

냉각 유동이 자동차 항력에 미치는 영향에
관한 실험적 연구
(An Experimental Study on the Aerodynamic Drag of
Model Cars with Cooling Air Passage)

정 형 호
H. H. Jung

Department of Refrigeration and Air-Conditioning Engineering
Korea Maritime University, Pusan, Korea

Keywords: Cooling drag(냉각 항력), Pressure drop coefficient(압력 강하 계수), Momentum theorem(운동량 이론)

Abstract

This paper presents the experimental results of aerodynamic drags of model cars. The effects of cooling air on total drag were introduced by using momentum theorem. Vehicle-liked Ahmed body and 1/5 model car were used to evaluate the increments of drags due to the internal flow. The results were compared with momentum theorem and other's experiments and showed good agreements. In the case of Ahmed body, drags were increased by 22% due to the internal flow and decreased linearly by reducing internal air flow rates and inlet areas. The experiments on 1/5 model car with ill-defined air flow passage showed 10% increment of drag. The results of present study showed that cooling drag could be predict by momentum theorem within small errors.

요 약

본 논문에서는 주행중인 자동차에 작용하는 항력에 대한 실험 결과를 기술하였다. 운동량 이론을 이용하여 냉각항력이 전체 항력에 미치는 영향을 규명하였으며 자동차와 유사한 Ahmed body와 1/5 축소모델에 대하여 내부유동에 의한 항력의 증가를 구하였다. 실험의 결과는 기존의 연구와 운동량 이론으로 비교하였으며 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. Ahmed body에 대한 실험에서는 내부유동에 의하여 항력이 약 22% 증가하였으며 유입면적과 유입 공기량의 감소에 따라 항력은 감소하였다. 내부유로가 있는 자동차의 1/5 축소모델에 대한 실험에서는 10%의 항력의 증가를 보였다. 본 연구에서는 내부유동에 의한 항력의 증가는 간단한 운동량 이론을 적용하여 예측할 수 있음을 확인하였다.

기 호 설 명

A	:	모델의 전면 면적(m^2)
A_R	:	공기 유입 면적(m^2)
\bar{A}	:	자유유동의 단면적(m^2)
C_D	:	항력계수
C_p	:	압력계수
c'_{DC}	:	유입면적을 기준으로 한 냉각항력계수
ΔC_D	:	항력계수의 증가
D_C	:	운동량 결손(N)
F_D	:	항력(N)
K	:	압력강하계수
L	:	모델의 길이
P_d, P_u	:	스크린의 하류와 상류에서의 압력
P_∞	:	자유유동에서의 압력
V_A	:	유입속도(m/sec)
V_∞	:	자동차 주행속도(m/sec)

H. H. Jung

v : 속도(m/sec)
 x : 주행방향의 좌표
 y, z : 주행방향에 직각인 좌표

그리스 글자

θ : 유출각도(degree)
 ρ : 밀도(kg/m³)



1. 서 론

항력은 자동차 주행에 반대방향으로 작용하는 힘을 일컫는다. 이 힘은 속도의 자승에 비례하므로 고속으로 주행할수록 이 힘이 더욱 증가하게 된다. 엔진 출력의 일부분이 이 항력을 극복하는데 이용되며 작용하는 항력이 적을수록 연료의 소모량이 감소되므로 항력은 자동차의 성능을 판단할 수 있는 하나의 기준이 된다. 이러한 이유로 대부분 많은 연구⁽¹⁻⁴⁾가 이 항력에 대한 것으로 이루어졌다.

실제 자동차가 주행할 때 작용하는 항력은 크게 2 가지의 영향으로 나타난다.⁽⁵⁾ 첫째 영향은 자동차의 차체와 차체에서 들출된 백미러,안테나 등의 부착물에 의한 것으로 외부항력(external drag)이라 한다. 둘째 영향으로는 방열기에서 냉각수를 식히기 위하여 엔진룸으로 유입하는 공기, 승객탑승부의 공조를 위한 공기와 부품을 냉각하기 위한 공기 등 차체 내로의 공기 유입에 의한 것으로 내부항력(internal drag)이라 한다. 이 내부항력 중에서 전자의 엔진룸으로 유입에 의한 항력을 냉각항력(cooling drag)이라 하는데 내부항력 중 가장 큰 부분을 차지하고 있다.

이 항력들의 크기를 비교하면 외부항력이 가장 크며, 그 다음 내부항력이 전체 10 내지 15%를 차지한다. 또한 공기 유입량이 가장 많은 냉각항력이 내부항력의 대부분을 차지하고 나머지 내부항력은 아주 미미하다. 이 내부항력에 대한 연구로는 최근에 Garrone과 Masoero⁽⁶⁾와 허 남건 등⁽⁷⁾에 의해서 실험과 수치해석방법을 이용하여 이루어지고 있다.

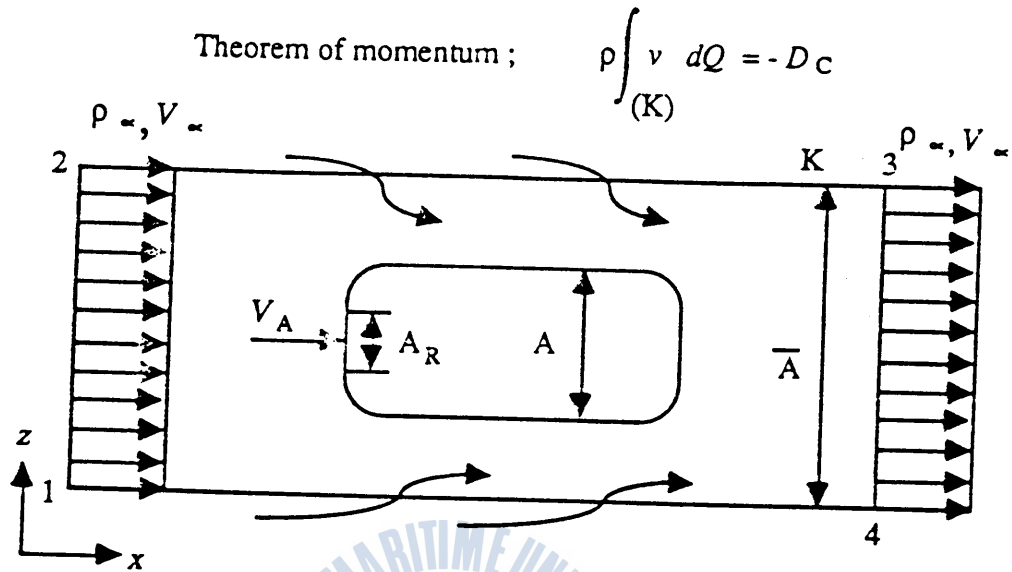
한편 자동차 범퍼와 그릴의 전반부와 하체(under body)에서 작용하는 압력 차이에 의해서, 엔진룸으로 공기가 유입된다. 그리고 공기량이 엔진에서 발생 열량을 식히기 위해서 필요한 양보다 적으면 방열기 후방에 있는 팬 작동시켜 많은 공기가 엔진룸으로 유입되도록 하고 있다. 엔진룸으로 유입하는 공기 유로의 정의 정도에 따라 2 가지의 형태로 분류할 수 있다.⁽⁸⁾ 첫째 형태는 정의된 유동(ducted or well-defined flow)이다. 이 유동의 유로는 그릴의 입구에서 유출구까지 굽혀진 채널과 같은 형상을 하고 있으며, 공기는 이 유로 내로 흐르고 비교적 간단한 형태로 유로의 형상이 변한다. 이 유동은 스포츠카 등 특수한 차량에서 이용되고 있는 유동이며, 일반 승용차에서는 적용되지 않는 유동형태이다.

