

에디슨을 활용한 자동차 리어 디퓨저의 각도에 따른 공력특성 연구

신 동 해¹

¹충남대학교 항공우주공학과

본 연구에서는 국내에서 개발 중인 범용 수치해석 모델 에디슨을 활용하여 자동차 후미에 장착되는 리어 디퓨저에 대한 특성을 파악하기 위하여 수행되었다. 변수로는 자동차의 속도와 리어 디퓨저의 각도이며 자동차의 속도 및 리어 디퓨저의 각도 변화에 따른 자동차의 공력특성을 파악하고 이를 통해 리어 디퓨저 형상 설계 인자에 대한 자료를 확보하고자하였다. 그 결과 일정 각도 범위 내에서 최적의 자동차 공력특성이 보임을 확인하였다.

Key word : 에디슨(Edision), 전산유체역학(CFD), 리어 디퓨저(Rear diffuser)

1. 서 론

오늘 날의 자동차는 예전의 자동차에 비해 그 성능이 월등히 좋아졌다. 엔진의 마력 및 토크 등 구조적 강성 및 무게 등과 타이어의 구름저항 감소 등 자동차의 모든 구조에 있어 엄청난 발전이 이루어졌다. 또한, 휘발유 및 경유를 내연 기관 이외에도 전기를 활용하는 전기차, 수소를 활용하는 수소전기차 등 여러 가지의 형태의 자동차가 개발되어지고 있다. 하지만 현재의 자동차 대부분 휘발유와 경유를 사용하는 내연기관을 활용한다. 이에 따라 현재 내연기관에 대한 문제가 심각하게 나타나고 있다. 대표적으로 온실가스 배출이며 이는 세계적 문제로 많은 국가에 걸쳐 화두가 되고 있으며 이에 온실가스 배출 규제까지 이루어지고 있다.

이러한 규제 속에 자동차 제조업체들은 다양한 방식을 통하여 해결하려고 하고 있다. 그 중 한 방향이 바로 자동차의 연비를 향상 시키는 것으로 연료의 특성 변화 내연 기관의 연소 효율 향상 등 다방면에서 이루어져 있지만 이 중 급변 연구에서는 바로 자동차의 공력특성에 대해서 살펴보고자 한다.

자동차의 공력특성에 있어 주요 요소는 바로 공기에 대한 공기저항이다. 이러한 공기저항 감소를 위하여 자동차 외곽 설계에 있어 많은 고려 사항이 존재한다. 전체적인 외형, 공기 흐름과 일치하도록 설계하는 유선형 구조와 흡기부의 형상 등 다양한 자동차 외형 구조물에 대한 공력 특성을 파악하여 공기저항을 최소화 감소시키기 위해서 노력하고 있다. 그 중 급변 연구에서 살펴볼 요소는 바로 자동차 바닥 뒤쪽에 장착되어지는 디퓨저에 관한 것으로 자동차의 공력특성에 있어 변수 중에 하나이다.

리어 디퓨저의 역할은 차량 바닥으로부터 빠르게 빠져나오는 유동을 유도함으로써 차량 뒤쪽으로 빠지는 다른 유동과의 혼합에 있어 원활하게 하여 자동차 후미 큰 와류가 발생

하는 것을 막아 주는 역할과 동시에 자동차 후미에 상대 압력이 낮은 구역이 발생하는 것을 억제하는 역할을 수행하게 된다.

이러한 연구에 있어 많은 연구가 진행되었으며 대표적으로 Hu[1] 등은 sedan type의 자동차의 디퓨저 최적 각도에 대하여 연구를 진행하였으며, Humnic[2] 등은 후면 상부에 일정한 각을 가지고 있을 때 Ahmed body를 이용하여 일정한 속도에서의 디퓨저 각도에 있어 최소의 항력계수를 가지는 최적의 각도에 대하여 연구를 수행하였다.

이러한 연구에 근거하여 본 연구에서는 국내에서 개발 중인 범용 수치해석 모델 에디슨을 활용하여 디퓨저의 각도에 따른 자동차의 공력특성에 대해서 살펴보고 이를 통해 디퓨저 형상 설계 인자에 대한 자료를 확보하고자 한다.

2. 수 치 해 석

2.1 해석에 활용된 기본 현상

자동차 형상 선정에 있어 최대한 단순화 시켰으며 최대한 일반 세단형상에 가깝게 형상을 구현하였다. 자동차 벽면의 기울기 및 위치에 대한 기본적인 정보는 일반 승용차의 형상을 따랐다. 자세한 형상은 Fig. 1과 같이 나타내었다.

2.2 격자 구성 및 경계 조건

격자 구성에 있어 활용된 프로그램은 eMEGA V4.0을 활용하였으며 여러 격자를 구성하여 에디슨의 해석 툴을 사용하여 적정 격자의 수, 격자의 구성, 격자의 형상 및 수렴성을 확인하여 최종적으로 Fig. 1와 같이 구성하였다. 격자는 약 10만개 이하로 설정하였으며 해석의 정확도를 높이기 위하여 자동차 벽면으로 Grid를 모아 주어 벽면의 격자를 조밀하게 구성($y^+ \leq 5$)하고 인접한 격자에 대한 크기를 비슷하게 구성하였다. 경계 조건으로는 자동차 외부의 유동 흐름을 나타

내기 위하여 Far Field로 주었으며 자동차 벽면은 Viscous Adiabatic Wall 지정하였다. Grid Block 간에는 Block Communication으로 설정하여 각 block 계산 결과를 활용하게 하였다.

