

디지털 화상처리를 이용한 자동차 후부의 하면형상이 압력분포에 미치는 영향

A study on the effect of a underbody shape of rear part of a vehicle on pressure distribution of downstream using PIV

백 태 실* · 조 기 현** · 백 이*** · 송동영*

Tae-Sil Baek* · Ki-Hyon Cho** · YeeaeK*** · Dong-Young Song*

<Abstract>

In order to reduce a aerodynamic drag of the rear, body, effects of rear lower end configuration of a vehicles were investigated by measuring the pressure distribution, visual flow phenomena by the use of digital image processing technique. The use of flow visualization in recent years has improved the general understanding of structure of complex flow and has yielded valuable information for analyzing fluid flow. As the results, it was found that the shape of rear lower part vehicles not only effected on the pressure distribution of the rear part of the vehicle but also difference of the flow phenomena.

Key Words : *acrodynamic drag, Pressure distribution, Particle Tracking Velocimetry*

1. 서 론

1.1 연구 배경

자동차가 현대 사회에서 중요한 기계로 꼽는 것은 자동차의 보급도를 보아도 알 수 있다. 또한 자동차는 공학의 여러분야에 관련되어 있으며, 특히 자동차 주행시에는 유체(공기)의 흐름을 고려하지 않으면 안된다.

특히, 자동차의 주행시에 발생하는 유동특성은 많은 사람들에 의해 연구되고 있는데, 이는 공기

저항의 감소에 의한 연료의 절약뿐만 아니라, 조종 안전성 및 안락한 승차감 등이 자동차 설계에 있어서 중요한 요소가 되고 있기 때문이다. 지난 수십년 동안 자동차의 저항을 감소시키는 방법들에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다. 자동차 주위의 유동장에서 특히 관심이 모아지는 영역은 박리가 일어나는 영역이다. 이는 자동차차체의 저항 중 대부분은 압력에 의한 저항이고, 이러한 현상은 자동차의 뒷부분에서 발생하는 유동의 박리에 그 원인이 있기 때문이다¹⁾. 따라서 고속주행에 의한 항력을 감소시키

* 포항1대학 자동차과 전임강사
** 경도대학 차량기계학과 전임강사
*** 마산대학 자동차과 겸임교수

기 위해 경량의 엔진, 차체축소 및 새로운 경질재료의 개발등으로 차량의 경량화를 꾀함과 동시에 공기역학적 관점에서 항력감소를 해결하기 위한 여러 가지 연구를 계속해 오고 있다. 자동차 연비를 향상시킬수 있는 효과적인 방법은 한가지는 항력을 감소시키는 것으로서 자동차 주행중 자동차에 걸리는공기 항력을 최소화시키는 것이다. 현재 알려진 바에 의하면 공기 항력을 10% 감소시키면 연료소비(연비)를 약 4% 감소시킬수 있다. 통상적으로 소형승용차에 있어서 차속 100 km/h에서 주행 중 저항의 약 70 %를 항력 저항이 차지하고, 차체 설계에 있어서 항력성능의 중요성은 높다.

S. R. Ahmed & W. H. Hucho²⁾ 는 자동차 설계에 있어서 유체역학이 응용되는 대상으로서 모두 다음의 4가지이다.

1. 항력 특성에 영향을 주는 자동차 표면의 공기 유동
2. 다른 여러 기능에 영향을 주는 국소적인 유동(소음, 청결 문제, 와이퍼 등에 걸리는 힘)
3. 엔진룸 내의 유동
4. 차실 내의 유동

본 논문의 연구 대상은, 이것 중 1번의 것으로 다시 말하면, 주행 중의 자동차에 가해지는 차체 외부의 유동장을 해석하는 것이다.

단순한 2차원과 축 대칭, 둔체(Bluffbody)의 후면 저항 저감에 관계한 연구는 옛날부터 진행되어 왔다. 1976년 국제 심포지엄에서 처음으로 이러한 결과를 승용차의 후부형태 검토에 고용한 예가 발표된 이래, 차체 후부에서 발생하는 공기저항 저감의 중요성이 재인식되고 있으며, 이에 대한 연구가 수행되고 있다. 최근에는 차체 후부에서 발생하는 공기 저항 저감의 중요성이 재인식 되고 있방의 속도장을 측정하고, 공기저항 발생의 메카니즘을 검토한 예도 있다.^{3,4)}

CFD(Computer Fluid Dynamic)를 이용한 실험에서 유체가 자동차 후류 유동에 관한 연구 보고도 있으나^{5),6),7)} PIV실험을 통한 연구결과는 아주 적다. 따라서 본 연구에서는 자동차 후면 하부의 형상변화가 자동차의 항력에 대한 영향을 미치는 가에 대하여 PIV측정^{8),9),10)} 실험으로 정량적으로 평가하였다.

1.2 연구의 목적

유동장전체의 속도분포를 측정한다는 것은 공학적으로 유체기계나 열기기의 특성을 파악할 수 있게 한다는 점에서 매우 중요한 의미를 가지며 이러한 측정법의 확립이란 공학 분야에 있어서 선제되고 있는 실정이다. 지금까지 유동장의 측정에는 피토히나 열선유속계 혹은 레이저도플러유속계 등을 이용해 왔으나 이 측정법은 기본적으로 측정대상공간에 대해서 한 점에 대한 정보밖에 얻을수 없다. 따라서, 다수의 점에 대한 정보를 얻기 위하여는 이들의 개수를 증가시켜 유동장 전체에 걸쳐서 배치시켜야 하는데 이로 인한 유동장자체에 대한 교란의 영향이 커지게 되어 유동장 전체를 동시에 측정하는 것은 어렵다. 또한 레이저도플러유속계를 사용하면 유동장을 교란시키지 않고 속도를 측정할 수 있지만 유동장의 속도변동에 비해서 충분히 짧은 시간으로 측정의 전영역을 측정하기란 어려우므로 동시다점측정에는 적합치 않다. 한편, 유동장의 가시화에 의하여 얻어내는 속도측정방법은 유동장을 거의 교란하지않으면서 유동장전체를 동시에 측정할 수 가 있다. 게다가 시간적으로 연속해서 측정하면 유동장전체의 시간변화를 할 수 가 있으며 유동장의 조직적 구조도 조사할 수 가 있게 된다. 또한, 이 방법에 의해 얻어낸 결과를 수치계산에 의하여 얻어낸 결과와 비교하기 쉬운 이점도 있다.

이를 이용하여 주어진 유속에서, 자동차 후미의 하면형상변화에 따른 유동장의 변화, 즉, 어느 위치에서의 속도분포나 압력계수 등을 측정하여 비교하는 데 목적을 둔다.

2.3 PIV 원리

유동장의 국소속도는 어느 한 점을 통과하는 추적입자가 미소시간간격동안 이동한 미소 직선거리 및 방향을 알면 쉽게 구해진다. 즉, 주어진 측정시간(Δt)동안 움직인 유동입자(particle)들의 변위정보를 CCD(charge coupled device)카메라와 같은 화상입력장치를 이용하여 2차원 화상데이터로 저장한 후 디지털 화상처리기법을 이용하여 입자변위(S)를 측정하는 것

이다. 이때 사용되는 추적입자의 비중은 유체의 비중과 동일한 것을 사용하여야 한다.

유동화상(flow image)으로부터 정량적인 속도장을 구하는 데에는 입자변위 S를 구하는 방법에 따라 다음과 같은 여러 가지 방법들이 있다. 정량적인 속도장 측정의 초기단계에서 개발된 PSV(Particle Streak Velocimetry)는 카메라의 노출시간을 길게 함으로써 형성된 입자궤적을 이용하여 속도를 구하는 방법으로 매우 간단하지만 대부분 film을 사용함으로써 실시간 처리가 불가능하고 입자밀도가 높을 경우 궤적(streak)이 서로 겹치는 문제가 발생하며 추출된 속도의 방향결정에 어려움이 있다. PIV(Particle Imaging Velocimetry)란 원래 유동화상의 조사구간(interrogating window)내 산란입자들의 강도분포에 대한 Fourier변환이나 직접적인 상관계수 계산으로부터 조사구간의 평균속도를 구하는 방법이다. 다중 노출된 화상(multiple-exposed image frame)을 이용할 경우에는 렌즈를 통하여 광학적으로 Fourier변환시킨 후 카메라의 초점에 형성된 Young's fringe를 컴퓨터에서 분석하여 속도를 얻거나 Young's fringe를 한번 더 렌즈를 통과시킴으로써 조사구간내 입자화상들의 자기상관함수(auto-correlation)를 광학적으로 처리하여 속도를 구할 수 있다. 일정 시간간격으로 얻어진 두 개의 화상을 이용할 경우에는 조사구간사이의 상호상관함수(cross-correlation)를 계산하고 그 값이 가장 큰 점을 평균변위로 간주함으로써 속도를 구한다. PIV는 입자밀도가 매우 큰 경우에 보통 적용되며 조사구간내의 평균속도를 추출함으로써 제한된 공간분해능을 지닌다.

