

상용 대형 트럭의 디플렉터 형상에 따른 공기저항력

한문식^a, 조재웅^{b*}

Air Resistance Due to the Deflector Configuration of Commonly Used Largetrucks

Moonsik Han^a, Jaeung Cho^{b*}^a Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, 2800 Dalgubeoldae-ro, Dalseo-Gu, Daegu, 704-701, Republic of Korea^b Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University, 275, Budae-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungnam, 331-717, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	21	January	2014
Revised	30	March	2014
Accepted	9	April	2014

Keywords:

Air resistance
Deflector configuration
Flow stream
Pressure
Drag
Lift

ABSTRACT

This study investigates the air resistance due to deflector configurations of commonly used largetrucks at a driving speed of 80 km/h. Of the 6 models that are considered, the drag caused by the pressure on the front part of the trailer is largest for model 1. For model 1, the lift caused by the difference between the velocities of the upper and lower streams is greatest among all the models. Model 6 has the least resistance against the flow stream considering the drags and lifts of the flow models. An optimal design can be obtained by investigating this simulation analysis of various deflector configurations for the upper part of largetrucks; this optimum deflector configuration will help reduce the air resistance on large trucks.

1. 서론

대형 화물차량은 오늘날의 육상 수송, 운송분야에 있어서 중요한 수단^[1-3]에 하나로써 이미 전 세계적으로도 넓게 사용되어지고 있으나 일반 승용차량에 비해 연비가 낮은 수치로 나온다. 그 이유는 바로 차량 중량과, 차량의 구조적인 문제이다. 대형 화물차량은 트레일러에 장착되어지는 직육면체의 적재함 때문에 차량의 진행 방향으로부터 매우 강한 공기저항을 받게 된다. 차량이 일정한 속도로 주행하기 위해서 필요로 하는 최소 동력은 도로면과의 굴림 저항력과, 공기 저항력의 합보다 큰 힘이여야만 하는데 굴림 저항력의 경우는 차량의 중량에 연관되며 속도에 따른 변화는 거의

없으나, 공기저항력의 경우는 차량의 주행속도가 60 km/h 이상이 되면 급격히 상승되어 굴림저항력보다 커지게 되며, 이후 계속 상승되어져 주행속도 100 km/h 도달시 굴림저항력의 2배가 넘는 공기저항력이 차량에 작용하게 된다^[4]. 이와 같은 이유로 차량의 공기역학적인 외형 설계는 차량 연비에 매우 직접적인 관련이 있다. 디플렉터와 루프웨어링은 대형 화물차량의 공기역학적 외형 설계의 연구결과로 나온 장치중 하나로써 차량 틸트 상부에 장착되어 차량 상부에서의 유동이 박리가 일어나지 않고, 좀 더 원활하게 진행되도록 해준다. 이러한 두 장치는 설치 높이에 따른 항력계수 변화^[5], 루프웨어링과, 디플렉터의 항력계수 차이 등의 선행 연구^[6-9]가 진행되어 왔다. 본 연구에서는 M사의 대형 화물트럭의 외관 도면을

* Corresponding author. Tel.: +82-41-521-9271

Fax: +82-41-555-9123

E-mail address: jucho@kongju.ac.kr (Jaeung Cho).

기초로 하여 CATIA v5를 이용하여 트럭을 모델링하였으며, 차량 주위에 유동장을 설정하여 주행방향에 상대적인 바람이 없다고 가정하고, 디플렉터의 형상에 따른 차량 주위 유동의 변화를 속도와 압력에 대하여 ANSYS를 통해 유동 해석을 하였다^[10]. 그리고 유체의 흐름을 받아 흐름을 방해하는 트럭의 정면부에 작용하는 항력과 모델의 상부와, 하부의 유속의 차이에 의하여 양력에 의하여 주행의 안정성에 영향을 미친다. 따라서 본 연구는 이에 대한 해석 결과를 고찰하였다. 본 연구 결과를 통하여 대형 화물차량의 상부에 차량에 맞는 디플렉터의 다양한 형태를 시뮬레이션 해석을 함으로써 최적의 형태를 설계하여 차량의 공력특성을 향상시키고 나아가 차량의 연비를 개선하여 차량 운행에 있어서 경제성을 향상시키고, 배기가스의 감소가 될 것으로 사료된다.

