

## 차체 기밀특성이 선루프 성능에 미치는 영향 연구

### Study of Effects of Body Leakage on Performance of a Sunroof

이 영 립\*  
Young Lim Lee

#### ABSTRACT

Some passenger cars with sunroofs open at tilted positions experience reverse flows into cabin rooms and wind noises much louder compared to other cars.

In this study, flows around open sunroofs are numerically studied with the variations of body leakage. The effects of body leakage on ventilation and wind noise of a sun roof are examined, in particular. Furthermore, flow visualization, pressure, and noise measured from wind tunnel and road tests are presented.

The results show that too small body leakage results in poor performance of ventilation and generates high wind noise around a sunroof. It is therefore very important to secure an adequate body leakage from the early design stage to achieve better performance of a sunroof as well as passengers' comfort related to HVAC(Heating, Ventilation, and Airconditioning).

주요기술용어 : Body leakage(차체 공기누설), Sunroof(선루프), Ventilation(환기), Wind noise (공력소음), CFD(전산유체역학)

#### Nomenclature

$x_i$  : 직교 좌표계 ( $i=x,y,z$ )

$u_i$  : 직교좌표 속도성분

$u_j$  :  $u_j - u_{cj}$ , 유체와  $u_{cj}$ 로 움직이는 국소좌표계와의 상대속도

$p$  : 압력

$\rho$  : 밀도

$\tau_{ij}$  : 응력텐서

$s_i$  : 운동량 소스 성분

$k$  : 난류에너지

$\epsilon$  : 난류 에너지 소산율

$\mu_t$  : 난류 점성계수

$\omega_i$  : 와도( $i=x,y,z$ )

$t$  : 시간

RMS : root mean square

kph : kilometer per hour

\* 회원, 공주대학교 기계공학부

## 1. 서론

오늘날 승객의 쾌적성을 높이기 위해 차량에 장착되는 많은 장비 중에 선루프(sunroof)도 그 중의 하나인데 이는 급속한 환기가 필요하거나 연속적으로 외부의 신선한 공기유입을 최대화하고자 할 때 사용된다. 하지만, 선루프를 열었을 때 가끔 지나친 공력소음이나 비효율적인 환기로 인해 그 본래 목적대로의 사용이 어려워질 때가 있다. 이러한 공력소음이나 비효율적인 환기의 문제를 최소화하기 위한 방안으로 최적의 선루프 장착위치나 장착면적, deflector 설계, side seal 등의 다각적인 방법이 강구되고 있다.

Ukita<sup>1)</sup> 등은 3차원 수치해석 및 유동가시화를 통하여 선루프 주위의 유동을 고찰하였는데 deflector가 선루프 주위의 와도(vorticity)를 절감함으로써 공력소음을 줄이는 것을 확인하였다. Mongeau<sup>2)</sup> 등은 열린 선루프 주위의 공력소음을 예측하기 위하여 Cremer와 Ising<sup>3)</sup>의 모델에 기초한 해석적 모델을 제시하였는데 모든 주행속도에 걸쳐 공력소음을 조절하기 위하여 기존의 선단 스포일러나 후미의 ramp, 공기 주입 등의 방식 외에도 주행속도에 따라 자동으로 개구 면적을 조절해주는 선루프를 제안하였다. Chakravarthy<sup>4)</sup> 등은 2차원 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석을 통하여 실내에서 공명(resonance)을 일으키는 임계속도를 결정하였고 이러한 공명을 제거하기 위해 deflector 각도를 최적화하였다. 또한 Chiou<sup>5)</sup>는 선루프가 차량의 냉난방 성능에 미치는 영향을 고찰하였다.

