

〈논 문〉 SAE NO. 96370047

Rear-spoiler를 이용한 자동차의 항력감소에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Drag Reduction of Ground Vehicle Using a Rear-Spoiler

최 재 호*, 이 상 준**
J. H. Choi, S. J. Lee

ABSTRACT

The effect of rear-spoiler attached at rear end of automobile trunk on the aerodynamic characteristics of a MIRA reference car model was experimentally investigated. For different shapes and positions(G/H) of the rear-spoiler, the aerodynamic forces on the automobile were measured at various flow speed(Re_L). The effect of rear-spoiler on the wake structure behind the automobile was also investigated using flow visualization and hot-wire anemometer. The rear-spoiler modifies the near wake structure and decreases aerodynamic drag and increases driving stability compared with those of the conventional automobile without rear-spoiler. From the experimental results, rear-spoiler of airfoil shape installed at the position of $G/H=0.084$ shows the best aerodynamic performance.

주요기술용어 : Rear-spoiler, Aerodynamic characteristics, Wake structure, Aerodynamic drag, Driving stability

1. 서 론

자동차 산업은 1970년대부터 고속주행과 연비 향상을 위해 경량의 엔진, 차체축소 및 새로운 경질재료의 개발등으로 차량의 경량화를 꾀함과 동시에 공기역학적 관점에서 항력감소를 해결하기 위한 여러가지 연구를 계속해 오고 있다. 자

동차의 연비를 향상시킬 수 있는 효과적인 방법 중 한가지는 공기역학적 항력을 감소시키는 것으로 자동차 주행중 자동차에 걸리는 공기항력을 최소화시키는 것이다. 자동차를 일정속도로 주행 시키는데 필요한 주행동력은 주행중인 자동차의 모든 저항손실의 합과 같다. 일반적으로 주행동력은 차체 내, 외부에 작용하는 공기역학적 동력과 엔진 클러치에서 뒤바퀴까지의 구동력 손실, 앞뒤 바퀴의 차축 베어링에서의 손실, 그리고 마찰에 의한 바퀴들의 동력손실등을 포함하는 기계

* 포항공과대학교대학원 기계공학과

** 정희원, 포항공과대학교 기계공학과

역학적 동력으로 나눌 수 있다. 주행중인 자동차의 공기역학적 소요동력은 자동차 주행속도의 3제곱에 비례하여 증가하는데 비하여 기계역학적 소요동력은 비교적 완만하게 증가한다. 따라서 고속으로 주행하는 자동차의 연비는 공기역학적 해석연구를 통하여 크게 향상시킬 수 있다. 현재까지 알려진 바에 의하면 공기항력을 10% 감소시키면 연료소비(연비)를 약 4% 감소시킬 수 있다.

자동차의 공기역학에 관한 초기단계 연구에서는 자동차 후류유동에 대한 정확한 이해없이 자동차의 외형을 시행착오를 통해 바꿔 가면서 자동차의 공기저항을 줄여 나갔다. 그러나 이 방법은 자동차가 가지는 기본적인 구조에 의한 제한성으로 인해 한계가 있었다. 그동안 수행되어진 여러 연구들을 통해 물체에 가해지는 공기저항은 물체 뒤의 후류구조와 밀접한 관계를 갖고 있음이 밝혀졌다⁷⁾. 따라서 자동차의 공기저항을 줄이기 위한 연구도 자동차의 후류유동에 대한 연구를 통해 자동차 후류를 제어하는 방향으로 나아가게 되었다^{1), 4)~6)}. 자동차 후류를 제어하여 공기역학적으로 항력을 감소시키는 방법중에서 가장 간단한 방법은 자동차에 spoiler와 같은 부착물(add-on device)을 부착하는 것이다. 이 방법은 자동차의 기본 차체구조를 변화시키지 않고 선택적으로 설치할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

Katz & Dykstra⁸⁾는 자동차에 spoiler를 부착하였을 때 자동차에 걸리는 압력분포와 공력계수의 변화를 조사하였고, Sato & Takagi¹²⁾는 spoiler를 부착한 자동차의 후류구조의 변화를 2-채널 LDV를 이용해 측정하였다.