PTV(Particle Tracking Velocimetry)는 연속적으로 획득된 여러 장의 화상으로부터 각 입자위치를 추출한 후 그 입자 하나 하나를 추적함으로써 입자의 변위를 결정하는 방법이며 입자가 매우 빠르게 움직이는 부분과 매우 느리게 움직이는 부분이 공존할 경우에는 입자추적의 제한이 따를 수 있다.

PIV와 PTV의 분류는 Adrian에 의하면 일반적으로 Low particle density PIV를 PTV로 보고 있다. 즉, High density PTV를 PIV로 보된다. PIV를 분류하는 기준에 따라 여러 가지

로 정의될 수 있으나 지금까지의 연구성과들을 정리하여 속도벡터의 추출 알고리즘에 따른 분류를 해보면 속도벡터의 추출에 이용되는 particle 개별입자의 중심을 이용해서 입자속도 벡터를 구해내는 방법과 입자 군들의 분포에 대한 상관관계로부터 속도를 구하는 PIV로 구분될 수 있다. 또한 개별입자추적 PIV는 일명 PTV(전술한 Particle Tracking Velocimetry)라고도 하는데 단일화상(single frame)에 간헐적인 조명으로 코드화해서 얻은 입자들을 추적해서 속도를 얻어내는 PIV방법과 연속 혹은 단일 조명과 두 장 이상의 화상으로부터 얻은 입자화상들을 추적해서 속도를 얻어내는 PIV방법으로 나누어 질 수 있다. 한편 입자분포상관 PIV는 자기상관 PIV와 상호상관 PIV로 대별될 수 있겠는데 자기상관 PIV는 이중 혹은 복수조명을 주사하여 얻어진 단일 화상에 자기상관계수를 구하여 속도를 구하는 방법이며 상호상관 PIV는 연속 혹은 단일조명을 주사하여 얻어진 두 장의 화상에 대하여 상호상관계수를 구하여 속도를 구하는 방법이다. 본 실험에서 사용하고 자 하는 방법은 이 방법에 해당한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

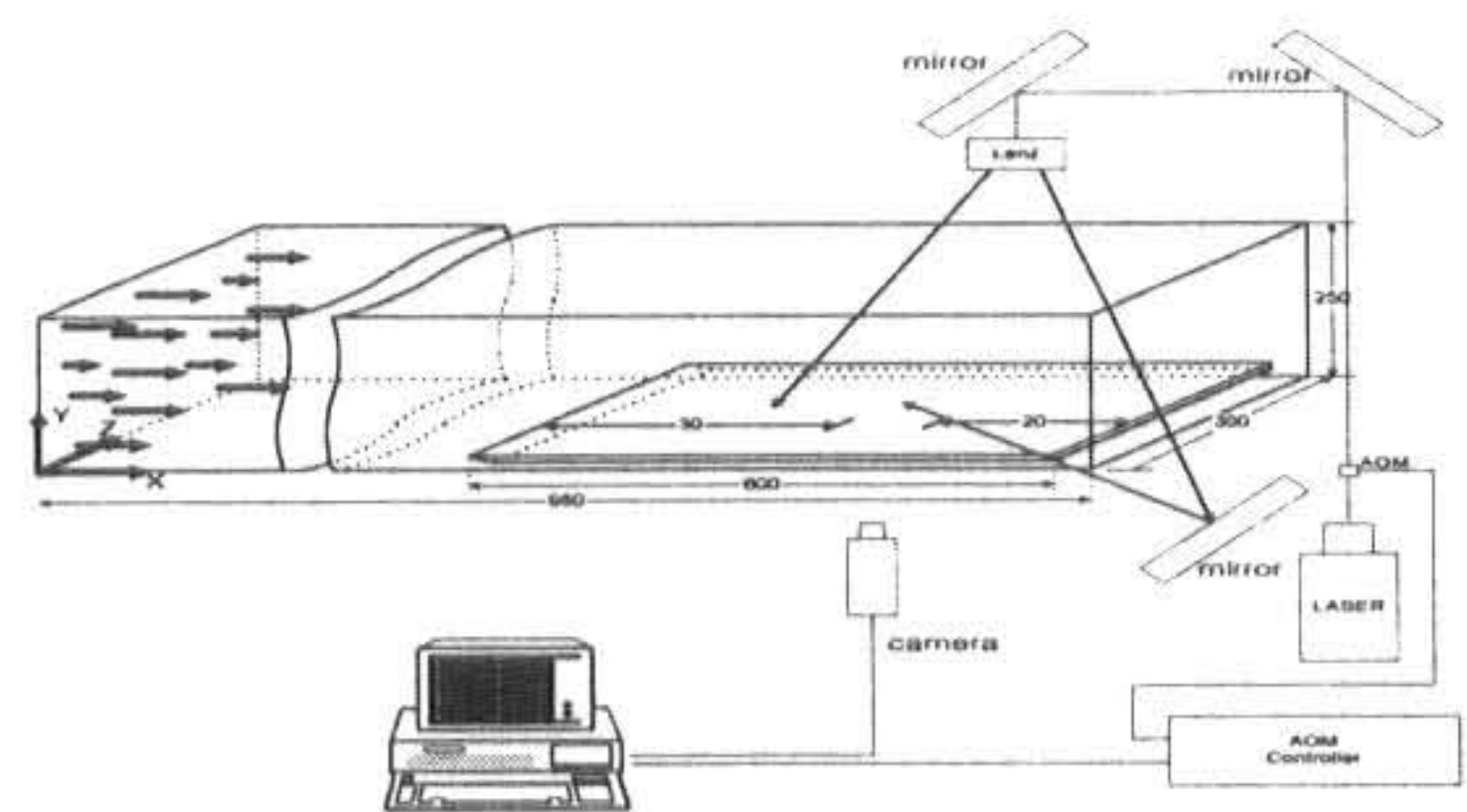


Fig. 1 Schematic diagram of an experimental apparatus

실험장치는 Fig.1의 수조(personal tank), 자동차 모형, 경계판과, 계측 장치인 카메라, 레이저, 음향광 조절기(AOM: Acoustic Optical Modulator), 이미지 그래버(Image grabber: Ditect,

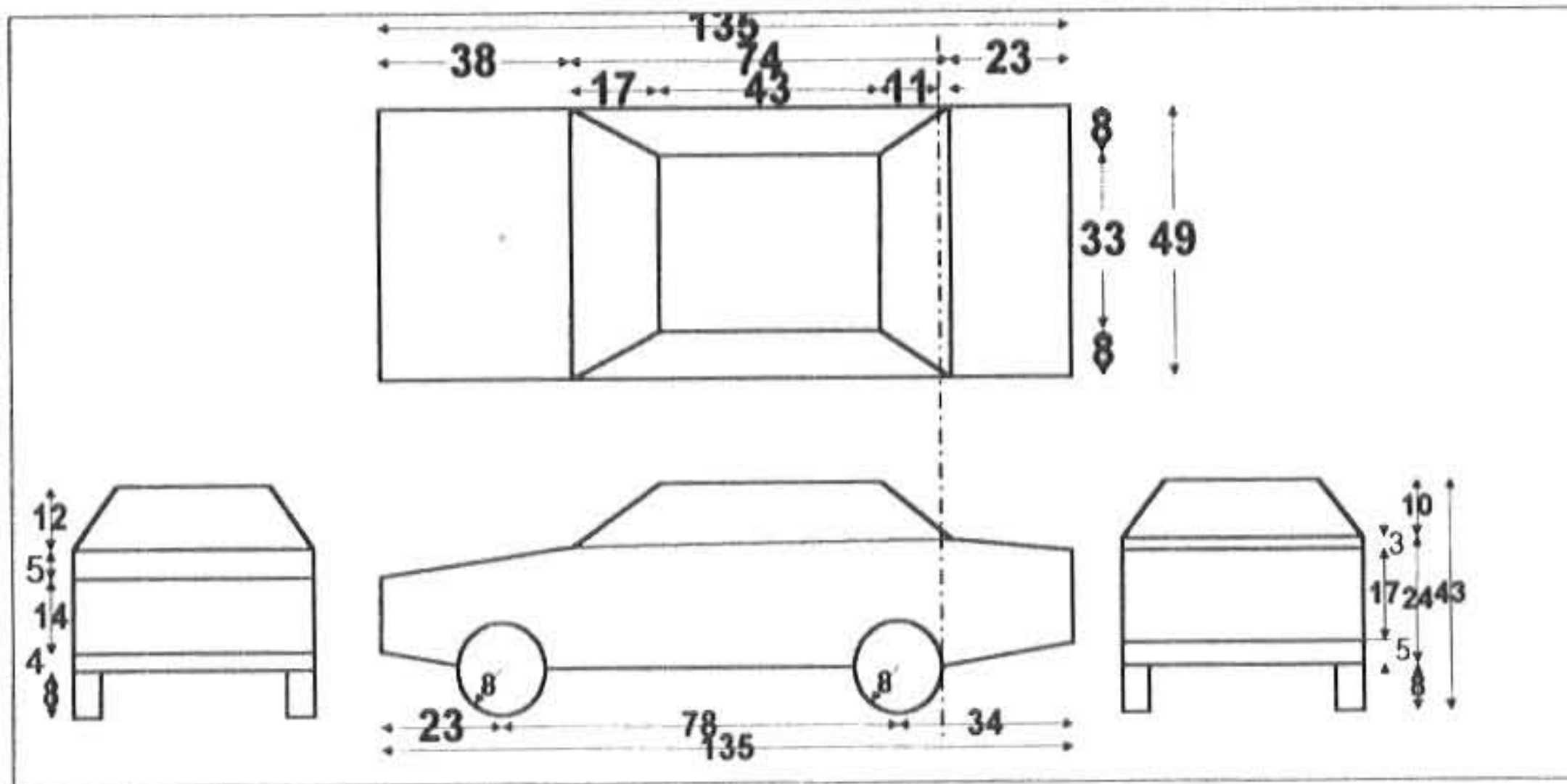


Fig.2 Schematic diagram of car simulation (unit: mm)

DT-16), 컴퓨터로 구성되어 있다.