한편 차체 공기누설량(body leakage)은 차량의 주행상태에 따라 달라지게 되나 본 논문에서는 차량이 정지하고 있을 때 차량의 문 및 창을 밀폐하고 외부 송풍기로 차실내에 공기를 공급하여 실내의 게이지 압력이 250 Pa이 유지되도록 하기 위한 송풍량을 차체 공기누설량으로 정의하였다<sup>6)</sup>. 차체 공기누설량은 설계자들이 환기성능을 고려하여 만든 실내공기 배출 유로(extract

system)뿐만 아니라 창문, 방화벽, 혹은 손잡이 등의 접합부에서 새는 임의 유로에 의해서도 결정되어진다. 차체 공기누설량은 차량의 환기성능, 급속난방(warm-up) 및 급속냉방(cool-down) 성능과 연관되므로 승객의 쾌적성, 나아가 히터나 에어컨 시스템 선정에도 영향을 미친다. 따라서 환기성능을 개선하기 위하여 차체 공기누설량을 너무 크게 하면 상응하는 큰 용량의 히터나 에어컨 시스템이 필요할 뿐만 아니라 이러한 틈 사이로 주행소음이 유입될 수 있다.

본 연구에서는 선루프의 끝이 들려 열린 위치(tilted position)에서 차량의 차체 공기누설량이 선루프의 환기 성능이나 공력소음에 미치는 영향을 고찰하였다. 이러한 연구는 같은 차종임에도 불구하고 선루프를 장착했을 때 서로 다른 환기 성능 및 공력소음 강도를 보여 이의 원인을 규명하기 위한 차원에서 이루어 졌다. 먼저 3차원 수치해석을 이용하여 차체 공기누설량이 환기 및 공력소음 문제의 원인임을 규명하였고 선루프를 통한 공기 배출량을 감소시키기 위하여 실험을 통하여 차체 공기누설량을 증가시키거나 혹은 선루프 개구높이를 낮춰 이러한 문제가 개선됨을 보였다. 실험은 차체 공기누설량을 0.189, 0.227, 0.238, 0.274 m<sup>3</sup>/s으로 변화시킨 경우와 선루프 개구높이를 약 15% 감소시킨 경우에 대하여 수행되었다. 유동가시화 및 압력 측정은 풍동에서 실시하였고 운전자의 위치에서 소음 측정은 간이 주행장을 이용하였다.

## 2. 수치해석

외부유동 및 실내유동 해석은 유한체적법을 사용하는 STAR-CD<sup>7)</sup>가 사용되었으며 모델은 대칭성으로 가정하여 실제 차량의 운전자쪽 반만 고려하였다. 난류 유동계산을 위하여 표준  $k-\epsilon$  및 벽함수(wall function)를 사용하였고 차체 표면을 따라서는 가급적  $y^+$ 가 50~100 사이가 되도록 계산셀을 세분화하였다. 대류항은 2

차 정확도를 가진 LUD(Linear Upwind Scheme) 차분법을 사용하였다.

### 2.1 지배 방정식

본 연구에서 고려된 유체유동은 3차원, 비압축성, 정상상태 난류유동으로 이는 아래와 같은 지배방정식으로 표현된다.

$$\text{연속방정식: } \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

운동량 방정식:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial(p - \rho_o g_m x_m)}{\partial x_i} + s_i \quad (2)$$

$$\text{여기서, } \tau_{ij} = 2\mu s_{ij} - \overline{\rho u'_i u'_j} \quad (3)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

$$s_i = \text{운동량 소스 성분} \quad (5)$$

식 (3)의 레이놀즈 응력은 아래와 같은 표준 k-ε 난류모델을 사용하여 계산하였다.

$$-\overline{\rho u'_i u'_j} = 2\mu s_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (6)$$

$$\text{여기서, } k = \frac{\overline{u'_i u'_i}}{2} \quad (7)$$

$$\mu_t = \frac{C_{\mu} \rho k^2}{\epsilon} \quad (8)$$

난류 운동에너지 방정식:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j}) = \mu_t P - \rho \epsilon \quad (9)$$

난류 소산을 방정식:

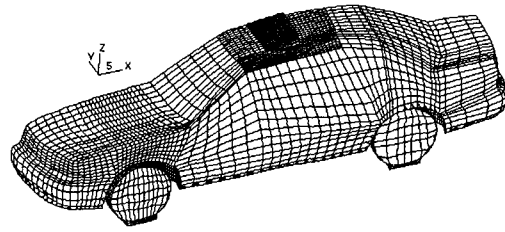
$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) =$$

$$C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \mu_t P - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (10)$$