본 연구에서는 자동차 차체후미에 rear-spoiler를 부착하여 자동차의 후류유동을 제어함으로써 자동차의 공력특성 변화를 연구하였다. 이와 같은 공기역학적인 해석을 통하여 자동차 항력감소의 mechanism을 밝히고 저저항 운송체의 공력설계기술을 개발하고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 rear-spoiler의 단면형상, 설치위치 및 유동조건을 변화시키면서 자동차에 걸리는 공력계수(C_D , C_L)를 측정하고, 자동차 후류구조 변화를 유동가시화와 열선유속계를 이용하여 실험

적으로 조사함으로써 rear-spoiler가 자동차 후류에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 POSTECH 아음속풍동은 폐쇄형(closed circuit)으로 시험부는 높이 0.6m, 폭 0.72m, 길이 2.5m이고, 최대풍속은 40m/s이며 난류강도는 0.2%이다. 본 실험에서 사용된 자동차 모델과 spoiler의 형상은 Fig.1과 같다. 자동차 모형은 높이 $H=95\text{mm}$, 폭 $W=108\text{mm}$, 길이 $L=280\text{mm}$ 인 세단형의 1/12 scale MIRA 기본형 모델이다. 차체 뒷부분의 트렁크 상부에 부착되는 rear-spoiler로는 3가지 서로 다른 단면형상(직사각형, 타원, airfoil)을 사용하였으며, 트렁크에서부터 spoiler까지의 간격을 $G/H=0.021, 0.042, 0.063, 0.084, 0.105, 0.126$ 으로 조절하였다. 여기서 l 과 t 는 spoiler의 길이와 두께로 3가지 모델 모두 $l=15\text{mm}$, $t=2\text{mm}$ 이다.

Fig.2는 자동차 모델의 set-up과 좌표계를 나타낸 것으로 spoiler가 장착된 차체후미 끝부분을 $X=0$ 으로 하였으며 자동차 바퀴 아래부분을 $Y=0$ 으로 하였다. 그림에서 보는 바와같이 자동차 모델을 길이 0.985m, 폭 0.55m인 아크릴 평판 위에 설치하였는데, 자동차 뒷부분에 남아있는 평판의 길이는 $6.4W$ 로 평판의 길이가 측정 결과에 크게 영향을 주지 않는다⁹⁾. 또한 자동차 모형은 평판위에 발달하는 경계층의 영향을 피하기 위해 아크릴 평판으로부터 10mm 떨어지게 설치하였다^{7), 8)}. 자동차 모델과 아크릴 평판을 포함한 전체의 막힘비(blockage ratio)는 3.3%로 막힘비에 의한 보정은 필요로 하지 않았다.

2.2 실험방법

자동차에 걸리는 공력측정에는 3분력계를 사용하였는데 3-component loadcell(Nishio LMC 3502)에서 나오는 전압신호를 DC strain amplifier(DSA-100)를 이용하여 증폭하였고, IBM PC에 연결되어진 자료획득장치(Data 6100)를

유지시켜줌으로써 속도측정값에 온도보정을 따로 하지않아도 되게 하였다¹¹⁾. X-probe의 보정은 pitot tube와 micromanometer FCO-12를 사용하여 풍동시험부 내부에서 수행하였다. 본 실험에서 사용한 X-probe는 보정결과 yaw angle 이 $\psi_1=42.5^\circ$, $\psi_2=43^\circ$ 이었다.