실제 승용차의 엔진룸을 살펴보면, 유로는 정확히 정의되어 있지 않다. 엔진룸으로 유입되는 공기는 그릴을 통과하여 방열기를 지나면서 상부에 있는 본넷트와 방열기와의 틈새 그리고 방열기 좌우에 있는 여유공간으로 인하여 공기의 진행 방향이 일정하지 않으며, 방열기를 통과한 대부분의 공기는 엔진 블록 주위를 회전하여 하체로 빠져나간다. 또한 공기는 냉각팬, 발전기 엔진 등 부품들과 이러한 부품을 연결하는 냉각계통과 동력전달계통, 연료계통의 연결부 등에 의해서 유동은 엔진룸에서 복잡하게 변하며, 유출구도 엔진 블록 전후방에 자유롭게 형성되어 있다. 이와 같은 유동을 정의되지 않은 유동 (non-ducted or ill-defined flow)이라 하며, 대부분 자동차 엔진룸 내의 유동은 이에 속한다.

본 연구에서는 냉각항력의 원인 그리고 전체 항력에 미치는 영향 규명을 목적으로 하였다. 이를 위하여 냉각항력에 영향을 주는 파라메타를 운동량 이론으로부터 정하였다. 파라메타를 변화시키면서 많은 실험을 수행하여 항력의 변화를 측정하였으며, 그 결과를 분석하여 냉각항력에 의한 항력의 증가를 정량화 하였다. 실험은 본 연구실에서 보유하고 있는 풍동에서 수행하였으며, 연구의 대상으로는 자동차와 유사하고 기존에 많은 연구가 이루어진 Ahmed body와 실차의 1/5 축소모델을 택하였다.

2. 운동량 이론에 의한 냉각항력

엔진룸으로 유입하는 유동에 의한 냉각항력을 이론적으로 고찰하기 위하여 자동차와 유사한 형상 주위의 유동 형태를 Fig. 1에 표시하였으며, 방열기 전후의 엔진룸 내 유동을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 물체의 전반부에는 공기 유입구가 있어 공기가 물체 내로 유입하고 $x-z$ 평면에 수직인 y 방향으로 빠져나간다고 가정하면 유입량에 해당하는 운동량 싱크가 발생한다. 운동량 이론을 적용하면 엔진룸으로 유입하는 유동에 의한 냉각항력계수는 이 그림에서와 같이 계산될 수 있다.⁽⁹⁾



(K)	Mass flow	Momentum flow
1-2	$-\rho A V_\infty$	$-\rho A V_\infty^2$
3-4	$\rho A V_\infty$	$\rho A V_\infty^2$
2-3		
1-4	$-\rho A_R V_A$	$-\rho A V_A V_\infty$
	$-\rho A_R V_A$	$-\rho A_R V_A V_\infty$

$$D_C = \rho A_R V_A V_\infty$$

$$c_{DC} = \frac{D_C}{\frac{\rho}{2} V_\infty^2 A_R} = 2 \frac{V_A}{V_\infty}$$

Fig. 1 Calculation of cooling drag with momentum theorem

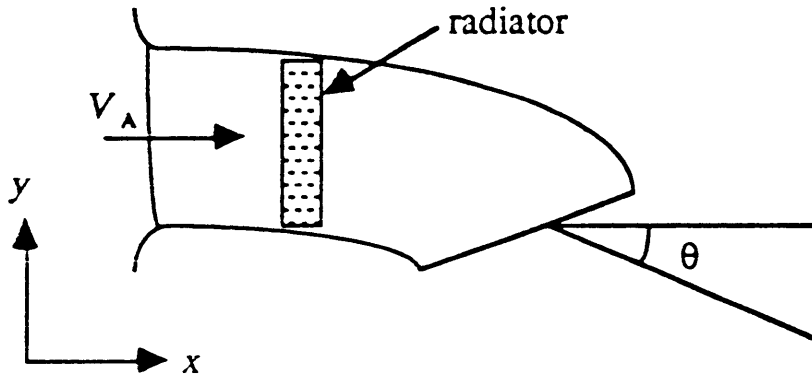


Fig. 2 Ideal cooling system and inclination of outlet

Fig. 1에서 계산된 냉각항력계수, c'_{DC} 는 유입면적을 기준으로 계산되어 있다. 자동차 전체에 대한 항력계수는 식 (1)과 같이 자동차 전체의 전면 면적으로 환산하여야 한다.

$$\Delta C_D = c'_{DC} A_R / A \quad (1)$$

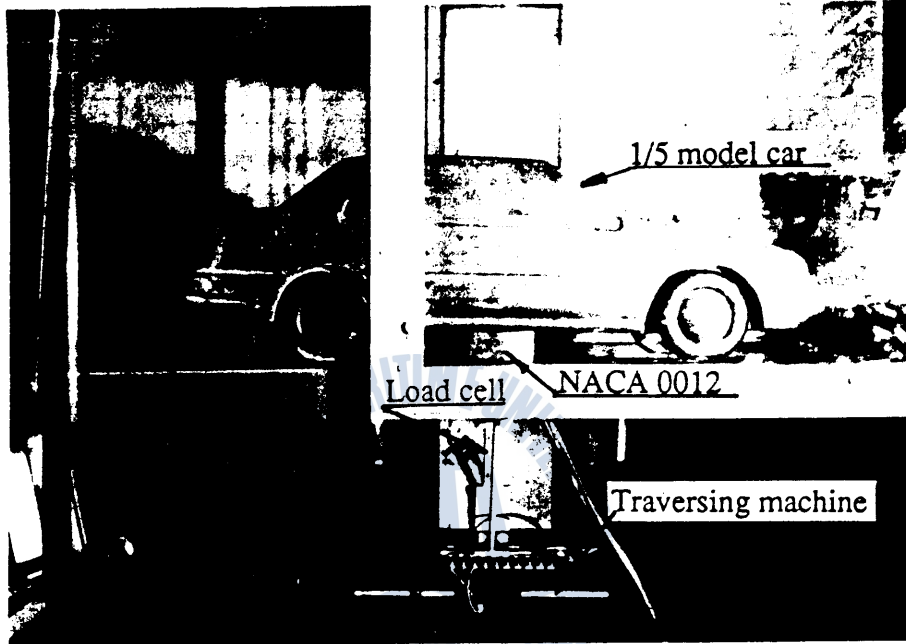
식 (1)과 Fig. 1과 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 냉각항력계수는 엔진 룸 내의 속도와 주유동의 속도 비, 전면면적에 대한 유입구 면적의 비, 유출각도 등의 함수임을 알 수 있다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 풍동 및 실험 모델

실험에 사용된 풍동은 측정부 크기는 $1.2\text{m} \times 1.2\text{m} \times 1.5\text{m}$ 이며, 속도는 최대 20 m/sec 까지 가능하다. 측정부에서 경계층을 제외한 유로 단면에서 속도의 비균일성은 1%이내이다. 실험대상의 모델로는 Ahmed body 모델과 1/5 크기의 실차 모델을 사용하였는데, Ahmed body 모델은 측정부의 길이의 제한에 때문에 원 Ahmed body 를 축소하여 아크릴로 제작 내부 유로가 보이도록 하였다. 모델의 길이, 폭, 높이의 비는 $3.36 : 1.37 : 1$ 이며, 전반부의 곡률 반경은 높이의 1/3이다. 본 연구에서 제작한 외형 데이터는 Table 1 나타냈으며,

본 모델을 측정부에 장착했을 때 blockage ratio는 2.03 % 이다. 자동차의 모델은 H 자동차회사의 1/5 축소모델을 이용하여 FRP 로 복사하였다. 풍동 내에서 장착된 자동차 모델과 제작한 Ahmed body 모델을 Photo 1 에 나타내었다.



(a) 1/5 model car with balance and supporter



(b) Ahmed body with internal flow passage

Photo 1 Photographs of models

Table 1 Geometric data of model of Ahmed body

Height(mm) 146.4	Width of inlet(mm) 86.4
Width(mm) 200.0	Height of inlet(mm) 32.8
Length(mm) 353.2	Slant angle 30도

Note) Radius of curvature is 32.8 mm.