2. 본 론

2.1 유동 모델

Fig. 1은 해석에 사용될 모델트럭으로써, 모델의 제원은 전장 12.3 m, 전폭 2.5 m, 전고 3.8 m로 되어 있으며, 그 모델의 상부에는 가로 2.5 m, 세로 1.8 m, 높이 0.68 m의 공간에 Fig. 2와 같은

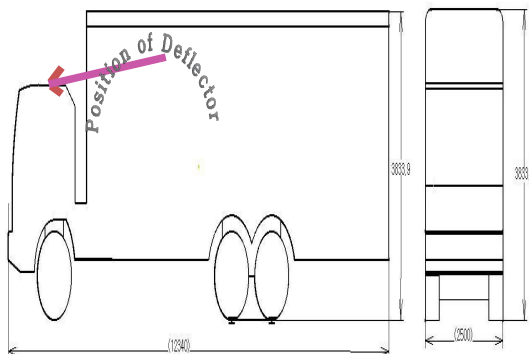


Fig. 1 Dimension of truck model

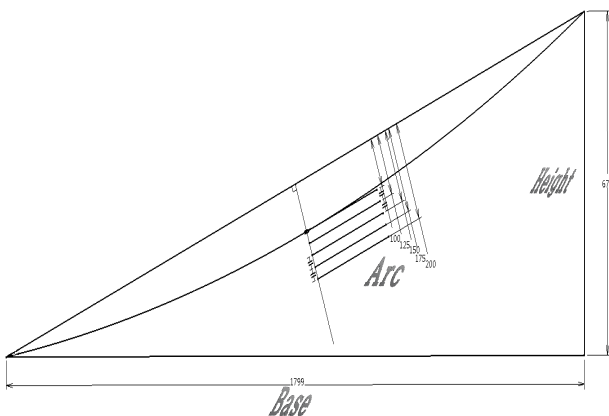


Fig. 2 Curvatures of deflector at upper part of truck model

Table 1 Configurations and curvatures of deflectors due to fluid models

Model	Configuration	Curvature(mm)
Model 1	No deflector	No
Model 2	Flat deflector	No
Model 3	Deflector	4671.8
Model 4	Deflector	3759.9
Model 5	Deflector	3156
Model 6	Deflector	2728.5
Model 7	Deflector	2410.9



Photo 1 Deflector installed at front and upper part of truck

기준으로 곡률에 변화를 준 6가지의 디플렉터 모델이 장착된다. 디플렉터의 곡률은 밑변과 높이를 이은 사선의 중심에서 각각 10 cm, 12.5 cm, 15 cm, 17.5 cm, 20 cm떨어진 곳에서의 접점에 원호를 그린 것으로 각 모델별 곡률반경에 대하여 Table 2에 나타나 있다. Table 1은 총 7개의 모델트럭 상부에 장착될 디플렉터의 기하학적 형상에 따라 분류한 것으로 Model 1은 디플렉터가 장착되지 않은 모델이고 Model 2는 누여 놓은 삼각기둥 형상의 평면형 디플렉터 모델이다. 그리고 Model 3부터 7들은 곡률을 가진 디플렉터 모델들이다. Photo 1은 디플렉터가 장착된 실제 트럭의 사진이다.

2.2 유동 모델의 경계조건

유동해석을 위하여 모델트럭의 주위에 사각형 유동장을 만들었으며, 이 유동장은 한국 도로교통법을 기준으로 하여 도로폭인 3.6 m의 폭에 길이 100 m의 사각형 형태를 하고 있으며, 모델들에 대한 절점수와 요소수는 Table 2와 같다. 그리고 본 연구는 ANSYS 버전 11로서 CFX유동 해석을 수행하였다. 유동장의 내부에 흐르는 공기의 물성치^[8]는 Table 3과 같고 그 크기는 폭 3.6 m, 높이 10 m 및 길이 100 m로 하였다.

Fig. 3은 이 유동 모델에 대한 유동해석의 경계조건을 나타낸

것으로 유동장의 입구에 Normal Speed 80km/h의 바람 조건을 설정하였으며, 유동장의 출구에는 Average Static Pressure조건을 0atm, 나머지 면들에는 Opening Pressure and Direction조건을 0Pa를 설정하였다. 위의 조건을 바탕으로 최대 100번 수렴조건으로 해석을 실행하였다⁹⁾. 모델에서 화살표가 들어가는 방향은 입구에서 공기가 유입하는 것이고, 모델의 측면에서 양쪽 방향으로 화살표가 되어 있는 것은 공기가 모델로 들어갔다 나갔다 하는 경우로서 예를 들면 굴뚝에서 연기가 나오는 경우에 굴뚝 출구쪽에서 그 연기가 역류하여 굴뚝내로 들어 갈 수도 있고 굴뚝 외부로 나갈 수도 있다. 이런 경우에는 굴뚝 출구를 양쪽 방향으로 화살표로 표기할 수 있다. 그리고 모델에서 화살표가 나가는 방향으로 되어 있는 것은 모델에서 공기가 빠져 나가는 것을 보인다.

