

## 주행중인 자동차 간의 공력 간섭현상 연구

이민준\* · 차두근\* · 배희정\* · 권기현\*\* · 김지웅\*\* · 김문상\*\*\*

### Study of Aerodynamic Interference between Running Cars

Minjun Lee\* · Dooguen Cha\* · Heejung Bae\* · Gihyun Kwan\*\* · Jiwoong Kim\*\* · Moonsang Kim\*\*\*

#### ABSTRACT

Reduction of the aerodynamic drag is one of the most hot issues of car industries. Many researchers have studied in the area of drag reduction methodology using experimental tools or numerical tools. In general, car shape design is the main focus to reduce the drag in aerodynamic research area. However, not many people have studied the aerodynamic interference between running cars to figure out the drag variation. In this research, the aerodynamic interference between two running cars have been analyzed by using numerical tools, FLUENT 6.2. Several different models of cars and two different distances between two running cars are considered.

**Key Words:** Aerodynamic Interference, CFD, Automobile

#### Notation

- H : 앞차의 높이  
 $L_1$  : 뒤차의 길이  
 $L_2$  : 앞차의 길이  
 $\rho$  : 공기 밀도(density)  
 $\mu$  : 공기 점성계수(absolute viscosity)  
 $k$  : 난류 운동에너지(turbulent kinetic energy)  
 $\epsilon$  : 난류 운동에너지의 소산률(dissipation rate)

#### 1. 서 론

유동 지배 방정식인 Navier-Stokes 방정식은 유동장내 물체 주위의 흐름에 대한 해석 해를 구할 수 있게 해준다. 그러나 해석적인 풀이 방법은 지극히 단순화된 유동 문제를 해결할 수 있을 뿐이며 복잡한 유동 문제를 해결하기란 비선형 편미분방정식을 풀어야 하기 때문에 사실상 거의 불가능한 일이다. 따라서 과거에는 실험적인 방법에 크게 의존할 수 밖에 없었다.

1980년대 이후 컴퓨터 기술이 비약적으로 발전되고 자료의 처리 속도가 점점 고속화됨에 따라 컴퓨터로 취급할 수 있는 영역이 증가되어 다양한 공학 분야에서 컴퓨터를 이용한 학문 발전이 급속히 이루어지게 되었다. 따라서 종래의 이론과 실험을 기반으로 발전해온 유체역학 해석분야 역시 컴퓨터를 이용한 수치 해석 연구가 대체하기 시작하였다. 이로써 제한된 실험 설비

\* 학생회원, 한국항공대학교 항공우주및기계공학부

\*\* 학생회원, 한국항공대학교 대학원

\*\*\* 정회원, 한국항공대학교 항공우주및기계공학부  
 연락처, E-mail: mskim@kau.ac.kr

와 인력을 보다 경제적으로 적은 비용과 시간을 들여서 빠르고 정확한 연구 결과들을 얻을 수 있게 되었다.

자동차 설계에 있어서 공기역학 개념이 도입됨에 따라 주행 시 발생하는 항력이나 양력 등과 같은 공기역학적 특성은 자동차 연구에 있어서 핵심적인 요소가 되었다[1].

이런 특성은 자동차의 안정성이나 연료소비와 같은 자동차 성능에 직접적인 영향을 미치기 때문에 특별히 고려해야 할 부분들이다. 자동차의 고속주행 시 바람의 영향에 따른 안전한 주행능력의 확보와 그 필요성이 절실하게 요청되고 있으며, 공기저항 감소 등을 위한 연구는 바람으로 인한 소음이나 먼지의 부착 등에 대한 실마리를 제공하고 있기도 하다.

본 연구는 주행 중인 두 자동차 사이의 공기역학적 간섭 관계를 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 비교 분석하고자 한다. 전후로 주행 중인 자동차의 경우 분명히 뒤차는 앞차의 영향을 받게 될 것이다. 본 연구는 두 차량 사이의 거리와, 앞차의 형상에 따라 뒤차가 받게 되는 공기역학적 영향을 관찰하였다. 본 연구에 사용한 상용코드는 Fluent 6.2이며, 격자는 Gambit 2.2를 이용하여 생성하였다.

