

대형트럭용 루프 웨어링과 디플렉트의 공기저항력 저감 특성에 관한 연구

김 철 호^{*1)}

서울산업대학교 공과대학 자동차공학과¹⁾

An Effect of Roof-Fairing and Deflector System on the Reduction of Aerodynamic Drag of a Heavy-Duty Truck

Chul-Ho Kim^{*1)}

¹⁾Department of Automotive Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 137-743, Korea
(Received 20 September 2005 / Accepted 29 November 2005)

Abstract : Roof-fairing and deflector system have been used on heavy-duty trucks to minimize aerodynamic drag force not only for driving stability of the truck but also for energy saving by reducing the required driving power of the vehicle. In this study, a numerical simulation was carried out to see aerodynamic effect of the drag reducing device on the model vehicle. Drag and lift force generated on the five different models of the drag reducing system were calculated and compared them each other to see which type of device is efficient on the reduction of driving power of the vehicles quantitatively. An experiment has been done to see airflow characteristics on the model vehicles. Airflow patterns around the model vehicles were visualized by smoke generation method to compare the complexity of airflow around drag reducing device. From the results, the deflector systems(Model 5,6) were revealed as a better device for reduction of aerodynamic drag than the roof-fairing systems(Model 2,3,4) on the heavy-duty truck and it can be expected that over 10% of brake power of an engine can be saved on a tractor-trailer by the aerodynamic drag reducing device at normal speed range(80km/h~).

Key words : Dynamic stability(동적안정성), Roof-fairing(루프 웨어링), Deflector(디플렉트), Rolling resistance(굴림저항), Aerodynamic drag(공기저항력), Driving stability(주행안정성), CFD(전산유체역학)

Nomenclature

h^{\wedge} : height of roof fairing
 h : clearance between tractor roof and container roof
 P : pressure, N/ m²
 A : projected area, m²
DDF : decreasing ratio of drag force, (%)

Subscripts

Par : partial in grid
 $x-dir$: normal to driving direction
 $y-dir$: tangential to driving direction
 $MOD-X$: model no. of fairing system (x=1~5)

1. 서론

대형 화물차인 트랙터-트레일러(tractor-trailer)는 육상 화물운송의 중요한 수단으로 세계적으로 널리 활용되고 있으며 우리나라에서도 2003년 2월을 기

^{*}Corresponding author. E-mail: hokim@snut.ac.kr

준으로 36,500대 이상의 트랙터-트레일러가 등록, 운행되고 있다.¹⁾ 대형 화물차는 구조적으로 후방의 트레일러 상부에 직육면체 모양의 컨테이너를 적재해야 됨으로 차량의 진행방향으로부터 매우 강한 공기역학적 저항력을 피할 수 없게 설계되어있다. 차량이 도로를 일정한 속도로 주행하기 위해 필요로 하는 최소한의 동력은 차량의 자중에 의한 도로면과의 굴림저항력(rolling resistance force)과 공기저항력(aerodynamic drag force)을 극복하기 위한 동력이다. 특히 공기 저항력의 경우 차량의 속도가 60km/h 이상에 도달하게 되면 급격히 상승하여 굴림마찰력 보다 커지게 되며 100km/h에 도달하며 굴림마찰력의 2배가 넘는 공기 저항력이 차량에 발생하게 된다.²⁾ 즉 자동차 엔진에서 발생하는 제동마력의 60% 이상이 차체가 받는 공기 저항력을 극복하기 위한 동력으로 소모된다. 이러한 관점에서 볼 때 차량 외형의 공기역학적 설계(aerodynamic design)는 수송에너지의 절약에 매우 직접적인 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다. 선행연구^{4,6)}를 통해 알 수 있었듯이 차량의 공기역학적 설계의 개념은 소형 승용차와 중, 대형 화물차에서 각각 설계의 목적을 달리 하여야 한다. 즉 소형 승용차의 경우는 차량의 주행 안정성(driving stability)에 그리고 중, 대형 화물차의 경우는 연료의 절감(fuel saving)에 공기역학적 설계의 초점을 두어야 한다.