3.2 압력 측정

모델의 중심부를 따라 정압구멍을 내고 0.7 mm 스텐레스 튜브를 순간접착제를 이용하여 모델에 고정시켰다. 압력측정은 Validay 사의 PDCR 24트랜스듀서, 48 채널 스캐니 밸브, CD-15 carrier demodulator 를 이용하였으며 전기식 액주계를 이용하여 트랜스듀서를 검정한 후 사용하였다. 스텐레스 튜브와 스캐니 밸브 사이에 비닐 튜브로 연결하였으며 충분한 길이를 두어 측정하는 동안에 압력이 변동 없도록 하였다. 압력차이가 큰 스크린의 특성 실험에서는 Furness Controls 사의 FCO12의 20mm Aq 압력계를 사용하였다.

3.3 항력 측정과 밸런스의 검정

모델에 작용하는 항력을 측정하기 위하여 굽힘 모멘트 형의 로드셀을 이용, 항력 측정용 밸런스를 제작하였다. 실험 대상 모델은 지지대를 통하여 항력을 측정하는 로드셀과 연결되도록 하였으며, 공기와 접하는 부분의 항력을 줄이기 위해 지지대를 코드 길이가 10 cm 인 NACA 0012 날개 형상으로 제작하였다. 지지대에 장착된 로드셀은 축방향이 모델에 작용하는 항력방향과 직각이 되도록 배치하여 로드셀에서 항력 성분만 측정되도록 하였다. 그리고 기반 부에서는 공기 유동에 의한 진동을 줄이기 위하여 지지대를 보강하였다.

사용된 로드셀은 본신로드셀(주)에서 생산하고 있는 OBU모델이고, 최대 측정하중은 10 kgf 이며, 정격출력은 2mV/V 그리고 비직선형(non-linearity)은 0.02 % 이다. 로드셀과 KYOWA사의 DPM-600 dynamic strain amplifier를 사용하여 밸런스의 측정 시스템을 구성하였다. 자동차 모델의 항력을 측정할 때 사용된 로드셀은 힘의 작용거리, 자체무게에 의한 모멘트, 압축력에 둔감하

고 오직 로드셀측의 수직력에 비례하도록 설계되어 있다. 통상 자동차 실험할 때 양력은 항력에 비해 1/10이므로 로드셀에 항력을 걸고 항력의 1/10의 양력을 가했을 때 항력은 약 1.5%의 오차가 생겼다.

본 연구에서 구성한 항력 측정 시스템을 검정하기 위해서 도르래를 이용하여 추와 모델을 강선으로 연결하여 추는 중력방향으로 향하도록 자유롭게 두었다. 일단의 강선은 모델과 연결하여 강선의 인장력이 공기 유동방향과 일치시켰다. 이 때 구해진 힘과 출력 전압과의 관계는 Fig. 3에 나타내었으며, 아주 좋은 선형성을 보여주고 있다. 검정할 때 일정한 하중에 대한 깨끗한 전기 신호가 나왔으나 실제 측정할 때는 모델과 유동의 진동으로 약간의 요동이 있는 전기 신호가 나왔다. 본 실험에서는 데이터의 평균값을 사용하였으며, 처리된 데이터의 항력계수는 약 0.016범위 안에서 반복성을 보여 주었다.

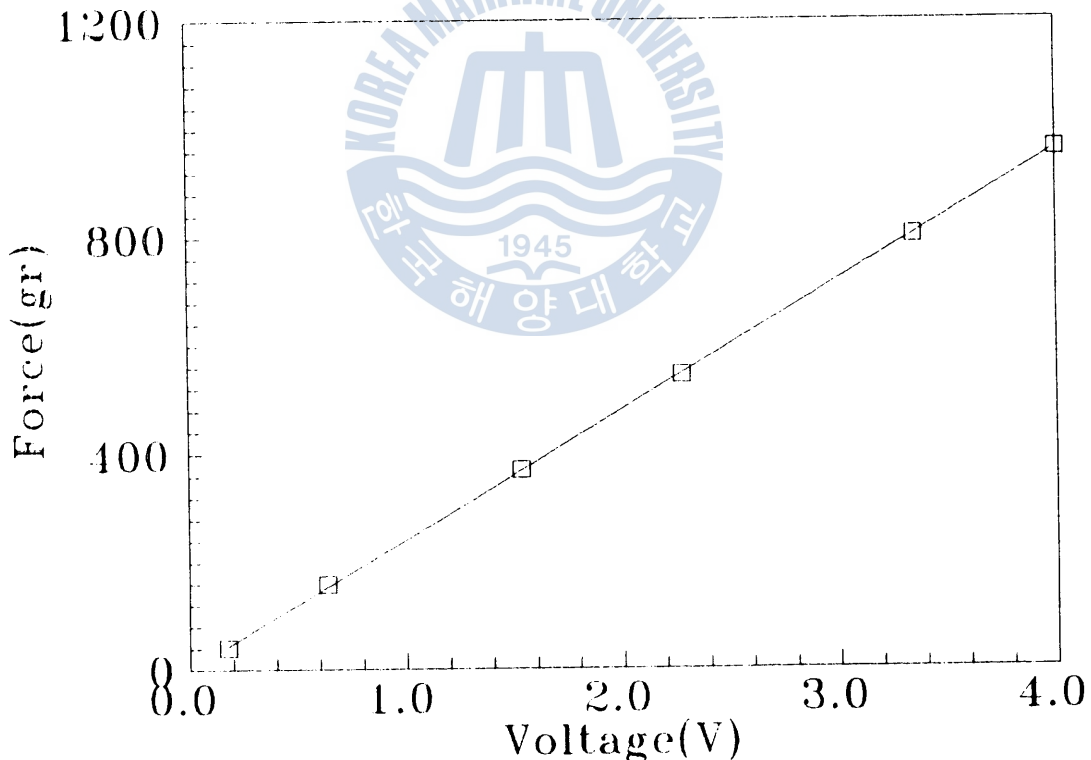


Fig. 3 Calibration curve of balance

3.4 전면면적의 계산

본 연구에서 대상으로 한 모델에 작용하는 항력의 무차원계수인 항력계수는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$C_D = F_D / (0.5 \rho V_{\infty}^2 A) \quad (2)$$

식 (2)에서 표시된 A는 전면면적으로 정의되는데, 본 연구에서는 모델의 정면에서 200 mm 망원렌즈를 부착한 사진기로 촬영한 뒤 이 사진을 확대하였으며, 디지털이저를 이용하여 전면면적을 구하였다.

4. 실험 결과 및 토의

4.1 스크린의 특성 실험

본 연구에서는 내부 유로 내의 저항체를 설치하여 유입되는 공기량(속도)을 조절하였다. 이 저항체를 대표하기 위하여 스크린의 압력강하 특성을 이용하였다. 또한 자동차 내부 유동의 압력 강하는 대부분 방열기를 통과하면서 전열면에서의 표면마찰(skin friction)과 단면축소에 의한 압력강하에 기인하며 일반적으로 압력강하계수는 8로 보고 있다. 이 때 공기의 속도는 자동차의 주행속도의 1/3인 약 8 m/sec 에 해당된다.⁽¹⁰⁾

한편 스크린의 압력 강하 계수는 공기 속도의 함수가 되므로, 본 연구에서는 공기속도 8 m/sec 일 때 이 값이 8이 되도록 스크린을 선정할 필요가 있었다. 그러므로 본 실험에 앞서 스크린 특성실험을 위한 간이풍동을 아크릴로 제작하였으며, 원심팬과 연결하였다. 풍동의 중앙에 스크린을 장착하여 스크린 전후에 정압을 측정하고 스크린 후방에 전압을 측정하는 프루브를 설치하여 전압과 정압의 차이·동압으로 속도를 구하였다. 여기서 압력강하계수, K 는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$K = \frac{P_u - P_d}{0.5 \rho V_{\infty}^2} \quad (3)$$

원하는 내부 유로의 유동저항의 특성을 구하기 위하여 스크린을 1 장에서 5 장까지를 겹쳐 원하는 조건에서의 압력강하계수를 얻도록 하였다. Fig. 4는 실험에서 얻은 스크린의 압력 강하 계수의 공기속도에 따른 변화를 나타낸 것이

다. 원하는 경우(K=8)는 스크린을 2장과 3장을 겹쳤을 때, 이 사이에서 얻을 수 있었다. 그리고 압력강하계수는 공기속도에 따라 변화였으며, 공기속도 3 m/sec 이하는 계측상의 오차에 의해 데이터의 신뢰성이 없었다. 연구의 다음 실험을 위해서는 원하는 기준 조건을 중심으로 큰 값과 작은 값으로 압력 강하 계수를 변화시킬 필요가 있었으므로, 본 실험에서 이용한 1장에서 5장까지의 스크린을 그대로 이용하여 내부 유로내의 유동저항을 대표하였다.