그리고 Average Static Pressure 조건은 출구면에서 평균압력이 0atm로서 대기압조건을 적용한 것이고, 나머지 면들에는 Opening Pressure and Direction조건을 0Pa를 설정하였다. Opening Pressure and Direction조건에 대해서는 모델의 측면들에서 모델

바로 바깥면 조건으로서의 상대압력이 0로 모델 주위에서의 압력과 같다고 가정한다.

2.3 유동 모델 해석결과

2.3.1 입력에 따른 해석

본 해석은 설정한 경계조건의 유동장 속에서 흐르는 유체에 의한 모델트럭이 받는 압력을 등고선으로 표현하여 해석하였다.

Fig. 4는 각 모델트럭의 표면에 작용하는 압력을 3차원적으로 바라본 그림이다. 모든 모델에서의 최고압력은 유동장내에서의 유체의 흐름을 방해하는 트럭의 정면부에서 가장 크게 나타났으며, 모델 중 Model 7이 274.8 Pa로 가장 적은 압력수치를 보여주고

Table 2 Numbers of nodes and elements due to fluid models

Model	Node number	Element number
Model 1	135,047	709,826
Model 2	135,031	709,983
Model 3	135,014	709,829
Model 4	135,043	710,005
Model 5	134,939	709,469
Model 6	135,034	709,869
Model 7	134,901	709,255

Table 3 Material property of Air at fluid model

Density	1.185 [kg/m ³]
Temperature	25° [C]
Pressure	1 [atm]
Dynamic viscosity	1.831×10 ⁻⁵ [kg/m/s]

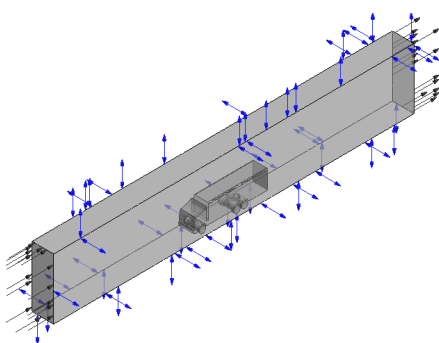
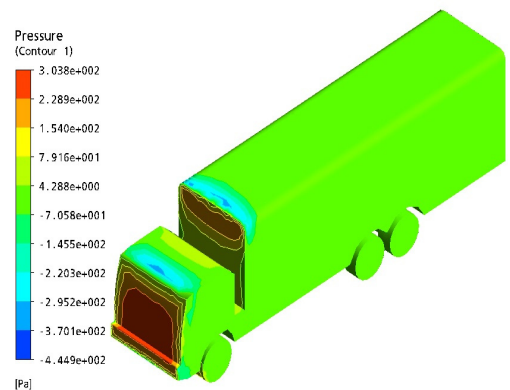
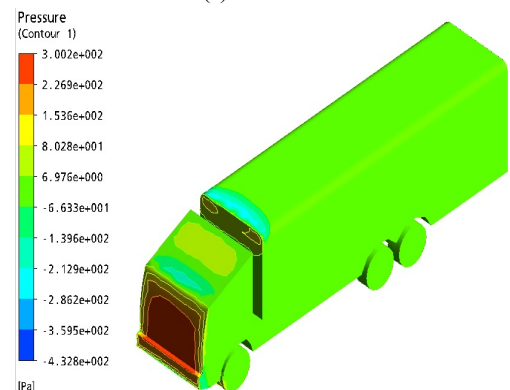


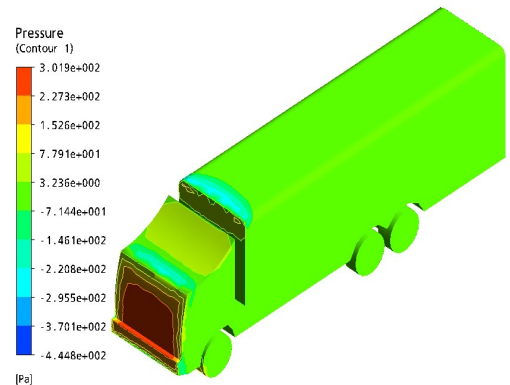
Fig. 3 Constraint condition of fluid model