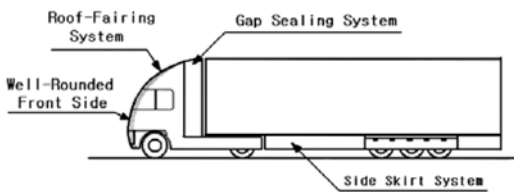


Fig. 1 Representative drag reduction systems installed on a heavy-duty truck

위의 Fig. 1은 트랙터-트레일러에서 공기저항을 감소시키기 위한 루프 웨어링(roof-fairing), 갭실링(gap sealing) 그리고 측면 스커트(side-skirt) 방식을 보여 준다.

선행연구⁶⁾로부터 트랙터-트레일러의 항력계수(C_D) 값은 루프 웨어링의 설치 높이에 매우 크게 영향을 받는다는 사실을 알 수 있었다. 본 연구에서는

공기저항 저감 장치인 루프 웨어링과 디플렉트(deflector)를 각각 트랙터-트레일러에 장착하였을 때 발생하는 공기역학적 특성을 상호 비교해 보았으며, 어떤 장치가 항력계수(C_D)의 저감에 우수한 성능을 보이는가를 알아 보기 위해 장치의 설치높이(h)를 선행연구⁶⁾로부터 도출된 최적의 높이인 $2/3h$ 로 고정하고 수치해석기법을 통해 산출된 항력계수(C_D)의 결과를 정량, 정성적으로 비교 분석해 보았다.

2. 모델트럭의 공력특성 및 제원

2.1 모델트럭의 공력특성

도로상을 운행 중인 차량은 주행 중 다양한 방향으로부터 바람의 영향을 받게 된다. 이러한 측풍(side-wind)은 차체에 롤링모멘트(rolling moment), 요잉모멘트(yawing moment) 그리고 피칭모멘트(pitching moment)를 유발하여 트랙터-트레일러의 동적 안정성(dynamic stability)에 영향을 주게 된다. 그러므로 주행 중인 차량의 동적 안정성을 높여 운행 안정성을 확보하기 위해 Fig. 1에서 언급한 갭실링(gap sealing), 측면스커트(side-skirt)와 같은 장치를 활용하게 된다. 그러나 본 연구에서는 공기 저항력의 감소에 매우 중요한 역할을 하는 루프 웨어링과 디플렉트의 공기 저항력에 대한 특성변화를 알아보기 위해 기본적으로 바람이 없는 공간을 모델트럭이 등속주행을 한다고 가정하였다.

Fig. 2는 저항감소장치가 장착되지 않은 트럭이 30km/h의 속도로 주행할 때 차체 주위에서 발생하는 매우 복잡한 난류의 흐름현상을 2차원적으로 보여준다. 차체 상에서 발생하게 되는 공기의 저항력(aerodynamic drag)은 압력 혹은 형상저항(form drag)과 표면마찰저항(skin friction drag)으로 구성되며 후자의 경우는 전자에 비해 매우 작으므로 무시된다.

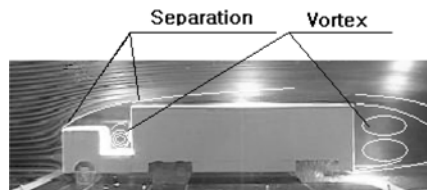


Fig. 2 2-D view of airflow around a heavy-duty truck with no-fairing system (30km/h)

트랙터 상부에서 발생하는 유동 박리현상(flow separation)은 차량 후방부에서 생성되는 강한 와류(vortex)의 형성에 영향을 미치게 되며 이때 와류영역에서의 난류의 강도(turbulent intensity)는 차량이 받게 되는 공기 저항력에 매우 큰 영향을 미치게 된다.

2.2 모델차량과 저항력 저감 장치의 제원

Fig. 3은 본 연구를 위해 적용한 트랙터-트레일러의 형상과 제원을 보여준다. 모델차량은 국내 H사의 60톤급 트랙터 모델을 기준으로 한 것이며 트레일러는 H특장차의 40FT 평판 트레일러와 표준화된 40FT 컨테이너로 하였다.