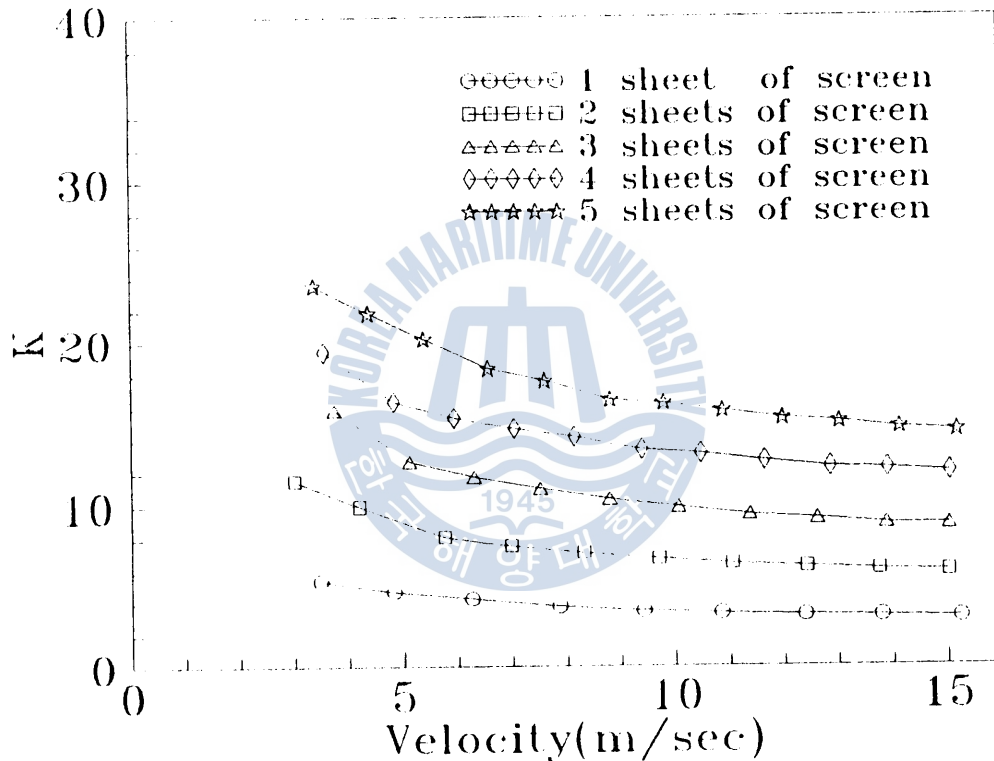


Fig. 4 Characteristics of screen

4.2 Ahmed body 모델에 관한 실험

풍동실험은 풍동의 형태와 특성에 따라 약간의 차이가 있으므로, 본 연구에서 제작된 Ahmed body 모델로 본 연구실에 있는 풍동에 의한 결과를 기존의 결과와 비교해 볼 필요가 있었다. 기존의 발표 결과⁽¹¹⁾는 모델 내부로의

공기 유입이 없는 경우에 관한 것이었으며, 본 연구에서는 이미 제작된 Ahmed body 의 유입구와 유출구를 막고 실험하였다.

풍동의 속도를 10 m/sec 에서 풍동이 최대로 낼 수 있는 속도인 20 m/sec까지 변화시키면서 측정된 항력계수의 값을 Fig. 5에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 항력계수는 조금씩 차이를 보이고 있으며, 이는 로드 셀의 자체 전압 요동과 유동의 진동에 의한 것이라고 생각되었다.

Table 2는 본 실험과 기존의 연구 결과를 비교한 것이다. 이 때 슬랜트각도는 30도이며, 이 Table에서 보는 바와 같이 기존의 실험 보다 약 3.2 %에서 5.8 %정도 높게 나왔으며, 풍동실험의 오차를 감안하면 비교적 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

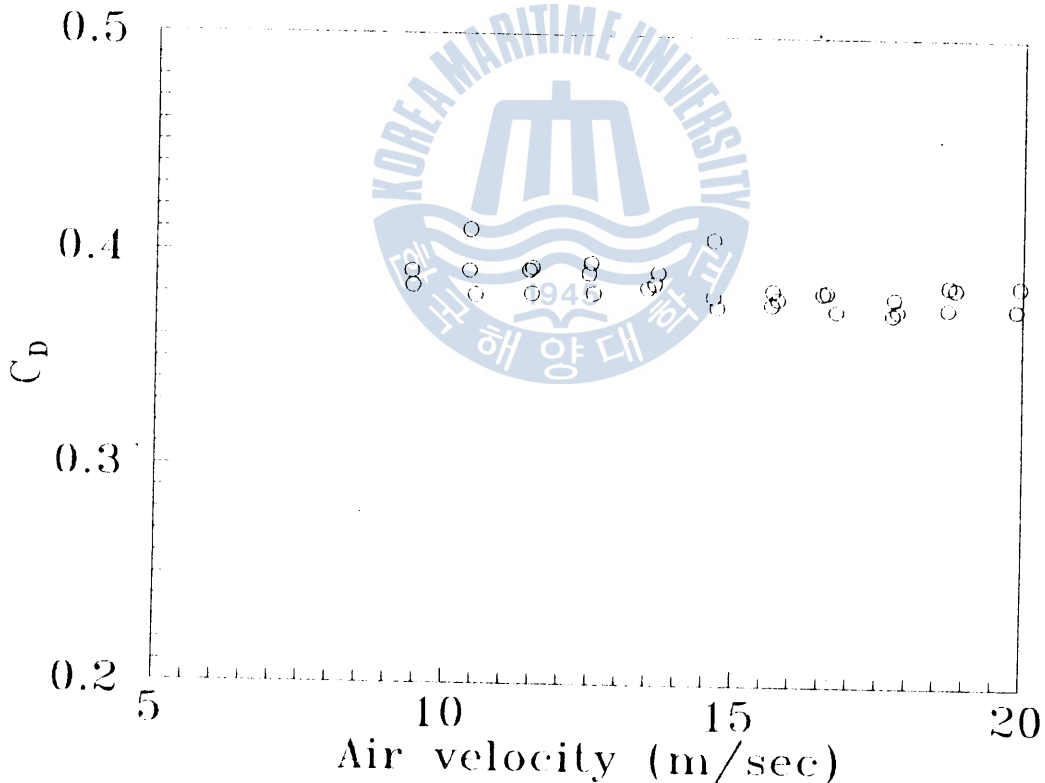


Fig. 5 Drag coefficients versus air velocities

Table 2 Comparison of drag coefficients with Ahmed's experiment

Ahmed's result*	Present**
0.378	0.38 ~ 0.4
Note) * : Free stream velocity is 60 m/sec. ** : Free stream velocity is 20 m/sec.	

