

자동차 주위에 흐르는 공기의 유동 저항에 미치는 차체의 형상 연구

이현창¹, 조재웅^{2*}

¹강원대학교 자동차공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Study of the Shape of Car Body Affecting Flow Resistance of Air Flowing Near Car

Hyun-chang Lee¹, Jae-Ung Cho^{2*}

¹Department of vehicle engineering, Kangwon University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 공기 저항으로 인하여 자동차가 연료를 많이 소모하는 경우가 있다. 본 연구에서는 승용차 차체 주위에서의 유동해석을 이용하여 공기 흐름에 대한 그 유동 저항을 분석한다. 그리고 실제 시장에서 팔리는 차로써 그 연구 모델들을 사용하였다. CFX인 유동해석을 이용하여 유동 입구평면에 들어가는 공기의 유속은 80km/h와 110km/h인 2가지 경우로서 본 연구방법으로서 자동차가 진행시 자동차 주위의 공기 유속과 차체 뒷면의 압력을 조사하였다. 연구모델의 형상은 Model 1 및 2인 두 가지로 하였다. 그리고 Case 1, 2, 3, 4인 4가지의 유동 흐름의 경우 중에서 Case 1의 경우가 차체 뒷면의 최대압력이 1.017×10^5 Pa로 가장 큰 압력을 나타내었다. 또한 Case 1의 경우에 차체주위에 흐르는 공기의 최대 속도가 43.81m/s로서 가장 큰 압력을 나타내었다. 승용차의 고속 주행 시(110km/h)가 정속 주행(80km/h)보다 큰 공기의 항력이 나타나는 것을 알 수 있고 차체의 단면적이 넓은 차가 단면적이 작은 차보다 항력이 더 크게 나타난 것을 알 수 있다. 본 해석 결과를 이용하여 공기 저항을 줄일 수 있는 자동차 차체의 형상 설계를 효율적으로 할 수 있다고 사료된다.

Abstract Considerable fuel in cars is consumed by air resistance. The flow resistance against the air stream was analyzed by flow analysis near the passenger car body. In this study, the models were used were cars available on the real market. Two velocities entered into inlet plane of flow were 80 km/h and 110 km/h using the flow analysis of CFX. As the study method, the velocity of air flow near the car and the pressure on the rear part of car body were investigated at the driving of car. The shapes of the study models were models 1 and 2, and the flow streams were four cases of 1, 2, 3, and 4. In case 1 among the four cases, the maximum pressure (1.017×10^5 Pa) on the rear part was highest and the maximum velocity (43.81m/s) of air flow near car body was fastest. The air drag force in the case of high speed (110km/h) driving a passenger car was higher than that of a normal driving speed (80km/h). The drag force at wide section area of the car body becomes higher than the narrow section area. The shape of the car body can be effectively designed to reduce the air resistance using the study results of this analysis.

Key Words : Air resistance, Car body, Flow analysis, Inlet plane, Velocity, Drag force

1. 서론

1973년에 발생한 오일 파동으로 고유가 시대가 시작된 후, 자동차산업에 관련된 많은 기업체들과 기관들은

이에 따른 영향을 최소화 하고자 차량 생산의 초점을 최고 출력을 내는 것에서 최고의 연비를 가지는 것으로 돌리게 되었다. 게다가, 시간이 흐를수록 이러한 경향은 점

*Corresponding Author : Jae-Ung Cho(Kongju Univ.)