(a) Model 1



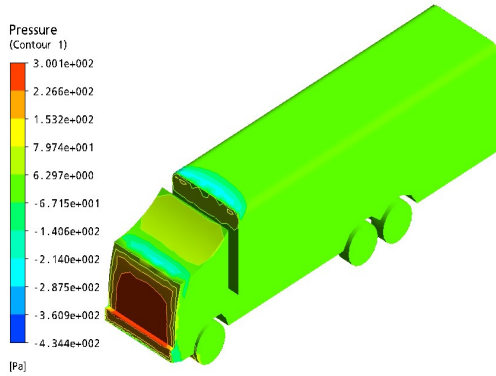
(b) Model 2



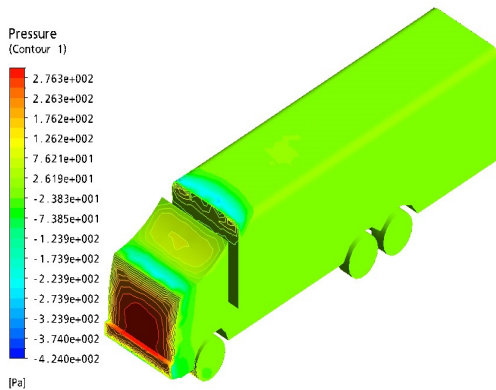
(c) Model 3

Table 4 Maximum pressures due to fluid models

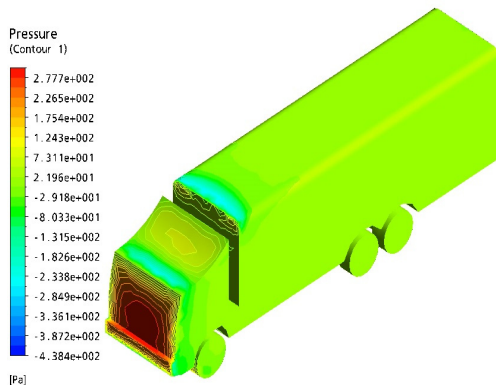
Model	Maximum Pressure (Pa)
Model 1	303.8
Model 2	300.2
Model 3	301.9
Model 4	300.1
Model 5	276.3
Model 6	277.7
Model 7	274.8



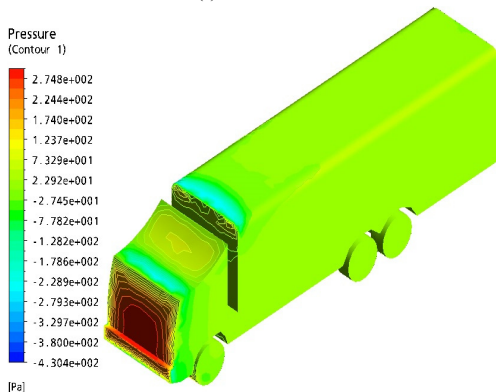
(d) Model 4



(e) Model 5



(f) Model 6



(g) Model 7

Fig. 4 Pressure contours due to fluid models

있다. 각 모델별 유동에서의 최고 압력은 Table 4에 정리되어 있다. 따라서 해석 결과로 보면 Model 1의 트레일러 상부에서 공기의 흐름에 의하여 압력을 많이 받는 것으로 나타났다.

$$Ra = \int Pa \times dA \quad (1)$$

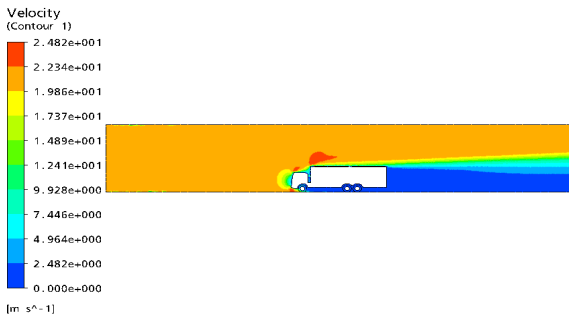
식 (1)은 차량의 공기 저항력(Ra)과 압력(Pa)과의 관계에 대한 식으로 7개 모델에 대해서는 Y축 투영 면적(A)이 같고, 또한 차량의 공기 저항력이 압력과 비례하는 위의 식을 고려해 볼 때 Model 1과 나머지 6개 모델의 공기저항력 차이는 모델트럭의 상부에 작용되는 압력의 크기에 전반적으로 비례함을 알 수 있으며, 트레일러 상부에서 유동장 내 유체의 흐름에 대하여 저항하는 압력이 작용한다는 것을 알 수 있었다.