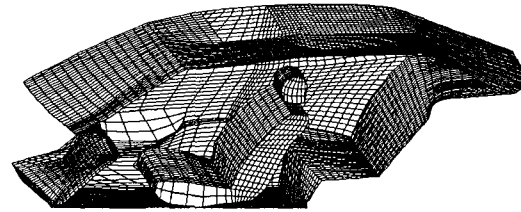
$$\text{여기서, } \mu_{eff} = \mu + \mu_t, \quad P = 2s_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (11)$$

### 2.2 해석 격자

Fig. 1은 각각 외부유동 및 실내유동 해석을 위한 격자 시스템을 보여 준다. 외부 유동을 위해 약 65만개의 격자가 이용되었고, 실내유동 해석에는 약 6만개의 격자가 사용되었다.



(a) Mesh system for external flows



(b) Mesh system for cabin room flows

Fig. 1 Computational grid system

### 2.3 경계조건 및 수렴조건

계산에 사용된 경계조건으로 입구에서는 유입 속도 60 kph를 적용하였고 난류강도는 입구유속의 5%, 혼합길이는 차량높이의 10%로 가정하였다. 출구조건은 Neumann 조건이 채택되어졌고 타이어의 회전은 고려되지 않았다. 한편 차체 공기누설량을 임의로 변화시키기 위하여 방화벽과 계기판(instrument panel) 사이의 접합부 등 외부에서 공기가 유입될 만한 곳을 선정하여 원하는

만큼의 유체를 유입시켰다. 수렴조건은 입구조건을 기준으로 지배방정식의 normalized residual 이  $10^{-3}$  이하가 되게하였다.

### 2.4 실험조건 및 풍동사양

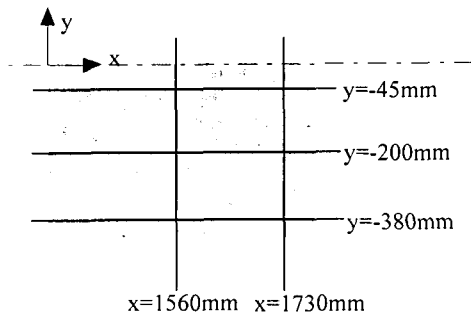
풍동 운전조건은 대기온도 20℃, 상대습도 40% 공기속도 60kph가 고려되었고 본 연구에서 사용된 풍동은 Göttingen 타입으로 최대풍속 200 kph, 실험 단면적 41.25 m<sup>2</sup>이다.

### 3. 결과 및 고찰

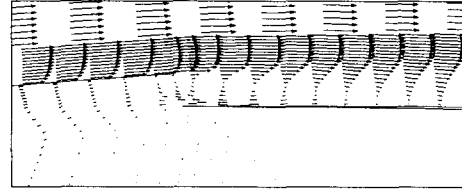
먼저 차체 공기누설량이 선루프의 환기성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 차체 공기누설량을 0(zero)에서부터 점차적으로 증가시키면서 실내압 변화와 함께 선루프를 통해 바깥으로 배출되는 기류 변화를 살펴보았다. 다음으로 선루프의 뒤쪽 끝에서 차체 공기누설 변화에 따른 와도의 강도변화를 관찰함으로써 공력소음 변화 역시 간접적으로 예측하였다. 또한 차량의 차체 공기누설량을 변화시켜 가며 유동가시화, 압력측정 및 소음측정을 통하여 해석모델의 타당성도 검증하였다.

#### 3.1 선루프 주위의 공기유동 형상

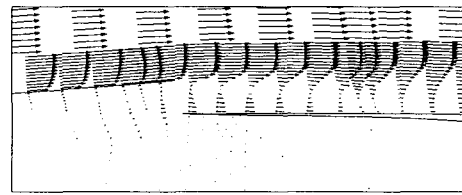
선루프가 끝이 들러 열렸을 때의 전형적인 유동형상을 알아보기 위하여 CFD해석을 수행하였는데 선루프의 여러 단면 위치에서 속도벡터를 Fig. 2와 같이 나타내었다. 이 때 차실내는 선루프를 제외한 모든 곳이 막혀 있다고 가정하였다.