실험에 사용된 수조는 1000×300×250mm이며 Fig.2에 사용된 모형은 K자동차 회사의 단순화된 모형을 1/33척도로 알루미늄을 이용하여 제작하였고, 각각의 후부 하면을 11가지의 형태로 제작하였다(Fig.3참조).

경계판은 길이 600mm, 높이 10mm, 폭 30mm의 크기이고, 모형은 길이(L) 135mm, 높이(H) 43mm, 폭(W) 49mm의 크기이다.

여기서 수조안에 형광입자(particle : 평균 지름 0.1mm)를 넣어 정수된 물과 함께 흐르도록 하였다.

2.2 실험 방법

흑백 CCD카메라(Sony, SSC-M370)를 자동차 후미를 향하여 설치한 다음 카메라로부터 입력된 화상은 카메라어댑터(Sony, TS-W100)를 통하여 이미지그래버로 입력된다. 유동장은 AOM의 펄스를 3.5ms - 6ms까지 조정하면서로 계측하였다.

AOM은 카메라에서 오는 영상 1/30초를 33,333으로 나눈 값으로, 약 AOM의 1은 백만분의 1초를 나타낸다. 4개의 data를 발생할 수

있으며 이 실험에서는 2개의 pulse를 사용하여 Image odd에 1개, even에 1개의 pulse를 사용했다. 속도를 기준으로 하여 0.3m/s에서는 odd에 12,000 μ sec, even에 18,000 μ sec을 사용하여 약 6ms 시간차를 가지며, 0.6m/s에서는 13,000과 17,500을 사용하여 4.5ms를 0.9m/s에서는 14,000과 17,500을 사용하여 3.5ms의 시간차를 가진다. 이미지그래버(Image Grabber)에서 받은 영상을 odd와 even으로 나누고, 보간 처리하여 2개의 이미지로 분리한 다음, 2개의 이미지를 사용 PIV에 의해 속도vector를 구한다.

PIV는 상호상관 PIV를 사용했고 평균 처리하여 속도 vector를 검출, error vector를 제거한 후 압력을 구했으며 이방법에 의한 식은 다음과 같이 주어진다.

본 실험에서 사용한 11가지 형태의 이차원 자동차 모형의 후미 부분을 Fig.3에서 나타내었다. 본 실험에서 관심을 두는 부분은 자동차 하단부가 항력에 미치는 영향이므로 모형들의 주된 차이는 Fig.3과 같이 후미의 각도와 길이의 변화이다.

참고로 Fig.3에서 2.원래의 설계치는 실제 자동차의 설계로부터 단순화한 것이다. 또한 Fig.3에서 3,4,5 후미의 각도는 90°, 120°, 150°로 임의 설정 하였다.

$$\gamma(s, t) = \frac{\sum_x \sum_y [f(x, y) - \bar{f}(x, y)][w(x-s, y-t) - \bar{w}]^2}{\left\{ \sum_x \sum_y [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2 \sum_x \sum_y [w(x-s, y-t) - \bar{w}]^2 \right\}^{1/2}} \quad \text{---(1)}$$

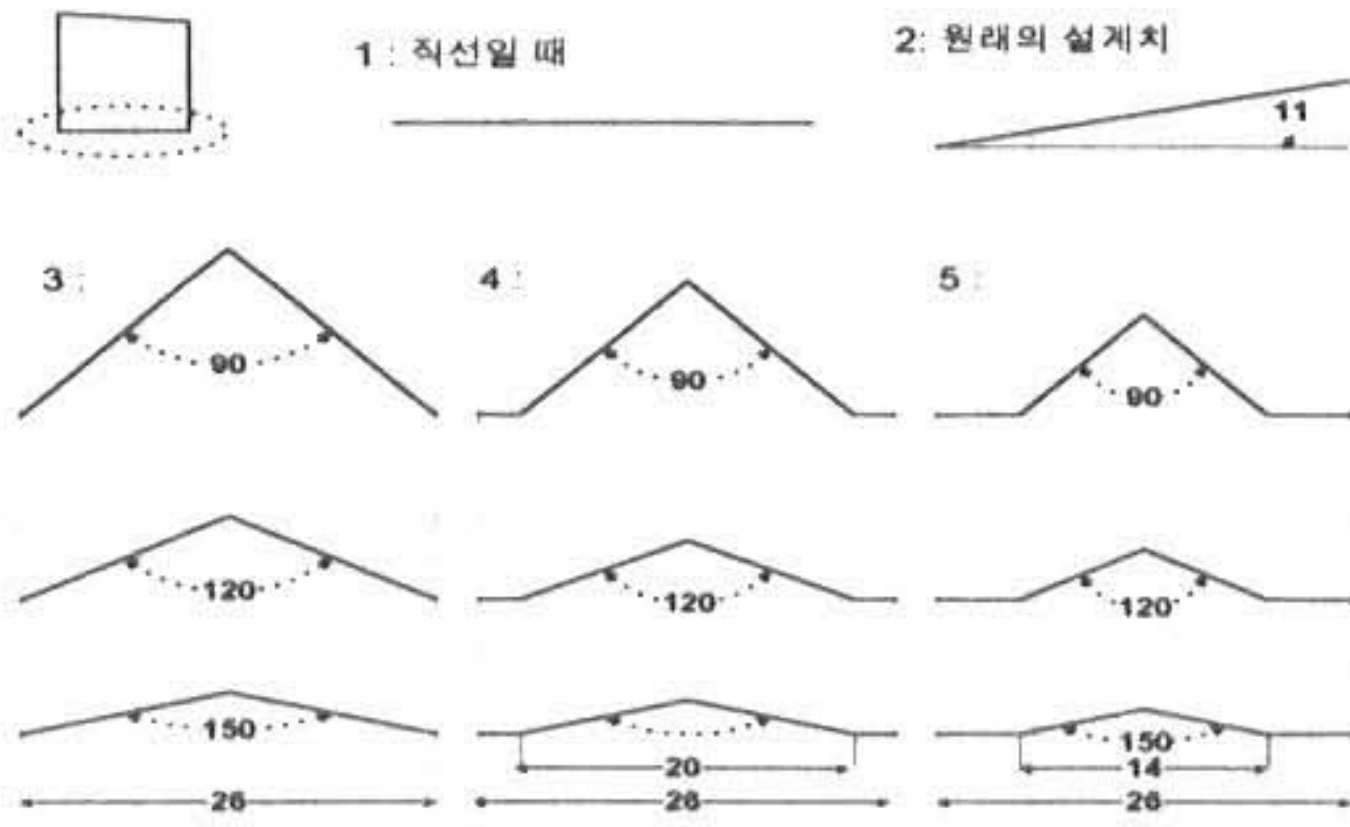


Fig.3 Angle variations according to underbody length of rear end

유체의 속도는 0.3m/s, 0.6m/s, 0.9m/s로 하였고, 자동차 길이를 기준으로 레이놀즈 수(Re)는 0.3m/s일 때 11400이고 0.6m/s일 때 22800이고 0.9m/s일 때 34200이다.

정수된 물을 수조에 채우고 직경이 약 0.1mm 정도 형광입자(particle)를 수조속에 넣었다. 경계판위에 자동차 모형을 두고 수조 상부에서 렌즈를 통한 레이저를 투과하였다. 자동차 후미부분의 유동장을 관찰하기 위해 거울로 레이저 빛을 반사시켰다. 카메라의 초점을 자동차 모형의 후미에 고정시킨후 각 모델별, 속도별(0.3, 0.6, 0.9m/s)로 약 3분가량 비디오로 녹화후 이미지 보드에서 50장의 image file을 저장했다.

