

## 윙렛을 부착한 승용차의 공력특성에 관한 실험적 연구

### Experimental Study on the Aerodynamic Characteristics of a Passenger Vehicle with Winglets

임진혁\*  
JinHyuk Lim

#### ABSTRACT

In this study, aerodynamic characteristics of the notch-back and fast-back passenger vehicle models(1/10~1/12 scale) attached with winglets were experimentally investigated in a low speed wind tunnel. For various positions(X/L), tilted angles( $\beta$ ) of a winglet, the aerodynamic forces on the vehicle model and rear-surface pressures were measured at various flow speeds. Also a flow of model surface was visualized by tuft method.

The experimental results showed that winglets effect aerodynamic characteristics of vehicle models. A maximum of 3% reduction in lift coefficient was achieved with winglets at  $\beta=-30^\circ$ . A maximum of 10% reduction in drag coefficient was achieved for a model with winglets and a rear-spoiler.

주요기술용어 : Passenger vehicle(승용차), Winglet(윙렛), Lift(양력), Drag(항력), Rear-spoiler (후미스포일러)

#### 1. 서론

자동차에 대한 공기역학적 연구는 자동차의 속

도가 점점 증가함에 따라 공기역학이 자동차의 성능을 결정하는 주요변수의 하나로 등장하면서 시작되었다.

자동차의 성능과 밀접한 관계가 있는 공력특성은 양력과 항력이다. 이중 항력을 감소시키는 방법은 다른 연비개선 방법에 비해 여러 가지로 효율적이고 경제적인 방법으로 알려져있다. 자동차

---

\* 정회원, 한국항공대학교 대학원

가 약 60km/h로 주행시 전체 저항중에서 공기저항에 의한 저항의 비율은 약 50%이며 120km/h로 주행시에는 80%가 공기저항에 의해 발생한다. 이전에 연구된 결과에 따르면 10%의 항력감소는 4%의 연비절감효과가 있다고 한다.<sup>1,2)</sup> 그리고, 공기에 의한 항력은 속도의 제곱에 비례해서 증가하므로 공기역학적인 성능의 개선은 연비의 개선에 크게 기여한다고 말할 수 있다.

지금까지의 수행된 승용차의 외부유동에 대한 공기역학적 연구를 통해서 공기에 의한 저항의 대부분은 후류와 후방와류의 특성에 크게 의존하는 것이 밝혀졌다.<sup>3)</sup> 승용차 표면에서 분리(separation)된 후류와 후방와류는 승용차 후미 상부에 저압구역을 발생시키고 이로 인하여 압력항력과 양력, 그리고 유도항력이 증가하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 승용차의 후방와류의 효과적인 제어는 승용차 항력과 양력의 감소에 큰 영향을 미친다. 후방와류를 제어하는 일반적인 방법은 차체의 외형을 변형시키거나 공기역학적 보조부착물을 이용하는 방법이 있으며 이중 부착물을 이용하는 방법은 기본 차체의 외형에 큰 변화를 주지 않고 선택적으로 장착할 수 있는 장점이 있다. 지금까지 연구·개발된 부착물은 스포일러(spoiler), 역양력날개(negative lift wing), 차체연장 부착물(body extension) 등이 있다.

지금까지 수행된 부착물에 의한 승용차의 공력 특성 변화에 대한 연구를 살펴보면 해외에서는 Katz와 Dykstra가 승용차에 스포일러를 부착하여 표면의 압력 분포와 공력계수를 측정하였고,<sup>4)</sup> Sato와 Takagi는 후미날개(rear-wing)형 스포일러를 부착한 승용차의 후류를 LDV를 이용해서 연구하였으며<sup>5)</sup>, 최재호와 이상준은 후미날개형 스포일러를 이용하여 승용차의 항력을 감소하는 방법을 실험적으로 연구하였다.<sup>6)</sup>