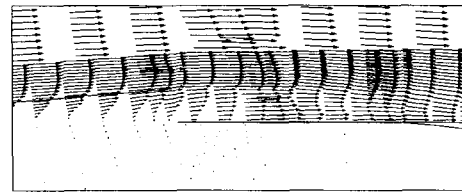
(a) Locations of section cuts on sunroof



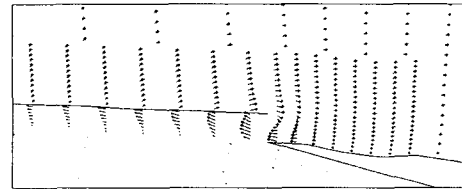
(b) y=-45 mm



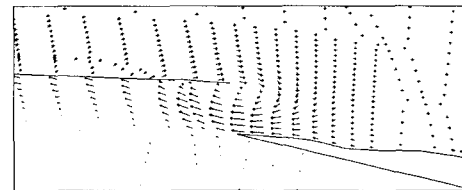
(c) y=-200 mm



(d) y=-380 mm



(e) x=1560 mm



(f) x=1730 mm

Fig. 2 Variations of flow patterns around a sunroof for 0 m<sup>3</sup>/s

먼저 차량의 대칭면( $y=0$ ) 부근에서 선루프의 윗표면과 차량 지붕과의 단차로 인해 발생한 재순환 공기의 일부가 실내로 유입되는 것을 볼 수 있다(Fig 2(b)). 이러한 실내로의 역유입은 대칭면에서 멀어 질수록 약해지며 선루프의 옆면 가장자리 근처에서는 주위로 흐르는 고속의 유동으로 인하여 실내의 공기가 빠르게 외부로 유출되고 있다(Fig. 2(c),(d)). 해석 결과에 의하면 약  $y=-250$  mm일 때 이러한 실내로의 역유입이 멈추게 된다. 한편 Fig. 2(e)와 (f)에서처럼 선루프의 양쪽 가장자리를 따라서 tip vortex가 발생되어 공기가 선루프의 윗표면에서 시계방향으로 회전하며 선루프의 아랫표면을 따라 실내로 유입되고 있다. 이러한 강한 와류는 유동의 불안정성을 초래하여 종종 주된 공력소음의 원인이 된다. 따라서 이러한 와류를 배제하기 위하여 선루프가 열릴 때 양쪽 옆면이 막히도록 side seal이나 air guide를 장착하기도 한다.

이러한 공기유동 형상은 실내를 밀폐된 공간으로 가정한 경우이며 차체 공기누설량을 증가시키면 선루프 중심부근에서 발생하는 역유입이 감소되거나 사라지게 되는데 이러한 변화는 3.2절에서 고려되었다.

### 3.2 차체 공기누설량 변화에 따른 선루프의 환기성능 해석

일반적으로 선루프를 열었을 때 실내와 외부의 압력 차이로 인해 선루프의 열려진 틈으로 공기가 유입 또는 유출될 수 있는데 공기가 유입되는 경우는 실내에서 발생한 오염입자, 예를 들어 담배연기가 빨리 외부로 방출되지 않고 실내에서 순환하게되어 비효율적인 환기성능을 갖게 된다. 먼저 선루프가 끝이 들려 열렸을 때 실내로 유입되는 공기량의 변화가 실내압에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수치해석을 수행하였는데 Fig. 3에 실내압 증가량을 나타내었다. 주행 중 실제 차량에서의 차체 공기누설을 수치모델로 구현하기는 어려우므로 본 논문에서는 차량의 차체 공기누설량보다는 차체를 통하여 순수하게 실내로

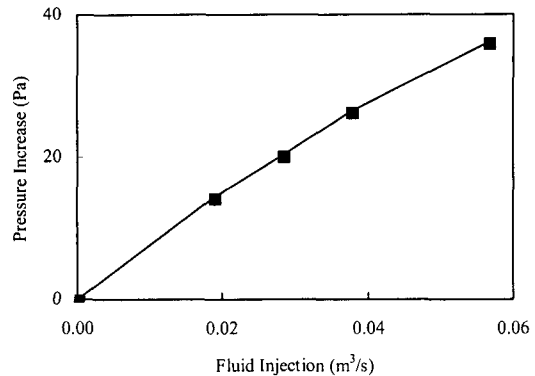
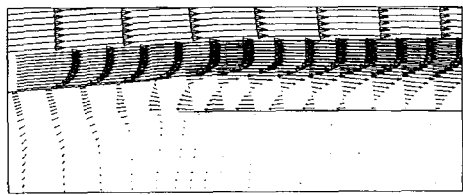


