

## 차량 후미부 형상 변경에 따른 공력 횡풍 안정성 개선에 관한 수치해석 연구

최상열\* · 김영태 · 장윤혁 · 하종백 · 김은석

### The Numerical Assessment with Modified Vehicle Rear Body Shape on the Aerodynamic Crosswind Stability Improvement

Sangyeol Choi\*, Yonungtae Kim, Younhyuck Chang, Jongpaek Ha, Eunseok Kim

**Keywords :** Vehicle aerodynamics(차량공기역학), Crosswind stability(횡풍 안정성), Yawing moment coefficient(요 모멘트 계수), Side force coefficient(횡력 계수), Pressure Point(압력중심)

#### Abstract

The vehicle aerodynamic crosswind characteristics are mainly governed by the coefficient of side force and yawing moment. These performances affect not only the driving comfort which can be felt by driver but also the safety due to the instability of vehicle. The aims of this investigation are to improve the aerodynamic crosswind performance of sedan vehicle under the crosswind conditions. In order to improve the crosswind stability, numerical analysis has been performed by modifying the rear body shape of vehicle. As the results, we observed about 20% reduction of yawing moment coefficient relative to the base vehicle.

#### 1. 서론

차량 개발 시 초기 디자인 구성 단계에서의 차량공기역학에 기초한 유동의 최적화는 항력 저감에 의한 연비 개선뿐만 아니라 차량의 동역학적 성능에도 영향을 미친다. 특히 고속 주행 시 측면에서 불어오는 바람에 의해 차량에 작용하는 횡력은 차량을 흔들리게 하려는 동시에 진로를 변화시킴으로써 주행 안정성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 운전자에게 주는 심리적 불안 또한 상당히 크므로 횡풍 안정성을 개선하기 위한 공기역학적 설계가 반드시 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 디자인 초기단계에 있는 차량의 모델에 대해 전산해석을 수행하고, 공기역학적 관점에서 횡풍 안정성을 개선하기 위한 설계 방안을 제시하고자 한다.

#### 2. 해석 개요

##### 2.1 해석 모델

본 연구에서는 세단형 차량을 가지고 차량의 언더바디 및 엔진룸을 포함한 완성차 레벨에서의 해석(Full Vehicle Level Analysis)을 수행하였다. 차량 표면 및 언더바디, 엔진룸은 5~10mm의 삼각형 격자로 구성되며, 차량 표면과 풍동 지면은 경계층 유동해석을 고려하여 프리즘 층을 생성하였다. Fig.1, 2는 해석을 위한 가상 풍동과 차량의 표면 및 체적 격자를 포함한 전산해석 모델을 나타내고 있으며, 전체 격자수는 약 1,200만~1,300만개이다.

##### 2.2 해석 방법 및 경계조건

비정렬 격자계와 유한체적기법(FVM)을 사용하는 상용 CFD 해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 수치적 모사를 수행하였다. 난류모델은 Realized k-e 모델을 사용하였으며, 벽 근처 처리는 No-equilibrium 벽함수를 사용하였다. 벽면 경계조건은 벽에서 속도가 영인 비미끄러짐 경계조건을 적용하였으며, 압력-속도 연결 문제를 해결하기 위해서는 SIMPLE 알고리즘을 이용하여 계산을 수행하였다. Table.1에서는 외부유동 해석을 위한 차량 및 풍동 모델의 경계조건을 나타내었다.

Table.1 Boundary conditions

Tunnel Inlet	Uniform Velocity Normal to the inlet plane Value set to tunnel speed : 140kph (Wheels : Rotated)
Tunnel Outlet	Constant Pressure
Ground	No Slip (Boundary layer grid is included)
Tunnel Walls	Symmetry (Slip Wall)
Vehicle Surfaces	No Slip (Boundary layer grid is included)