2.3.2 속도에 따른 해석

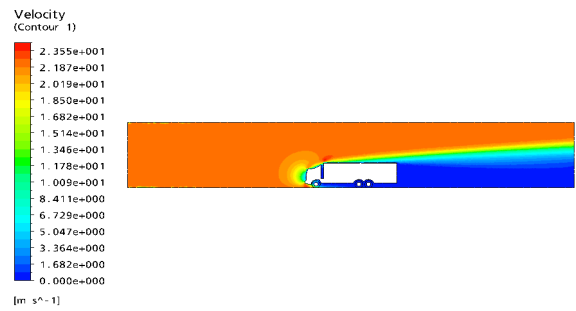
Fig. 5는 설정한 구속조건의 유동장 속에서 흐르는 유체의 속도를 등고선으로 표현하여 측면에서 본 그림이다.

전체적으로 모든 유동 모델에서의 최고속도는 유체의 흐름을 방해하는 트레일러 상단 모서리부분과, 앞 범퍼 아래에서 관측되었고, 1~7번 모델 중 Model 5가 23.47 m/s로 가장 작은 수치를 보여줬다. 그러나 트레일러의 전면부와, 상부에서 Model 1은 다른 6개 모델과는 다른 속도양상을 보이고 있는데, 트레일러 전면부에서는 굉장히 낮은 유속을, 트레일러 상부에서는 굉장히 빠른 유속을 다른 모델에 비해 넓은 면적에 걸쳐 나타내고 있다.

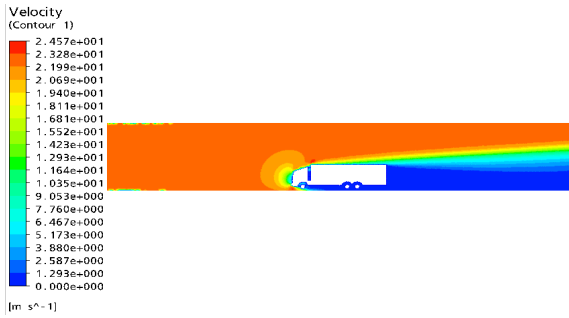
이는 트레일러 전면부가 유동장 안에 흐르는 유체의 운동방향에 대하여 역 압력 구배로 작용하게 되어 유동박리가 일어나기 때문에 와류가 생성되고, 그 와류에 의한 속도라고 해석할 수 있다. 이러한 유동 박리와, 와류는 차량의 주행성능에 안 좋은 영향을 끼치므로 Model 3이 나머지 6개 모델에 비하여 주행성능이 떨어진다고 볼 수 있다.