Fig. 3 Variations of pressure increase inside a cabin with fluid injection

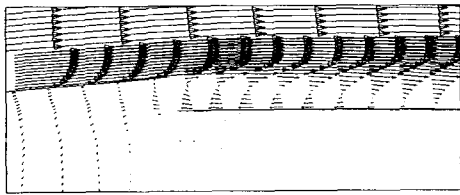
들어오는 공기양 만큼 고려하였다. 공기 유입량 증가에 따라 실내압은 거의 선형적으로 비례하여 커지며 이러한 실내압의 증가는 선루프에서 실내로의 역유입을 방지하게 된다.

Fig. 4는 차체를 통하여 실내로 들어오는 공기량의 변화에 따른 유동변화를 보여 준다. 먼저 선루프의 윗표면과 차량 지붕과의 단차로 인해 발생한 재순환 유동의 일부가 (a)에서처럼 실내공간이 완전히 밀폐되었다고 가정한 경우는 선루프의 열려진 공간사이로 쉽게 실내로 유입되는 것을 볼 수 있다. 이는 실내압이 상대적으로 외부압력에 비해 낮기 때문인데 이러한 실내로의 유입현상은 (c)의 경우에서처럼 약  $0.038$  m³/s일 때를 전후해서 사라지게 되고  $0.057$  m³/s일 때는 실내 공기가 원활하게 외부로 빠져나가는 현상을 보여주고 있다. 따라서 선루프의 원활한 환기성능을 위해서는 적절한 차체기밀 특성을 설계 초기 단계에서 확보하여 외부공기가 실내로 유입되는 양을 증가시켜야 한다. 하지만 과도한 차체 공기누설량은 히터나 에어컨에 영향을 줄 뿐만 아니라 이러한 틈 사이로 주행소음이 들어올 수 있다. 따라서 차체 공기 누설량을 증가하고자 할 때는 주행소음이나 배기가스의 유입위험이 비교적 없는 곳에 임의의 틈새를 허용하거나 혹은 실내공기 배출유로(extract system)를 최적화하여 통기 저항을 최소화하는 것이 필요하다. 차체 누

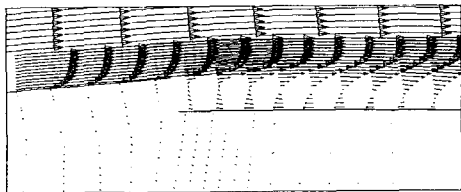
설량을 변화시키지 않고 선루프의 환기 성능 개선의 한 방법으로 선루프를 열 때 카울(cowl)을 통해 공기가 실내로 유입되도록 자동으로 외부공기 도입모드(fresh mode)로 전환하는 것도 가능하나 시내에서 정차 및 주행 시에 배기가스의 유입 위험이 있다.



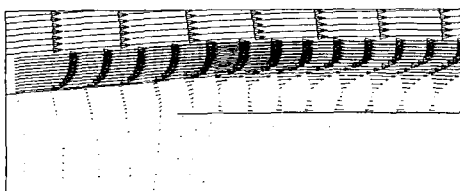
(a) 0 m<sup>3</sup>/s



(b) 0.019 m<sup>3</sup>/s



(c) 0.038 m<sup>3</sup>/s



(d) 0.057 m<sup>3</sup>/s

Fig. 4 Variations of flow patterns around a sunroof with fluid injection at symmetric plane(y=0)

### 3.3 차체 공기누설량 변화에 따른 선루프 주위의 공력소음

수치해석 결과를 검증하기 위하여 실제 차량의 차체 공기누설량을 변화시켜가며 풍동에서 선루프 주위의 유동형상을 가시화하였다.