또한 표면에서의 압력계수, C_p 는 Fig. 6에서와 같이 Han⁽¹²⁾의 계산 결과와 비교하였다. Han은 슬랜트의 각이 30도인 기존의 Ahmed body에서 후면의 슬랜트 각도를 변화시키면서 계산하였는데 Han의 결과는 슬랜트의 각이 20도

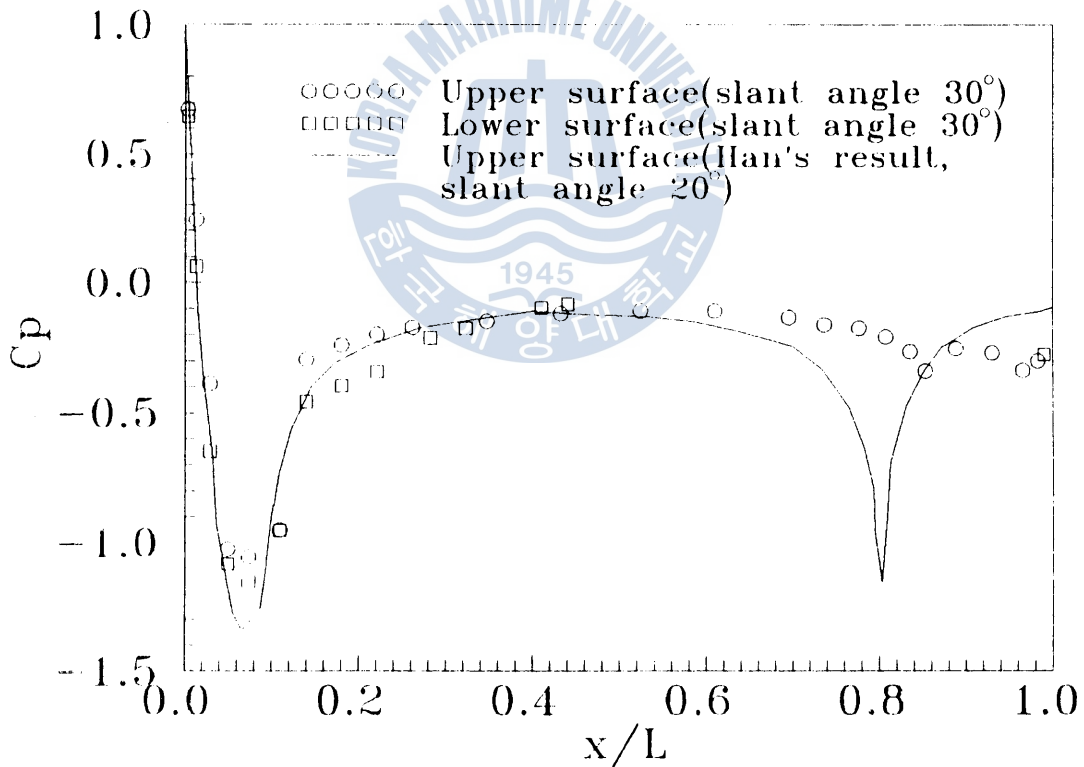


Fig. 6 Comparison of pressure coefficient of upper and lower surface

인 경우에 압력계수가 보고되어 있었다. 슬랜트 부분에 약간의 차이를 보이고 있으나, Fig. 6에서 보는 바와 같이 모델의 후면을 제외한 부분에서는 아주 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 후류에서의 압력계수가 차이가 나는 것은 Han 이 지정한 바와 같이 계산에서의 모델의 후류의 특성을 정확히 예측할 수 없는 난류모델 부적합함에 기인한다고 사료된다.

4.2.1 냉각유량에 의한 효과

냉각 공기 유량과 냉각 항력의 관계를 알려면, 유로 내를 통과하는 공기

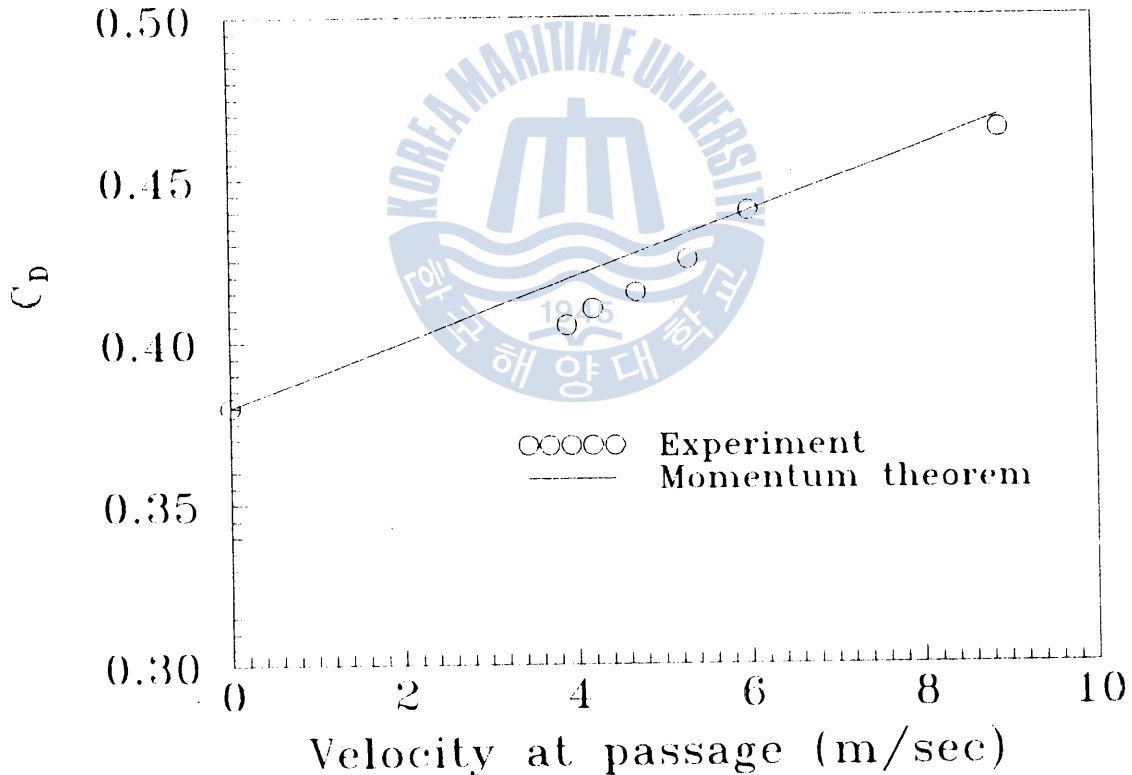


Fig. 7 Comparison of C_D with momentum theorem

유량을 측정하여야 하지만 협소하고 제한된 내부 유로 내에서 유량을 측정하는 것은 아주 어려운 일이었다. 그러므로 본 연구에서는 유로의 중앙에서의 속도를 측정하여 이 값을 대표로 하였다. 또한 스크린의 압력강하계수가 파라메타이지만, 4.1에서 검토한 바와 같이 이 값은 공기속도의 함수가 되었다. 그러므로 본 연구에서는 압력강하계수 변화와는 관계없이 스크린의 장수를 변화시켜 유입되는 공기속도에 대한 항력과 압력계수의 변화에 대하여 논하고자 한다.

내부 유로의 평균 유속 변화에 의한 항력변화를 실험의 결과와 운동량 이론에 의한 항력과 비교하여 Fig. 7에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 내부 유로의 속도가 큰 경우에는 운동량 이론과 실험의 결과가 잘 일치하는 것을 보여주고 있다. 그러나 속도가 작은 곳에서는 약간의 차이가 남을 알 수 있었는데, 이는 내부 유로 내에서의 속도를 측정할 때 저속인 경우 실험의 불확실성에 기인한다고 사료된다. 또한 항력계수의 변화는 입구를 막은 경우를 기준으로 22 %의 증가를 보여주고 있다.

내부 유로를 형성시키면서 추가된 면적은 전체 표면적의 약 14 %가 되며, 유로 개폐에 의한 항력계수의 증가가 순전히 표면마찰에 의한 것이라 하면 면적의 증가만큼의 저항이 변할 것이라고 추론할 수 있다. 그러나 실제 자동차에 작용하는 외력에서 약 15에서 20 % 정도가 표면마찰에 의한 것으로 알려져 있고, 나머지가 모델의 전후방에서 압력차이에 의한 항력으로 볼 수 있다.⁽¹³⁾ 본 연구에서 공기와 접하는 면적 증가에 따라 표면마찰의 증가에 의한 항력계수의 변화는 2 % 내지 3 % 밖에 되지 않는다고 볼 수 있고, 나머지 20 %에 해당하는 항력의 증가는 모델 전후의 압력항력(pressure drag)에 의한 것으로 볼 수 있다. 그러므로 모델 주위에서의 압력변화에 대한 고찰이 필요로 하게 되었다.