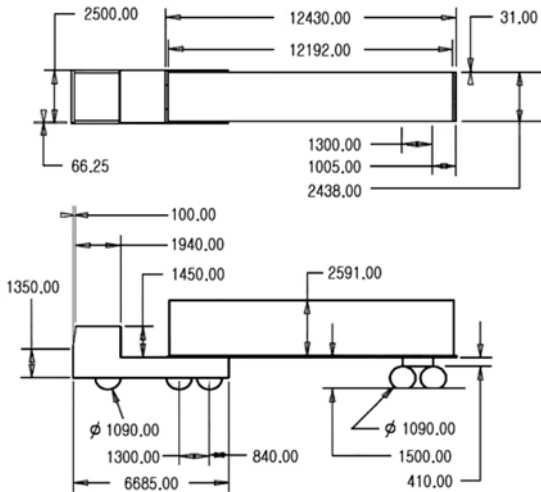


Fig. 3 2-D view of model tractor-trailer and its dimensions

3. 수치해석 연구를 위한 해석기법과 조건

3.1 수치해석 연구를 위한 해석기법

트랙터-트레일러가 등속 주행할 때 차량 주위에서 발생하는 공기의 유동현상을 수치해석 적으로 묘사하기 위해 유한체적법(Finite Volume Method, FVM)을 적용하는 범용 CFD코드인 PHOENICS(ver. 3.4)¹⁰⁾을 사용 하였으며, 해석 경계조건의 단순화를 위해 검사체적 내부에는 상대적 바람이 없다고 가정하였다. 해석을 위한 공기의 유동 장은 다음과 같이 정의하였다.

- 준3차원 유동 (Quasi-3D Flow)

- 난류유동 (Turbulent Flow)
- 비압축성유동(Incompressible Flow)
- 정상유동 (Steady Flow)
- 등온유동 (Isothermal Flow)

검사체적내의 비압축성 난류유동장 해석을 위해 3차원 Navier-Stokes 방정식⁷⁾을 풀었으며, 난류해석을 위해 표준 (k-ε) 모델⁸⁾을 사용하였다. 표면 마찰력에 의한 대류 열전달의 현상은 무시할 수 있으므로 에너지 방정식은 풀지 않았다. 유동해석의 수렴성 판단을 위해 각 변수들의 계산 잉여율(residual fraction)이 10⁻⁴이하로 떨어질 때 까지 충분히 반복적으로 계산하였다. 비압축성, 난류 유동장의 해석을 위한 지배방정식은 다음과 같다.

지배방정식(Governing Equations)

- 연속방정식 (continuity equation)

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} + \frac{\partial U_j}{\partial y_j} + \frac{\partial U_k}{\partial z_k} = 0 \quad (1)$$

- 운동량방정식 (momentum equation)

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (U_j U_i) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \overline{u_i u_j} \right] - g_i \quad (2)$$

- 난류운동에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G - \varepsilon \quad (3)$$

- 소산방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} G - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \quad (4)$$

여기서
$$-\overline{u_i u_j} = \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$$

$$G = -\overline{u_i u_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, \quad \nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

$$(C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0,$$

$$\sigma_\varepsilon = 1.0)$$

해석 공간의 격자생성을 위해 CAD-to-CFD 격자 생성법(grid generation method)⁹⁾을 이용하였다. 트랙터-트레일러의 모델형상(physical model)을 수치해석 모델(numerical model)로 만들기 위해 먼저 범용 CAD 프로그램을 이용하여 3차원의 실제 형상을 만들고 이 CAD 파일을 해석 공간인 수치해석 도메인(numerical domain)으로 불러와 직각 좌표계 상에서 정방격자(rectangular grid)를 생성하여 해석을 위한 격자 파일을 생성한다. Fig. 4는 웨어링을 장착하지 않은 Model 1의 수치 격자계의 예를 보여준다. 차량의 폭 방향(z축)으로는 좌우 대칭성을 고려하여 유동장의 반쪽만을 검사체적의 공간으로 잡았으며 해석격자의 크기는 격자시험을 거쳐 최종적으로 (133×54×34)으로 결정하였다. 트레일러 후방 부위에 충분한 계산영역을 주어 검사체적의 출구에서 유동장이 충분히 발달되도록 하였다.

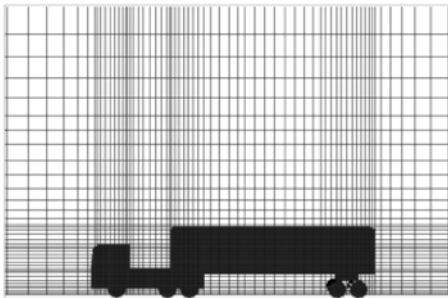


Fig. 4 A typical numerical grid of the tractor-trailer without a drag-reduction system (133x 54x34)

3.2 수치해석의 경계 및 초기조건

유동장 내의 압력을 계산하기 위해 SIMPLE 알고리즘⁹⁾을 적용하였으며, 운동방정식과 난류 방정식(standard - turbulent model)의 대류 항(convection term)을 계산하기 위해 하이브리드(hybrid scheme) 방법을 사용하였다.

