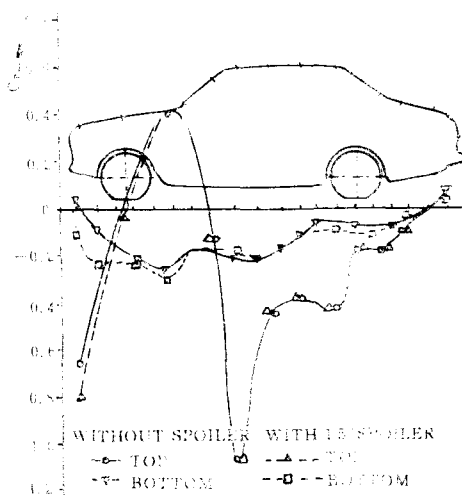
Fig. 16. Theoretical interior drag coefficients of two radiator installations with and without heating.

⑥ 돌출 부속품들

차량 외부에 돌출되는 후사경(백미러), 안테나 등은 전면 투영면적을 1~2% 증가시키며 이러한 돌출물 주위에 야기되는 유동의 박리현상으로 불량한 상태에서는 약 2%까지 항력계수의 증가를 가져온다.

⑦ 차량 바닥면

외부에서는 보이지 않아 소홀히 하기 쉬운 차



량의 바닥면도 그 표면조도와 Spoiler의 유무에 따라 Fig. 17과 같이 변화한다.

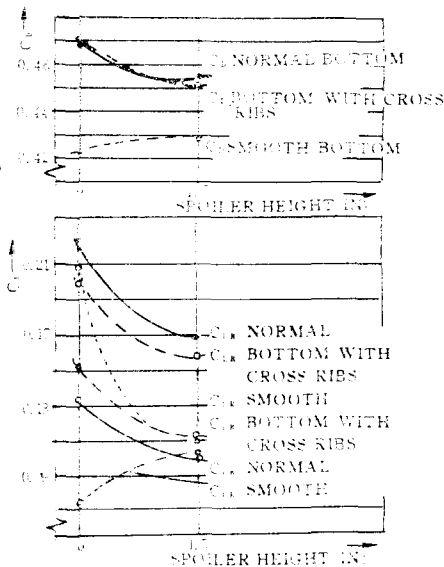
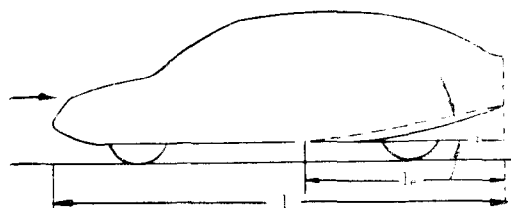


Fig. 17. Pressure distribution and influence of various underfloor structures on aerodynamic coefficients.

Fig. 17의 왼쪽 그림은 공기압력의 변화를 나타낸다. 또 바닥면의 후반부는 Fig. 18과 같이 경사각을 주면 이것이 디퓨저와 같은 역할을 하여 그림과 같이 항력의 감소를 기할 수 있다.



⑧ 기타

공기마찰 : 항력은 형상의 압력차로 인한 형상 항력과 표면마찰로 인한 표면항력으로 구분되는데 표면항력의 비율은 Fig. 19와 같이 전체항력의 약 10~15%에 달한다.

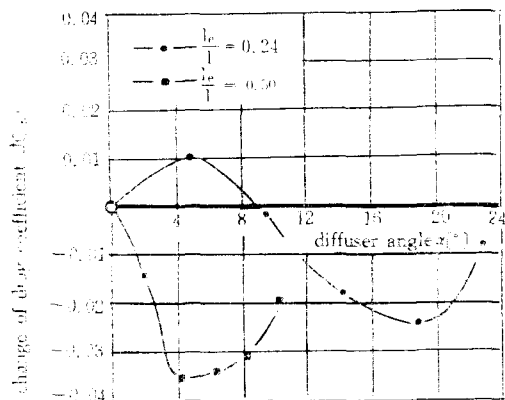


Fig. 18. Influence of underbody rear end on drag coefficient.