## 2. 모델 형상 및 유동장

### 2.1 Geometry of car

뒤차 모델로 선정한 자동차는 Sonata이며, 앞차 모델은 Sedan, Truck, Bus 3가지로 결정하였다. 차량 간의 거리는 Sonata의 길이( $L_1$ )를 기준으로  $L_1$ ,  $2L_1$  등 2가지로 결정하였다. 또한 Sonata만 있는 경우를 비교 Case로 정하였다. Table 1 에서와 같이 실제 차량들의 크기를 기반으로 차량들을 모델링 하였으며, 격자 생성의 편의성을 위해서 형상을 단순화 하였다.

Table 1. Size of Cars

	길이 (mm)	높이 (mm)
Sonata	4800	1300
Sedan	4800	1300
Truck	5000	2000
Bus	12000	3300

### 2.2 Flow field

#### 2.2.1 Size of Flow field

유동장의 크기는 Fig. 1에서와 같이 Inner box의 경우 높이  $2H$ , 전방  $2L_2$ , 후방  $5L_1$  이다. Outer box인 Far field의 경우 Test를 통하여 높이  $15H$ , 전방  $10L_2$ , 후방  $40L_1$ 로 결정하였다.

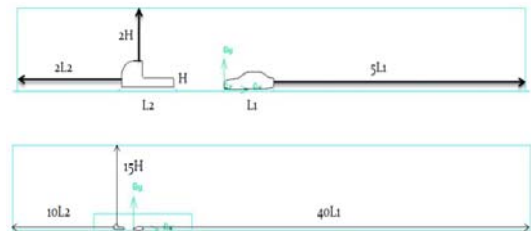


Fig. 1 Size of Flow field

#### 2.2.2 Grid

Gambit 2.2를 이용하여 Fig.2와 같이 비정렬 격자를 생성하였다. 비정렬 격자는 수렴성이나 해의 정확성이 떨어지는 것으로 알려진 반면 복잡한 형상에서의 격자계 생성에 용이 하다[2].

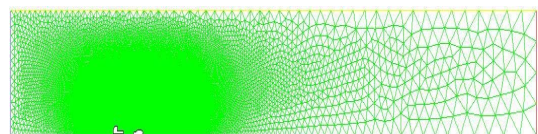


Fig. 2 Grid

자동차 표면에서의 물리적인 경계층에 대한 정확한 계산을 위하여 Fig. 3에서와 같이 표면에 boundary layer 격자를 생성하였다.

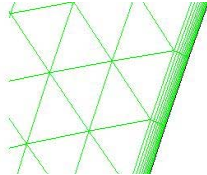


Fig. 3 boundary layer

### 2.2.3 Fluid, Boundary Conditions and Turbulent model

유체는 15°C 공기의 조건으로  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu = 1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$ 로 설정하였다.

유동장 입구의 조건은 velocity inlet으로서 자유흐름속도  $V_{\infty}=80\text{km/h}$ 로 설정하였고, 출구 조건은 pressure outlet으로서  $P_{\infty}=101.32\text{kPa}$ (1 atm)로 설정하였다. 바닥면은 Moving wall로 설정하였으며, 윗면은 symmetry 조건으로 설정하였다.

난류모델은 난류 운동에너지(turbulent kinetic energy)와 소산률(dissipation rate)을 고려하는 Realizable  $k-\varepsilon$ (epsilon) model 을 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Velocity Magnitude

Figure 4와 Fig. 5를 비교하면 Sonata앞에 다른 차량이 있을 경우 sonata가 혼자 주행할 때 보다 전방에서 불어오는 공기의 속도가 현저히 감소함을 알 수 있다.