Tel: +82-10-8807-8977 email: jucho@kongju.ac.kr

Received July 3, 2014

Revised July 16, 2014

Accepted August 7, 2014

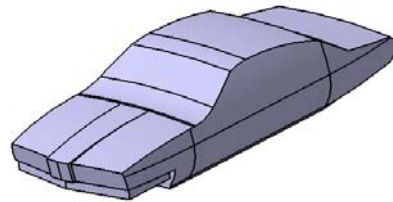
점 가속화되어 왔고 자동차의 공력성능도 또한 덩달아 그 중요성이 부각되어 왔다. 그 중에서도 항력계수는 자동차의 공력성능을 나타내는 중요한 인자중 하나로 인식되고 있다. 이러한 자동차의 공력성능은 차체 주위로 흐르는 외부 유동에 지대한 영향을 받으며, 이 영향으로 인해 자동차에 작용하는 항력은 속도의 제곱에 비례한다는 것이 알려져 있다. 이런 이유로, 이 연구의 목적은 차체 주위로 흐르는 외부 유동을 분석·제어하여 항력을 감소시켜 연비를 향상 시키는데 있다. 따라서 차체 부근에서 발생하는 유동 현상의 물리법칙, 특성을 분석하는 일은 상당히 중요하다. 이런 관점에서 승용차의 외부 형상을 적절히 변형하여 외부 유동을 제어한다면 공력 성능이 향상될 수 있다. 이로 인해 그동안 많은 사람들은 자동차의 공력성능에 관하여 다수의 연구를 행해왔다. 몇 가지 예를 들면, Yoshioka는 승용차 후방의 유동특성에 대해서 연구하였고 Sapnaras는 풍동 실험을 통해 차량의 Undercover주위로 흐르는 유동의 압력 분포에 대해 분석하였다. Albukrek는 코너링하는 스포츠카 주위의 비정상 유동에 대해 연구하였고 Beaudoin Jean Francois는 차량의 외부에 flap을 부착하여 공력 성능의 향상을 이루어 냈다. Wassen은 Steady blowing조건에서 자동차의 공기저항 감소에 대해 연구하였고 하종수는 Pickup트럭에 rear flap을 부착하여 공기저항 감소를 이뤄냈다.⁽¹⁻³⁾ 따라서 본 연구에서는 다양한 연구들을 참고하여 자동차 형상을 4가지로 나누어(Car body, Side mirror, Arch, And Wheel) 자동차의 고속 및 정속주행(110km/h 및 80 km/h) 조건에서 각 부분이 전체 공기저항에 미치는 영향을 CFD 수치해석을 통해 분석하였다. 최종적인 자동차의 형상이 갖는 항력 계수 값은 단순히 각 부분의 형상이 유동장에서 가지는 그 계수 값들 간의 단순 합으로 나타나지 않고 적용된 형상이 Car body의 후방 압력 회복에 영향을 주어 그 값을 변화시킨다. 따라서 이번 연구에서는 각각의 형상(Side mirror, Arch, And Wheel)이 적용되면서 이들 형상에 따라서의 항력에 따른 유동 흐름의 영향의 정도를 파악하였다.⁽⁴⁻⁹⁾ 기존연구 방법은 거의 모두 실험으로 하고서 실험데이터를 갖고서 분석한다. 따라서 실험데이터만 가지고서는 시간이 오래 걸리고 연구 결과에 대한 경향을 분석하는데 극히 비효율적인 연구방법이 된다. 따라서 본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 실제의 차체와 비슷한 형상을 만들어서 유동해석을 하였다. 해석과 실험을 비교해 보면 해석이 실험을 하는

것보다 더 저렴하고 오랜 시간이 들지 않고 편리하고 효율적으로 연구 경향에 대한 해석데이터를 뽑을 수 있는 장점이 있다고 사료된다.

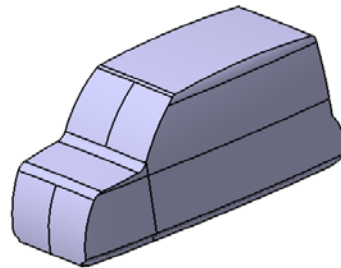
2. 연구 모델 및 경계조건

2.1 연구모델

본 연구에 3D 설계된 차체 모델링이 Fig. 1과 Fig. 2에 나온다. 본 연구에서는 Fig. 1에 도시된 차체는 단면적이 작은 모델링이며, Model 1로 하였다. Fig. 2에 도시된 차체는 단면적이 큰 모델링이며, Model 2로 하였다. 또한 Fig. 1과 Fig. 2는 실제 시장에서 팔리는 차로써 연구 모델로 사용하였다. Fig. 1에 나온 모델은 Audi model의 형상을 간략화 하여 제작한 것이며, Fig.2에 나온 모델은 Cube model의 형상을 간략화 하여 제작한 것이다.