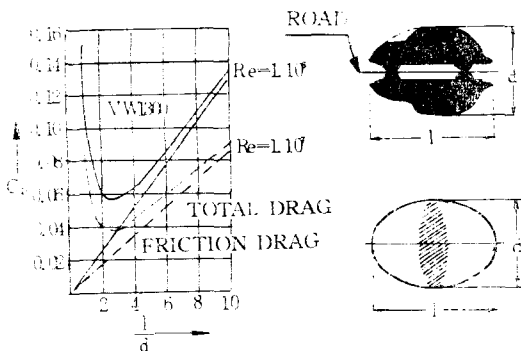


Fig. 19. Overall and frictional resistances of rotated ellipsoids.

표면의 조도는 1mm 이내에서는 큰 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있다.

바퀴 : Morelli 는⁸⁾ 바퀴를 달기 전의 실험에서 0.071 이던 항력계수가 바퀴를 달고 난 다음

0.177 로 크게 증가한 연구경험을 발표하였다. 이 실험에서는 바퀴가 고정되었으나, 회전하는 바퀴주위의 유동과 높이에 따른 항력계수의 변화는 Fig.20 과 같다.

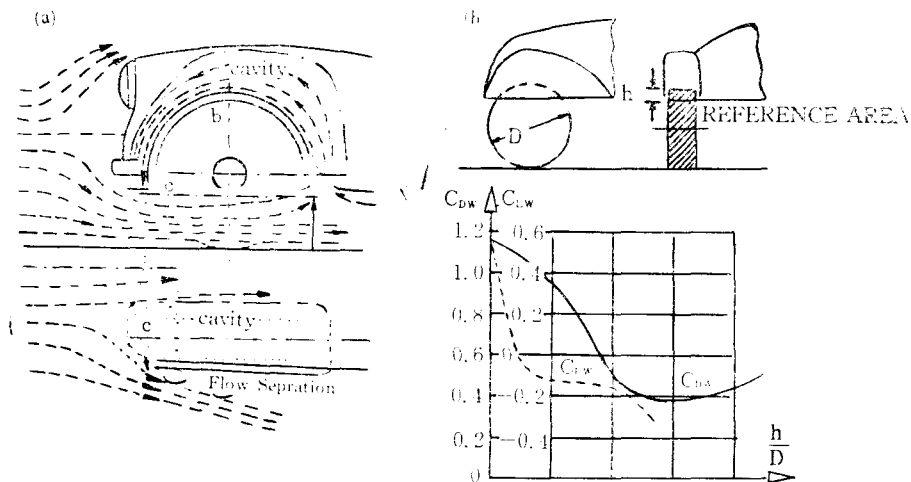


Fig.20. (a) Airflow within the front wheel cavity; (b) effect of wheel width on aerodynamic drag.

주행상태 : 실제의 주행상태도 양력과 항력에 영향을 주는 것으로 보고되었으며, Bez(1974)는 실제의 항력계수가 풍동실험의 그것보다 상당히

큰 것을 확인하였다.⁹⁾ Fig.21 은 지면여유증감에 대한 항력계수의 증감을 나타낸다.

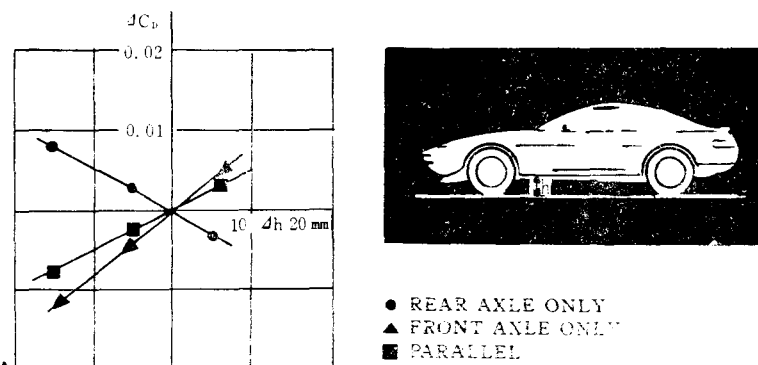


Fig.21. Influence of ground clearance or angle of attack on drag coefficient.

무개차 : 여닫이식 또는 무개차는 약 20% 공기저항이 증가한다.