먼저 저장된 image file을 odd와 even로 나눈 뒤 보간을 실행하여 100개의 image file을 만들고 연속된 image 2장을 가지고 상호 상관 PIV 처리를 했다. PIV에 의해서 구해진 속도 벡터에서 오류 벡터(error vector)를 검출 보간하고, 50개의 속도 벡터를 평균처리하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4에 표현한 것은 속도가 0.3m/s일때의 자동차 주위의 실험영상(a)과 후미형상이 각각 수평, 90도, 120도일때의 실험영상(b) 및 유체계측기법인 PIV(상호상관기법)를 이용하여 계산한 속도 분포 및 Poisson 방정식을 풀어서 계산한 압력 분포(c)를 보여 주고 있다. 또한, Fig. 5는 속도가 0.6m/s일때 상용 자동차의 후미모형을 제작하여 적용한 결과로 속도분포 및

u방향 속도분포를 등고선으로 표현한 것이며, 속도별 등고선의 분포는 거의 유사하였으나 후미의 형상변화의 각이 크짐에 따라 자동차후미의 저압부영역이증가됨을 알수있었다. 또한 상단부의 속도변화에 따라 상대적으로 큰 변화를 보여주고 있다. Fig.6,7,8은 후미형상의 각이 각각 수평, 90도, 120도일때의 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 속도분포가 자동차의 상부에서 급격히 증가하는 것을 알 수 있으며, 경계층에 의한 영향과 박리에 의한 영향을 뚜렷하게 볼 수 있다.

Fig. 9는 속도가 0.3, 0.6, 0.9m/s일때의 압력계수와 후면으로부터의 거리(X/L)의 관계를 그래프로 표현하였으며 모든 경우에 있어서의 결과값은 자동차 후미의 압력계수가 높을수록 저항을 적게 받는 것으로 나타났다.

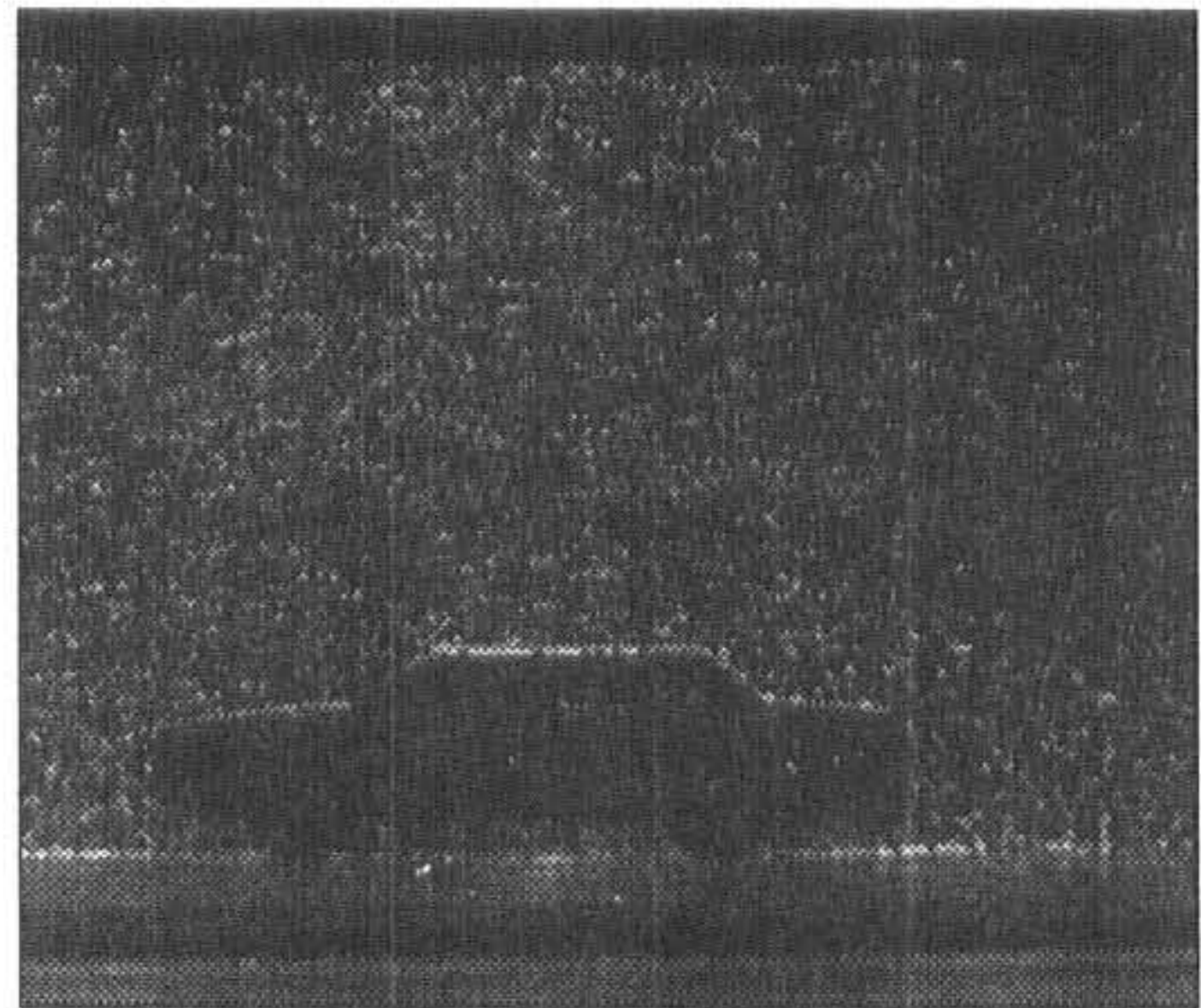
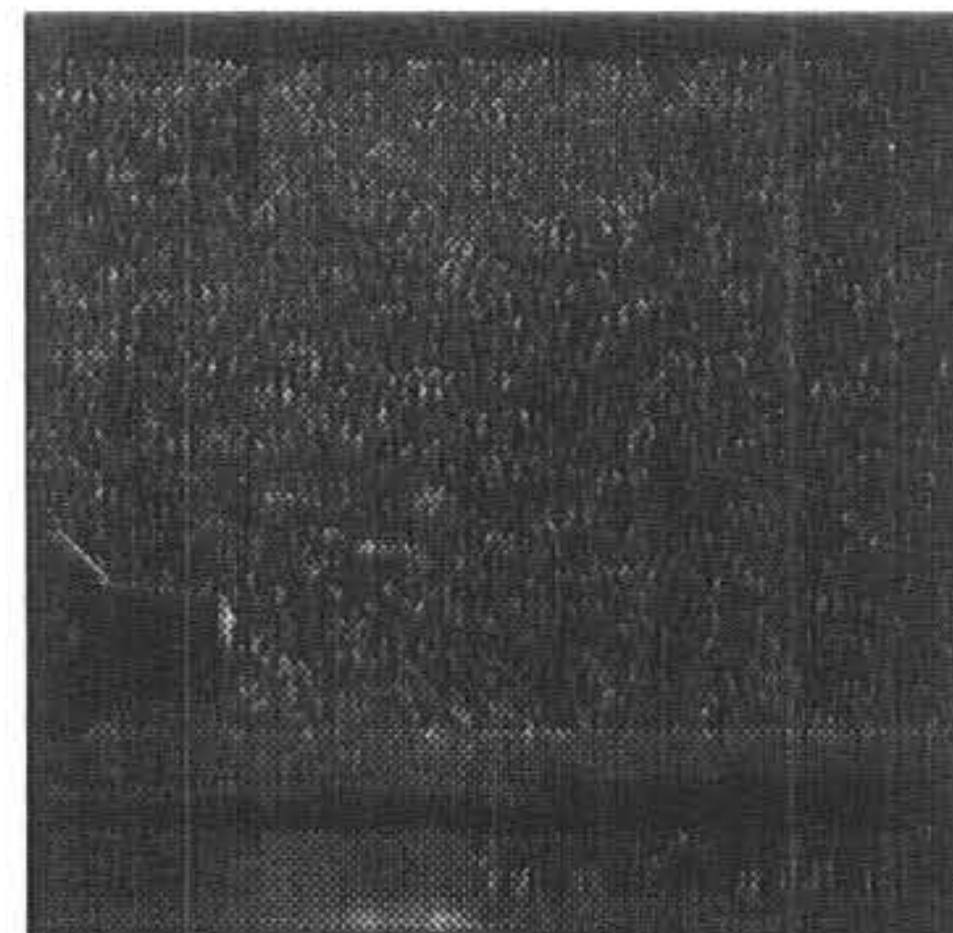
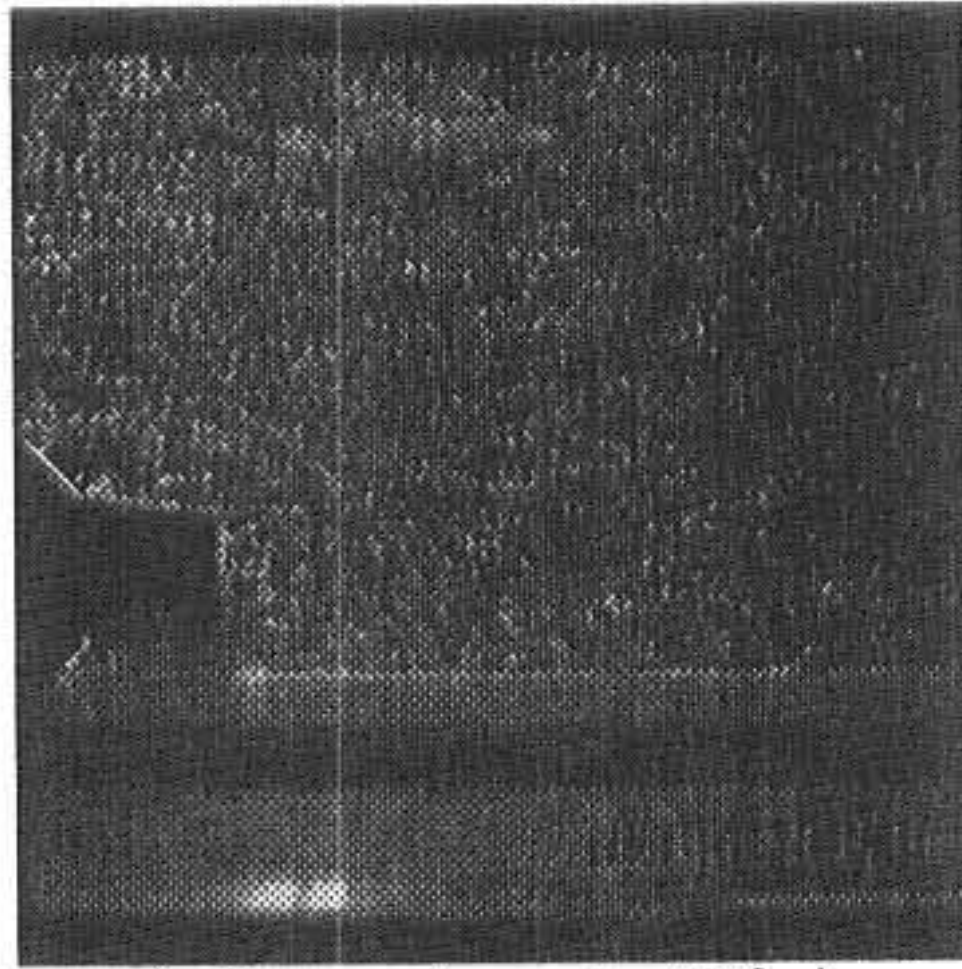