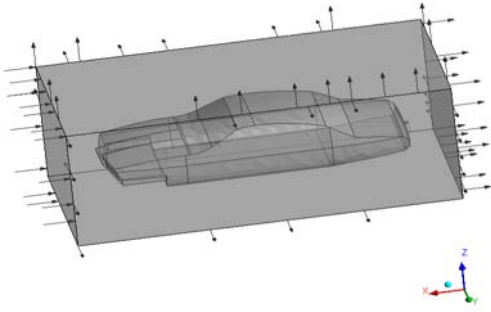
[Fig. 1] Analysis model 1



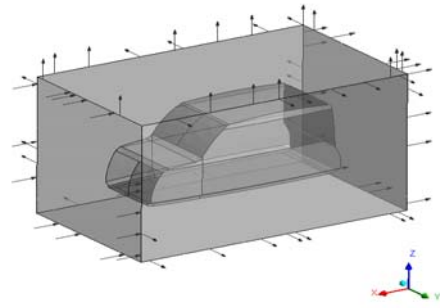
[Fig. 2] Analysis model 2

2.2 경계조건

본 연구에서는 유동해석의 전문 프로그램인 CFX를 이용하여 유한요소해석을 하였다. Fig. 3과 4는 각각 CFX에서 Model 1 및 Model 2에 가해준 경계조건에 대한 그림들이다. 또한 Model 별로 입구에서 가해준 공기 속도에 따라 Table 1에 Case 1, 2, 3 및 4로 나타내었고, 유동 온도는 25℃로 유지하였다. 이에 따라서 유동해석을 진행하였다.



[Fig. 3] Boundary condition of model 1



[Fig. 4] Boundary condition of model 2

[Table 1] Four cases with inlet velocities at model 1 and 2

	Model	Inlet velocity
Case1	Model 1	110km/h
Case2	Model 1	80km/h
Case3	Model 2	110km/h
Case4	Model 2	80km/h

2.3 항력계수

항력계수(Cp)값은 연비에 큰 영향을 미치고 그 항력계수는 식 (1)과 같이 차체주위의 유동 형상에 따라 결정된다.

항력(FD) 및 항력계수(CD)

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

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

$$C_D = \frac{2 \sum F_D}{\rho_{air} A_{x-dir} V^2} \quad (1)$$

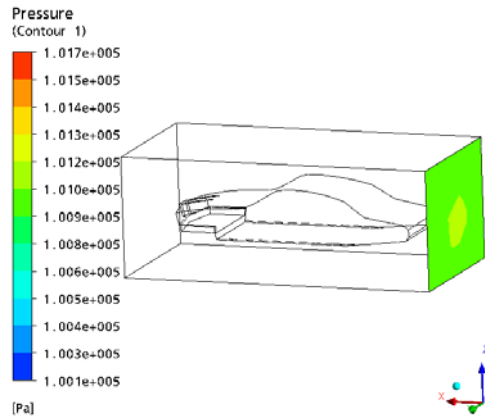
C_D : 항력계수
 F_D : 항력
 ρ : 공기의 점성계수
 A : 유선이 흩어지는 부분까지의 단면적
 V : 들어온 공기의 속도

항력은 항력계수의 영향을 받고 그 항력계수는 속도의 자승과 단면적(A)에 영향을 받는다는 걸 수식으로 확인할 수 있다. 이때 속도는 차량이 받는 공기의 속도로 차량 속도와 일정하다. 따라서 모델에 따른 같은 속도 같은 조건일 때 항력은 단면적에 비례한다. 이때 단면적(A)은 흩어지는 공기 유선의 단면적을 말한다. 즉 공기의 유선이 차 후면까지 최대한 간다면 이때 단면적은 작아지고 항력 또한 작아지게 된다. 본 연구에서는 항력의 정도는 유체의 흐름에 대한 압력으로서 해석하였다.