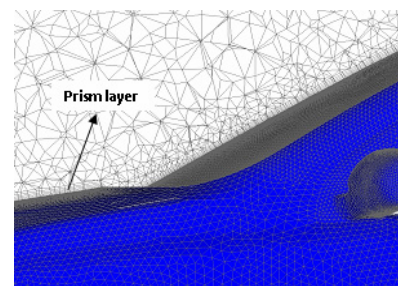


Fig.1 Mesh configuration on the model

\* General Motors Daewoo Auto & Technology Co., Technical Center, sangyeol.choi@gmdat.com

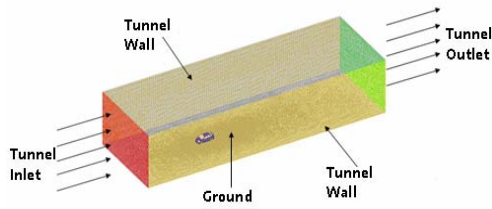


Fig.2 Computational geometry and Boundary

### 3. 해석 결과

본 연구에서는  $0^\circ \sim 15^\circ$ 의 요 각도에 대해 해석을 수행하였다. 요 각도가 증가함에 따라 leeward side의 A-필러 및 windward side의 C-필러, 후미등(Tail lamp) 부분의 음압이 증가하며, 전방 페시아(Front fascia)의 windward side의 양압이 형성된다. 차량의 전방부와 후미부 넓은 표면에 걸친 양압과 음압에 의한 압력차와 부차유동은 강한 요 모멘트를 야기시킨다. 즉 차량 표면의 압력분포를 통해 요 모멘트를 예측할 수 있는데, 차량 후미부에서의 적절한 유동의 박리를 이용하여 windward side의 C-필러 및 후미등 음압 면적을 줄이는 방법으로 요 모멘트를 다소 감소시킬 수 있다. 이는 차량 외관의 형상 변경을 통하여 가능하며, Fig.3은 windward side의 C-필러와 후미등에서 박리를 촉진시키고 표면의 음압을 감소시키기 위한 방안으로 C-필러 가장자리 면과 후미등 가장자리 면에 기존 모델에 비하여 각을 준 형상이다. 그 결과 Fig.4-5에서와 같이 windward side의 C-필러와 후미등 표면의 음압이 감소되었으며, 이러한 음압의 감소는 횡력 계수의 증가를 야기시키지만 요 모멘트의 감소와 함께 압력중심(Pressure Point) 위치  $X_{CP}$ 가 감소하여 전체적인 횡풍 안정성은 개선되는 것으로 나타났다.

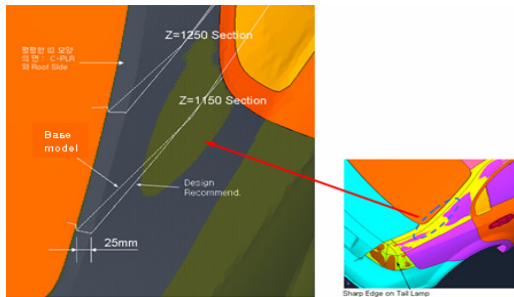


Fig.3 Modified with sharp edge on C-pillar and tail lamp

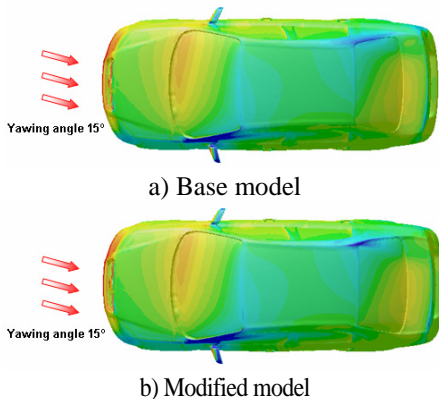


Fig.4 cP distribution on the vehicle surface with  $15^\circ$  yaw angle (Top view)

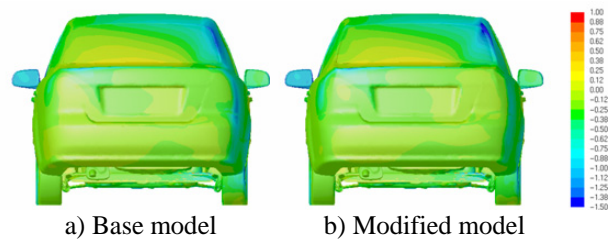


Fig.5 cP distribution on the vehicle surface with  $15^\circ$  yaw angle (Rear view)

