

〈논 문〉 SAE NO. 97370047

## 승용차 후향거울 주위의 3차원 유동특성 해석

### A Study on Flow Analysis of Exterior Rear View Mirror of Passenger Car

정 수 진\*, 김 우 승\*\*  
S. J. Jeong, W. S. Kim

#### ABSTRACT

In order to satisfy customer's requirements of ride comfort and high performance, it is necessary for designers to fully understand vehicle aerodynamics and wind noise of newly produced cars because characteristics of flow and wind noise are heavily dependent on each other.

In this study numerical and experimental study have been carried out to analyse the effect of flow characteristics at around of rear view mirror on wind noise and soiling on the front S/W.

As a result, it's found that the spiral flow near the front pillar is weakened and spreaded because rear view mirror obstructs the flow. It is also shown that there is abrupt change of gradient of separation line, separation area, intensity of spiral flow and turbulent kinetic energy with varying shape of neck and housing of rear view mirror.

주요기술용어 : Separation line(재부착선), Spiral Flow(나선형 유동), Aerodynamics(공력학), Ind Noise(공력소음), CFD(전산유체역학)

#### 기 호 설 명

$x^i$  : 직교좌표계 (=x, y, z)  
 $p$  : 압력  
 $u^i, u(i, j)$  : 직교좌표 속도성분  
 $\tau_{ij}$  : 응력 텐서

$y^+$  : 벽으로부터의 무차원 거리  
 $\mu$  : 와류점성계수  
 $C_p$  : 압력계수 (=  $(p-p_\infty)/\frac{1}{2}\rho u_\infty^2$ )  
 $k$  : 난류 에너지  
 $\epsilon$  : 난류 에너지 소산율  
 $\sigma$  : 밀도  
 $U_\infty$  : 자유흐름 속도

\* 정회원, 한양대학교 대학원  
\*\* 한양대학교 기계공학과

## 1. 서 론

최근 자동차는 엔진, 서스펜션 등의 성능이 향상됨에 따라 종래보다 더욱 더 고속으로 주행하는 것이 가능하게 되었다. 따라서 고속 주행시 나타나는 진동 및 소음 그리고 공력학적 저항등이 주요 설계인자로 등장하게 되었다. 그중에서도 공력소음(Wind Noise)은 엔진 및 서스펜션보다도 고속주행 중 발생하는 차량 내, 외부의 소음에 보다 큰 역할을 한다. 이러한 공력소음 레벨을 저감하기 위하여 차실내외 양면으로부터 소음을 단절시킬 필요가 있다. 특히 차실외측에서 차량의 기하학적 형상에 기인하는 유동으로부터 발생하는 소음을 최대한 억제시키고 차실내에서 외부로부터 발생하는 소음을 효과적으로 차폐시키는 것이 중요하다.

따라서 최근 이러한 공력소음을 줄이기 위하여 차량 주위의 유동특성이 공력소음에 미치는 영향에 대하여 많은 연구가 수행되어지고 있으며 특히 유동의 박리, 재부착 및 이에 따른 와류가 형성되어 측면유리 표면에 압력진동을 일으키는 A-pillar 주위의 유동은 차량의 주행 중 주된 공력소음원이므로 이를 억제할 수 있는 A-pillar의 형상을 만들기 위하여 많은 연구가 발표되었다.<sup>1,2)</sup> 최근들어 CFD기법을 활용하여 Yuji<sup>2)</sup> 등은 단순한 자동차형태의 모델에 대해서 측면유리 표면의 압력변동을 예측하여 A-pillar에서 발생하는 소음원인이 Pillar 뒤에서의 박리 및 재부착 뿐만 아니라 비정상적인 와류의 분산(Vortex Breakdown)에 있음을 밝혀내었으며 Pillar의 기울기에 따라 나선형 와류(Spiral Vortex)의 분산특성이 급격한 변화를 하며 이들은 공력소음에 직접적인 관계가 있음을 증명하였다.

그러나 현재 양산중인 승용차의 대부분은 후향거울을 부착하고 있으며 이로 인하여 A-pillar 주위의 유동특성(와류, 재부착, 박리)에 많은 변화를 겪게된다. 그리고 후향거울의 형상에 따라 A-pillar를 지나서 S/W(Side Window) 표면위를 흐르는 유동의 와류 강도 및 크기가 많은 변화를 일으키며 또한 후향거울로 인하여 생성되는 후류는 A-pillar 주위의 유동과 간섭하여 차량의

항력 및 소음에 많은 영향을 미치고 있다. 따라서 이러한 후향거울과 A-pillar에서 발생하는 와류와의 유동간섭을 해석하는 것은 차량의 공력학적 측면 뿐만아니라 S/W 표면의 오염(Soiling) 및 공력소음 측면에서도 매우 중요한 문제이다. 그러므로 후향거울의 최적화는 거울 후미의 후류의 크기를 약화시킴으로써 Frt S/W 표면에 발생하는 소음을 약화시키는데 있으며 또한 후향거울로 인한 S/W 표면의 오염도(Soiling)를 낮추는데 주안점을 두고 있다.

최근들어 컴퓨터의 용량 및 수치해법의 급속한 발달에 힘입어 CFD(Computational Fluid Dynamics)기법은 비약적으로 성장하였다. 따라서 최근 국, 내외 자동차 회사의 설계자들은 이러한 CFD기법을 사용하여 차량의 공력학적인 문제를 활발히 해석하여 실험으로 얻기 어려운 많은 유용한 정보를 얻고 있으며 이러한 결과들을 바탕으로 최적화 설계 효율을 높이고 있는 추세이다.<sup>3,10,11)</sup> 그러나 CFD기법을 이용한 후향거울에 대한 유동해석은 아직까지 미비한 상태이며 단순화된 자동차모형의 A-pillar 주위의 유동해석이 대부분이다.<sup>1,2,9)</sup>

따라서 본 논문에서는 후향거울이 승용차의 A-pillar 주위의 유동특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 CFD기법을 이용하여 3차원 유동해석과 풍동실험 및 실차를 이용한 공력소음 실험을 수행하였다. 또한 후향거울의 목부분의 기하학적 형상을 변화시켜 이때 일어나는 A-pillar 주위의 유동특성 변화가 차량주위의 외부유동과 S/W 표면의 오염도 및 공력소음에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 수치해석(Numerical Analysis)