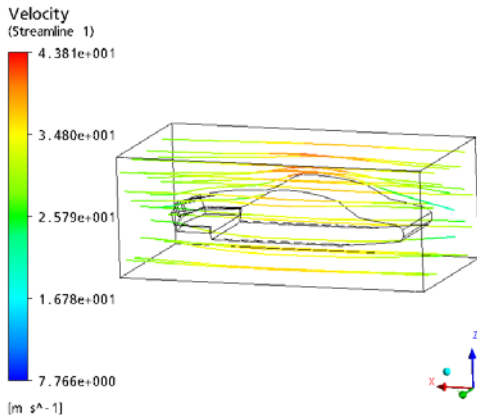
3. 해석 및 결과

3.1 Case 1의 해석결과

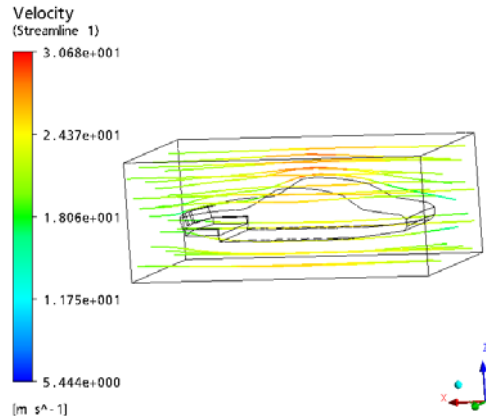
Fig. 5와 Fig. 6은 Model 1은 110km/h인 공기속도의 경우로서 자동차 뒷면의 압력분포와 공기속도흐름이다. Fig. 5에서 보면 자동차 뒷면에 최대압력은 $1.017 \times 10^5 \text{Pa}$ 로 나타났다. Fig. 6에서 보면 자동차주위에 흐르는 공기의 최대 속도가 43.81m/s로 나타났다. 또한 공기가 자동차의 위부분에서 가장 빠르게 흐르는 것을 확인하였다.