본 연구에서는 항공기에서 항력을 감소하기 위하여 일반적으로 사용되고 있는 윙렛(winglet)을 승용차에 적용시켜서 이에 따른 공력특성의 변화를 살펴보고자 한다. 항공기에서 윙렛은 날개의 상하면 압력차에 의해 발생하는 와류를 제어하여

날개끝에서 발생하는 와류에 의한 유도항력을 감소시키는 역할을 한다.<sup>7)</sup> 승용차의 경우 공기에 의한 항력중 55%가 압력항력이고, 7%가 유도항력이며,<sup>8)</sup> 후방 와류는 승용차 후미 상부의 유동과 압력분포에 영향을 미치므로 간접적으로 압력항력의 크기에도 영향을 준다. 따라서, 효과적인 승용차의 후방와류 제어는 승용차의 공력성능 개선에 큰 역할을 한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 승용차 후미에 윙렛과 후미날개형 스포일러를 조합하여 승용차 후방에서 발생하는 와류를 효과적으로 제어하여 공력특성을 개선시킬 수 있는 승용차용 윙렛에 대한 공력특성의 변화를 풍동실험을 통하여 연구하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용된 풍동은 미국 Aero-Lab사에서 제작한 한국항공대학교의 저난류 개방형 아음속 풍동으로서 시험부의 단면은 0.5m×0.7m이며 길이는 1.2m이고, 최대 풍속은 80m/s이다. 모형의 공기역학적인 힘은 Aero-Lab사의 3분력 pyramidal strain gage balance로 측정되고 balance로부터 나오는 전기신호는 증폭기를 통해 개인용 컴퓨터로 처리된다.

자동차의 풍동실험에서는 경계층에 대한 영향을 고려하기 위해 지면판에 대한 모사가 필요하다. 본 실험에서는 여러 가지 방법중에서 실험이 용이한 고정지면판법을 사용했다. 지면판의 경계층에 의한 모델의 간섭현상을 피하기 위해 별도의 실험을 수행하여 경계층 두께(boundary thickness)를 측정하고 그 경계층 두께를 고려하여 모형과 지면판의 간격을 12mm 떨어뜨렸다. 그리고, 발생하는 경계층 두께를 줄이고 박리를 피하기 위해 지면판의 앞전을 반경 5mm로 둥글게 처리하였다. 또한 지면판 아래면과 윗면의 흐름이 서로 간섭현상을 일으키지 않도록 모형의 앞으로 0.3m, 뒤로 0.6m의 여유를 두고 지면판을 설계하였으며 재질은 두께 10mm의 아크릴판

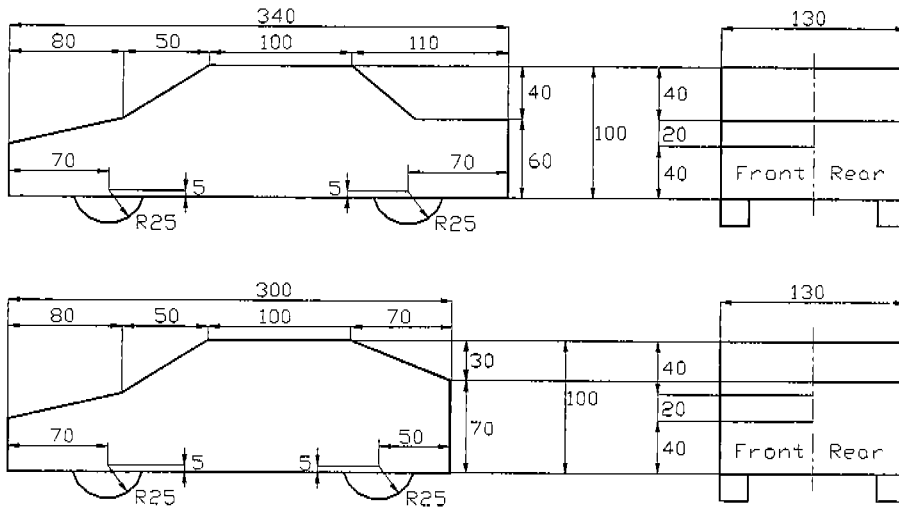


Fig.1 Geometric characteristics of notch-back and fast-back vehicle models (unit:mm)

으로 하였다.