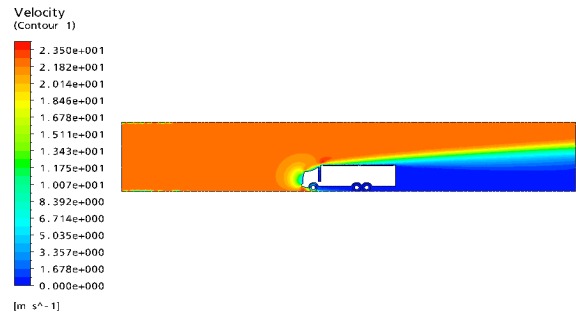
(a) Model 1



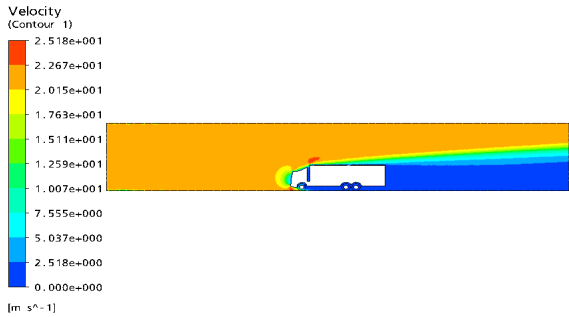
(f) Model 6



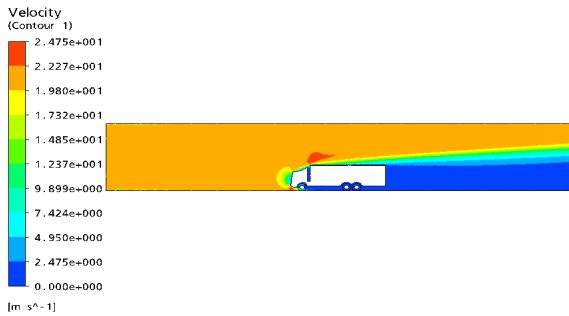
(b) Model 2



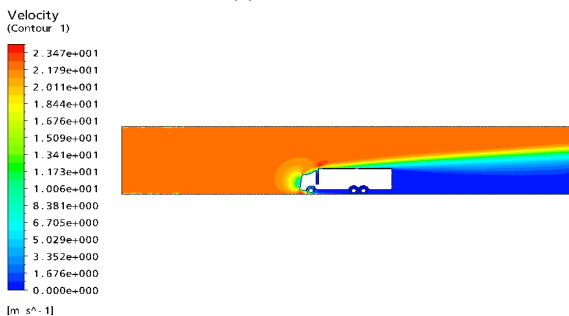
(g) Model 7



(c) Model 3



(d) Model 4



(e) Model 5

Fig. 5 Velocity contours due to fluid models

Table 5 Maximum velocities due to models at fluid flows

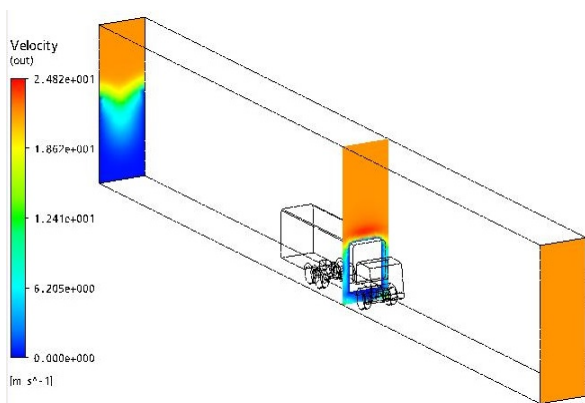
Model	Maximum velocity (m/s)
Model 1	24.82
Model 2	24.57
Model 3	25.18
Model 4	24.75
Model 5	23.47
Model 6	23.55
Model 7	23.50

Table 5는 각각의 모델들에 대한 유동의 최고속도를 정리한 표이다.

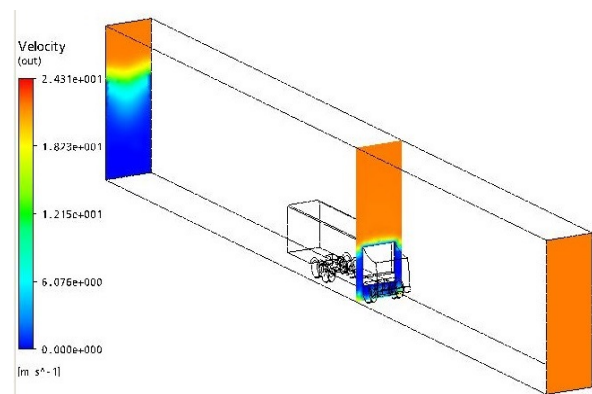
Fig. 6은 유동장의 입구, 출구, 그리고 모델트럭의 트레일러 앞단에서의 속도를 입체적으로 나타낸 그림이다. 유동장 내 유체의 속도가 최대 2.518 m/s의 차이가 나며 유동장의 입구, 중간, 출구에서 보여지는 선형 평면이 거의 비슷하기 때문에 수치의 차이가 조금 있을 뿐 유동장 내 유체의 흐름은 대동소이하다고 볼 수 있다.

2.3.3 항력에 따른 해석

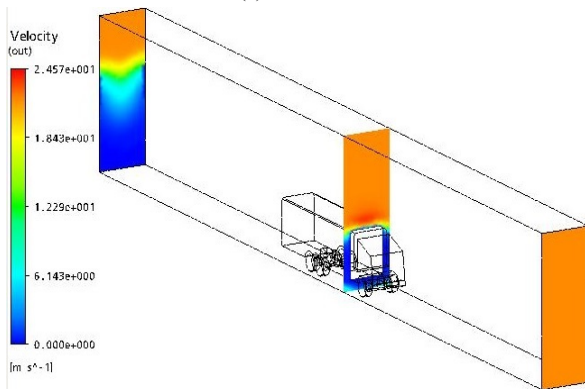
유동 모델에 대하여 유동장의 입구에서는 X축 방향으로 작용하는 하중이 모델트럭에 부딪혀 유동장의 벽을 통해 X, Y, Z방향으로 빠져나가고, 나머지는 유동장의 출구로 빠져나가게 된다. Table 6은 유동장 내에 작용하는 하중들인 항력과 양력을 각각 정리한 표이다. Drag와 Lift는 각각 트럭 모델에 대하여 X축 방향에 작용