[Fig. 5] Contour of air pressure at case 1



[Fig. 6] Contour of air velocity at case 1

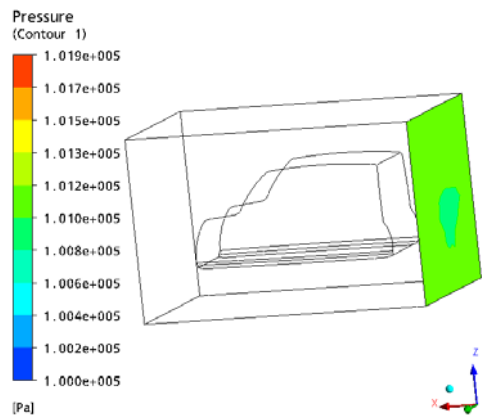


[Fig. 8] Contour of air velocity at case 2

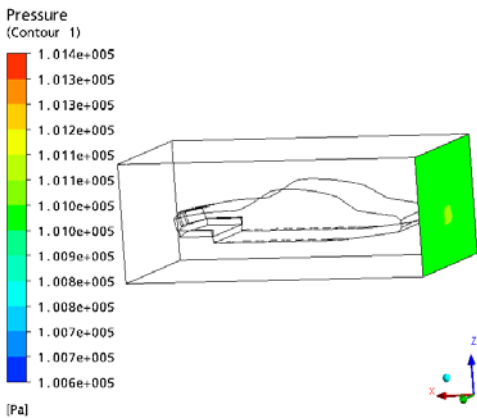
3.2 Case 2의 해석결과

Fig. 7과 Fig. 8은 Model 1은 80km/h인 공기속도의 경우로서 자동차 뒷면의 압력분포와 공기속도흐름이다. Fig. 7에서 보면 자동차 뒷면에 최대압력은 1.014×10^5 Pa로 나타났다. Fig. 8에서 보면 자동차주위에 흐르는 공기의 최대 속도가 30.68m/s로 나타났다. Case 2의 결과는 Case 1의 결과와 비교하면 Case 2의 경우에 자동차의 뒷면에 최대압력과 자동차주위에 흐르는 공기의 최대 속도가 모두 더 작게 나온 것을 확인하였다. 이게 Case 2의 경우에 입구에서 들어가는 공기속도가 Case 1의 경우보다 작기 때문이다.

3.3 Case 3의 해석결과



[Fig. 9] Contour of air pressure at case 3



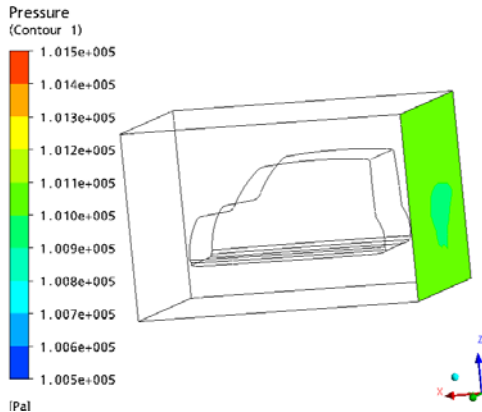
[Fig. 7] Contour of air pressure at case 2



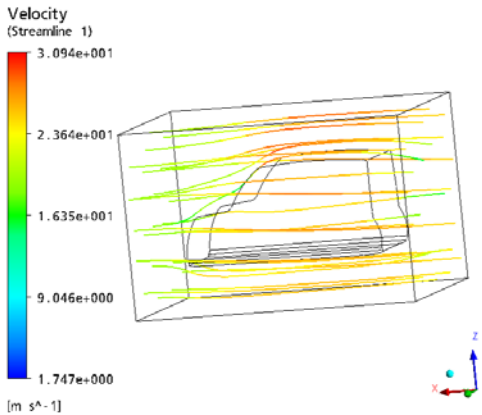
[Fig. 10] Contour of air velocity at case 3

Fig. 9와 Fig. 10은 Model 2는 110km/h인 공기속도의 경우로서 자동차 뒷면의 압력분포와 공기속도흐름이다. Fig. 9에서 보면 자동차 뒷면에 최대압력은 1.019×10^5 Pa로 나타났다. Fig. 10에서 보면 자동차주위에 흐르는 공기의 최대 속도가 44.23m/s로 나타났다.

3.4 Case 4의 해석결과



[Fig. 11] Contour of air pressure at case 4



[Fig. 12] Contour of air velocity at case 4

Fig. 11과 Fig. 12는 Model 2는 80km/h인 공기속도의 경우로서 자동차 뒷면의 압력분포와 공기속도흐름이다. Fig. 11에서 보면 자동차 뒷면에 최대압력은 1.015×10^5 Pa로 나타났다. Fig. 12에 보면 자동차주위에 흐르는 공기의 최대 속도가 30.94m/s로 나타났다.