공기속도의 스크린의 장수를 바꾸면서, 모델주위에서의 압력계수 측정 실험에서 모델의 상부와 후면에서의 정압의 변화는 거의 없었다. 그러나 유로 내의 압력계수와 모델 하면에서의 압력계수는 뚜렷한 변화를 볼 수 있었다. 유로 내에서의 압력계수와 후면에서의 압력계수를 비교하여 Table 3에 나타내었으며, 모델 하면에서의 압력계수 변화를 Fig. 8에 표시하였다.

Table 3 Effects of screens on pressure coefficients

Number of screen	0	1	2	3	4	5	∞
C_p in duct	0.80	0.52	0.40	0.30	0.24	0.23	0.0
C_p at rear of body	-0.22 ~ -0.33						

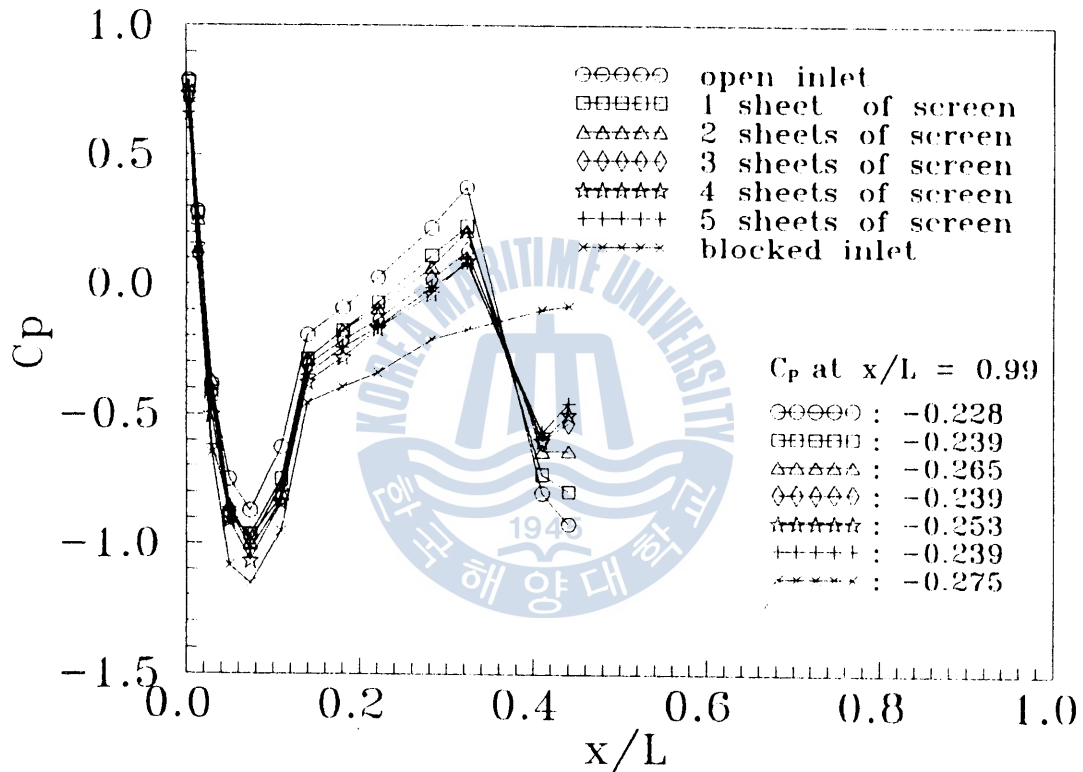


Fig. 8 Effects of flow resistances on C_p at underbody

Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 유로가 완전히 개방되었을 때 유로 내에서의 압력계수는 0.8로 가장 높았으며, 스크린의 장수에 따라 정압이 감소하였다. 이때 후면에서 정압은 -0.22에서 -0.33으로 분포하고 있었으며, 내부유로의 유동저항에 따른 압력의 변화는 없었다. 이는 내부유로내의 유동 저항에

의한 손실이 압력의 변화로 나타나며 전반부에서의 압력 변화에 의해 압력항력의 변하는 것이라 알 수 있었다.

모델 하면에서의 정압의 분포를 Fig. 8에 표시하였다. 이 그림에서 x/L 이 0.093 까지의 압력은 모델의 전반부에서 작용하며 항력에 영향을 주는 것들이며, 이 부분에서의 압력은 내부유로의 저항에 따라 많이 변하였다. 즉 내부유로의 저항이 전혀 없는 완전히 개방된 경우에 압력이 높게 나타나며, 저항이 증가할수록 압력이 낮아졌다. 이는 유로의 저항이 커질수록 유로 내로 유입하는 유량은 감소하고 감소된 유량에 해당하는 공기는 하체와 지면사이로 흐르게 되므로 유속이 증가하여 압력이 낮아지는 것으로 사료된다.

또한 Fig. 8에서 특이한 것으로는 유입구가 막힌 경우 유출구 전후에서 압력의 구배가 달라지는 것을 알 수 있다. 유입구가 막힌 경우에는 압력이 단조 증가하는데 비해서, 유입구가 열려 공기가 유입하는 경우에는 유출구 후방에서 압력이 급격히 강하하는 것을 알 수 있었다. 이 현상은 유출구에서 공기가 빠져 나오면서 제트의 거동을 하기 때문이며 이러한 현상은 많이 보고되어 있다.

4.2.2 유입구 면적 변화에 의한 항력의 변화

실제 자동차 외형을 부분적으로 수정할 경우에는 유출구는 엔진룸 내에 장착된 부품들에 의해서 고정되어 있으며, 유입구에서는 그릴의 형상과 위치, 범퍼와 에어 댐의 수정에 의해서 변할 수 있다. 그러므로 유입구의 면적 변화에 의한 항력의 변화에 대한 연구가 실제 설계에서 중요한 파라메타가 되며, 이에 대한 영향을 규명하기 위한 실험이 필요로 하다.

유입구 상하로 면적을 변화시키는 것은 지면효과에 의해서 전면에서의 정체점 위치에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 가능한 한 정체점의 변화가 일어나지 않도록 좌우 대칭이 되도록 면적을 줄였다. 유입면적을 줄이기 위하여 4 t 두께의 아크릴을 이용하여 좌우 4 mm 씩 유로 입구 폭을 줄였다. 실험을 수행한 면적 변화 조건으로는 완전히 유입구가 열린 경우에서 완전히 막힌 경우까지 이며, 양극단에서는 4.2.1에서의 실험 결과와 교차확인(cross check)하였으며, 실험 결과가 서로 같아 실험의 재현성이 확인되었다. 실험 도중 유로 내의 전압 측정용 피토투브의 압력으로 정체점 변화를 확인 하였으며, 본 실

험에서는 이 프루브에서의 압력계수는 항상 1 이었다. Fig. 9는 유입구 면적 변화의 효과에 대한 실험 결과를 나타낸 것이며, 유입구 면적비가 적을수록 항력이 줄어 거의 선형적으로 감소하는 것을 보여 주고 있다. 이는 유입면적의 감소에 따른 유입량의 감소에 기인한다고 사료된다.