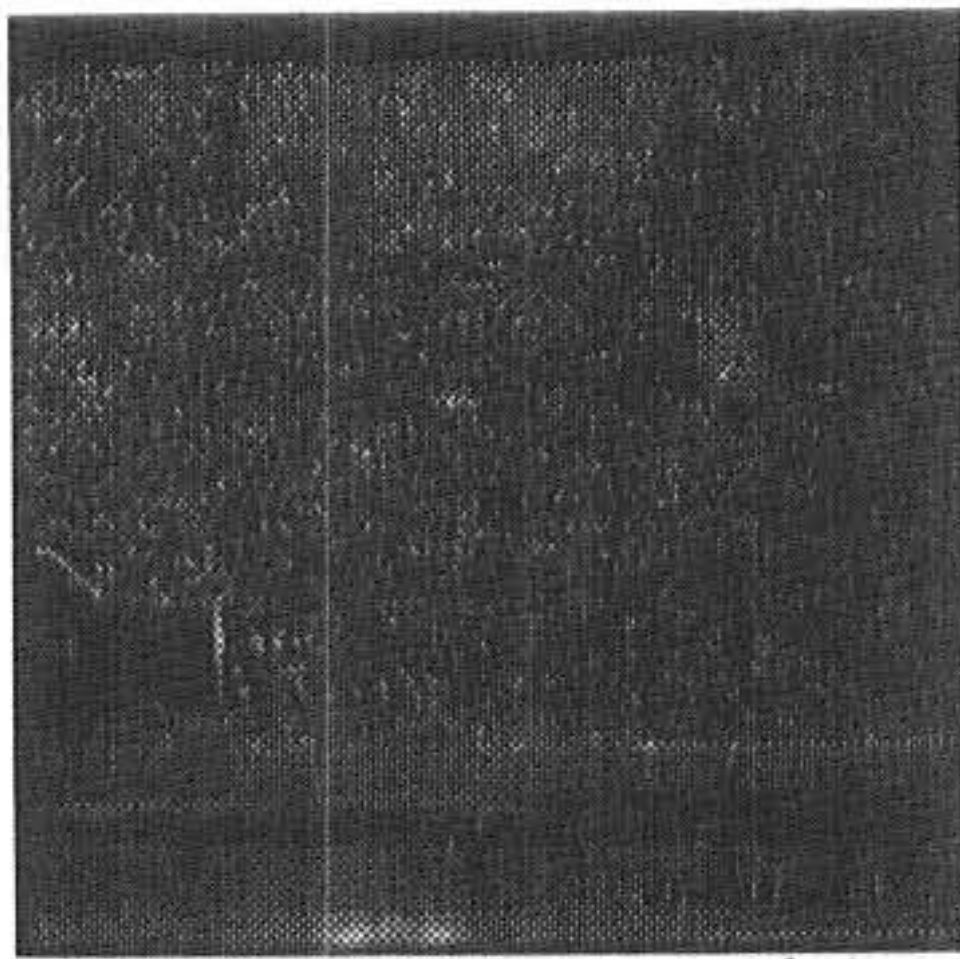
Fig. 4(a) Experimental Image from CCD Camera.



(Case of Horizontal)



(Case of angle 90°)



(Case of angle 120°)