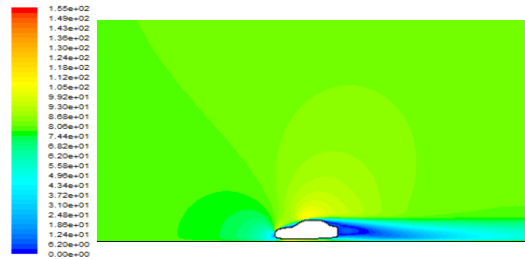


Fig 4. Sonata

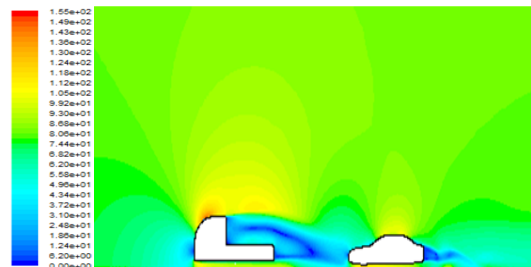


Fig 5. Truck & Sonata (L)

Figure 6과 Fig. 7을 비교하면 차량 간 거리에 따라서 차량 전방에서의 속도 감소에 큰 차이를 보이고 있다. 또한 차량 후방에서의 후류 영역 크기에도 차이가 나타나고 있다.

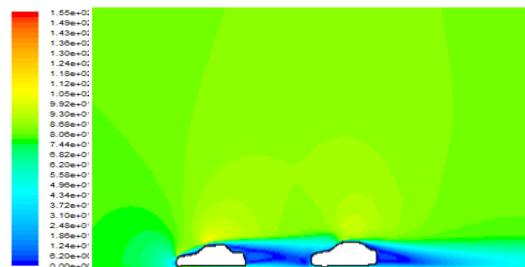


Fig 6. Sedan & Sonata (L)

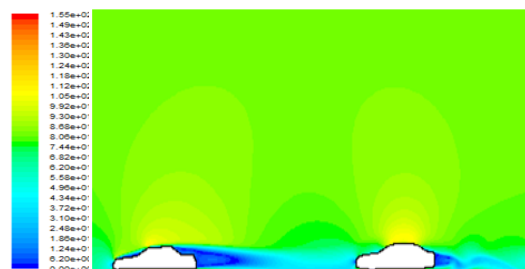


Fig 7. Sedan & Sonata (2L)

또한 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 8을 보면 Sonata 앞의 차량 종류에 따라서 sonata 전반부의 속도분포 및 유동 패턴이 많이 달라졌다. 앞의 차량의 형상에 따라 속도 회복의 정도가 다른 것을 알 수 있다.

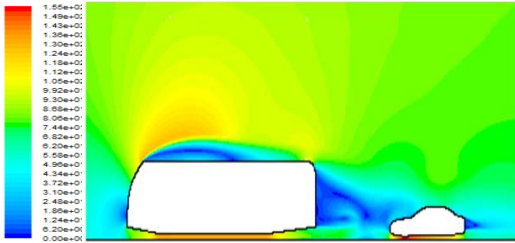


Fig 8. Bus & Sonata (L) (Km/h)

### 3.2 Static Pressure

Figure 9 와 Fig. 10을 비교하면 Sonata 한 대만 단독으로 주행할 경우가 앞에 다른 차가 있을 경우보다 전반부에 강한 고압 영역이 형성되었다.



Fig 9. Sonata (Pa)

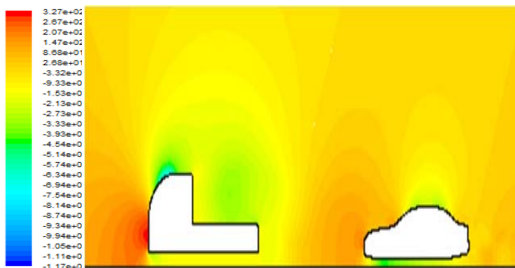


Fig 10. Truck & Sonata (L) (Pa)

Figure 11과 Fig. 12를 보면 차량 간의 거리가 증가하면 거리에 따른 압력 회복에 의해 sonata

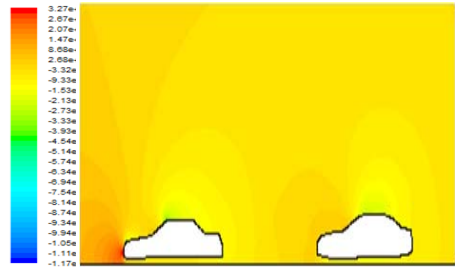


Fig 11. Sedan & Sonata (L) (Pa)  
전반부의 정체점 부근에서 압력이 증가하였다. 하지만 전면부 유동 공간의 압력은 약간 감소하였다.