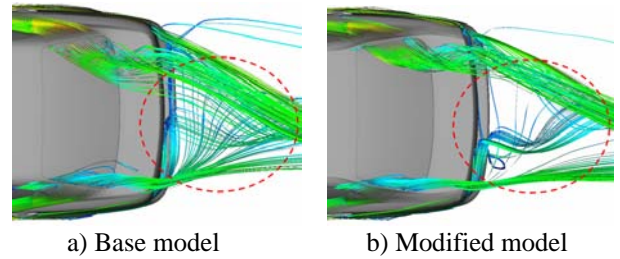


Fig. 6 Streamline on the rear body

Fig.6은 후류 영역에서 유선 분포를 나타내었다. 기본 모델의 경우, 차량 뒤쪽의 후류 영역으로 유입되어 횡풍 불안정성을 야기시키는 한 요인인 후미부 양력(Rear lift)을 증가시키는 와류의 크기가 큰 반면, 수정된 모델의 경우 C-필러 및 후미등의 가장자리 면에서 기본모델에서 보다 빨리 유동이 박리됨으로써 C-필러로부터의 와류 크기가 감소될 뿐만 아니라 전체적으로 음압을 가지는 표면이 감소하게 된다. Fig.7~8은 앞서 설명한 개선된 요 모멘트 및  $X_{CP}$ 값을 비교하고 있는 것인데,  $X_{CP}$ 값이 작아진다는 의미는 횡력이 작용하는 작용점인 압력중심의 위치가 축거(Wheelbase)의 중심 혹은 무게중심(Center of Gravity)과 가까워진다는 의미로, 이는 요 모멘트가 작아짐으로써 차량의 불안정성이 완화된다는 것으로 볼 수 있다.

### 4. 결론

본 연구는 디자인 초기단계에 있는 차량의 외형 모델에 대해 횡풍 안정성을 전산해석을 통해 평가하고, 횡풍 안정성 개선을 위한 설계 안 도출을 목적으로 한다. 해석 결과, C-필러와 후미등 형상의 변경에 의해  $X_{CP}$  및 요 모멘트를 약 20% 감소시켰으므로 횡풍 안정성 개선을 위한 설계 방안을 마련할 수 있었다.

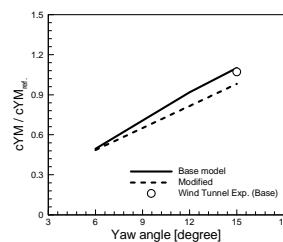


Fig.7 cYM vs. yaw angle

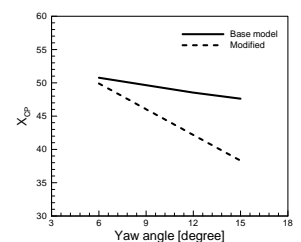


Fig.8  $X_{CP}$  vs. yaw angle

## 참고문헌

- [1] W.-H Hucho, Aerodynamics of Road Vehicles, Fourth Edition, Chap.4 ~ 5
- [2] W.-H Hucho, H.J. Emmelmann, Theoretical Prediction of the Aerodynamic Derivatives of a Vehicle in Cross Wind Gusts, SAE Transaction, Vol.82, SAE-730232
- [3] R. Buchheim, J. Marezke, R. Piatek, The Control of Aerodynamic Parameters Influencing Vehicle Dynamics, SAE Transaction, Vol.94, SAE-850279
- [4] Yasushi Yoshida, Shinri Muto, Tetsuo Imaizumi, Transient Aerodynamic Forces and Moments on Models of Vehicle Passing Through Cross-Wind, SAE-770391
- [5] Aerodynamic Wind Tunnel Test Reports (GM Confidential), GM Aerodynamics Lab., Warren Tech. Center
- [6] Aerodynamic Wind Tunnel Test Reports (GM Confidential), FKFS Wind Tunnel, Stuttgart