Fig. 5(a)~(d)는 연기를 이용하여 tip vortex의 강도 및 옆면을 따라 실내로의 공기유입정도를 관찰하였고 Fig. 5(e)~(f)는 실(tufts)을 이용하여 선루프 끝단에서 실내로의 역유입현상을 고찰하였다. 차체 공기누설량이 가장 작은 0.189 m<sup>3</sup>/s



(a) 0.189 m<sup>3</sup>/s



(b) 0.227 m<sup>3</sup>/s



(c) 0.238 m<sup>3</sup>/s



(d) 0.274 m<sup>3</sup>/s



(e) 0.189 m<sup>3</sup>/s



(f) 0.227 m<sup>3</sup>/s

Fig. 5 Flow visualizations with smoke and tufts

경우 선루프 옆 가장자리에서 발생한 tip vortex 가 낮은 실내압으로 인하여 실내로 빠르게 유입되며, 유입된 유동은 차량의 실내에서 재순환하거나 선루프의 중앙부로 배출되는 현상이 발생한다(Fig. 5(a)). 차체 공기누설량을 0.038 m<sup>3</sup>/s 증가시킨 0.227 m<sup>3</sup>/s의 경우에는 실내압의 증가에 따라 옆면을 통해 실내로 역유입되는 연기양이 상당량 감소하였고 tip vortex 역시 세기가 감소함을 알 수 있었다. 차체 공기누설량을 더욱 증가시킨 0.238 m<sup>3</sup>/s 및 0.274 m<sup>3</sup>/s에서는 선루프 끝단을 통하여 배출되는 연기가 관찰되지 않아 옆면을 통한 공기 유입 현상이 완전히 소멸되었음을 알 수 있다. 실을 이용한 가시화 결과 0.189 m<sup>3</sup>/s인 경우에 선루프 끝단의 중앙부에서 유동의 역유입현상이 관찰되어 수치해석 결과와 잘 일치하고 있다. 하지만 이러한 역유입 현상은 정상상태로 가정한 수치해석 결과와는 달리 비정상상태이며 실제로는 역유입과 재배출이 반복하여 발생한다. 이러한 재순환 유동의 역유입은 Fig. 5(f)에서와 같이 0.227 m<sup>3</sup>/s에서는 거의 사라지며 실이 전부 바깥쪽으로 향하고 있어 차량 실내의 공기가 원활히 배출되고 있음을 나타낸다. 이러한 선루프 옆 가장자리에서의 tip vortex 및 선루프 끝단 중앙부에서의 박리 유동이 실내로 역유입되고 재배출되는 현상은 유동소음 증가의 원인이 된다.

차체를 통한 실내 공기유입량의 변화가 선루프 주위의 공력 소음에 미치는 영향을 알아보기 위하여 먼저 CFD 해석을 수행하였는데 Fig. 6에 선루프 끝 가장자리 근처에서 와도 변화를 나타내었다. Fig. 6(a),(b),(c)는 실내가 밀폐되었다고 가정한 경우이고 Fig. 6(d),(e),(f)는 실내로 0.057 m<sup>3</sup>/s의 공기가 유입된다고 가정한 경우인데 주로 와도는 선루프의 가장자리나 차체 표면의 끝에서 형성되고 있다. 먼저 Fig. 6(a)는 선루프 옆가장자리를 따라 발생하는 tip vortex를 잘 보여주고 있는데 이러한 와류는 실내 공기 유입량을 증가시키면 실내압이 상대적으로 높아지므로 현격히 줄어든다. 유동방향에 수직인 성분  $\omega_x$

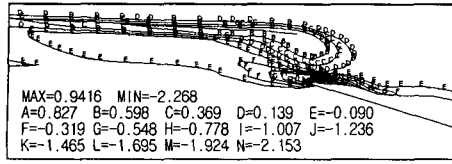
는 세가지 성분 중에 가장 높은 값을 보여주고 있으나 공기 유입량 증가에 따라 감소하는 폭은  $\omega_x$ 에 비해 비교적 낮으며  $\omega_z$ 는 공기 유입량 증가에 따라 거의 변화되지 않는다. 그러므로 공기 유입량의 증가에 따른 공력소음의 감소는 주로  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ 의 감소에 기인 할 것으로 사료된다.