해석을 위한 경계 및 초기조건

- Inlet: velocity boundary condition with no-side wind ($U_{car} = 30\sim 120$ km/h)
- Outlet : pressure boundary condition with an assumption of fully developed flow field
- No-slip boundary conditions on surfaces of the

tractor-trailer

- Moving boundary condition on south wall (same as the velocity of inlet air)
- Periodic boundary conditions on north wall and low, high wall

3.3 해석적 연구를 위한 주요변수 및 범위

본 수치 해석적 연구를 위해 사용된 주요 변수는 공기저항 감소 장치인 웨어링과 디프랙트의 형상과 차량의 진행속도이며 Table 1에 주어진 바와 같다.

Table 1 Geometry of fairing systems and velocity of the model tractor-trailer

Model	기하학적 형상	h' 는 트레일러와 컨테이너 사이의 높이차
1 Model-1	Fairing 없는 상태	
2 Model-2	평판형 루프 웨어링	
3 Model-3	곡면 루프 웨어링(R5700)	
4 Model-4	곡면 루프 웨어링(R2850)	
5 Model-5	디프랙트 (R5700)	
6 Model-6	디프랙트 (R2850)	

트랙터 트레일러의 주행속도범위
 $U_{car} = 30, 50, 80, 100, 120$ (Km/h)

Fig. 5는 각 저항 저감 장치의 기하학적 형상을 보여준다. Model 2는 평판 웨어링이며, Model 3, 4는 곡율이 각각 R5700, R2850(mm)인 곡면 루프 웨어링 시스템이며, Model 5, 6은 곡율이 각각 R5700, R2850(mm)인 디프랙트 시스템이다. 곡면 루프 웨어링과 디프랙트 시스템의 곡면은 아래의 타원 방정식을 이용하여 설계하였다.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \tag{5}$$

where a = 트랙터 지붕의 길이
 $b = 2/3 h'$

4. 해석결과의 분석기법

수치해석을 통해 산출한 차체 표면에서의 정압 분포(static pressure distribution)를 이용하여 면적적분을 통해 차체 각 부위에서의 공기력(aerodynamic force)을 계산 하였다. 이를 위해 Table Curve 2D¹⁰⁾ 상용프로그램을 이용하였으며, 차체의 모든 표면에

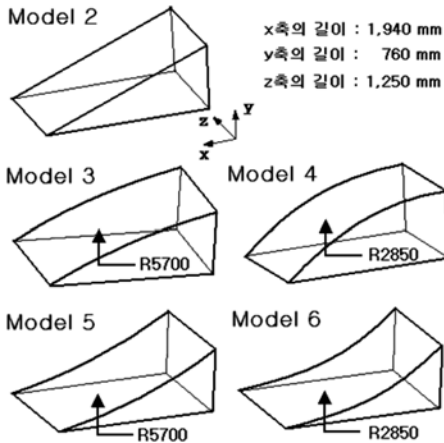


Fig. 5 Configuration of model fairings and their dimensions

서 발생하는 공기력의 성분을 차량의 진행방향과 진행 방향에 수직방향의 성분으로 계계산하여 이를 각각 항력(drag)과 양력(lift)으로 구분하여 정리하였다.

1) 항력(FD) 및 항력계수(CD)

$$\sum F_D = \sum P_{par} A_{par} \sin \theta \tag{6}$$

$$\sum F_D = C_D \frac{1}{2} \rho_{air} \sum A_{x-dir} V^2 \tag{7}$$

$$C_D = \frac{2 \sum F_D}{\rho_{air} A_{x-dir} V^2} \tag{8}$$

2) 양력(FL)과 양력계수(CL)

$$\sum F_L = \sum P_{par} A_{par} \cos \theta \tag{9}$$

$$\sum F_L = C_L \frac{1}{2} \rho_{air} \sum A_{y-dir} V^2 \tag{10}$$

$$C_L = \frac{2 \sum F_L}{\rho_{air} A_{y-dir} V^2} \tag{11}$$

where A_{x-dir} (8.75m²), A_{y-dir} (41.07m²)는 각각 x-방향, y-방향에 투영된 차량의 면적

3) 항력 저감에 의한 소비동력의 감소량

항력 감소에 의한 엔진 소비동력의 감소량은 다음과 같이 산출하였다.