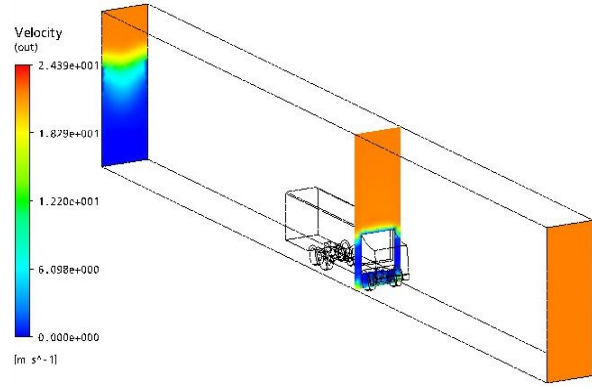
(a) Model 1



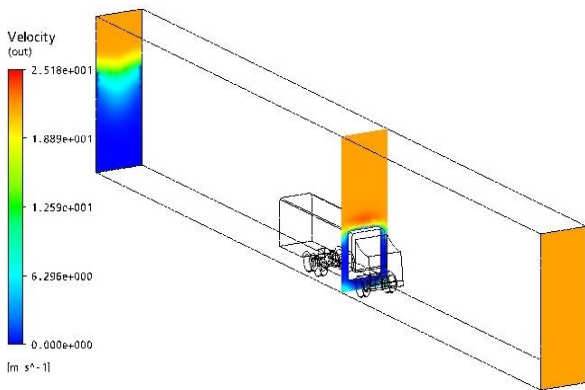
(e) Model 5



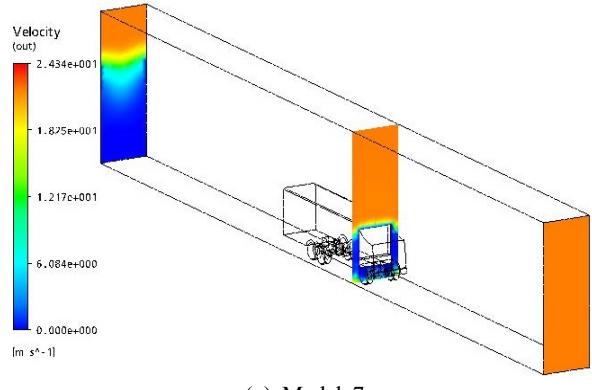
(b) Model 2



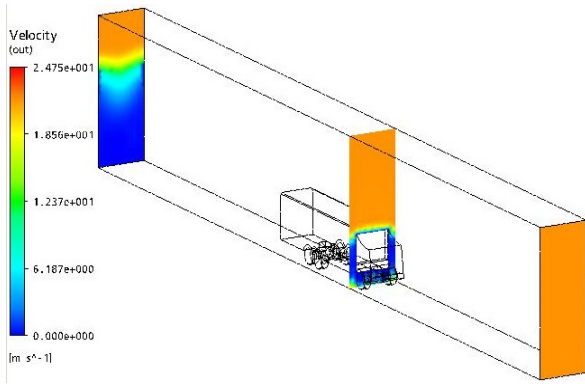
(f) Model 6



(c) Model 3



(g) Model 7



(d) Model 4

Fig. 6 Velocity contours on 3 planes due to models at fluid flows

Table 6 Drags and lifts applying on truck models due to models at fluid flows

	Drag(X)(N)	Lift(Z)(N)
Model 1	-1373.31	170.57
Model 2	-1136.87	-78.0595
Model 3	-1148.81	-126.901
Model 4	-1148.99	-122.676
Model 5	-1149.72	-125.742
Model 6	-1146.96	-131.711
Model 7	-1152.33	-131.701

하는 항력과 양력이며 Table 6에서의 모델별 항력을 -X축 방향으로 정의하고 보면 Model 2 < Model 6 < Model 3 < Model 4 < Model 5 < Model 7 < Model 1 의 순서로 항력이 크게 나타났으며, Model 1 이 다른 6개 모델에 비해 반대 방향으로 큰 항력수치를 나타내었다.