## 2.2 실험모형 및 실험방법

실험에 사용된 기본 승용차 모형은 노치백(notch-back), 패스트백(fast-back) 형태의 승용차 각 1종씩이다. 이 두 종류의 승용차는 후미의 형태에 따라 구별되며 현재 생산되는 일반적인 승용차의 형태이다. 기본 승용차 모형의 제원은 그림1과 같다. 모형은 길이 300~340mm, 폭 130mm, 높이 125mm의 임의로 제작된 승용차 형상의 물체이며 실제 승용차와 비교하면 약 1/10~1/12 비율의 축소 모형이다.

윙렛의 제원과 실험 변수는 그림2와 같다. 윙렛은 알루미늄 평판을 이용하여 제작되었으며 앞전과 뒷전을 가공하여 에어포일의 단면과 유사한 단면을 만들어서 원활한 흐름을 얻도록 하였고 윙렛의 실험변수는 윙렛의 부착위치,  $X/L$ 와 기울임각,  $\beta$ 로 결정하였다. 그림3은 후미날개형 스포일러가 부착된 승용차 모형의 모습이다. 후미날개형 스포일러는 알루미늄 평판으로 제작되었으며, 부착 높이는 참고문헌<sup>6)</sup>에서 발표된 최적 높이를 참고하였다. 후미날개형 스포일러의 지지

대 형태에 따라 폐쇄식과 개방식 지지대로 구별하였고, 후미날개형 스포일러와 윙렛을 조합하여 그림3의 (c)와 같은 형태로 실험을 수행하였다.

요우각(yaw angle)과 받음각(angle of attack)은  $0^\circ$ 로 고정시켜 모형과 흐름이 평행이 되도록 하고, 자유흐름 속도는 20m/s에서 40m/s로 변화시키며 ( $R.N. = 4.2 \times 10^5 \sim 9.11 \times 10^5$ ) balance를 이용하여 양력과 항력을 측정하였다. 레이놀즈수의 특성길이는 모형의 길이  $L$ 을 사용하여 계산하였다.

승용차의 후방 흐름을 가시화하기 위해 표면에 실을 부착하여 관찰하였으며, 모형 트렁크 상부의 반쪽에 25개의 정압공을 설치하고 scanivalve를 사용하여 표면의 정압을 측정하였다.

풍동실험에서 풍동시험부의 단면적에 비해 상당히 큰 모형을 실험하는 경우에는 모형에 의한 막힘효과(blockage effects)를 고려해야한다. 본 실험에서는 지면판 위의 풍동시험부 단면적에 대한 모형의 막힘비가 약 4.7%이다. 참고문헌에 따르면 막힘비가 5%이하일 경우 막힘효과에 의한 자료의 오차는 1% 미만이며 무시할 수 있다<sup>3)</sup>고 하였으므로 본 실험에서 얻어진 자료에서 막힘효

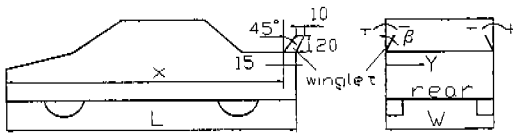


Fig.2 Geometric characteristics of winglets and parameters (unit:mm)

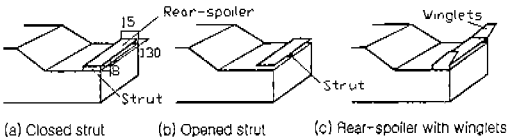


Fig.3 Geometric characteristics of a rear spoiler and a model with winglets (unit:mm)

과에 의한 영향은 무시하였고 별도의 자료보정은 하지 않았다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 윙렛의 위치변화와 공력특성

그림4부터 그림7은 2가지의 기본 승용차 모형에 부착된 윙렛의 위치 변화에 따른 공력특성을 레이놀즈수에 대하여 분석한 결과이다.