Fig. 7의 Case 2에 보이는 단면적이 Fig. 11의 Case 4에서 보이는 단면적보다 좁은 것을 확인할 수가 있다. 두 모델 모두 공기의 속도를 80km/h로서 같은 속도를 주었

다. 그림에서와 같이 면적이 넓은 Case 4는 청록색이고 면적이 좁은 Case 2는 노란색으로 면적이 좁은 Case 2가 높은 항력을 받는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 5의 Case 1과 Fig. 9의 Case 3를 비교하여도 같은 양상을 나타냈다. 또한 Model 1로서 같은 모델이고 속도가 다른 Fig. 5의 Case 1과 Fig. 7의 Case 2의 경우를 보면, 같은 항력을 받을 수 있는 단면적이 변화하는 것을 볼 수 있다. 속도가 낮은 Case 2의 경우가 Case 1보다 그 면적이 작은 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 2가지 차체를 갖고서 유동해석을 하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. Case 1의 경우에서 차체 뒷면의 최대압력은 1.017×10^5 Pa로 다른 경우보다 제일 큰 압력을 나타내었다. 또한 Case 1의 자동차주위에 흐르는 공기의 최대 속도가 43.81m/s로 다른 경우보다 제일 큰 압력을 나타내었다.
2. Case 1과 Case 2의 차체 뒷면의 압력은 Case 3과 Case 4보다 크므로 110km/h로 주행 시 80km/h로 주행 시보다 큰 항력을 받는 것을 확인하였다.
3. 본 해석 결과를 이용하여 공기 저항을 줄일 수 있는 자동차 차체의 형상 설계를 효율적으로 할 수 있다고 사료된다.

References

- [1] J. U. Cho, K. S. Kim, D. S. Choi, S. H. Kim, S. O. Bang and C. K. Cho, "Development of plastic suspension system for automotive seat", Journal of KAIS, Vol. 12, No. 3, pp. 1091-1097, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.3.1091>
- [2] Lee, Chun-Kyu, Kim, Young-Choon, "A Study on the progressive die design and making of gas boiler exhaust pipe", Journal of KAIS, Vol. 14, No. 9, pp. 4111-4116, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.9.4111>
- [3] Song, O. S., and Kim, K. T., 2009, "A Study on the Aileron Reversal Characteristics of CAS Composite Aircraft Wings," The Korean Society For Aeronautical and Space

Sciences, Vol. 37, No. 12, pp. 1192~1200.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2009.37.12.1192>

- [4] Baek, S.H., Kim. W. S., Jang, C. J., and Lee.J. J., "Mixed-Mode Fatigue Characteristics of Composite/Metal Interfaces," Journal of the Korean Society for Composite Materials, Vol. 23, No. 4, 2010, pp.21-27.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7234/kscm.2010.23.4.021>
- [5] H. Y. Kim, J. M. Kim, J. G. Choi, K. T. Lee and D. J. Lee, "Structural Analysis for the Development of Round Recliner", Journal of the Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 2, pp. 1361-1366, 2003.
- [6] Choi. Ji-Hyun, Kim. Jin-Ho, "Research for Effective Vibrational Rapping Performance of Multiple Electrostatic Precipitators in Series and Parallel Arrangements", Journal of KAIS, Vol. 14, No. 9, pp. 4136-4141, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.9.4136>
- [7] Kim. Won Beom, "Evaluation of Fatigue Strength Share Effect of the Rust Due to Corrosion at Ship Structural Plate", Journal of KAIS, Vol. 14, No. 5, pp. 2063-2068, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.5.2063>
- [8] Kang. Gil-Hyun, Kim. Chul-Su, "Damping Characterization of the Double-skin Aluminum Extruded Panels for Rolling Stock Carbody", Journal of KAIS, vol. 14, No. 7, pp. 3197-3202, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.7.3197>
- [9] Yi, B. J., Yoo, S. W. and Jin, Y. K., 2006, " Qualitative and Quantitative Risk Assessment of Aircraft System," Korea Aerospace Research Institute, Aerospace Engineering and Technology, Vol. 5, No.1, pp. 223~232.

조 재 응(Jae-Ung Cho)

[종신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

이 현 창(Hyun-Chang Lee)

[종신회원]



- 1981년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 5월 : University of Maryland, 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 5월 : Old Dominion University, 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 자동차공학과 교수

<관심분야>

시스템 ID, 구조해석, 유한요소법, ELV 재활용, 기계 및 자동차 설계 및 해석