Table 1 Variations of mean value and RMS of pressure difference with body leakage

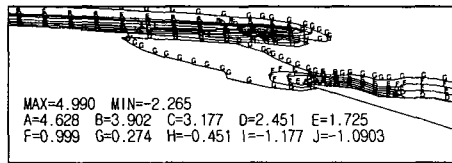
Body Leakage (m <sup>3</sup> /s)	Mean value of $\Delta P$ (Pa)	RMS of $\Delta P$ (Pa)
0.189	14.46	15.46
0.227	24.79	10.56
0.238	34.00	8.47
0.274	48.01	8.07

Fig. 7은 풍동실험에서 실제로 측정된 압력변화를 보여주고 있는데 선루프 개구부 주위에서 차량 실내외의 차압 평균 및 변동성분을 측정하기 위하여 선루프 뒤쪽 끝부근에 피토 정압관(pitot static tube)을 실내외에 각각 설치하고, 이를 압력변환기(pressure transducer)에 연결하여 차압( $\Delta P$ )을 측정하였다. 이 때 차압  $\Delta P$ 는 실내압력과 외부압력의 차이를 나타낸 값이다. Fig. 7 (a)에서처럼 차체 공기누설량이 0.189 m<sup>3</sup>/s인 경우 차압평균은 약 14 Pa로써 외부 공기의 실내 역유입을 초래하는 역압력 구배, 즉 실내압력이 외부압력보다 낮아지는 경우가 빈번히 발생한다. 하지만 차체 공기누설량이 증가할수록 차압평균도 증가하여 이러한 역압력 구배의 발생이 점차 감소하여 약 0.227 m<sup>3</sup>/s 이상에서는 거의 관찰되지 않는다. 한편 유동소음 발생의 주요 원인의 하나인 개구부 부근의 압력 변동성분이 차체 공기누설량이 0.189 m<sup>3</sup>/s인 경우에 0.274 m<sup>3</sup>/s의 경우보다 약 2배 가량 크며(Table 1), 차체 공기누설량이 증가할수록 압력 변동성분이 감소하므로 공력소음 역시 감소하리라 사료된다.

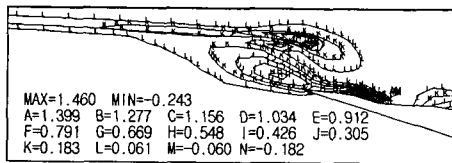
끝으로 차체 공기누설량이 공력소음에 미치는 직접적인 영향을 알아보기 위하여 Fig. 8과 같이



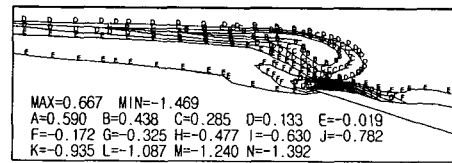
(a)  $\omega_x$  for 0 m<sup>3</sup>/s



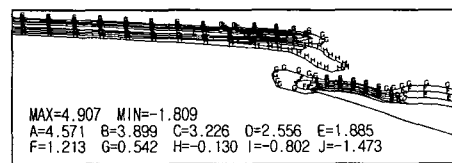
(b)  $\omega_y$  for 0 m<sup>3</sup>/s



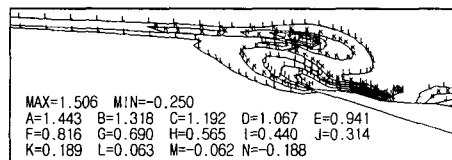
(c)  $\omega_z$  for 0 m<sup>3</sup>/s



(d)  $\omega_x$  for 0.057 m<sup>3</sup>/s

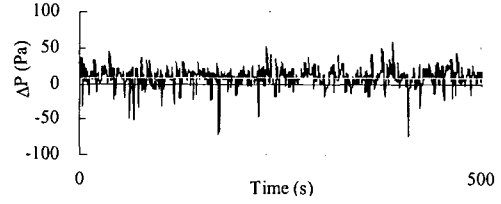


(e)  $\omega_y$  for 0.057 m<sup>3</sup>/s



(f)  $\omega_z$  for 0.057 m<sup>3</sup>/s

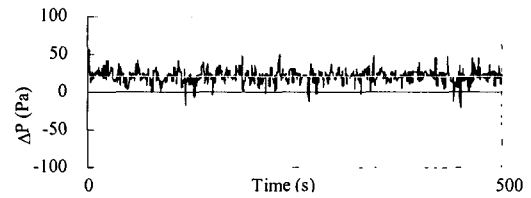
Fig. 6 Variations of vorticity distribution at x=1730 mm