### 2.1 지배방정식(Governing Equations)

본 연구에서는 유체유동을 3차원 정상상태 비압축성 난류유동으로 고려하였으며 이는 아래와 같은 지배방정식으로 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x^i}(\rho u^i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x^j}(\rho u^i u^j) = -\frac{\partial p}{\partial x^i} + \frac{\partial \tau^{ij}}{\partial x^j} \quad (2)$$

$$\tau^{ij} = 2\mu e^{ij} - \overline{\rho u^i u^j} \quad (3)$$

$$e^{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u^i}{\partial x^j} + \frac{\partial u^j}{\partial x^i} \right) \quad (4)$$

식 (3)의 레이놀즈 응력은 아래와 같은 Chen<sup>5)</sup>의 Extended k-ε 난류모델을 사용하여 계산하였다.

$$-\overline{\rho u^i u^j} = \mu \left( \frac{\partial u^i}{\partial x^j} + \frac{\partial u^j}{\partial x^i} \right) - \rho k \delta_{ij} \quad (5)$$

$$\mu = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x^i}(\rho u^i k) &= \frac{\partial}{\partial x^i} \left( \frac{\mu}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x^i} \right) \\ &+ \mu \left( \frac{\partial u^i}{\partial x^i} + \frac{\partial u^j}{\partial x^j} \right) \frac{\partial u^i}{\partial x^i} - \rho \epsilon \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x^i}(\rho u^i \epsilon) &= \frac{\partial}{\partial x^i} \left( \frac{\mu}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x^i} \right) \\ &+ C_1 \frac{\epsilon}{k} \left( \frac{\partial u^i}{\partial x^i} + \frac{\partial u^j}{\partial x^j} \right) \frac{\partial u^i}{\partial x^i} - C_2 \frac{\epsilon^2}{k} \\ &+ \frac{C_3}{k} \left[ \left( \frac{\partial u^i}{\partial x^i} + \frac{\partial u^j}{\partial x^j} \right) \frac{\partial u^i}{\partial x^j} \right]^2 \end{aligned} \quad (8)$$

식 (5)~(6)에 사용된 난류모델의 경험상수는 표1에 나타내었다.

본 연구에 사용된 Chen<sup>5)</sup>의 확장 k-ε모델은 표준 k-ε 모델보다 에너지 전달 메카니즘이 뛰어나며 소산율 방정식에 포함되어진 생성률 시간 스케일이 평균 변형률에 상응하는 에너지 이송을

Table 1 Coefficients of Chen's Extended k-ε Model

	$\rho_k$	$\rho_\epsilon$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
Value of Coef.	0.75	1.15	1.15	1.9	0.25

보다 효율적으로 할 수 있어 난류운동에너지의 급격한 생성과 소산이 수반되는 유동에 뛰어난 예측성능을 보유하고 있다.<sup>5)</sup>

## 2.2 수치적 조건

### (Computational Conditions)

본 연구에서는 수치적 계산을 위하여 상용코드인 Star-CD<sup>6)</sup>를 사용하였으며 표 2에 상세한 수치적 조건들을 나타내었다. 차체 표면에서의 난류유동 계산을 위하여 벽함수(Wall Function)를 사용하였으며 Y<sup>+</sup> 값은 40에서 500사이가 되도록 벽면근처의 계산셀을 세분화 하였다.<sup>7)</sup> 풍동로(Wind Tunnel) 입구유속은 25m/s(90km/hr)으로 입구 경계면에 수직인 방향으로 유입되도록 처리하였으며 입구면에서의 난류강도는 입구유속의 7%로 계산하였으며 입구에서의 난류에너지 소산율은 아래와 같은 관계식을 이용하였다.

$$\epsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} \quad (9)$$

여기서 혼합길이  $l$ 은 차량 높이의 10%로 계산하였다.

출구경계조건은 Neumann 조건으로 처리하였다. 본 연구에서 실제 계산은 모델의 대칭성을 이용하여 RH쪽 1/2 모델만을 수행하였는데 이때 대칭면은 경계면에서의 대류유속과 수직방향으로의 종속변수들의 구배를 0으로 처리하였다. 전체계산은 대상모델을 풍동터널 내에 위치시켜 입구로부터의 일정유속을 통과시켜 모델의 후향

Table 2 Computational Conditions

Element Number	302, 682
Convective Term	QUICK
Velocity-Pressure Correction	SIMPLE
Coordinate system	BFC
Calculation Method	Steady
Computer(Calculation)	Power Onyx(Silicon Graphic Co.)
Wall Function	Logarithmic Law
CPU Time	3.87 hours(8 CPU)

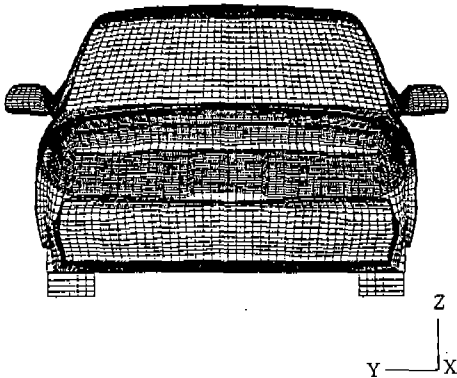
미러 주위에 발생하는 난류유동특성을 해석하였고 이때 타이어의 회전은 무시하였다.

반복 계산시 계산의 수렴조건은 전단계와 현단계의 차이를 각 종속변수의 입구유량으로 나눈 상대오차가  $1.0 \times 10^{-3}$  이하로 되도록 설정하였다.

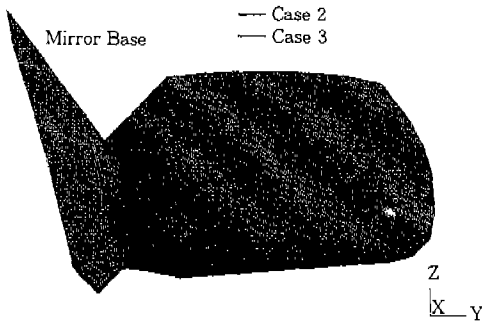
계산에 사용된 컴퓨터는 Silicon Graphic사의 Power Onyx(8 CPU)이며, 격자생성 및 전, 후 처리는 IRIS Indigo 2(R4400)를 이용하였다.