유도항력 : 차량주위에 생기는 유동의 박리 및 재순환 유동은 주행방향의 항력외에 양력과 같

이 수직방향의 유도항력이 생긴다. Fig.22 는 양력계수의 증가에 따른 항력계수의 증가를 보여 준다.

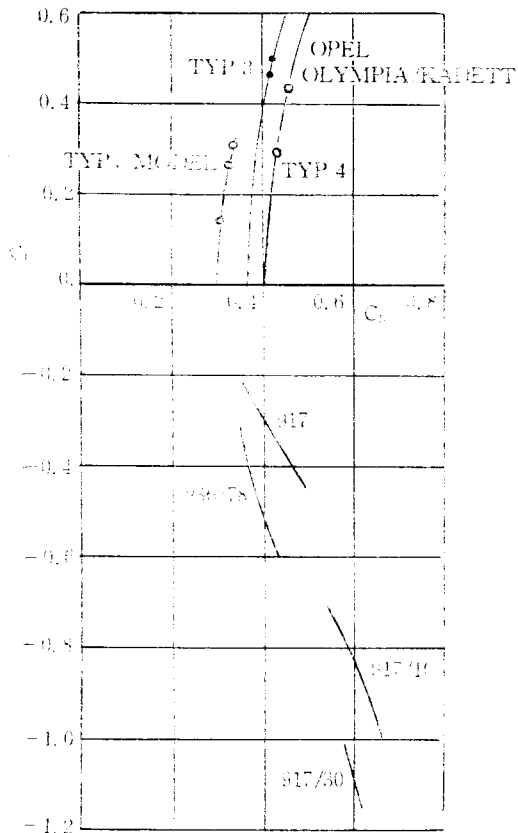


Fig. 22. Correlation between lift and drag coefficients for production and racing cars.

측방향 바람 : Fig. 23은 바람이 부는 각도에 대한 항력계수의 변화이다.

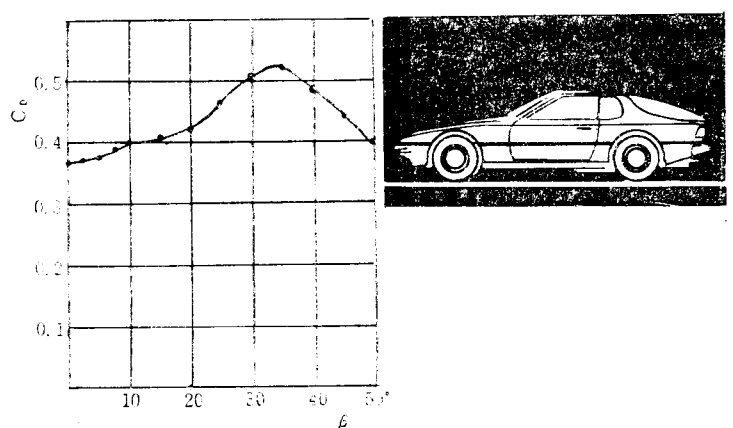


Fig. 23. Air drag versus yaw angle.

4. 맺는 말

이상과 같이 공기저항은 연료절약에 중요한 수단이며 이에 관련되는 인자들과 각 인자들에 대해 많은 연구가 수행되고 있음을 살펴보았다. 끝으로 이 글이 자동차에 관여하는 많은 기술인의 이에 관한 인식제고와 연구에 도움이 되기를 기대한다.

참 고 문 헌

- 1) H.Flegl & Bez, Aerodynamics, "Impact of Aerodynamics on Vehicle Design," Internation Conference at London, 1982.
- 2) W.H. Hucho, Int'l Conf. at London, 1982.
- 3) Lay, W.E., SAE J Vol.32, pp.144, 1933.
- 4) Flegl, H., Lechner, R., Essen, Haus der Technik, 1978.
- 5) W.H. Hucho, Aero. Drag Mechanism of Bluff Bodies and Road Vehicles, Plenum Press, N.Y., 1978.
- 6) Carr, G.W, MIRA Rpt 1968/9.
- 7) Schnekel, F.K., SAE Paper No.770 389, 1977.
- 8) Morelli, A., et al, SAE Paper No.760 186, 1976.
- 9) Bez, U., Automobiltechnische Zeitschrift Vol.76, pp.345, 1974.