(a) 0.189 m<sup>3</sup>/s



(b) 0.227 m<sup>3</sup>/s



(c) 0.238 m<sup>3</sup>/s



(d) 0.274 m<sup>3</sup>/s

Fig. 7 Variations of pressure difference with body leakage

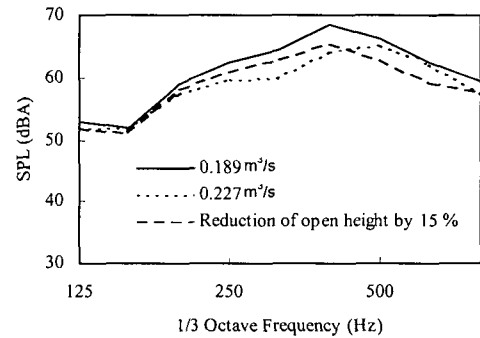


Fig. 8 Measured sound pressure level at 60 kph



도로 주행을 통하여 운전자의 위치에서 소음값을 측정하였다. 차체 공기누설량이  $0.189 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 차량인 경우 중주파수 대역(250-500 Hz)의 높은 소음레벨이 관측되고 있는데 이러한 소음은 약  $0.227 \text{ m}^3/\text{s}$ 으로 공기누설량을 증가시키거나 개구높이를 15% 정도 낮추면 약 3~5 dB 정도 감소하게 되며 실제 감성평가 시에도 거친 소음의 절감을 느낄 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 선루프의 끝이 들러 열렸을 때 차량의 차체 공기누설량이 선루프의 환기 성능이나 공력소음에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 3차원 CFD 해석과 풍동 및 도로주행 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 유추하였다.

- 1) 차체 공기누설량이 작은 차량인 경우(중형차인 경우 보통 약  $0.189 \text{ m}^3/\text{s}$  이하)는 선루프를 열었을 때 실내압이 너무 낮아져 선루프 끝의 중앙부위에서 실내로의 역유입이 발생하므로 선루프의 환기 성능이 저하된다.
- 2) 낮은 실내압은 선루프 주위의 강한 와류 및 압력 섭동을 야기하여 중대역에 걸친 거친 공력소음을 발생시킨다. 이러한 현상은 차체 공기누설량을 증가시키거나 반대로 선루프 개구면적을 감소시켜 환기량을 감소시키면 개선될 수 있었다.
- 3) 본 연구에서 고려된 차량의 경우 차체 공기누설량을 약  $0.227 \text{ m}^3/\text{s}$ 으로 조절하면 비효율적인 환기 성능이나 거친 공력소음이 개선되었고 환기량은 감소하나 약 15% 정도의 개구높이를 줄이면 거친 공력소음이 개선됨을 확인하였다.
- 4) 차량개발시 차체 공기누설량은 차량의 환기나

공조성능뿐만 아니라 선루프의 환기 목표성능, 즉 개구면적도 함께 고려하여 결정되어야 한다.

#### 참 고 문 헌

- 1) T. Ukita, H. China and K. Janie, "Analysis of Vehicle Wind Throb Using CFD and Flow Visualization", SAE 970407, 1997.
- 2) L. Mongeau, D. Brown, H. Kook and S. Zorea, "A Predictive Model for the Interior Pressure Oscillations from Flow Over Vehicle Openings", SAE 971906, 1997.
- 3) L. Cremer and H. Ising, "Die Selbsterregten Schwingungen von Orgelpfeifen", *Acustica*, 19, pp.143-153, 1968.
- 4) S. R. Chakravarthy, T. Becker and T. Sturzenegger, "Computational Study of Resonance Suppression of Open Sunroofs", *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, Vol. 116, No. 4, pp.877-882, 1994.
- 5) J. P. Chiou, "Sunroofs and the Cooling Loads of Automobile Air Conditioners", *SAE Trans.*, Vol. 96, Section 1, 1987.
- 6) SAE Handbook, "Motor Vehicle Heater Test Procedure", SAE J638, 1982.
- 7) STAR-CD User's Manual, Version 3.0, Computational Dynamics Ltd, 1997.