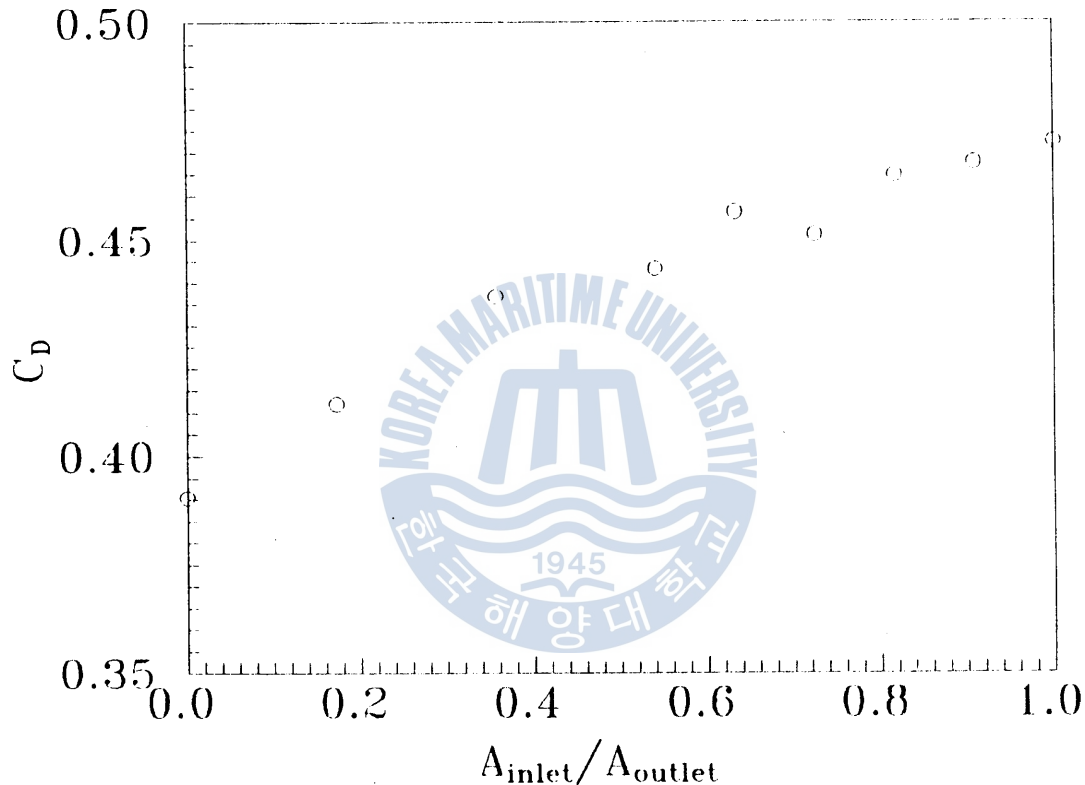


Fig. 9 Effect of inlet area on C_D

4.3 1/5 크기의 실차 모델의 실험

실차 모델의 냉각항력에 관한 실험에는 몇 가지의 제한조건이 있다. 우선 본 연구실에서 보유하고 있는 풍동의 실험부 크기에 의해 축소모델에서만 가능하다는 조건, 팬의 송풍 능력 한계로 실제 자동차 주행 속도 만큼 풍속을 낼 수 없었다는 조건 그리고 가장 큰 제한 조건은 실제 엔진룸 내의 유로를

정확히 묘사할 수 없다는 것이 있었다. 본 연구에서는 1/5 축소모델을 이용하여 모델의 전반부에 유입구를 만들고 엔진룸의 내부 형상을 엔진 블록 형상의 물체를 장착을 이용하여 엔진룸내의 유로를 정의되지 않는 유동으로 하였다. 본 실험을 수행한 자동차의 축소 모형의 내부 측면도를 Fig. 10에 나타내었다.

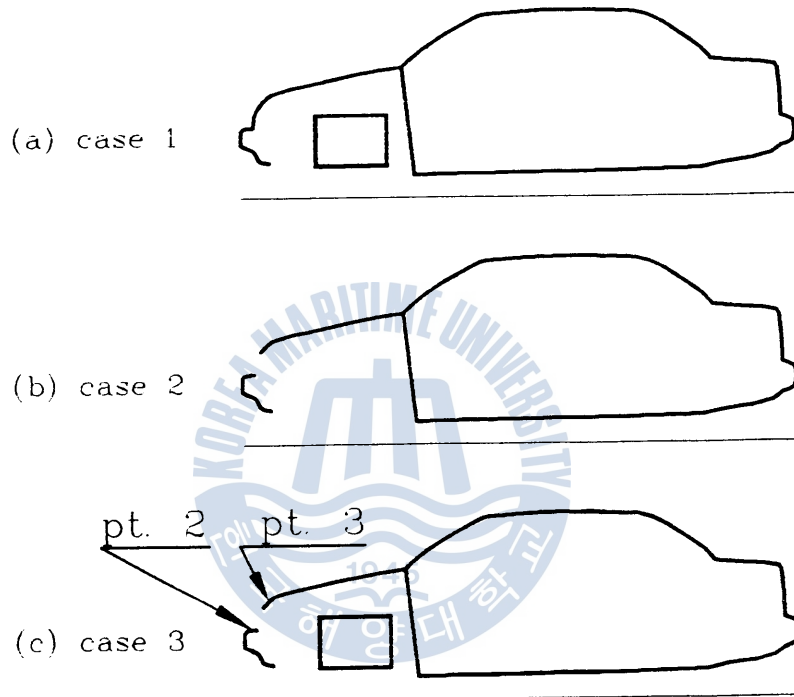


Fig. 10 Configuration of engine room

이 그림에 표시되어 있는 바와 같이, 유입구를 완전히 막은 경우를 case 1, 유입구는 열려 있으나 엔진 형상 블록이 없는 것을 case 2, 엔진 형상의 블록이 있는 것을 case 3 라고 한다.

자동차 축소모델을 풍동 내에 장착하여 공기속도를 변화시키면서 항력을 측정한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 유입구의 개폐에 따라 항력 계수 값은 약 10 % 이상 차이가 남을 알 수 있었다. 또한 case 2와 case 3의 경우 항력의 차이를 보이고 있음을 알 수 있으며, 실험에

리, 유동에 의한 진동, 항력측정시스템의 고유진동수 등의 복합적인 문제에 의해 명확한 차이를 보여주고 있지 않다. 앞으로 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

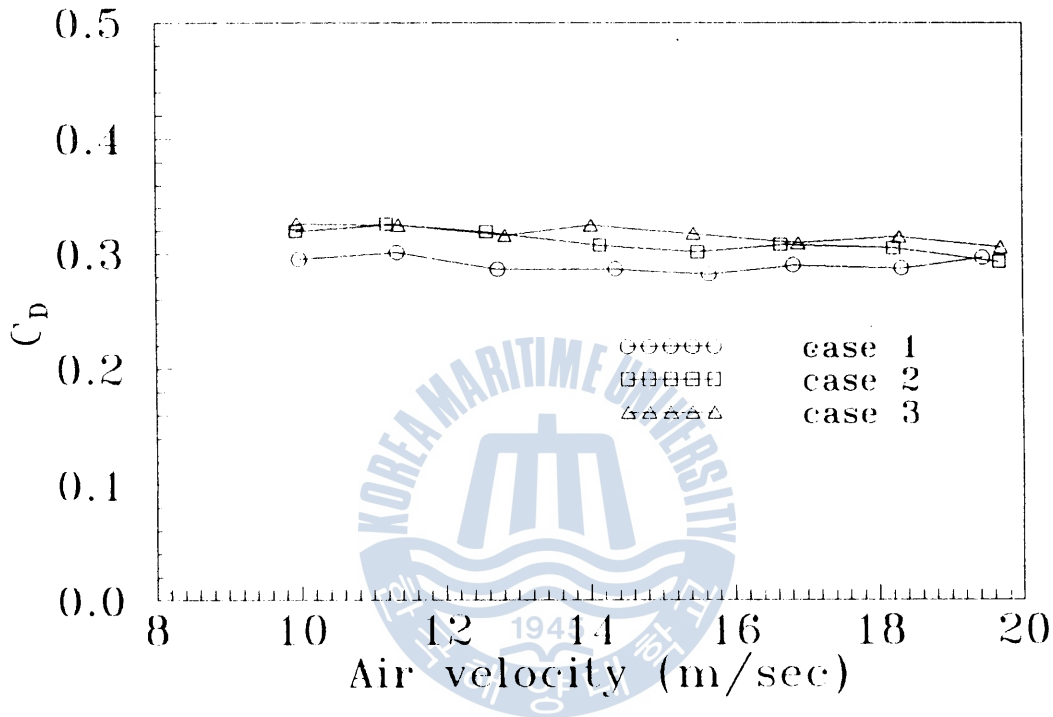


Fig. 11 Variation of C_D on configuration of engine room

한편 case 1의 경우에서, 속도를 변화시키면서 1/5 축소모델 상부에서의 압력분포를 Fig. 12에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 압력 계수의 값은 모델의 곡률이 심하게 변하는 부분을 제외하고는 거의 중첩되어 나타나고 있음을 알 수 있다. 범퍼에서 정체점이 형성되고 본넷트 위에서는 역압력구배가 형성되면서 카울 부근 ($x/L=0.23$)에서는 양압이 작용되고 있다. 이 양압은 탑승부로의 공기유입에 유리하게 작용하리라 생각된다. 윈드 실드에서는 곡률에 의해 유동이 가속되고 압력은 부압으로 강하하고 루우프 전반부 ($x/L=0.42$)에서 최소값에 달하고 곧 회복되어 역압력구배가 작용하고 있음을

보여준다. 모델이 후반부에서는 유동의 박리와 재부착에 의해 재차 압력이 강하하고 회복하는 것을 알 수 있다.