### 2.3 계산 모델 (Computational Models)

본 대상모델은 노치백(Notchback)형의 승용차에 부착된 후향거울이며 이를 해석하기 위하여 격자 전용생성 프로그램인 ICEM-CFD<sup>®</sup>를 사용하여 Fig.1(a)에 나타낸 것과 같은 후향거울 및 모델차량 전체를 3차원적으로 격자를 생성하였



(a) Computational Grid of Investigated Models



(b) Modification of Mirror Shape

Fig.1 Computational Grid of Vehicle and Modification of Mirror Shape

다. 대상모델은 상류쪽으로 3L, 하류쪽으로 10L, 높이3H, 폭방향으로 5W인 크기의 풍동터널 내에 위치시켰다.

본 연구에서는 Fig.1(b)에 나타낸 것과 같이 후향거울의 목부분과 하우징 부분을 변형시킨 3가지 경우에 대하여 계산을 수행하였으며 CFD 해석의 흐름도를 Fig.2에 나타내었다.

### 3. 실험(Experiments)

후향거울 주위의 유동특성 및 공력소음을 예측하기 위하여 본 연구에서는 실 스케일 풍동(Full Scale Wind Tunnel)을 이용하여 유동가시화 및 S/W 표면의 오염도 실험을 수행하였으며 실차 주행모드에서 공력소음 실험을 수행하였다.

#### 3.1 풍동실험(Wind tunnel test)

본 연구에서는 후향거울의 각 형상변화에 따른 S/W 표면의 오염도를 실험하기 위해서 개방 제트형(Open Jet Type)의 실 스케일 풍동을 이용하였다. 실험에 사용된 풍동의 주요 계원을 표3에 나타내었으며 S/W 표면의 오염도 실험을 하기 위하여 실험 대상 차량 앞에 Fig.3과 같은 액적 분사기(Droplet Generator)를 설치하였다. 분사기 안에 형광물질과 물의 혼합물을 주입한

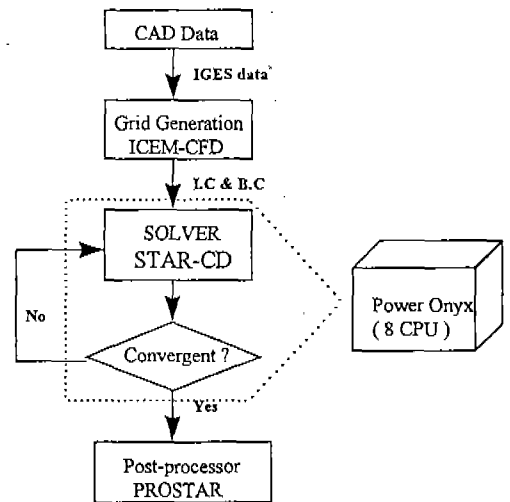


Fig.2 Aerodynamic Simulation Flow Chart

Table 3 Main Specifications of Wind Tunnels

Type	Göttinger Construction(Open jet type)
Blower	9 blade, axial type, 8.5m diameter
Nozzle outlet cross section	32.6m <sup>2</sup>
Nozzle constraction ratio	3.5
Motor Power	4000kw
maximum wind velocity	260 km/h
test section	turntable(12m diameter)
Maximum cross-section of air flow	115m <sup>2</sup>
Attachment	6 component balance(accuracy of measurement of 0.05%)

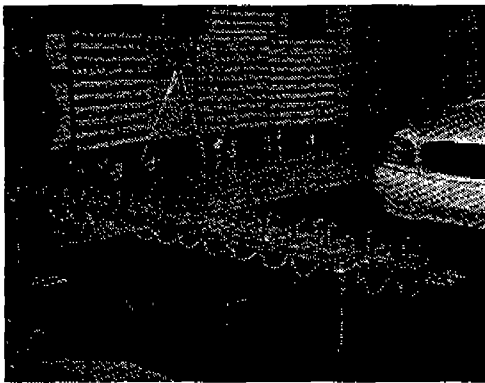


Fig.3 Photograph of Droplet Generator

후 노즐을 통하여 분사하였으며 분사속도는 풍동의 블로워(Blower)에서 유입되는 속도( $U_{in}$ )와 같게 조절하였다.

### 3.2 공력소음 실험(Wind Noise Test)

후향거울의 목두께의 변화에 따른 공력소음의 변화를 알아보기 위하여 실차주행 시험을 통하여 소음(dB)을 측정하였다.

실차주행시에는 횡풍(Side Winds)과 같은 갑작스런 외란(Disturbance)에 의하여 정확한 공력소음 레벨을 측정하기가 매우 까다롭다. 그러므로 본 연구에서는 외부 풍속이 1m/s 이하의 날씨에 건조한 노면에서 실시하였다. 시험은 대상차량이 저속에서 충분히 워밍업(Warm-Up)이

이루어진 상태에서 직선도로 상에서 이루어지며 각 주행속도에 따라 소음측정기(Sound Level Meter)를 차 실내측에서 Frt S/W 표면에 장착하여 주행중 공력 소음을 측정하였다. 측정은 각 주행속도에 따라 각각 5회씩 실시하여 그 산술 평균을 취하였다.

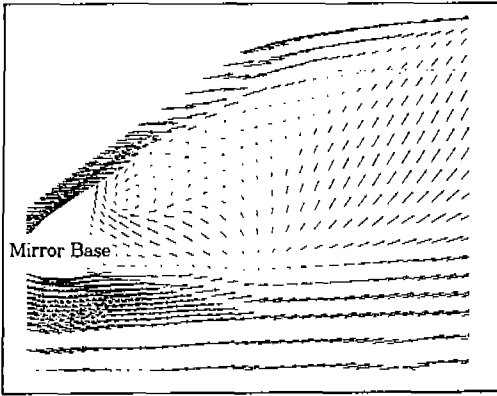
### 4. 결과 및 고찰

승용차에서 주행중 발생하는 공력소음 중 가장 주된 소음원은 A-pillar를 지나며 유동이 박리되어 S/W 표면 위에 발생하는 와선형 와류(Spiral vortex)이다. 왜냐하면 박리영역 내에 생성되는 이러한 와류는 측면유리 표면에 압력진동을 일으키기 때문이다. 따라서 A-pillar 설계시 이 주위의 유동해석을 하는 것은 공기역학적인 문제와 더불어 공력소음 측면에서도 매우 중요한 작업이라 할 수 있다.