그림4와 그림5는 노치백 승용차의 윙렛 위치에 따른 양력계수와 항력계수의 변화를 나타내고 있다. 양력계수는 최대 2%정도 증가되었는데 이는 후방 와류에 의해 공기 흐름이 변화하여 윙렛에 받음각이 생기고 이때 만들어지는 공기력이 양력성분의 힘을 발생시키기 때문으로 생각된다. 항력계수는 윙렛을 부착한 모형이 윙렛이 부착되지 않은 기본모형에 비해서 2~5%정도 감소하며, 윙렛의 부착위치는 전방보다 후방쪽으로 갈수록 항력감소의 폭이 더 큰 것으로 보아 윙렛이 후방에 위치할수록 후방와류를 효과적으로 제어한다고 생각할 수 있다. 윙렛이 양력과 항력계수

를 변화시키는 이유는 2가지로 생각할 수 있다. 첫째는 윙렛에 의해 양력과 항력성분의 공기력이 발생하기 때문이고, 둘째는 와류의 세기를 약화시켜서 유도항력을 감소시키기 때문이다. 이러한 원리는 이미 실용화된 항공기용 윙렛의 원리와 동일하다. 그림6과 그림7은 패스트백 승용차 모형의 윙렛 위치에 따른 양력계수와 항력계수의 변화를 보여준다. 앞에서 살펴본 노치백 승용차 모형과 유사한 경향을 보인다. 즉, 양력계수는 모든 레이놀즈수의 영역에서 1~3% 정도 증가하였으며, 항력계수는 최대 약 6%의 감소를 나타내었고, 윙렛이 후방에 위치할수록 항력감소의 효과가 우수하였다.

#### 3.2 후미날개형 스포일러와 조합된 윙렛의 공력특성

그림8과 그림9는 후미날개형 스포일러와 윙렛을 조합하여 노치백 승용차 모형에 부착했을 때의 실험결과를 레이놀즈수에 대해 나타낸 그래프이다.

그림8은 레이놀즈수에 따른 양력계수의 특성을 보여준다. 후미날개형 스포일러가 부착된 경우 약 10%의 양력이 감소됨을 알 수 있으며 이는 지금까지 연구된 결과와 일치하는 경향을 보인다. 윙렛이 부착된 후미날개형 스포일러의 경우 양력계수가 약간 증가하는 경향을 보이며 이는 앞에서 설명한 바와 같다. 또한 후미날개형 스포일러의 지지대의 형태가 양력계수에 미치는 영향은 크지 않지만 폐쇄형 후미날개형 스포일러의 양력감소 효과가 다소 우수한 것으로 나타났다. 그림9는 레이놀즈수에 따른 항력계수의 변화를 나타낸다. 윙렛과 후미날개형 스포일러가 조합된 모형의 항력계수가 다른 모형에 비해 작음을 알 수 있다. 후미날개형 스포일러만 있는 경우 항력은 기본모형에 비해 약 4~6%정도 감소하지만 윙렛과 조합되면 약 10%의 항력감소를 나타낸다. 또한 후미날개형 스포일러의 지지대 형태에 따른 항력계수의 큰 차이는 나타나지 않았다.