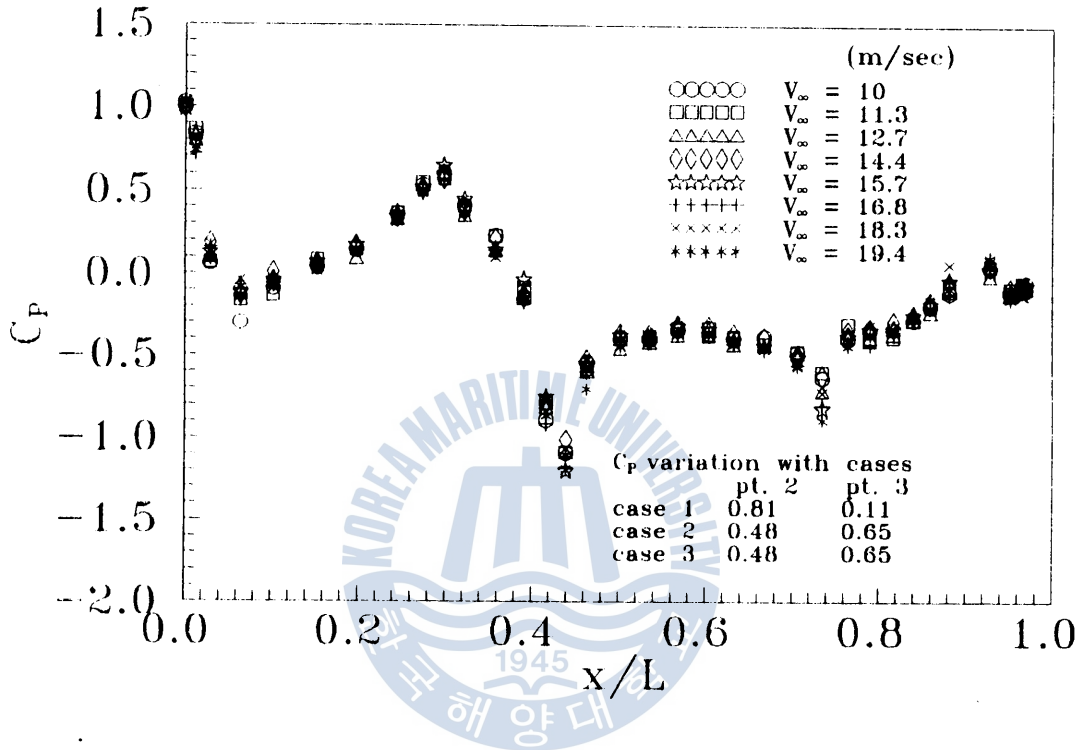


Fig. 12 C_p variation along the center line of model

내부 유로의 형상에 따른 모델 표면에서의 압력 변화는 2점과 3점에서 확연히 차이가 났으며 나머지 부분에서는 경우에 관계없이 일치하였다. 2점과 3점에서의 압력 계수의 값을 Fig. 12에 표시하였다. 여기서 2, 3점은 범퍼 상단과 유입구에서 가장 인접한 하류에서의 위치를 나타내고 있다. 유입구가 개방된 case 2와 case 3에서는 압력과 구배는 별 차이를 보이고 있지 않으나, case 1에서는 압력과 구배가 달라짐을 알 수 있다. 이는 유입구에서 유동이 나누어지면서 이 부근에서 유동의 정체현상이 일어나기 때문이라 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 주행할 때 자동차에 작용하는 공기 역학적인 힘 중에서 특히 항력에 대해서 연구를 수행하였다. 항력을 외형에 의한 것과 차내로 유입하는 공기에 의한 항력으로 구분하였으며, 차내로 유입하는 공기 중에서 항력에 가장 큰 영향을 주는 것은 엔진룸으로 유입하는 냉각유동이므로 이 유동에 대해서 실험을 수행하였으며 이로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (가) Ahmed body에 내부 유로를 만들고 유로 내에 스크린을 설치하여 공기 유입량에 대한 냉각 냉각항력을 측정된 결과, 유입 공기량에 따라 항력이 증가하며 최대 22 % 이상의 항력 증가가 나타났다.
- (나) 유입구 면적을 변화에 따라 거의 선형적인 항력 증가를 보여 주었다.
- (다) 자동차의 1/5 축소모델의 경우에는 내부 유로가 있을 때 약 10 % 이상의 항력 증가를 보였다.
- (라) 전의 결론에 의하여 냉각항력은 간단한 운동량 싱크에 의한 운동량 이론으로 예측이 가능하다.

실제 자동차에서는 방열기에서의 열교환을 위하여 냉각유동은 반드시 필요로 하며 이 냉각 유동은 항력과 직접적인 관계가 있으므로 이 양자를 최적화 하는 연구가 향후과제로 남아 있다.

참 고 문 헌

- (1) 장 성원, 유 정렬, 이 태식, 1990, "승용차 모형 주위의 유동에 관한 연구," 자동차공학회지, Vol. 12, No. 3, pp. 53-62.
- (2) Hashiguchi, M., Ihta, T. and Kuwahra, K., 1987, "Computational Study of Aerodynamics and Behavior of a Car Configuration," AIAA 19th Fluid Dynamics and Lasers Conference, pp. 1-11.
- (3) Gilhaus, A.M. and Renn, V.E., 1987, "Drag and Driving-Stability-Related Aerodynamic Forces and Their Interdependence-Results of Measurements on 3/8-Scale Basic Car Shapes," SAE Paper 860211,

pp. 1.1047-1.1062.

- (4) Vernacchia, M., 1990, "Medium Class Vehicle with High Aerodynamic Efficiency," SAE Paper 905127, pp. 59-66.
- (5) Hucho, W., 1987, Aerodynamics of Road Vehicle, Butterworth & Co. (Publishers) LTD, pp. 119-120.
- (6) Garrone, A. and Masoero, M. 1987, "Car Undersidem Upperbody and Engine Cooling System Interaction and Their Contributions to Aerodynamic Drag," SAE Paper No. 860212, pp. 1.1063-1.1070.
- (7) 허 남건, 김 광호, 조 장현, 조 원국, 윤 성영, 1992, 자동차 공기역학 수치해석 기술 연구, 현대자동차(주).
- (8) Wiedemann, J., 1990, "Theoretical and Experimental Optimisation of Internal Flow" Automotive Technology International '90, pp. 407-409.
- (9) Hucho, W., 1987, Aerodynamics of Road Vehicles, Butterworth & Co. (Publishers) LTD, pp. 176-179.
- (10) Sciboro-Rylski, A.J., 1984, Road Vehicle Aero-dynamics, John Wiley and Sons, New York, pp. 65-78.
- (11) Ahmed, S. R., Ramm, R., Faltin, G., 1984, "Some Salient Features of the Time-Averaged Ground Vehicle Wake," SAE Paper 840300.
- (12) Han, T., 1989, "Computational Analysis of Three-Dimensional Turbulent Flow around a Bluff Body in Ground Proximity," AIAA J. Vol. 27, No.9 Sept., pp. 1213-1219.
- (13) 김 광호, 정 형호, 장 근식, 안 이기, 1990, 자동차 공기 역학적 특성에 관한 연구(I), 과학기술처.