3. 결과 및 토의

3.1 공력특성

자동차의 공기저항을 최소화시키는 rear-spoiler의 단면형상과 설치위치를 찾기 위하여 $U_o=10\text{m/s}$ ($Re_L=1.8 \times 10^5$)인 상태에서 spoiler의 단면형상과 설치위치(G/H)를 변화시켜 가면서 자동차 차체에 걸리는 공력(C_D & C_L)을 측정하였다. 비교를 위하여 spoiler를 부착하지 않은 자동차 차체에 대해서도 똑같은 조건에서 실험을 수행하였다. Fig.3은 3가지 단면형상의 spoiler (airfoil, 평판, 타원형)의 설치위치를 변화시키에 따른 항력계수(C_D)와 양력계수(C_L)의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보면 spoiler를 부착하였을때에는 부착하지 않았을때보다 항력계수는 감소하고, 양력계수는 음의 방향으로 커짐을 알 수 있다. 즉 자동차의 공기저항은 감소하고, 주행안정성은 증가하고 있다. 항력계수의 경우 spoiler의 설치높이(G/H)를 증가시키에 따라 spoiler의 단면형상에 상관없이 G/H=0.084가

지는 조금씩 감소하다가 G/H=0.084에서 최소값을 가진 후 다시 증가한다. 이때 3가지 단면형상중 익형단면의 spoiler는 항력계수 증가폭이 가장 완만하며, 사각단면의 spoiler의 경우 항력계수가 크게 증가하고 있다. 양력계수의 경우에는 G/H=0.084까지는 점진적으로 증가하다가 G/H=0.084를 지나면서 크게 감소한다. G/H가 0.084보다 큰 경우에도 익형(airfoil)형상의 spoiler가 가장 좋은 공력특성을 보여주고 있다. 따라서 단면형상이 익형인 spoiler를 G/H=0.084인 위치에 설치하였을때 자동차의 공력특성이 가장 크게 개선됨을 볼 수 있다.

그리고 Re_L 수에 따른 자동차의 공력특성의 변화를 살펴보기 위해 익형(airfoil)과 타원 단면형상의 spoiler를 G/H=0.084인 위치에 장착한후 $U_o=5, 10, 15, 20, 25, 30\text{m/s}$ ($Re_L=0.9, 1.8, 2.7, 3.6, 4.5, 5.4 \times 10^5$)로 변화시켜 가면서 자동차의 공력특성 변화를 조사하여 그 결과를 Fig.4에 나타내었다. Fig.4에서 보는 바와같이 Re_L 수가 증가함에 따라 자동차의 항력계수는 감소하며 spoiler에 의한 자동차의 항력계수 감소효과도 적어진다. 이에 반해 양력계수는 음의 방향으로 증가의 폭이 커진다. 즉 자동차의 주행속도가 빨라짐에 따라 spoiler가 자동차의 공기저항 감소에 미치는 영향은 적어지고 주행안정성은 크게 증대되어진다. 즉 spoiler는 낮은 주행속도에서 항력을 개선시키고 고속주행시 주행안정성

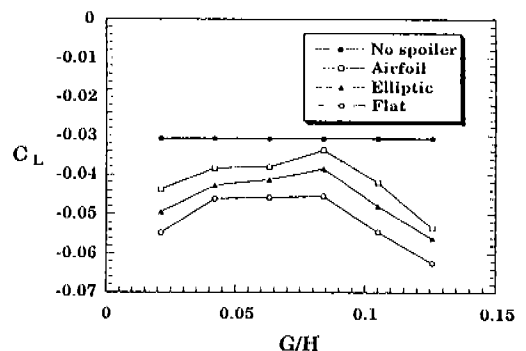
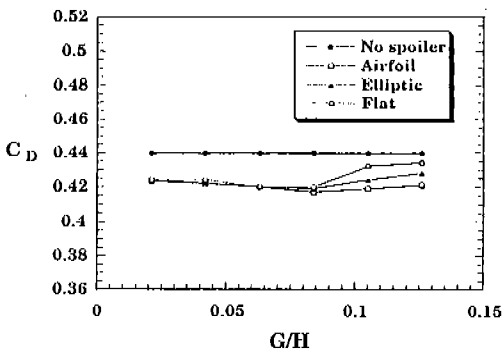