$$P_{sav} (Kw) = (F_{D_{MOD-1}} - F_{D_{MOD-x}}) \times V_{car} \tag{12}$$

where

P_{sav} : 소비동력 감소량

$F_{D_{MOD-1}}$: 웨어링이 없는 모델(Model 1)의 전체항력

$F_{D_{MOD-x}}$: 웨어링이 있는 모델의 전체항력(x=2~6)

V_{car} : 차량의 진행 속도(m/s)

5. 연구결과 및 고찰

본 연구를 통해 트랙터-트레일러용 공기저항 저감 장치인 5종류의 루프 웨어링과 디프랙트의 공력 특성을 분석하고 공기역학적 성능인 항력(drag)과 양력(lift)의 크기 변화를 상호 비교하였다. 또한 항력 값의 저하에 의한 모델 트럭이 필요로 하는 주행 동력의 크기가 얼마나 절약되는지도 알아보았다.

아음속 풍동을 이용한 유동 가시화 실험을 통해 모델 차량에 각각의 저항저감 장치를 장착하였을 때 차량주위에서 발생하는 유동현상을 관찰하였다. 이를 통해 차량에서 발생하게 되는 압력저항력과 유도저항력의 원인을 정성적으로 분석해 보았다.

5.1 해석 결과의 정량적 분석

Fig. 6에서 해석결과는 디프랙트(Model 6)를 장착한 모델 트럭이 30km/h의 속도로 진행할 때 차량주위에서의 속도 분포를 보여준다.

(Numerical result at Re=1.369x10⁶)

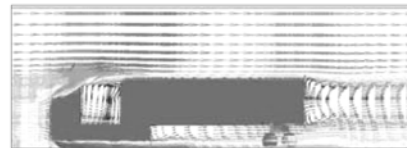


Fig. 6 Numerical results on the velocity distribution for Model 6

디프랙트의 상부 표면에서 순환류(circulation)가 발생하여 정압을 떨어뜨려 압력저항(pressure drag)을 저감 시키는 역할을 하게 된다. 트랙터와 컨테이

너사이의 간격(gap)에서 순환류가 발생하나 이 영역에서의 와도(vorticity)는 매우 약하며 또한 양쪽면에 대칭적으로 발생하므로 총 압력저항의 크기에는 영향을 미치지 못한다. 디프렉트(2/3h)를 떠나는 공기의 흐름은 매우 안정적으로 컨테이너 상판을 지나 후면에 도달하게 된다. 그러나 컨테이너의 후방에서는 트레일러의 상하면을 지나온 공기가 충돌하여 2개의 대칭적 순환류를 발생시켜 강한 와류(vortices)를 형성하게 된다. 이때 생성되는 난류(vortex)의 강도(intensity)가 셀수록 유동장 내부에 낮은 압력이 형성되어 총 압력저항의 증가를 초래하게 된다.

Fig. 7은 각 모델별 공기 저항력의 크기를 비교한 선도이다. 저항력 감소장치를 설치한지 않은 Model 1의 경우가 설치한 나머지의 경우들에 비해 차체의 공기 저항이 크게 나타나며, 루프 웨어링(Model 2, 3,

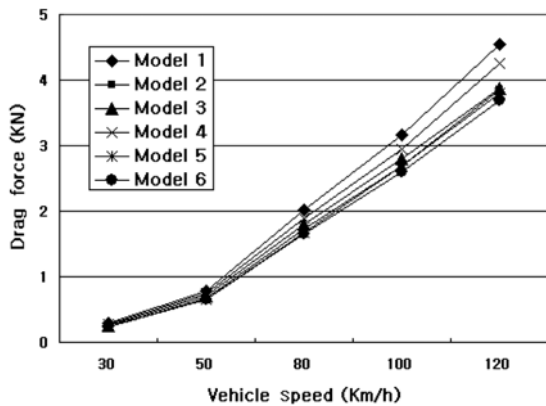


Fig. 7 Variation of aerodynamic drag force with respect to vehicle speed on each model