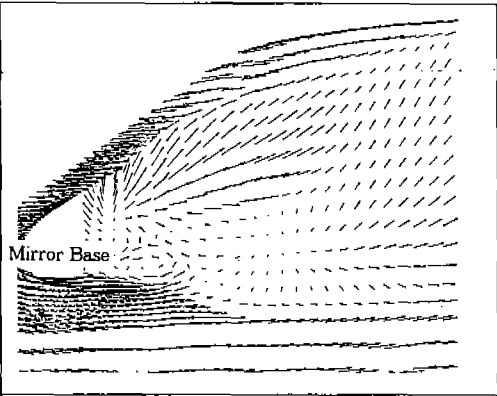
그러나 실차의 경우 대부분의 차량이 A-pillar 하단부에 후향거울이 부착되어 있으므로 후향거울에 부딪혀 반사된 유동과 거울 뒷부분의 후류가 A-pillar 주위의 박리영역에서의 나선형 와류와 서로 간섭하여 복잡한 유동특성을 띄게 된다. 따라서 본 연구는 실차에 부착된 후향거울의 하우징 및 유리의 진동특성, 가시성능, 흐림제거(Demist)등 여러가지 설계인자 중 후향거울이 A-pillar 주위의 유동특성에 미치는 영향을 해석하였으며 또한 거울의 목부분 및 하우징의 형상을 변화시켜 이에 따른 유동 및 오염도, 그리고 공력소음의 변화를 연구하였다.

#### 4.1 후향거울 주위의 유속분포

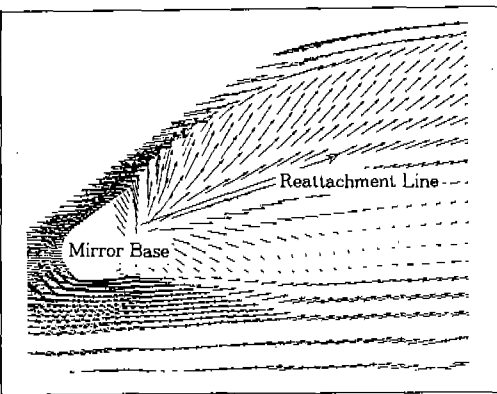
Fig.4(a)에 Case 1의 경우에 S/W 표면에 형성되는 속도분포의 계산결과를 나타내었다. 계산 결과에서 보듯이 돌출된 후향거울로 인하여 A-pillar에서 박리로 인하여 생성되는 나선형 와류의 세기가 감소되며, 후향거울에 부딪힌 반사류와 후류가 나선형 와류와 간섭하여 후향거울 뒤쪽 상하에 한쌍의 와류가 형성되어 있고 주행방향과 반대방향의 재부착 영역이 형성되어 있음을 볼 수 있다.



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

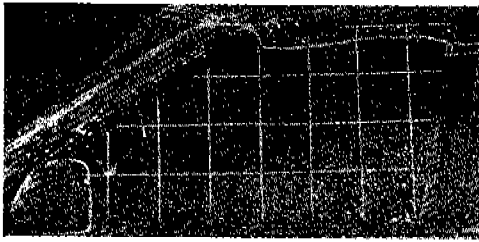
Fig.4 Computed Streamlines on the Front Side Window Surface

Case 2의 경우의 측면유리 표면에 나타나는 속도분포의 계산결과를 Fig.4(b)에 나타내었다. 이 경우는 후향거울과 거울 받침대 사이에 보다 큰 흡음으로 인하여 A-pillar 주위의 나선형 와류 유동과의 간섭정도가 상대적으로 적어 측면유리 상단에 재부착선(Reattachment Line)이 형성되어 있고 후향거울 받침대 하단 뒤쪽에 1개의 와류가 형성되어 있음을 볼 수 있다.

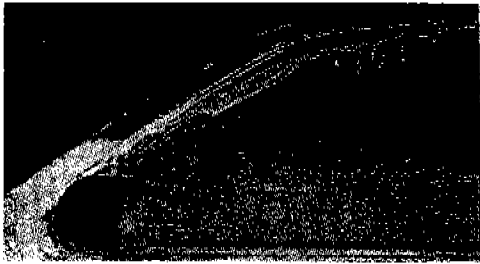
Case3의 경우에 대한 측면유리 표면의 속도분포의 계산결과를 Fig.4(c)에 나타내었다. 이 경우는 후향거울 주위의 유동과 A-pillar 주위의 나선형 와류와의 간섭이 적으므로 와류강도가 상대적으로 강해 넓은 영역의 박리영역이 형성되어 있으며 따라서 측면유리 상단에 큰 기울기를 지닌 재부착선이 뚜렷이 형성되어 있음을 볼 수 있다. 이 재부착선을 기준으로 상면은 위쪽으로 치우치는 유동(Upwash Flow)과 하면은 아래쪽으로 치우치는 유동(Down Wash Flow)으로 나누어짐을 볼 수 있다. Case 2의 경우와는 달리 재부착선 아래쪽에서의 유동세력이 강해 후향거울 뒤쪽에 와류는 형성되지 않는다.

후향거울의 최적설계 중 돌출된 거울로 인하여 발생하는 S/W의 오염은 설계자가 고려해야 할 중요한 설계인자이다. Fig.5(a)는 Case 1에 대한 오염도를 실험한 결과이다. 거울에 부딪혀 반사된 유동의 재부착으로 인하여 후향거울로부터 후류쪽으로 S/W상에 부채꼴 모양의 오염이 형성되고 있음을 볼 수 있다. Fig.5(b)는 Case 2의 경우의 유동을 가시화한 결과로써 Fig.4(b)의 계산결과와 같이 거울 받침대 뒤쪽에 주행방향과 반대방향의 재부착영역이 존재함을 확인할 수 있다.