Fig. 4(b) Experimental Image from CCD Camera

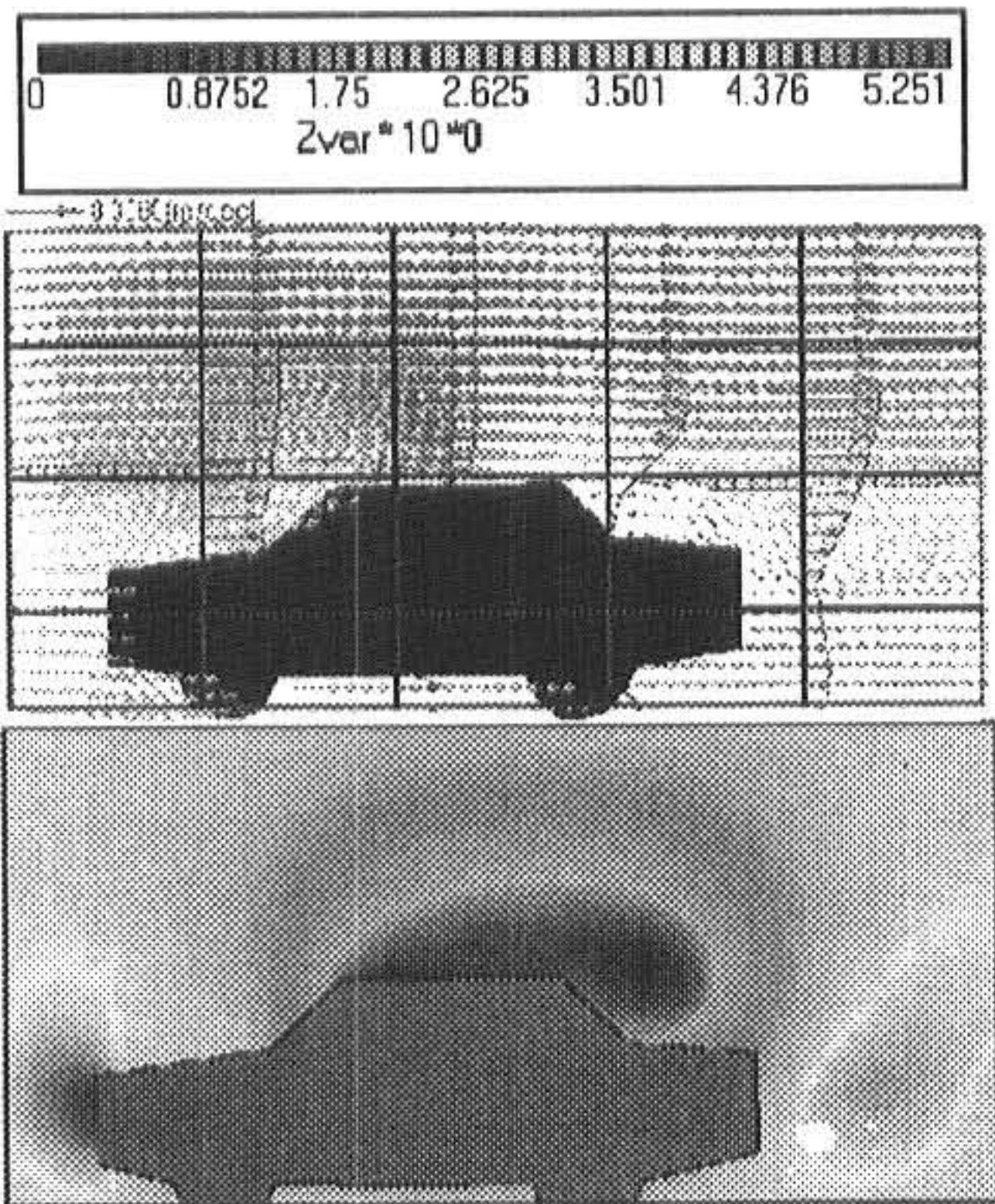


Fig. 4(c) Velocity and pressure distribution of whole body

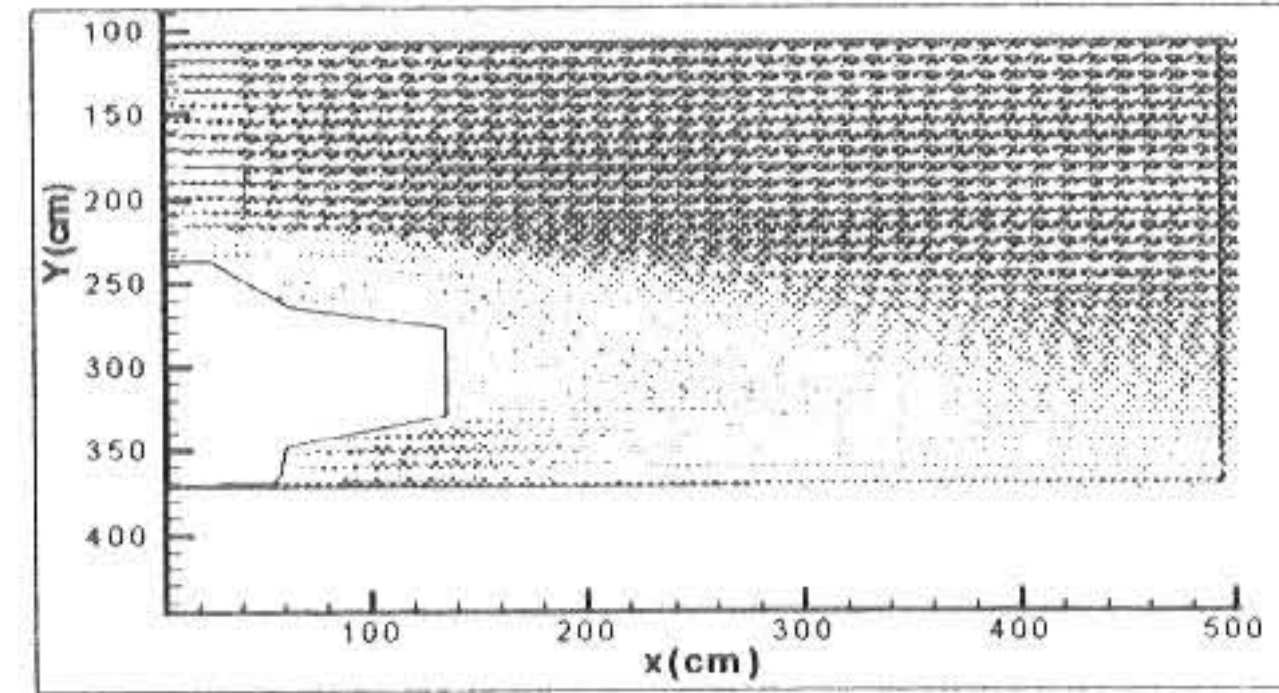
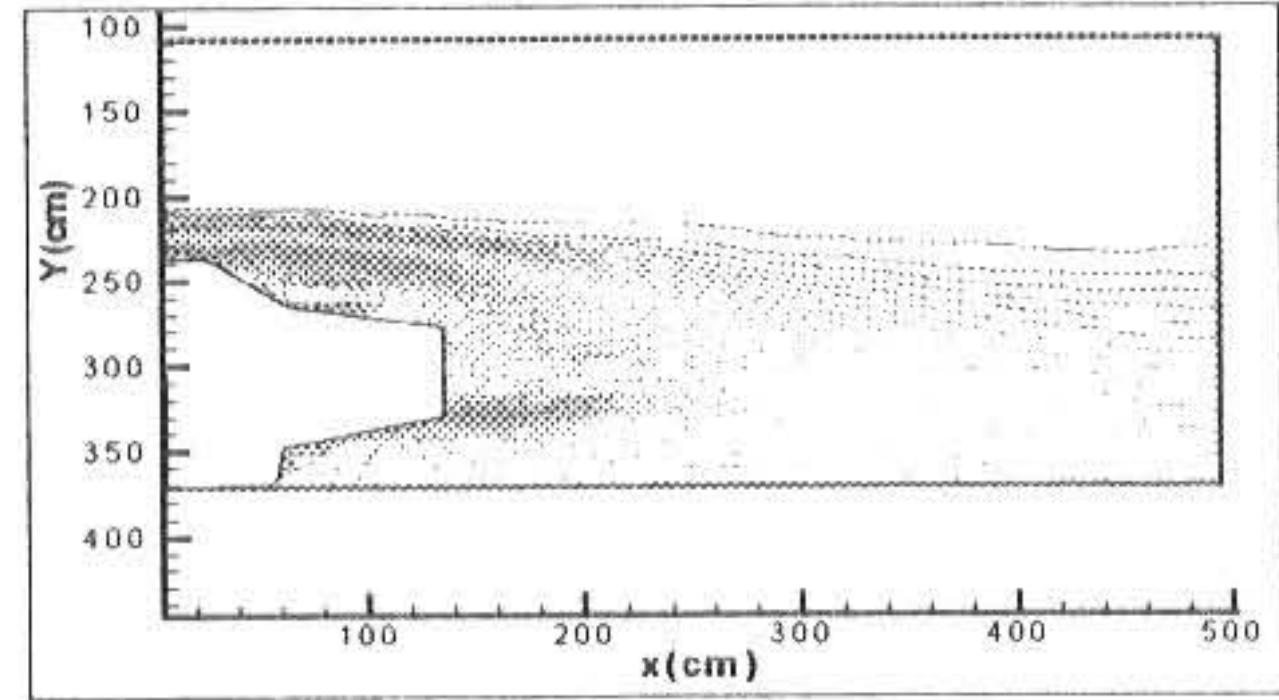


Fig.5 Velocity distribution (original)