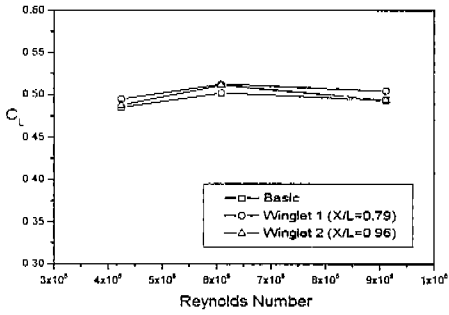


Fig.4 Variations of  $C_L$  for various positions of winglets (notch-back vehicle model)

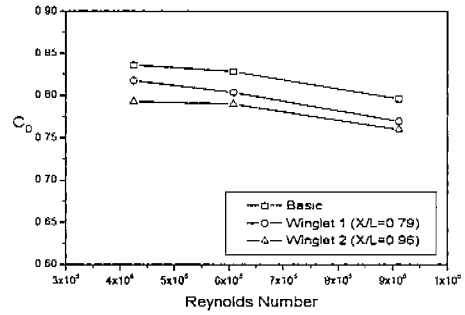


Fig.5 Variations of  $C_D$  for various positions of winglets (notch-back vehicle model)

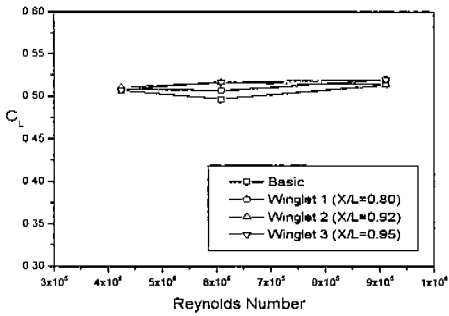


Fig.6 Variations of  $C_L$  for various positions of winglets (fast-back vehicle model)

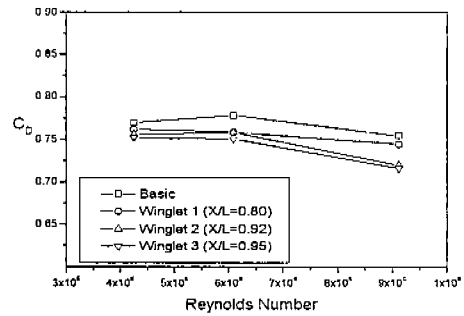


Fig.7 Variations of  $C_D$  for various positions of winglets (fast-back vehicle model)

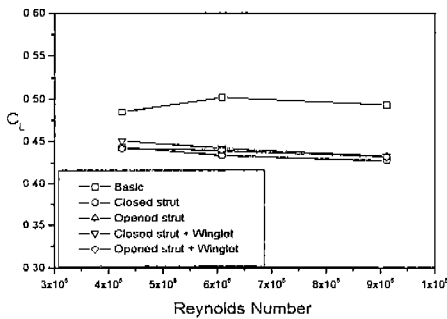


Fig.8 Variations of  $C_L$  for a rear-wing with winglets (notch-back vehicle model)

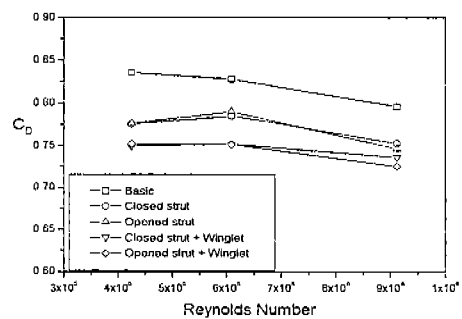


Fig.9 Variations of  $C_D$  for a rear-wing with winglets (notch-back vehicle model)

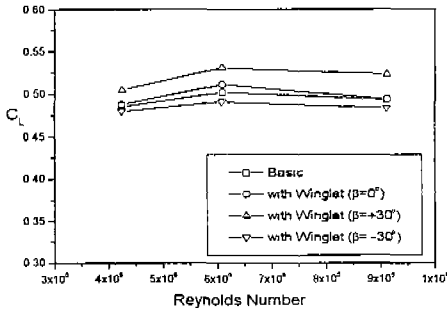


Fig.10 Variations of  $C_L$  for various tilt angles( $\beta$ ) of winglets (notch-back vehicle model)