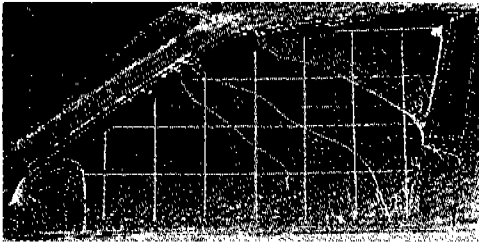
Fig.5(c)는 Case 3의 경우의 오염도 실험결과를 보여주고 있으며, Fig.5(a)의 경우보다 S/W 표면의 오염영역이 감소되었음을 볼 수 있다. 이는 Fig.4(c)의 유동해석 결과에서 확인하였듯이 재부착선의 기울기가 변함에 따라서 발생하는 재부착선 아래쪽으로 흐르는 유동 때문으로 생각되어지며 따라서 상대적으로 오염도가 감소 될 수 있었던 것으로 생각되어 진다. 이러한 CFD해석과 실험을 통하여 후향거울의 목부분 주위의 거



(a) Case 1(Original Model)



(b) Case 2.

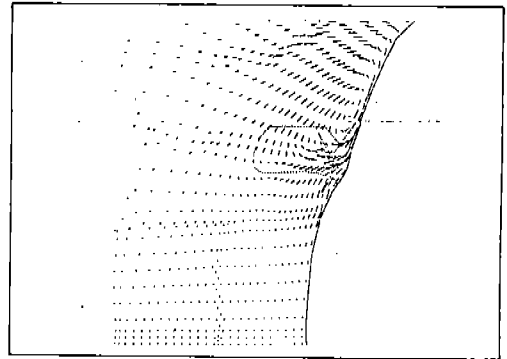


(c) Case 3

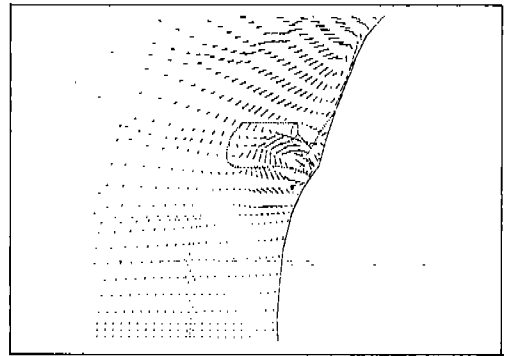
Fig.5 Experimental Results in the Wind Tunnel

을 하우징과 목부분의 형상은 S/W 표면의 오염도 및 유동장에 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

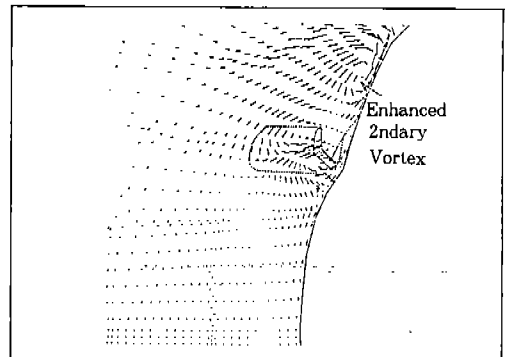
Fig.6에 각 경우에 대하여 후향거울 받침대(Base)로부터 하류방향으로 300mm 떨어진 위치에서 주행방향에 수직인 평면의 y, z 방향의 속도분포를 나타내었다. 각 경우에 공통적으로 후향 거울 뒷부분에 1개의 와류가 형성되어 있음을 볼 수 있으며 그 위쪽에 A-pillar 주위의 박리영역으로 인하여 2차 와류(Secondary Vortex)가 존재한다. 그러나 후향거울과 받침대 사이의 홈이 넓어짐에 따라서 후향거울로 인한 A-



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig.6 Velocity Vectors at 300mm Downstream of Rear View Mirror

pillar의 나선형 와류와의 간섭정도가 약해지므로 상단의 2차 와류의 강도가 점차 강해짐을 볼 수 있다.

이러한 계산결과로부터 A-pillar에서 박리된 나선형 와류가 S/W표면에 재부착되며, 따라서 재부착선은 이러한 와류의 크기 정도에 따라 달라지게 됨을 알 수 있다. 그러므로 후향거울의 형상변화에 따라 A-pillar 주위의 나선형 와류의 크기가 달라지며 이는 S/W 표면상의 박리영역의 크기 및 재부착선의 기울기등을 변화시키므로 공력소음에도 변화를 줄 것으로 생각된다.

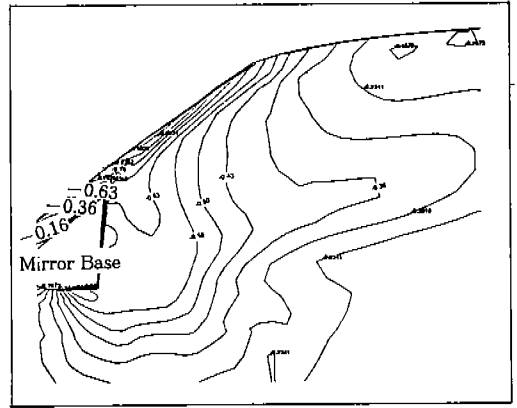
#### 4.2 후향거울 주위의 압력 및 난류강도 분포

Fig.7 (a), (b), (c)에 Case 1~3의 경우에 측면유리 표면에 형성되는 압력계수( $C_p$ ) 분포를 나타내었다. Case 1의 경우 A-pillar를 지나면 유동이 박리됨에 따라 이 주위에 급격한 압력변화가 일어나며 후향거울에 부딪힌 유동과 뒷부분에 형성된 한쌍의 와류가 A-pillar 아래쪽의 나선형 와류의 강도를 낮추므로 최소압력 위치가 A-pillar 윗쪽으로 이동하여 자리잡고 있음을 볼 수 있다.

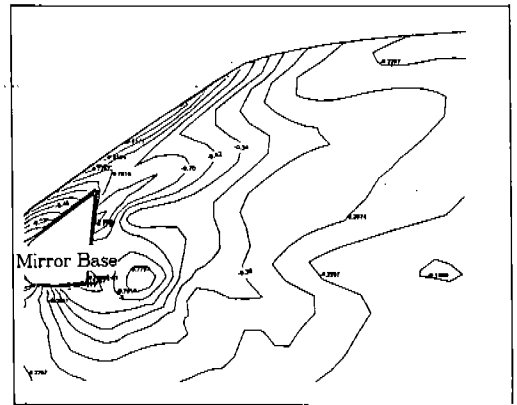
Case 1의 경우보다 Case 2의 경우는 A-pillar 주위의 유동과 후향거울 주위의 유동 간의 간섭정도가 적고 후향거울 뒤쪽에 형성되는 와류강도도 약해지므로 최소압력 위치가 Case 1의 경우보다 하향이동 하는 것을 볼 수 있다. 또한 Fig.4(a)에서 나타냈듯이 재부착선을 따라 낮은 압력분포가 형성되어 있다.