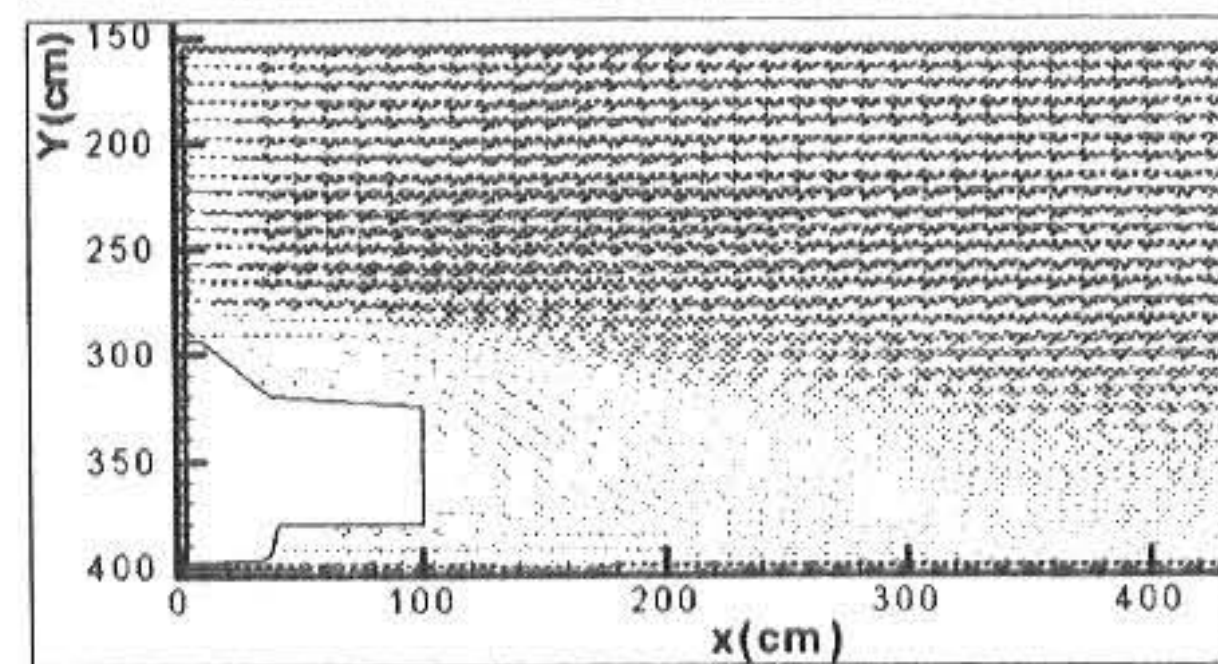
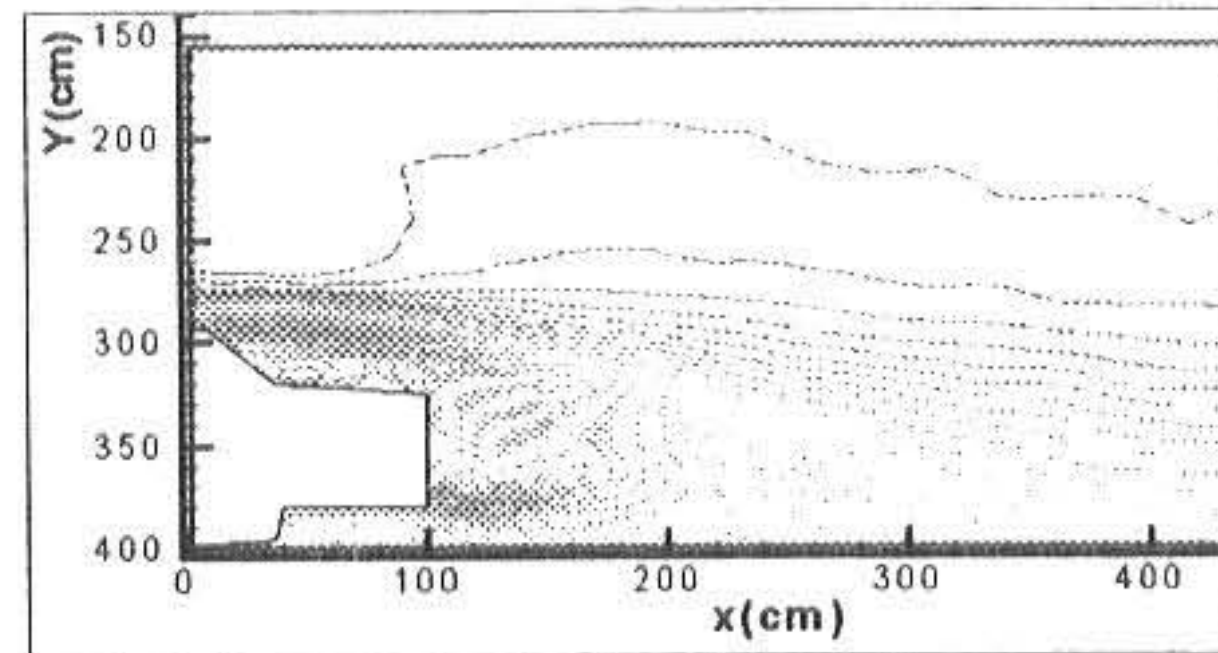
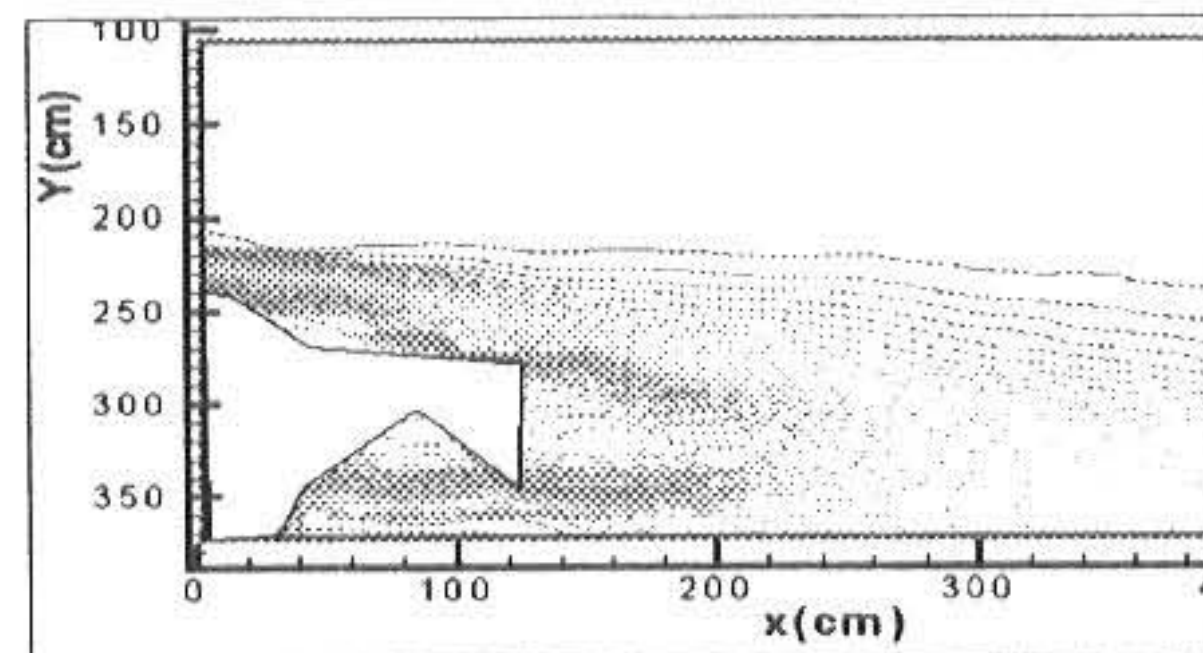


Fig. 6 Velocity distribution (horizontal)



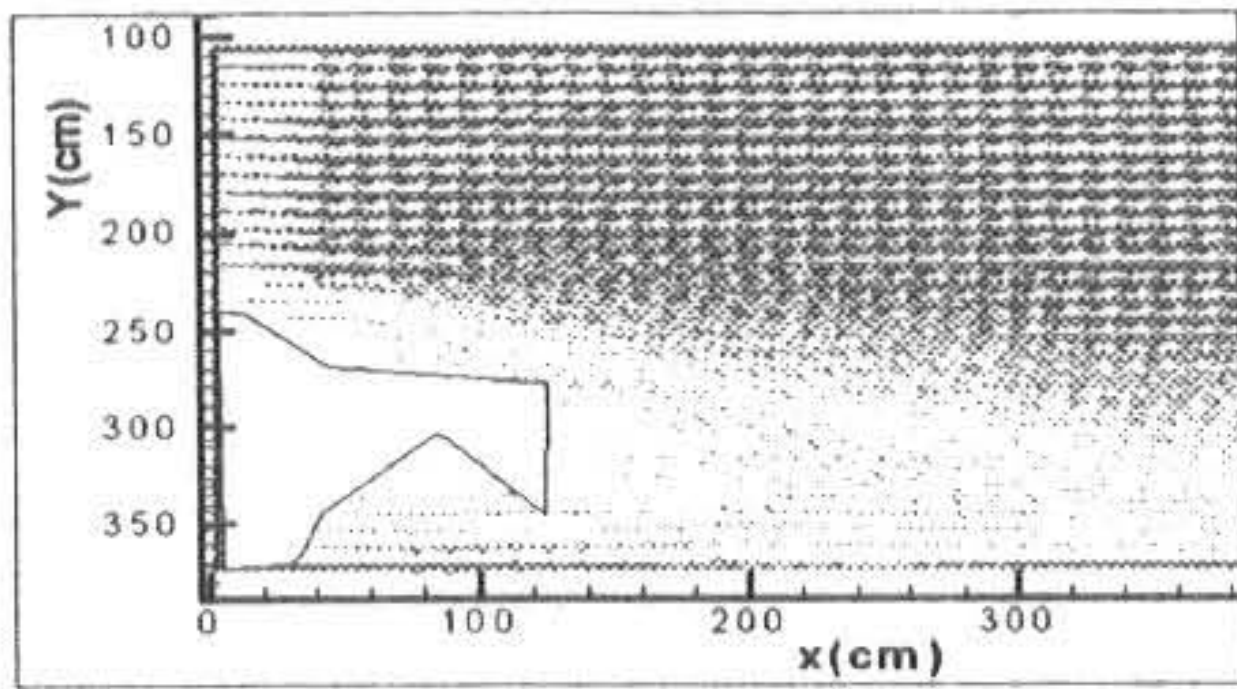


Fig. 7 Velocity distribution (angle 90°)