Fig.3 Aerodynamic characteristics of car model with spoiler at $Re_L=1.8 \times 10^5$

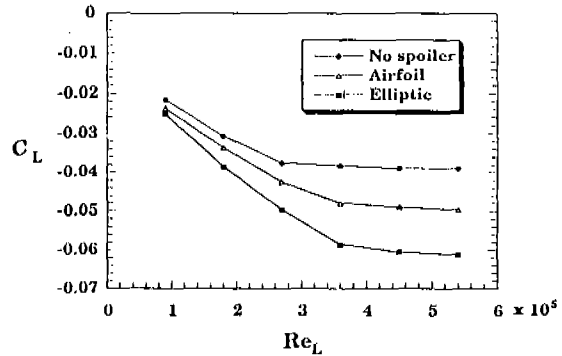
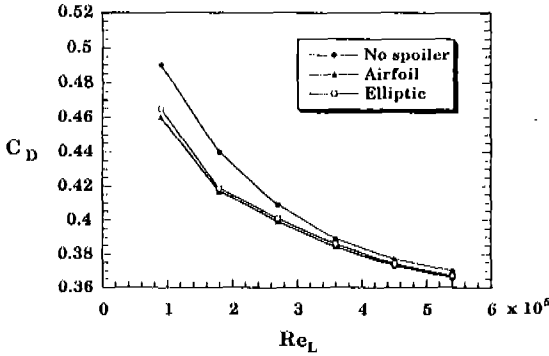


Fig.4 Variation of C_D & C_L as a function of Re_L

을 크게 향상시키는 특성을 가짐을 알 수 있다. 그리고 본 연구에서 다룬 Re_L 수 범위 내에서 airfoil 단면형상의 spoiler가 타원 단면형상의 spoiler보다 좋은 공력특성을 보여주고 있다.

3.2 후류 유동장

Fig.5는 spoiler를 부착하지 않은 자동차와 익형 단면의 spoiler를 $G/H=0.084$ 위치에 장착한 자동차의 후류유동을 가시화한 것이다. 그림에서 보면 spoiler를 부착하지 않은 자동차의 경우 자동차 뒷유리를 따라 내려온 유동은 자동차 차체 트렁크 끝부분을 지나 수평면과 약 30° 각도로 후류 하단부분으로 내려오게 된다. 이와같이 하강하는 유동이 약 $X/L=0.25$ 위치단면이후 구간에서 자동차 후류의 대부분을 지배하고 있다. 반면에 spoiler를 부착한 자동차의 경우에는 자동차의 후류 상단부분과 하단부분의 유동이 $X/L=0.75$ 인 지점에서 서로 만나 유동이 차체중간 높이 ($Y/H=0.4\sim 0.5$)로 거의 평행하게 나아가고 있다. 즉 spoiler는 차체 상부로부터 하강하는 유동을 억제시킴으로써 spoiler가 없는 경우보다 자동차의 후류에서 하강하는 유동성분이 적어진다.

Spoiler에 의한 자동차 후류유동장의 변화를 보기 위해 $U_0=10\text{m/s}$ ($Re_L=1.8 \times 10^5$)인 상태에서 익형 단면형상의 spoiler를 $G/H=0.084$ 위치에 장착한 경우의 주유동단면에서의 속도장을 측정하였다. Fig.6은 spoiler 장착여부에 따른 주유동방향의 평균속도장 (U_m)과 수직방향의