가장 목두께가 적은 Case 3의 경우는 나선형 와류의 세력확장으로 인하여 최소압력이 후향거울 지지대 뒷편으로 이동하고 있음을 볼 수 있다.

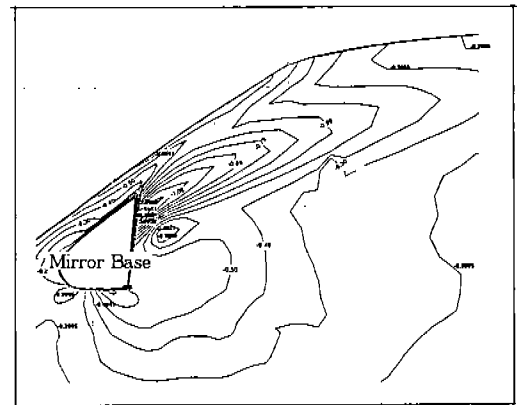
Fig.8은 후향거울 받침대로부터 하류방향으로 300mm 떨어진 위치에서 각 경우에 대한 주행방향에 수직한 평면의 압력( $C_p$ )분포를 나타내었다. 계산결과들로부터 박리영역 중심부가 자유흐름 영역에 비하여 낮은 압력을 형성하고 있으며 재부착선이 형성되는 영역근방에서는 점차 압력이 회복되고 있음을 볼 수 있다. 후향 거울의 목두께가 얇아질수록 2차와류의 강도가 강해지므로 이영역에 낮은 압력이 분포하고 있으며, 또한



(a) Case 1



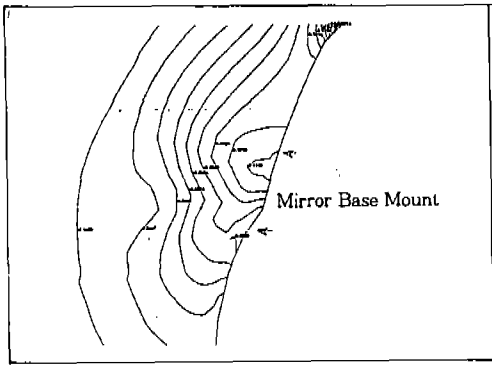
(b) Case 2



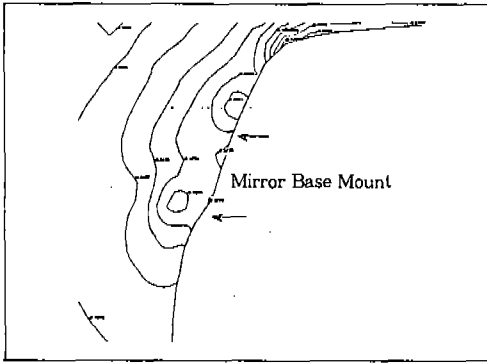
(c) Case 3

Fig.7 Computed Surface Pressure Distribution on the Front Side Window

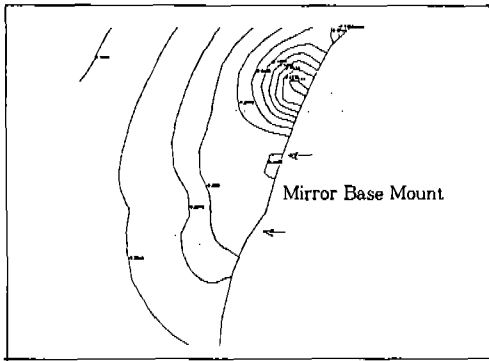




(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig.8 Pressure( $C_p$ ) Distribution at 300mm Downstream of Rear View Mirror

후향거울 후류영역의 압력은 높아지고 있다.

각 경우에 대하여 S/W 표면의 압력 및 난류 강도분포를 비교하기 위하여 Fig.9와 같은 좌표계를 설정하여 압력분포를 Fig.10에 그리고 난류강도분포를 Fig.11에 각각 나타내었다. 이때

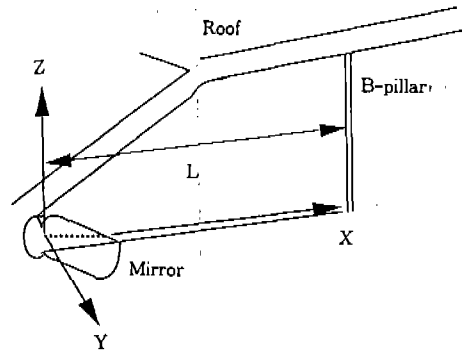


Fig.9 Coordinate System and Computational Plane

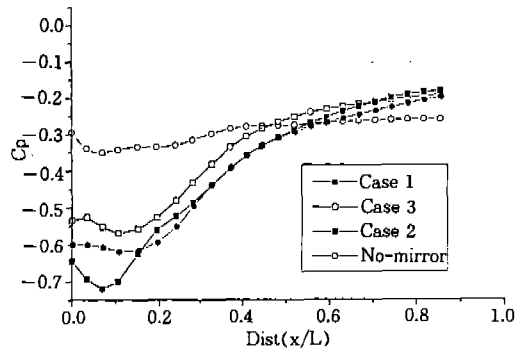


Fig.10 Pressure( $C_p$ ) Variation on the S/W Surface

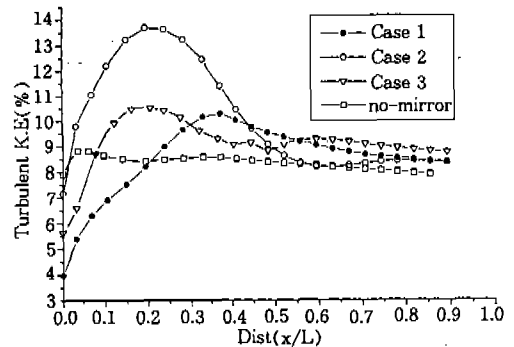


Fig.11 Turbulent Kinetic Energy Variation on the S/W Surface

좌표계에서 z축의 원점은 후향거울의 받침대 최하단부로부터 수직상부로 48mm 떨어진 곳에 위치시켰다.