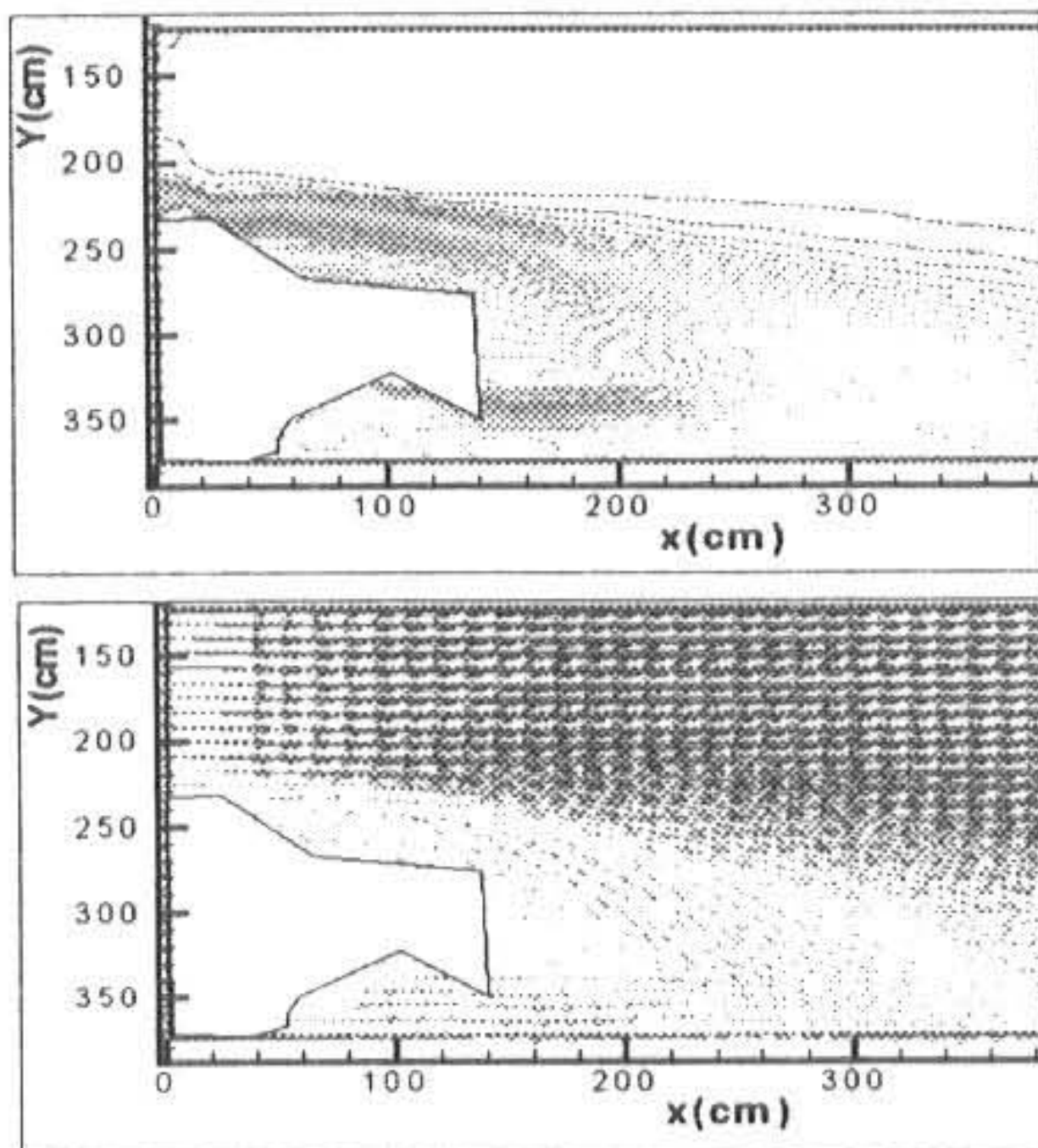


Fig. 8 Velocity distribution (angle 120°)

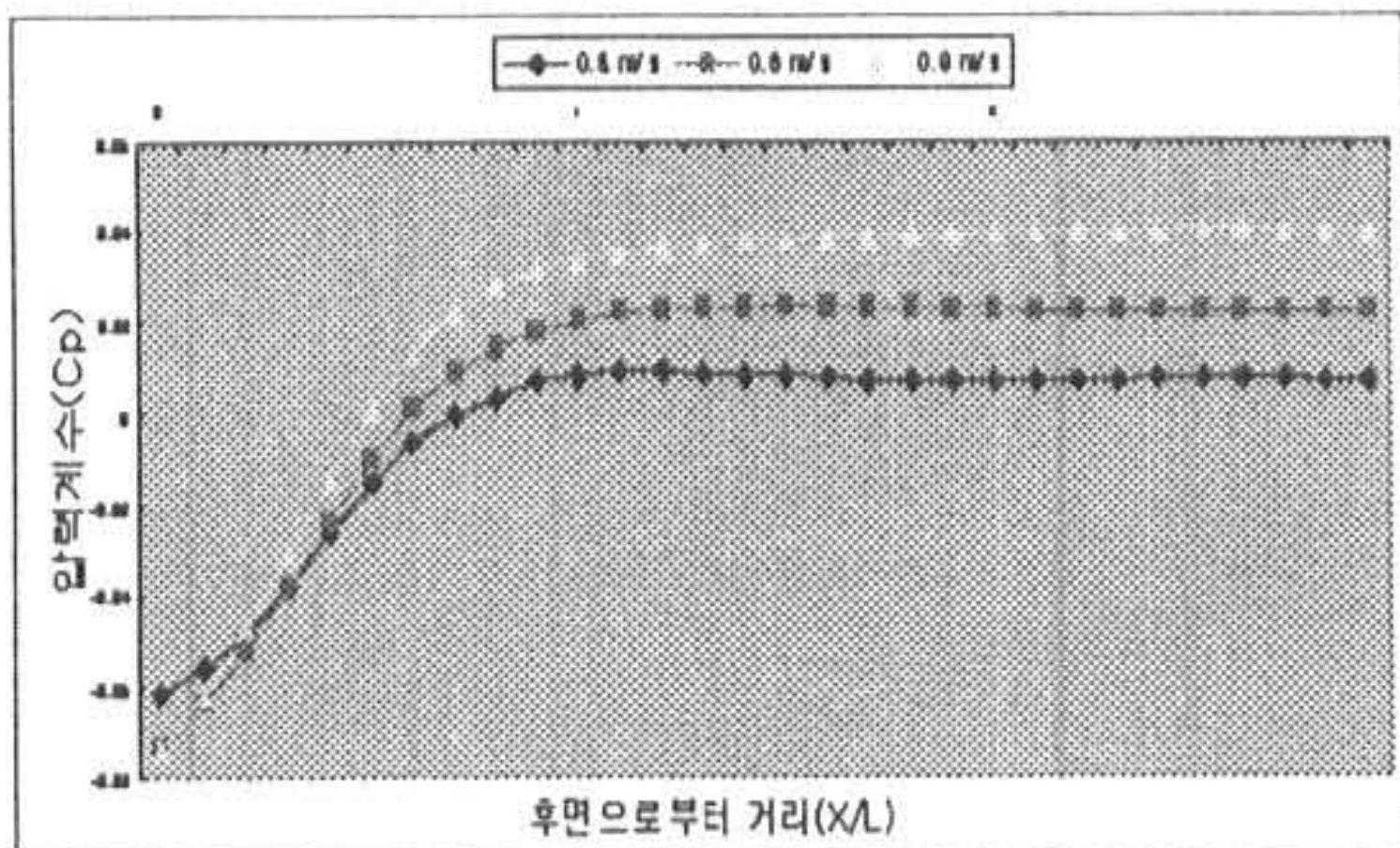


Fig. 9 Relation for pressure coefficient and distance of (X/L).

4. 결 론

각 경우에 보이는 바와 같이 속도별로 등고선 분포는 거의 유사하다. 그러나 후미 하단

에서의 형상의 변화는 각이 예리함에 따라 자동차 후미에서의 저압부의 영역을 증가시킴을 알 수 있다. 그리고 윗부분의 빠른 속도 영역이 상대적으로 많은 영향을 주는 것을 알 수 있다.

위의 속도 분포를 기준으로 무차원 압력분포를 Poisson 방정식을 이용하여 계산한 후류 부분의 압력계수를 몇 가지 케이스별, 속도별로 도시해 보았다. (Fig. 9)

또한 후부 하향단이 각도와 길이에 따라 후류의 특성이 현저하게 달리 나타남을 알 수 있으며 이는 후부하향단의 형상을 조정함으로써 후류제어가 가능함을 의미한다. 이는 자동차 후미하단부의 형상에 대한 적절한 설계를 하면 양력 및 항력을 고려한 후미부의 최적설계자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

자동차의 후미에서의 압력계수가 높아야 자동차의 진행에 저항을 적게 받는 것을 감안할 때 이러한 여러 가지 차이는 계속 연구할만한 가치가 있다고 생각된다.

본 연구에서 압력계수의 결과들이 그림에서는 길이비 25.8% 인 모형의 결과에서 Cp의 값이 기존 기아의 포덴사에 대한 결과보다 향상되었음을 알았다.

즉 자동차 후단의 압력계수가 최적으로 되기 위한 형상결정이 가능하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) G.W.Carr, "Correlation of Aerodynamic Force Measurements in MIRA and Other Automotive Wind Tunnels," SAE Paper 820374, Detroit, 1982.
- 2) S. R. Ahmed, W. H. Hucho, "The Calculation of Flow Field Past a Van with the Aid of a Panel Method", SAE Paper 770390, 1977
- 3) 유정열, 김사량, 강신형, 박세진, 이택식, 김웅서, "단순화된 2차원 자동차형 물체 주위의 유동에 관한 실험적 연구", 『대한기계학회 논문집』 제13권, 제1호, pp. 178-189, 1989
- 4) 장성원, 유정열, 이택식, "승용차 모형 주위의 유동에 관한 연구", 『한국자동차공학회지』 제12권, 제3호, pp. 53-62, 1999

- 5) 류종우, "자동차 하단부의 형상이 항력과 양력에 미치는 영향에 대한 수치해석적 연구", 『서울대학교 석사학위논문』, 1995
- 6) Buchheim, R. et al., "Advanced Experimental Techniques and Their Application to Automotive Aerodynamics", SAE 870224, 1987
- 7) Tanner. M., "Reduction of Base Drag. Prog. Aerospace Sci.", Vol.16, No.4, pp. 369-384. 1975
- 8) Hitoshi Nakatani, Harumi Hatano, "Improving Aerodynamic Characteristics by adding Divices to Vehicle Underside", 研究論文(18), 1990
- 9) Kobayashi, T., Saga, T., Segawa, S., 2차원 유동장의 실시간 화상계측의 일에, Flow Visualization(Japan), Vol.7, No.26, pp.289-92, 1987
- 10) 최성환, "화상처리를 이용한 유동장의 3차원 속도 측정법에 관한 기초연구", 『한국해양대학교 석사학위논문』, 1997

(1999년 11월1일 접수, 2000년 2월25일 채택)