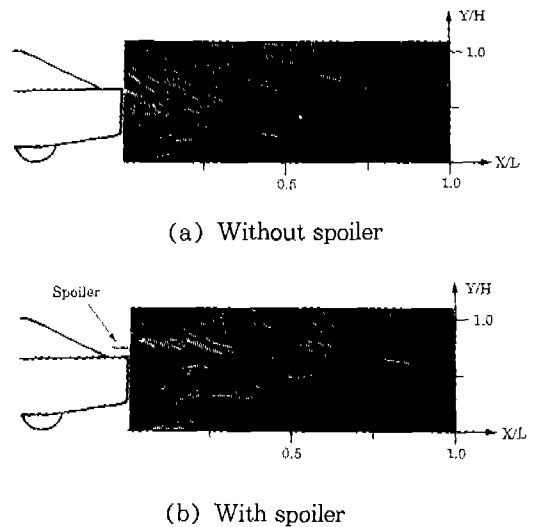


Fig.5 Flow visualization behind car model (streamwise section)

평균속도장 (V_m)을 grey level 표현기법으로 나타낸 것으로 $Y=69\sim 71\text{mm}$ 위치에 spoiler가 장착되어 있다. 여기서 보면 spoiler를 장착한 경우에는 spoiler가 없는 경우에 비해 차체 하단부분에서 상승하는 속도성분이 강함을 알 수 있다. 특히 수직방향의 평균속도장을 보면 $Y/H=0.4$ 를 기준으로 후류 상단부분에는 음의 속도성분이, 하단부분에는 양의 속도성분이 분포하고 있다. Fig.7은 $X/L=0.0, 0.25, 0.5$ 인 위치단면에서 주유동방향 평균속도 (U_m)와 수직방향의 평균속도 (V_m)분포를 나타낸 것이다. 그림에서 Y/H

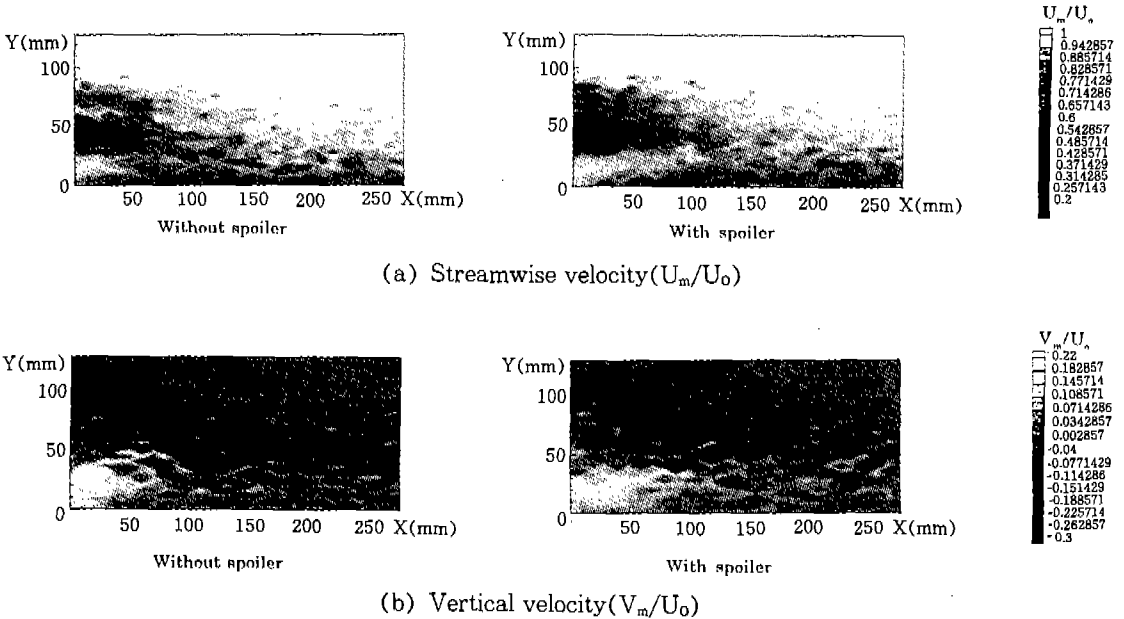
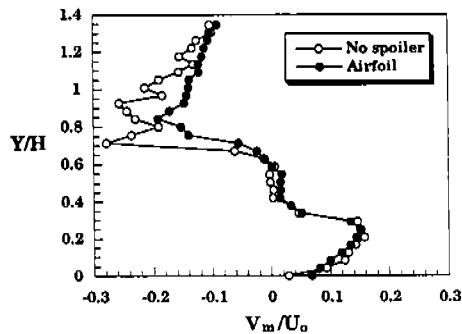
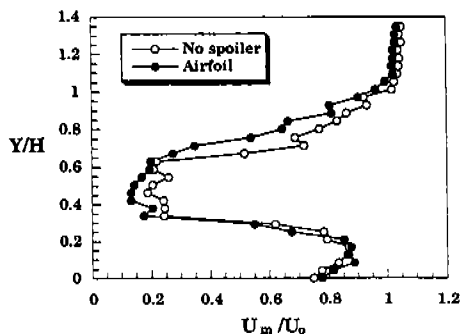