압력분포의 경우 A-pillar에서 박리 및 S/W 표면에서의 재부착유동으로 인하여 전체 S/W 표면에서 자유유동영역에 비하여 낮은 압력이 형성되어져 있다. 특히 후향거울의 후류로 인하여  $x/L < 0.4$ 의 영역에서는 급격한 압력강하를 나타내며 이는 유동의 재부착으로 인하여 하류로 갈수록 회복되어진다.

Fig.11에 S/W 표면에 분포하는 난류운동에너지 분포를 나타내었으며 이때 난류운동에너지 강도( $\gamma$ )는 아래식으로 나타내었다.

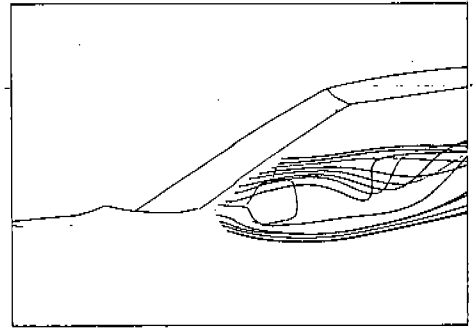
$$\gamma = \frac{\sqrt{u'^2 + v'^2 + w'^2}}{U_\infty} \times 100 (\%) \quad (10)$$

압력분포와 마찬가지로 박리영역의 중간쪽이 바깥쪽보다 높은 난류강도를 보이고 있으며, 재부착영역에서의 난류강도는 상대적으로 미약함을 볼 수 있으며 결과적으로 A-pillar의 나선형 와류의 세력이 가장 큰 Case 3의 경우 박리영역 가운데에서 가장 큰 난류강도를 나타내고 있으며 후향 거울이 존재하지 않는 경우의 난류강도의 변동은 상대적으로 미약함을 알 수 있다.

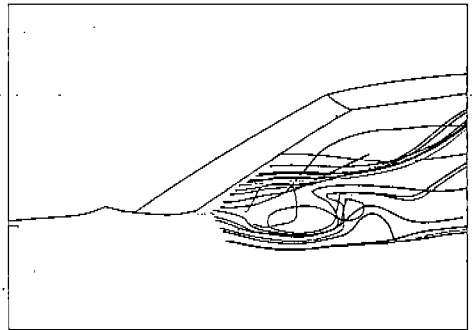
S/W 표면에서의 압력변동이 공력소음의 주된 원인임은 잘 알려진 사실이다. 최근 Kenji<sup>33)</sup> 등은 이러한 음압(Sound Pressure)레벨과 난류운동에너지의 분포는 밀접한 관계를 지니고 있음을 밝히고, 후향거울의 형상에 대한 음압분포는 난류운동에너지 분포의 계산을 통하여 대략적으로 예측할 수 있으며 특히 최고 난류강도 분포 위치는 최고 음압의 존재영역과 근접하게 위치하고 있음을 입증하였다. 따라서 Fig.11에서 나타낸 바와 같이 후향거울의 목두께 변화에 따른 난류강도의 변동은 결국 음압레벨에도 많은 영향을 미칠 것이며 목두께가 얇은 Case 3과 같은 경우는 타경우에 비해 거울주위에 높은 음압레벨을 형성할 것으로 생각되어진다.

### 4.3 A-pillar 주위의 유동특성

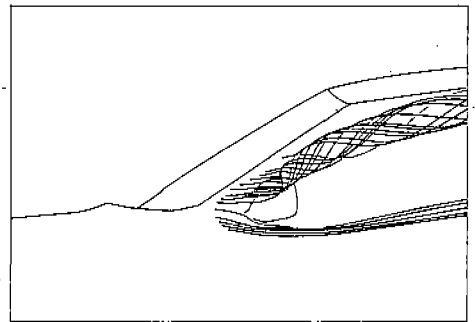
후향거울의 목두께 변동이 A-pillar주위에 형성되는 나선형 와류에 미치는 영향을 가시적으로 나타내기 위하여 각 경우에 대해서 후향거울 주위의 유체입자의 궤적선(Particle Tracking)을 Fig.12에 나타내었다.



(a) Case 1



(b) Case 2

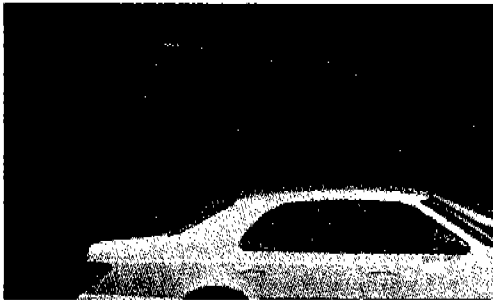


(c) Case 3

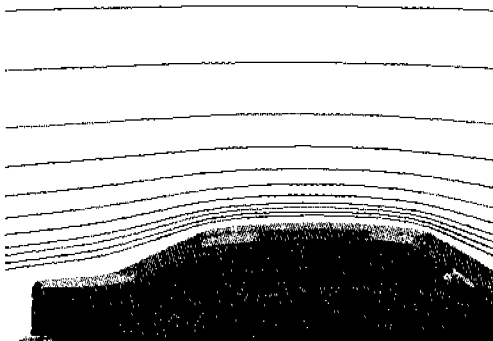
Fig.12 Calculated Streak Lines at around Mirror

후향거울의 목두께가 두꺼운 Case 1의 경우는 후향거울로 인하여 반사된 유동과 후류로 인하여 나선형 와류의 세력이 상당히 약화되었는데 비하여 거울과 받침대 사이의 홈이 가장 넓고 깊은 Case 3의 경우는 A-pillar주위에 강한 나선형 와류가 존재함을 가시적으로 확인할 수 있다. 따라서 본 계산결과로부터 Fig.7에서 나타낸 바와 같이 나선형 와류의 세기가 작은 Case 1의 경우는 최소압력이 A-pillar 상단에 위치하나, 세기가 강한 Case 3의 경우 A-pillar 하단부에 위치하는 이유를 쉽게 이해할 수 있다.