Fig 12. Sedan & Sonata (2L) (Pa)

Figure 13, Fig. 14, Fig. 15를 보면 Sonata 앞의 차량 형상 변화에 따라서 sonata 전면의 압력 패턴이 달라졌다. 특히 앞에 형상의 크기가 큰 Bus가 가장 압력 패턴이 달라 보인다.

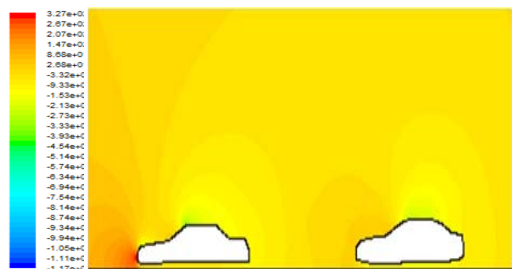


Fig 13. Sedan & Sonata (L) (Pa)

### 3.3 Vorticity magnitude

Figure 16에서와 같이 Sonata앞에 차량(Bus)이 있는 경우 sonata 앞뒤의 Vorticity magnitude가 상당히 크게 달라짐을 알 수 있다. Sonata 한 대만 있을 경우 뒤쪽에 큰 Vortex 생기지만

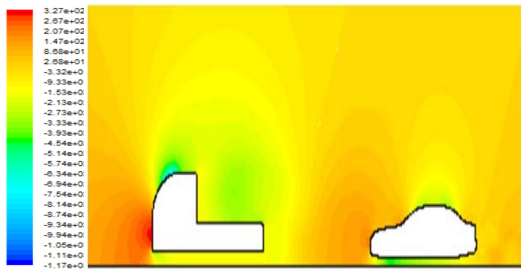


Fig 14. Truck & Sonata (L) (Pa)

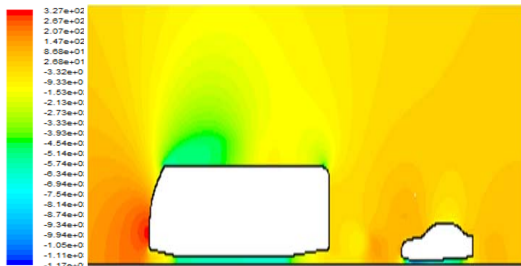


Fig 15. Bus & Sonata (L) (Pa)

앞에 Bus가 있는 경우 Sonata 뒤쪽에 Vortex 적게 생기는 것을 알 수 있다.

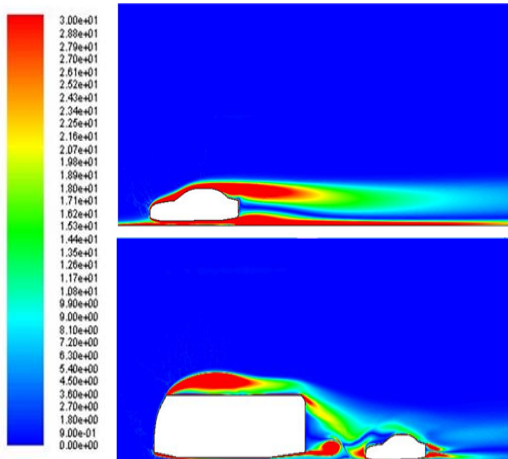


Fig. 16 Vorticity Distributions

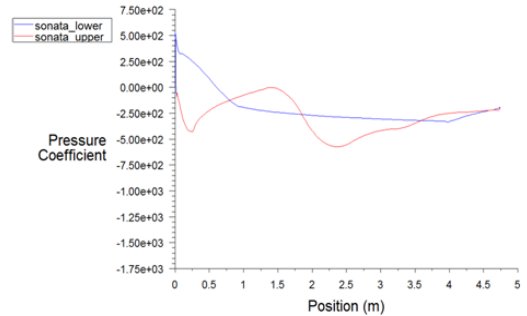
### 3.4 Pressure Coefficient Distributions

Figure 17은 Sonata한대만 있을 경우와 Bus가 앞에 있을 경우 sonata 차량 표면을 따라서 분포되는 Cp의 변화를 비교하여 살펴보았다.