Fig.6 Mean velocity distribution behind car model at $Re_L = 1.8 \times 10^5$ (streamwise section)

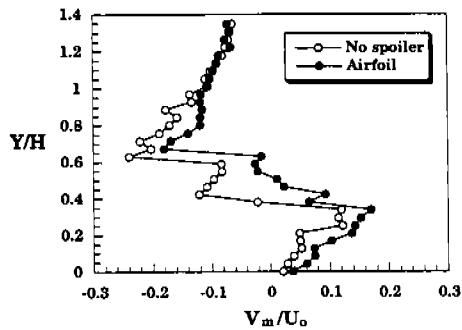
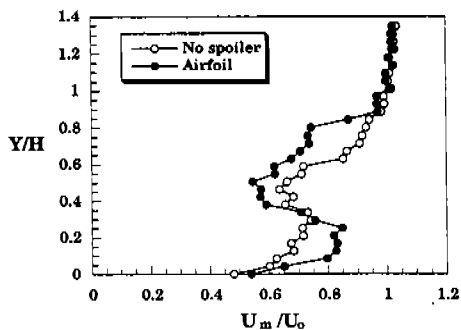
=0.726~0.747인 위치에 spoiler가 부착되어 있다. 그림에서 보면 spoiler를 장착하지 않았을 경우에는 자동차 후류의 폭(width)이 하류로 나아감에 따라 감소하고 있다. 또한 수직방향 평균 속도분포를 보면 후류유동이 하류로 나아감에 따라 음의 속도성분, 즉 자동차의 상단부분에서 하강하는 속도성분이 지배적인 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 이에 반해 spoiler가 장착되어 있는 경우에는 spoiler를 장착하지 않은 경우에 비해 자동차의 근접후류에서는 후류의 폭이 증가하지만 하류로 나아감에 따라 후류영역이 크게 감소하였다. 그리고 수직방향 평균속도분포를 보면 후류의 상단부분에서는 음의 속도성분이 약화되고 하단부분에서는 양의 속도성분이 강해짐을 알 수 있다. 또한 하류로 나아감에 따라 자동차 후류의 상단부분에서 spoiler의 영향을 받지 않는 영역이 점차적으로 확대되고 있다.

Fig.8은 주유동방향 속도성분의 난류강도와 수직방향 속도성분의 난류강도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 spoiler를 부착하지 않았을