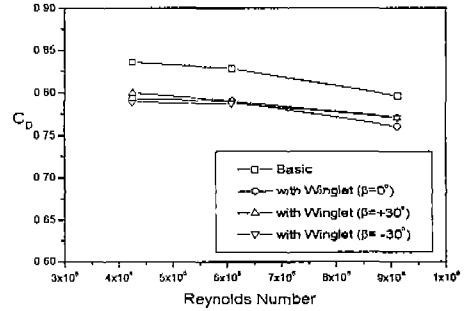
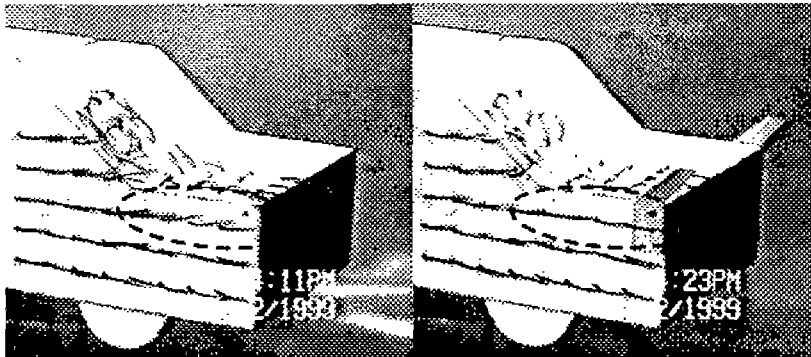


Fig.11 Variations of  $C_D$  for various tilt angles( $\beta$ ) of winglets (notch-back vehicle model)



(a) without winglets

(b) with winglets

Fig.12 Flow visualization of a rear-body surface ( $R.N.=9.11 \times 10^5$ )

### 3.3 $\beta$ 의 변화에 따른 공력특성

그림10과 그림11은 노치백 승용차에 부착된 윙렛의 기울임각,  $\beta$ 를 변화시켰을 때의 공력특성의 변화를 분석한 그래프이다.

그림10은 레이놀즈수에 대한 양력계수의 변화를 보여준다.  $\beta$ 가  $+30^\circ$ 일 때 기본모형에 비해 최대 약 6%의 양력계수가 증가하고,  $\beta$ 가  $-30^\circ$ 일때는 최대 약 3%의 양력계수의 감소를 나타내었다. 이는 앞에서 설명한 윙렛에서 발생한 공기력의 방향이 윙렛의 기울임각,  $\beta$ 에 의해 결정되는 것을 알 수 있으며  $\beta$ 가  $-30^\circ$ 일 때 역양력(negative lift force) 발생한다는 것을 알 수 있

다. 그림11은 레이놀즈수에 대한 항력계수의 변화를 나타낸다. 윙렛을 부착한 경우 기본모형에 비해 항력계수가 감소하는 것을 알 수 있고 이는 앞의 결과와 일치하며, 경사각에 대한 항력계수의 차이는 미소하였다.

### 3.4 트렁크 상부의 유동장

그림12는 tuft method를 이용한 승용차모형의 표면흐름을 보여주고 있다. 윙렛을 부착하지 않은 경우 그림12(a)에 표시된 것처럼 승용차의 옆면 흐름이 트렁크 상부로 올라가서 후방와류를 생성한다. 하지만 윙렛이 부착되면 그림12(b)와

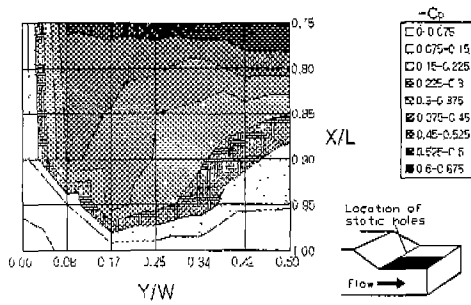


Fig.13 Pressure coefficient contour diagram of vehicle model without winglets (R.N.= $9.11 \times 10^5$ )