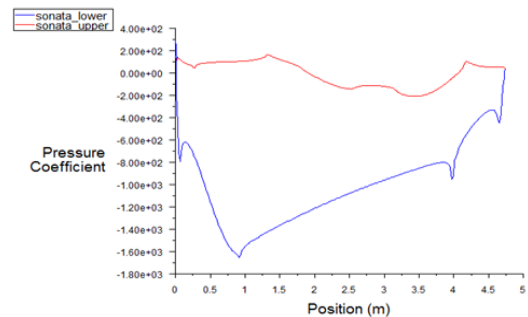
Sonata한대만 주행할 때보다 bus가 앞에서 주행하는 경우가 sonata 차량 윗면과 아랫면에 더

큰 Cp 분포의 차이를 보여주었다.

즉, Downforce가 증가하여 차량 운행에 안정감이 증진될 것으로 예상된다.



Sonata



Bus & Sonata

Fig. 17 Pressure Coefficient Distributions

### 3.5 Drag Reduction

Table 2는 항력을 표로 정리한 것이며, Fig. 18에 그래프로 작성하였다.

Sonata에서 발생하는 항력은 단독 주행 때 보다 앞에 다른 차가 함께 주행할 경우에 상당한 감소 현상을 보여 주었다.

sonata와 앞차간의 거리 변화가 항력 변화의 중요한 변수이지만 앞차의 형상 변화도 항력 변화에 상당히 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

저항은 자동차 주위의 복잡한 유동, 특히 여러 가지 박리유동 및 와동의 생성에 의하여 큰 영향을 받는다고 볼 수 있다[3].

Table 2. Drag

Case	차간거리	Drag
Sonata		0.62
Sedan & Sonata	L	0.4
	2L	0.32
Truck & Sonata	L	0.48
	2L	0.41
Bus & Sonata	L	0.29
	2L	0.33

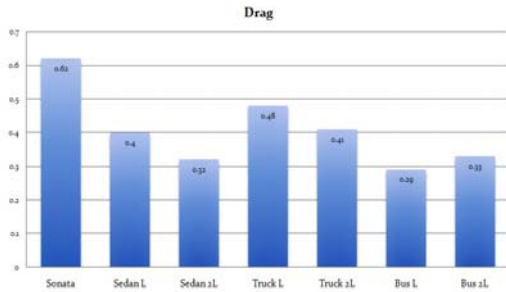


Fig. 18 Drag Comparisons

#### 4. 결 론

앞차의 형상과 차간거리가 주행 중인 자동차의 속도와 압력, 항력에 대해 미치는 공기역학적 간섭 영향을 알아보았다.

(1) 차간거리가 변화함에 따라 속도분포 및

유동패턴이 변화함을 알 수 있다. 또한 앞에 다른 차량이 있을 경우 불어오는 공기의 속도가 현저히 감소하는데, 이 때문에 앞에 차량이 있을 경우 뒤 차량에 생성되는 항력은 감소 될 것이다.

(2) 차량 간의 거리가 증가하면 sonata 앞전의 압력은 증가하지만 전면부 유동 공간의 압력은 약간 감소한다. Sonata 앞의 차량 형상 변화에 따라서 sonata 전면의 압력 패턴이 달라졌다. 차량의 형상 또한 주행 중인 두 차량 간의 공력 해석에 영향을 준다.

(3) 앞에서 주행하는 차량의 형상에 따라서 차간 거리가 증가할 때 뒤 차량의 항력이 감소하는 경우도 있고 반대로 증가하는 경우도 있음을 확인하였다. 즉, 앞 차량의 형상이 차간 거리와 더불어 항력에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 허남건 “CFD를 이용한 자동차 공기역학 특성해석” 1999, 12월 자동차공학회지.
- [2] 이동렬 “중형 차량의 외부 유동특성에 관한 연구” 한국동력기계공학회지 2006, 10권 제2호 pp22~28.
- [3] 유신오, 승삼선 “공기역학적 개념을 고려한 자동차 설계에 대한 고찰” 三陟産業大學校 학술지 논문 1996.