이와 같은 결과는 앞의 압력에 대한 해석과 연관지어볼 때 Model 1은 트레일러 전면부에 작용하는 압력에 의해 항력이 증가되었다고 볼 수 있다.

다음으로 모델별 양력을 보면 Model 1 > Model 2 > Model 4 > Model 5 > Model 3 > Model 7 > Model 6 순으로 크게 나타났으며, Model 1의 경우 다른 6개 모델과 다르게 (+)수치를 나타내고 있어 80 km/h 주행조건에서 차체가 양력을 받아 들린다고 할 수 있다. Model 2부터 7까지는 디플렉터 적용이 된 경우들이어서 그 양력이 음수값으로 나타나고, Model 1의 경우는 디플렉터 적용이 안되어서 곡률 반경이 없으므로 인하여 그 양력이 양수값이 된 것으로 사료된다.

이와 같은 결과 역시 앞의 속도에 대한 해석과 연관 지어볼 때 트레일러 상부의 유속이 차량의 하부를 통해 지나가는 유속보다 빠르기 때문에 비행기 날개의 양력 발생^[7]과 같은 원리로 (+)방향 양력이 발생하는 것을 알 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 상용트럭 디플렉터의 형상에 따른 공기저항력 변화를 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

모든 모델에서의 최고압력은 유동장내에서의 유체흐름을 방해하는 트럭의 정면부에서 가장 크게 나타났다. 모델들 중에서 Model 1의 경우가 가장 트레일러 전면부에 작용하는 압력에 의해 항력이 증가되었다고 볼 수 있다. 또한 디플렉터가 없는 Model 1의 경우가 모델의 상부와, 하부의 유속의 차이에 의하여 양력을 가장 많이 받아 디플렉터가 있는 나머지 6개 모델들에 비하여 주행 안정성이 매우 떨어짐을 알 수 있다. 항력과 양력 모두를 고려할 때 Model 6 이 80 km/h의 주행 조건에서 그 유동 흐름에 있어 가장 저항이 적은 결과를 보여주었다.

본 연구 결과를 통하여 대형 화물차량의 상부에 차량에 맞는 디플렉터의 다양한 형태를 시뮬레이션 해석을 함으로써 최적의 형태를 설계하여 차량의 공력특성을 향상시킬 수 있다고 사료된다.

References

- [1] Kang, H. Y., Yang, S. M., Kim, B. C., Yun, H. J., 2001, Ride Quality of a Heavy Duty Truck on a Single Bump Road, KSMTE Autumn Conference 91-96.
- [2] Lim, H. B., Shin, M. K., Yang, H. I., 2012, Structural Optimization of the Knuckle Crane Installed in Truck, Journal of KSMTE 21:2 344-348.
- [3] Ha, J. H., Kim, C. H., Jo, I. K., Ko, B. G., 2007, A Study on an Aerodynamic Reduction Effect of a Rear Upper Guide system on the Heavy truck, Autumn conference of Korea Society of Automotive Engineers 10 1093-1098.
- [4] Lee, K. T., Kim, C. C., Hong, Y. S., 1982, Fuel Savings of a Tractor-Trailer by Means of Aerodynamic Drag Reduction Devices, Journal of KSAS 1:2 80-90.
- [5] Kim, C. H., Youn, C. B., 2005, Aerodynamic Effect of Roof-Fairing System on a Heavy-Duty Truck, Int. J. Automotive Technology 6:3 221-227.
- [6] Kim, C. H., 2006, An Effect of Roof-Fairing and Deflector System on the Reduction of Aerodynamic Drag of a Heavy-Duty Truck, Transactions of KSAE 14:2 194-201.
- [7] Cho, J. U., Han, M. S., 2013, Air Flow Analysis due to the Configuration of Car Body Radiator Grill, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers 12:3 21-27.
- [8] Kim, Y. H., Lee, D. H., Ha, J. P., Lee, T. W., 2010, MRF Modeling of Automotive Cooling Fan for Front-End Airflow CFD, KSAE Spring Conference 327-331.
- [9] Ko, S. H., Bae, J. S., Kim, H. B., Roh, J. H., Ahn, S. M., 2012, Experimental Study on Aerodynamic Characteristics of Morphing Airfoil Configuration, Journal of KSAS 10 846-852.
- [10] Swanson, J., 2009, ANSYS 12.0 ANSYS Inc, USA.