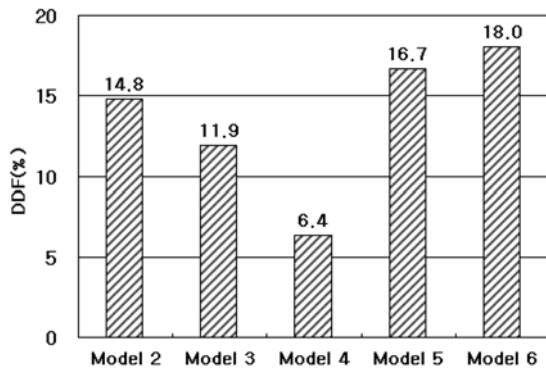


Fig. 8 Decreased rate (%) of drag force on each model

4)을 장착한 경우 보다는 디프렉트(Model 5, 6)를 장착한 경우가 차체의 공기 저항력이 감소한다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 8은 Model 1에 대비한 각 모델에서의 평균 공기저항력 감소율 (%) 선도이다.

$$\overline{DDF}(\%) = \frac{(F_{D_{MOD-1}} - F_{D_{MOD-X}})}{F_{D_{MOD-1}}} \times 100 \quad (13)$$

그림에서 알 수 있듯이 곡면형 루프 웨어링 (Model 3, 4)에 비해 평판형인 Model 2를 장착한 트럭에서의 공기 저항력 저감 성능이 우수하며, 디프렉트(Model 5, 6)를 장착한 경우가 더욱 공기 저항력이 낮아진다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 9는 각 모델을 장착한 차량에서 발생하는 양력의 크기를 비교한 선도이다. 여기서 양력이 음(-)의 값을 갖는 의미는 차량을 지면 방향으로 눌러주는 누름력(down force)을 의미한다. 이 누름력은 차량의 굴림저항(rolling resistance)에 연관된다.

그림에서 알 수 있듯이 항력 저감 장치를 장착한 경우(Model 2~6)가 장착하지 않은 Model 1의 경우에 비해 누름력이 크다는 사실을 알 수 있다. 또한 루프 웨어링(Model 3, 4)에 비해 디프렉트(Model 5, 6)를 장착한 경우가 누름력이 작게 발생한다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 10은 각 모델들의 항력계수(CD)를 비교한 선도이다. 디프렉트가 루프 웨어링 장치에 비해 평균적으로 6.33% 정도의 항력계수를 낮추어 준다는 사

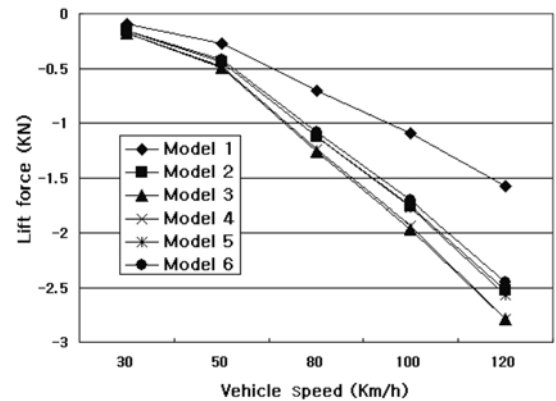


Fig. 9 Variation of aerodynamic lift force with respect to vehicle speed on each model

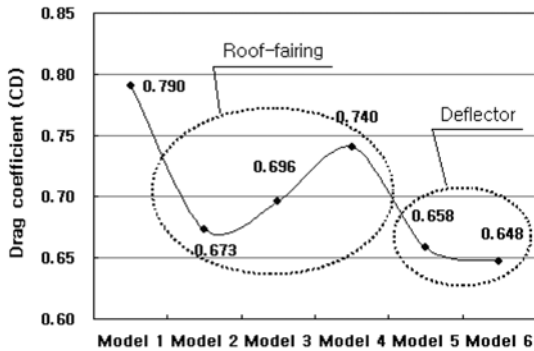


Fig. 10 Variation of drag coefficient (CD) on each model

실을 알 수 있으며, 곡면형 루프 웨어링에 비해 오히려 평판형 웨어링이 오히려 항력계수를 줄여 준다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 11은 굴림마찰력과 관련되는 양력계수의 변화를 보여준다. 양력계수가 음(-)의 값을 갖는다는 것은 양력이 아닌 누름력의 발생을 의미하며 그림에서 알 수 있듯이 곡면형 루프 웨어링(Model 3)의 경우가 가장 큰 음의 양력계수를 갖는다는 사실을 알 수 있다. 즉 Model 3의 루프 웨어링의 경우가 가장 큰 구름 저항력(rolling resistance)을 유발함을 의미한다.