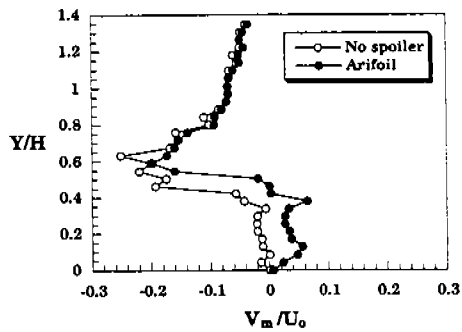
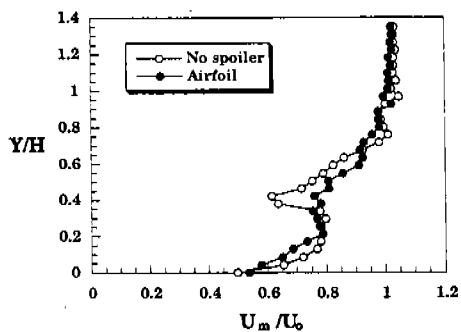
경우에는 자동차 직후 근접후류의 상단부분에서 주유동방향 속도성분의 난류강도가 크게 나타나며, 하류로 나아감에 따라 수직방향 속도성분의 난류강도가 후류의 하단부분으로 내려가면서 강하게 나타나고 있다. 즉 자동차 차체 상단에서 유입되는 외부유동은 하류로 나아감에 따라 후류의 하단부분까지 그 영역이 확대하고 있다. 이에 반해 spoiler를 부착하였을 경우에는 spoiler를 부착하지 않았을 경우에 비해 전반적으로 난류강도가 감소하였다. 특히 자동차 후류의 근접 상단부분의 주유동방향 속도성분의 난류강도가 크게 감소하였으며, 수직방향 속도성분의 난류강도는 spoiler를 부착하지 않았을때와는 다른 분포를 보여주고 있다. 즉 spoiler를 부착하였을 경우에는 자동차 후류의 중심영역($Y/H=0.5$)에서 큰 난류강도값을 가지게 된다. 이것은 유동가시화 결과에서 설명한 바와같이 이 높이에서 후류상부로부터 하강하는 유동과 차체 하부로부터 상승하는 유동이 서로 만나 활발한 혼합이 일어나기 때문으로 생각되어진다.



(a) $X/L=0.0$



(b) $X/L=0.25$



(c) $X/L=0.5$

Fig.7 Comparison of mean velocity U_m and V_m

이러한 결과로부터 자동차 차체 후미에 부착된 spoiler는 차체 윗부분에서 자동차의 후류로 들어오려는 외부유동의 유입을 억제시키고, 자동차 밑면을 지나 상승하는 유동이 자동차 후류에 비

치는 영향을 증대시켜 후류구조를 크게 변화시킨다. 이와같은 후류구조의 변화가 자동차의 공력 특성변화를 가져온 것으로 유추되어진다.