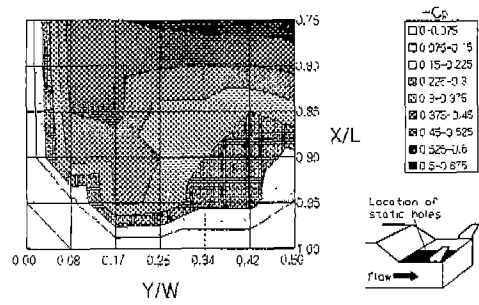


Fig.14 Pressure coefficient contour diagram of vehicle model with winglets (R.N.=  $9.11 \times 10^5$ )

같이 옆면의 흐름이 안정화됨을 알 수 있다. 즉, 윙렛의 부착은 후방와류의 세기를 감소시킴을 관찰할 수 있었다. 또한 트렁크 상부의 표면흐름을 비교할 때 윙렛이 부착된 모형의 경우 부착된 실의 흔들림이 윙렛이 없는 기본 모형에 비해 약한 것으로 관찰되었다. 하지만, 재부착점 형성의 영향이 크게 나타나 큰 차이를 관찰할 수는 없었다. 그림13과 그림14는 트렁크 상부의 압력분포를 나타낸 그래프이다. 윙렛을 부착한 경우(그림14) 압력분포를 보면 모형의 옆면과 트렁크 상부에서 모형 옆면의 압력변화가 기본모형(그림13)에 비해 작다. 따라서 옆면과 트렁크 상부의 압력차에 의해 발생하는 후방와류의 세기가 윙렛을 부착하는 경우 감소함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

승용차 모형에 윙렛을 부착하고 풍동실험을 수행하여 얻어진 공력계수와 가시화 실험을 통해 관찰된 결과들을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 승용차 모형에 부착된 윙렛은 승용차 후방와류를 억제하는 효과가 있으며, 표면의 흐름과 압력분포에 영향을 주어서 공력특성의 변화가 발생

한다.

2. 승용차 모형에 부착된 윙렛은 승용차 모형의 후방에 위치할수록 항력감소 성능이 우수하다.

3. 윙렛과 후미날개형 스포일러를 함께 사용할 경우 윙렛의 후방와류 제어와 스포일러의 트렁크 상부 흐름제어 효과를 동시에 얻을 수 있다.

4. 승용차에 부착된 윙렛은 후방와류를 효과적으로 제어하며, 와류를 이용하여 추가의 공기력을 발생시켜서 양력계수와 항력계수를 감소시킬 수 있다. 이때 윙렛에 의해 발생하는 공기력의 방향은 윙렛의 기울임각,  $\beta$ 에 의해 결정된다.

#### 참 고 문 헌

1. Janssen, L.J. and Emmelmann, H.J., "Aerodynamic Improvements - A Great Potential for Better Fuel Economy", SAE paper 780265, pp.1261~1269, 1978.
2. Hucho, W.H., Janssen, L.J., Emmelmann, H.J., "The Optimization of Body Details - A Method for Reducing the Aerodynamic Drag of Road Vehicles", SAE paper 760185, Detroit, 1976.

3. Hucho, W.H., "Aerodynamics of Road Vehicles", Butterworth Heinemann, 1987.
4. Katz, J., Dykstra, J., "Effect of Passenger Car's Rear Deck Geometry on Its Aerodynamic Coefficients", J. Fluid Mechanics, Vol. 114, June, 1992, pp.186~190.
5. Sato, H. and Takagi, M., "Airflow Measurement around Passenger Car Models using a Two-channel Laser Doppler Velocimeter", SAE paper 930297, 1993.
6. 최재호, 이상준, "Rear-spoiler를 이용한 자동차의 항력감소에 관한 실험적 연구", 한국자동차공학회논문집 제4권 제3호, pp.31~39, 1996.
7. Whitcomb, R.T., "Design Approach and Selected Wind Tunnel Results at High Subsonic Speeds for Wing Tip mounted Winglets", NASA TND8260, 1976.
8. 한국과학기술원, "자동차 공기역학적 특성의 공학적 연구", 한국과학기술원 보고서, 1990~1992.