다음은 각 모델별로 Model 1과 비교하여 공기 저항력(FD) 감소에 따른 엔진 제동마력의 절감이 어느 정도 되는지를 알아보았다.

Fig. 12에서 알 수 있듯이 트랙터-트레일러 엔진의 제동마력(brake power)이 가장 크게 절약되는 순으로 모델을 정리해 보면

Model 6 > Model 5 > Model 2 > Model 3 > Model 4

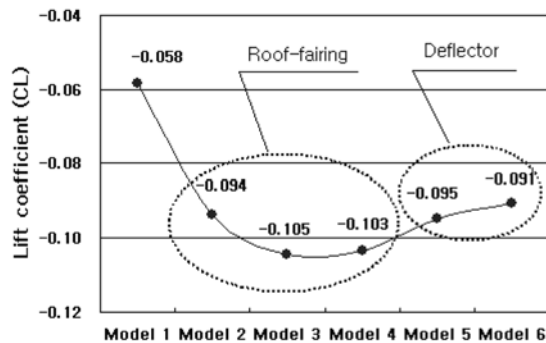


Fig. 11 Variation of lift coefficient (CL) on each model

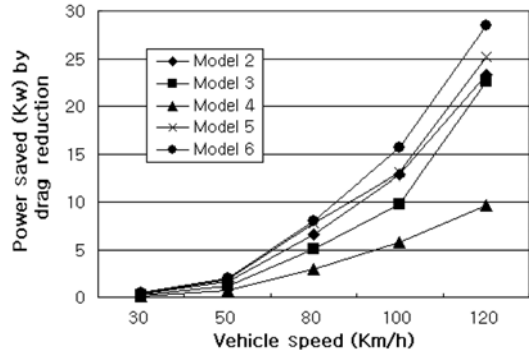


Fig. 12 Variations of power (Kw) saved by drag reduction on each model

순으로 정리 된다. 즉 디프랙트의 형상이 루프 웨어링의 형상에 비해 우수한 공기저항력 저감 효과가 있다는 사실을 알 수 있다. 평판형 루프 웨어링의 경우가 곡면형 루프 웨어링보다 공기 저항 저감 효과가 우수하다는 사실도 선행 연구⁶⁾의 결과와 일치함을 알 수 있다.

5.2 가시화 실험결과와 정성적 분석

공기 저항저감장치를 장착한 차량에서 공기의 유동현상을 관찰하고 이를 통해 압력저항과 유도저항이 발생할 수 있는 원인을 정성적으로 알아보기 위해 개방형 아음속 풍동에서 축소 모형실험을 실시하였다.

Fig. 13에서 알 수 있듯이 저감장치가 장착되지 않은 모델 1의 경우 차량의 전방 상단에서 흐름의 박리(separation)가 일어나며 흐름의 일부가 컨테이너 상단에 부딪혀 압력저항을 유발하게 된다. 웨어링을 장착한 Model 2,3,4의 경우는 전방차량 상단에서의 박리현상은 완화가 되나 간격공간에서의 강한 와류(vortex)발생으로 인해 후방부의 유체가 컨테이너 상단에 부딪혀 압력저항이 유발됨을 보여준다. 이것에 비해 디프랙트를 장착한 Model 5,6의 경우는 디프랙트의 상단에서 와류가 발생하여 압력저항도 감소하게 되며, 후방부로 유도되는 공기의 흐름이 후방 컨테이너의 벽에 부딪힘이 매우 작은 상태로 빠져나간다는 사실을 알 수 있다.