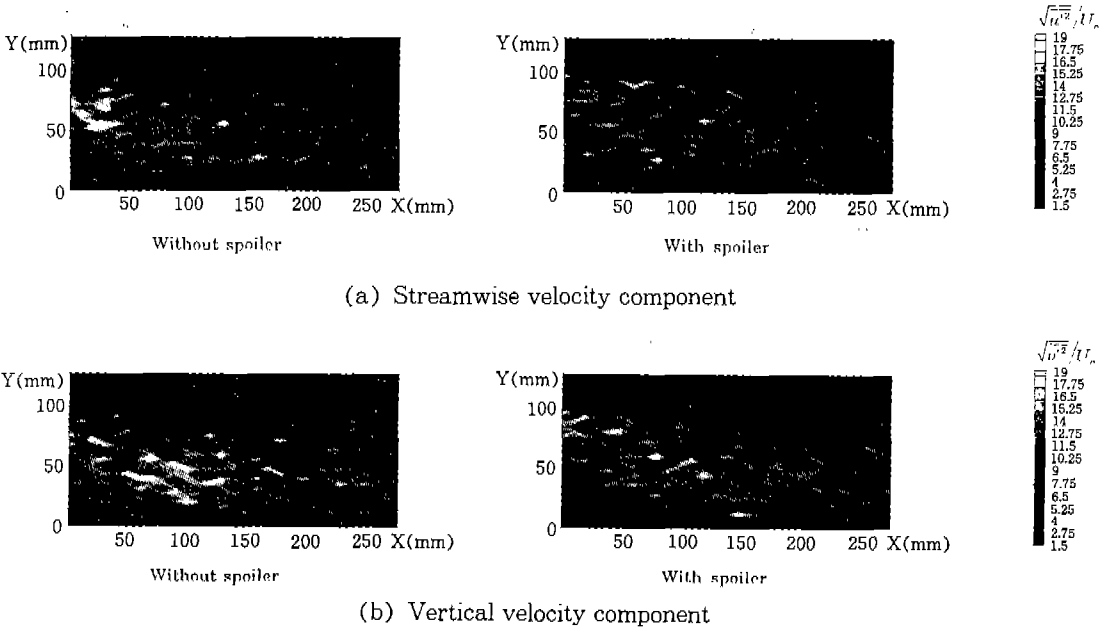


Fig.8 Turbulent intensity distribution behind car model at $Re_L = 1.8 \times 10^5$ (streamwise section)

4. 결 론

MIRA 기본형 자동차모형의 차체후미 트렁크 상부에 rear-spoiler를 부착하여 자동차의 후류를 수동적으로 제어한 결과 본 연구에서 다룬 실험조건하에서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 자동차에 rear-spoiler를 부착하였을때에는 부착하지 않았을때보다 자동차의 공기역학적인 항력은 감소하고 주행안정성은 증가하였다.
- 2) 자동차의 공기역학적인 항력을 가장 최소화시키는 spoiler의 단면형상은 익형이고, 최적의 설치위치는 $G/H=0.084$ 이다.
- 3) Re_L 수가 증가함에 따라 spoiler가 자동차의 공기저항 감소에 미치는 영향은 적어지나 주행안정성은 증가한다.
- 4) 차체 후미에 부착된 spoiler는 자체 상단부분에서 후류내부로 들어오려는 외부유동의 유입을 억제시키며, 이에 따라 자동차 하단부분으로부터 상승하는 유동이 상대적으

로 자동차 후류에 크게 영향을 미친다.

후 기

본 연구는 첨단유체공학연구센터(AFERC)의 과제 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Ahmed, S. R., "Wake Structure of Typical Automobile Shapes", *Trans. of the ASME, J. Fluid Eng.*, Vol. 103, pp. 162~169, 1981
2. Buchheim, R. et al., "Advanced Experimental Techniques and Their Application to Automotive Aerodynamics", *SAE* 870244, 1987
3. Chang, P. K., "Separation of Flow", KIST Publish, 1979

4. Cogotti, A., "Flow-field Survey behind Three Squareback Car Models Using a New Fourteen-hole Probe", *SAE* 870243, 1987
5. Duell, E. G. and George, A. R., "Measurement in the Unsteady Near Wakes of Ground Vehicle Bodies", *SAE* 930298, 1993
6. Hachett, J. E., Williams, J. E. and Patrick, J. Jr., "Wake Traverses behind Production Cars and Their Interpretation", *SAE* 850280, 1986
7. Hucho, W. H., "Aerodynamics of Road Vehicles", Butterworth-Heinemann, 1987
8. Katz, J. and Dykstra, L., "Effect of Passenger Car's Rear Deck Geometry on Its Aerodynamic Coefficients", *Trans. of the ASME, J. Fluid Eng.*, Vol. 114, pp. 186~190, 1992
9. Kevin, P. G., "Wind Tunnel Tests on the Influence of Fixed Ground Board Length on the Aerodynamic Characteristics of Simple Commercial Vehicle Models", *J. Wind Eng. & Industrial Aero.*, Vol. 38, pp. 1~10, 1991
10. Lee, S. J., "Experimental Thermo-fluid Mechanics, Lecture note of the AFERC short course", *AFERC, POSTECH*, pp. 107~136, 1993
11. Parry, A. E., "Hot-wire Anemometry", Clarendon Press Oxford, 1982
12. Sato, H. and Takagi, M., "Airflow Measurement around Passenger Car Models Using a Two-channel Laser Doppler Velocimeter", *SAE* 930297, 1993