Fig.13에서는 차량의 상단 중심부를 통과하는 유동의 유선을 가시화한 실험과 CFD 해석결과를 비교한 것이다. 수치해석 결과와 실험이 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.



(a) Flow Visualization Test



(b) Computed Particle Tracking

Fig.13 Comparison of Computational and Experimental Results of Flow Streamline

#### 4.4 후향거울 주위의 공력소음

후향거울의 목부분의 형상변화가 공력소음에 미치는 영향을 연구하기 위하여 3.2절에서 설명한 바와 같이 차 실내측에서 소음을 측정하였다. 측정위치는 Fig.14에 나타내었다. 각 경우 모두 거울 받침대 아래쪽인 “B”의 경우, 전 주행속도에서 공력소음에 큰 변화가 없었으나, “A”의 경우는 110Km/hr 이상의 고속의 경우 상대적으로 많은 차이를 나타냈다. Fig.7(c)와 Fig.10에서 보았듯이 후향 거울 받침대 뒤쪽 S/W 표면에 최소압력이 형성되어 있고, 가장 높은 난류강도가 분포하고 있는 Case 3의 경우가 가장 높은 공력소음을 발생시키고 있음을 확인할 수 있다.

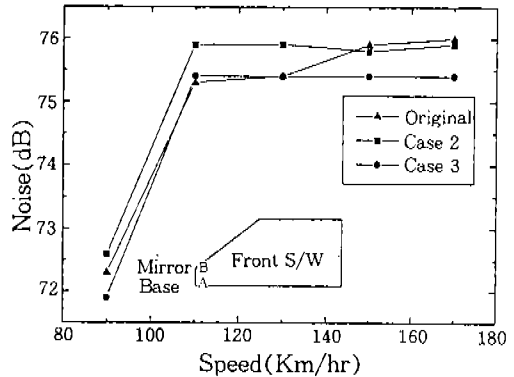


Fig.14 Comparison Between Mirror Neck Thickness and Noise Level(Point A)

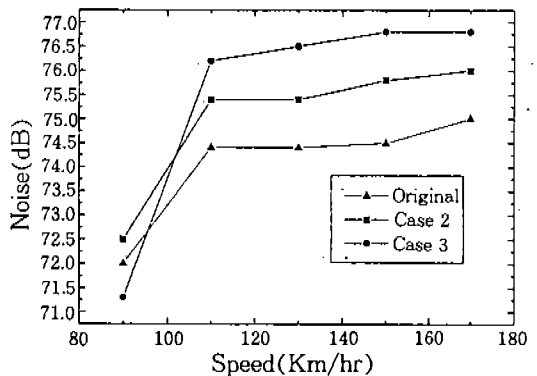


Fig.15 Comparison Between Mirror Neck Thickness and Noise Level(Point B)

## 5. 결 론

본 연구에서는 실차에 부착하는 후향거울이 A-pillar 주위 및 S/W 표면에 분포하는 유동에 미치는 영향 및 거울의 하우징 및 목부분의 형상 변경이 S/W 표면의 오염도 및 유동특성과 공력소음에 미치는 영향을 분석하기 위하여 3차원 CFD 해석 및 실차 실험을 수행하였다.

연구결과, 후향거울에 반사되거나 거울의 후류 영역에 존재하는 와류들은 A-pillar에서의 박리로 인하여 형성되는 나선형 와류와 간섭하며 그 세력을 약화시키거나 변형시킴을 확인하였다. 그리고 후향거울의 목부분의 기하학적 변화는 나선형 와류의 강도 및 박리영역에 변화를 가져와 S/W 표면에 형성되는 재부착 라인의 기울기의 급격한 변화를 줄 수 있으며 이러한 변화는 S/W 표면의 오염도에 큰 영향을 줄 수 있는 주요 인자임을 확인하였다. 또한 나선형 와류의 세기가 증가할수록 S/W 표면의 박리영역에서 높은 난류강도가 존재하며 이는 결국 높은 공력소음을 발생시킴을 확인하였다.

## 후 기

본 연구를 지원하여 준 쌍용자동차 기술연구소 관계자 여러분들께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- Ming Zhu, Yuji Hanaoka et al., "A Numerical Study of Wind Noise Around Front Pillar", SAE Paper No. 93296, 1993.
- Yuji Hanaoka, Ming Zhu and Hideaki Miyata, "Numerical Prediction of Wind Noise Around the Front Pillar of a Car-like Body", SAE Paper No.931895, 1993.
- Kenji Okumura and Toshihiko Kuriyama, "Practical Aerodynamic Simulations( $C_D$ ,  $C_L$ ,  $C_{YM}$ ) Using a Turbulence Model and 3rd-Order Upwind Scheme", SAE Paper No. 950629, 1995.
- Gregory J. Ehlert, Robert J. Chapman and Robert S. Thomas", Wind Noise and Aerodynamic Drag Optimization of Outside Rear View Mirrors", SAE Paper No. 931292, 1993.
- Chen, Y. S. and Kim, S. W., "Computation of Turbulent Flows Using an Extended k- $\epsilon$  Turbulence Closure Model", NASA CR-179204, 1987.
- STAR-CD User Guide and Manuals, Version 2. 3, Computational Dynamics Ltd., 1995.
- K. Okumura and T. Kuriyama, "Three-Dimensional Aerodynamic Simulations of Two-Box Automobile Using Turbulence Model and Quick Scheme", 26th ISTA Super Computer Applications in the Automobile Industries Conference, pp. 45~52, 1993.
- ICEM-CFD Structured Grid Generation, Version 3.1.2, ICEM CFD/CAE, 1995.
- Shigeru Haruna, Takahide Nouzawa and Ichiro Kamimotot", An Experimental Study on Aerodynamic Noise-Part 1. Analysis of Airflow around Front Pillar and Side Window--", 自動車技術論文集, Vol. 22, pp.88~93, 1991.
- Takahide Nouzawa, Kazuhiko Hiasa et al., "Unsteady-Wake Analysis of the Aerodynamic Drag of a Notchback Model with Critical Afterbody Geometry", SAE Paper No. 920202, 1992.
- Kiyohira Aoik, Ming Zhu et al., "Finite-Volume Simulation of 3-D Vortical Flow-Fields About Road Vehicles with Various After-Body Configuration", SAE Paper No.931896.