이러한 정성적 측면에서 보아도 저항저감장치가 없는 상태보다는 장착한 상태가 공기저항에 유리하며, Model 2,3,4인 웨어링보다는 Model 5,6의 디프랙

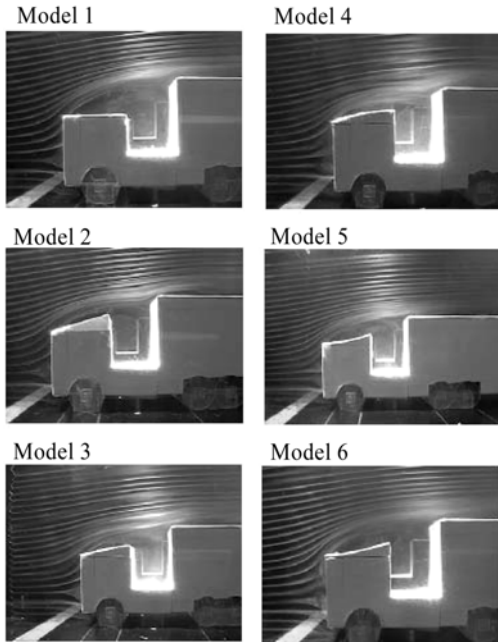


Fig. 13 Variation of airflow streamlines on each drag reduction model at $Re=4.272 \times 10^3$

트가 공기저항의 저감에 효과적이라는 사실을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 유한체적법(FVM)을 적용한 수치 해석기법을 이용하여 대형 트럭인 트랙터-트레일러의 공기저항 저감 장치로 적용되는 루프 웨어링과 디프랙트의 공기 역학적 특성을 파악하고, 공기저항 저감 효과를 알아보았다. 본 연구를 위해 설계한 저항 저감 장치는 총 5종류로 루프 웨어링 세 모델(Model 2~4)과 디프랙트 두 모델(Model 5, 6)이다. 이 모델들을 시험용 모델 트럭에 장착하여 수치해석 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 트랙터-트레일러의 공기저항 저감을 위해 디프랙트 형상을 설치한 경우가 이를 설치하지 않은 경우에 비해 평균적으로 13.5% 정도의 저항력 저감 효과를 유발한다는 사실을 알았다.
- 2) 차량의 굴림마찰력에 연관되는 누름력(down force)의 경우는 디프랙트 장치가 루프 웨어링 장치에 비해 적게 걸리며, 이는 디프랙트가 웨어링 장치에 비해 양력, 항력 저감의 모든 면에서 공기

역학적으로 우수하다는 것을 의미한다.

- 3) 차량의 속도가 80km/h 이상의 속도에 도달하게 되면 굴림마찰력에 비해 공기 저항력의 크기가 2배 이상에 달하게 되며, 이는 엔진 제동마력의 60% 이상이 공기 저항력을 극복하는데 소요됨을 의미한다. 그러므로 본 연구를 통해 알 수 있듯이 대형 트럭에 최적형상의 디프랙트(Model 6)를 장착할 경우 이를 장착하지 않은 경우(Model 1)에 비해 평균 18%의 항력계수(C_d)를 낮춰 주는 역할을 하게 되며 이는 공기저항 저감을 통해 엔진의 제동마력 소비를 11% 정도를 저감하는 역할을 하게 된다.

References

- 1) Korean Ministry of Construction and Transportation, An Annual Statistic Report for Automobile Registration, 2003.
- 2) R. H. Barnard, Road Vehicle Aerodynamic Design; An Introduction, Addison Wesley Longman Limited, Great Britian, 1996.
- 3) W. S. Janna, Introduction to Fluid Mechanics, PWS Publishing Co., New York, 1993.
- 4) K. T. Lee, C.C. Kim and Y. S. Hong, "Fuel savings of a Tractor-Trailer gy Means of Aerodynamic Drag Reduction Devices," Journal of Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.10, No.2, pp.80-90, 1982.
- 5) C. H. Kim, D. K. Yeon and C. M. Lee, "A Numerical Study on the Aerodynamic Effects of a Rear-Side Spoiler on the Driving Stability of a Passenger Car," Journal of SNUT, Vol.47, pp.113-124, 1998.
- 6) C. H. Kim and C. B. Youn, "Aerodynamic Effect of Roof-Fairing System on a Heavy-Duty Truck," Int. J. Automotive Technology, Vol.6, No.3, pp.221-227, 2005.
- 7) R. M. Olson and S. J. Wright, Essentials of Engineering Fluid Mechanics, 5th Edn., Harper & Row, Publishers Inc., New York, 1990.
- 8) S. V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp., New York, 1980.
- 9) PHOENICS PVR Version 3.4 CHAM Ltd., 2002.
- 10) Table Curve 2D V5.0, SPSS Science Co., 2002.