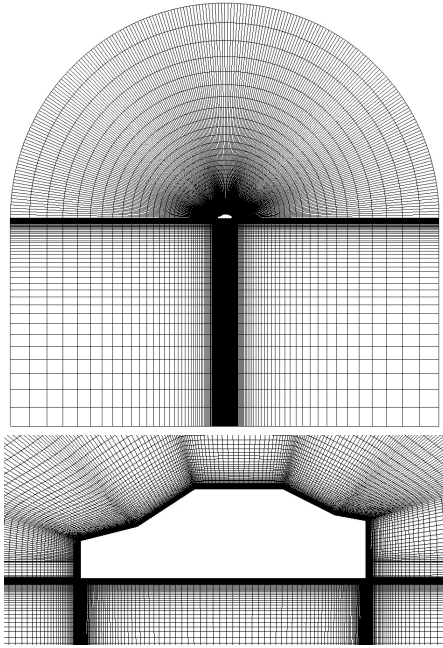


Fig. 1 Final Mesh Grid

2.3 난류 해석 모델 선정

난류 해석 모델 선정에 있어 난류 해석모델 결정에 있어 $k-\omega$ 모델은 격자의 wall 근처에서의 감쇠 수식 및 wall로부터의 거리 없이 적용하고 유동 흐름의 난류와 wall의 표면의 거칠기 및 유량의 유입을 잘 나타낼 수 있는 모델이다. 그러나 $k-\epsilon$ 모델과 달리 유동 흐름 특성에 민감하여 $k-\omega$ 모델을 적용하는 데 주의가 필요하다. 따라서 $k-\omega$ 모델과 $k-\epsilon$ 모델의 이점만을 채택한 $k-\omega$ SST 모델로 선정하였다.[3]. 이와 같은 모델을 기반으로 설계된 해석 코드인 에디슨에서 제공하는 앱 중 서울대학교가 제공하는 정렬격자 기반 2차원 압축성 유동 범용 해석코드를 활용하여 해석을 수행하였다.

2.4 해석 진행을 위한 입력 조건

에디슨의 경우 해석을 진행하기 위해서는 격자와 입력 조건을 설정하여야 한다. 그 중 본 연구에서 활용될 입력 조건은 다음 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Input Parameter

Variable Name	Value
비점성/층류/난류	Turbulent Flow
마하수	0.08, 0.09, 0.11
레이놀즈수	2520000, 2986666, 3453333
반음각	0
정상/비정상 유동	Steady Flow
최대반복계산	150000 ~
허용오차	0.000001
CPU 갯수	Grid block 수에 맞게 설정.

2.4 수치해석 수렴성 판단

수치해석에 있어 수렴성 판단은 상당히 중요하다 이에 본 연구에서는 에디슨을 활용하여 계산된 해석 결과에 대해서 에디슨에서 제공하는 eDAVA 4.0을 활용하여 해석 결과의 양력계수(C_L)과 항력계수(C_D)의 계산결과가 진동하지 않고 일정하게 유지되는 것을 확인하여 각 경우에 대하여 계산 결과에 대한 수렴성을 판단하였다. 대표적으로 Fig. 2와 같이 C_D 값이 진동하지 않고 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

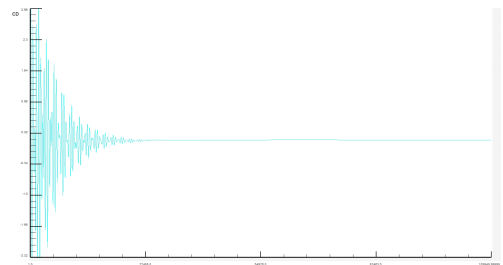


Fig. 2 Convergence about drag coefficient

2.5 해석 수행 Case

Table 2는 에디슨을 활용하여 해석 수행 Case로 디퓨저의 각도 변화를 변수로 선정하였다.

Table 2. Angle and Velocity in each case

Case	Angle	Velocity
Case 1	0 °	27 m/s
		32 m/s
		37 m/s
Case 2	6.3 °	27 m/s
		32 m/s
		37 m/s
Case 3	12.5 °	27 m/s
		32 m/s
		37 m/s
Case 4	18.4 °	27 m/s
		32 m/s
		37 m/s

2.6 수치 해석 결과

각 Case에 대한 비교를 위하여 양력 계수와 항력 계수를 사용하였으며 그 결과는 Table 3과 Table 4에 나타내었다. 또한, 해석 결과에 대한 양력 계수와 항력 계수에 대하여 Fig. 3와 Fig. 4 같이 그래프로 나타내었다.

Table 3. Lift coefficient in each case

	Case1	Case2	Case3	Case4
	0 °	6.3 °	12.5 °	18.4 °
27 m/s	-0.3115	-0.2877	-0.3153	-0.2802
32 m/s	-0.3125	-0.2765	-0.3080	-0.2700
37 m/s	-0.2710	-0.2750	-0.3040	-0.2740

Table 4. Drag coefficient in each case

	Case1	Case2	Case3	Case4
	0 °	6.3 °	12.5 °	18.4 °
27 m/s	0.1757	0.1714	0.1781	0.1777
32 m/s	0.1710	0.1680	0.1720	0.1725
37 m/s	0.1700	0.1620	0.1680	0.1682

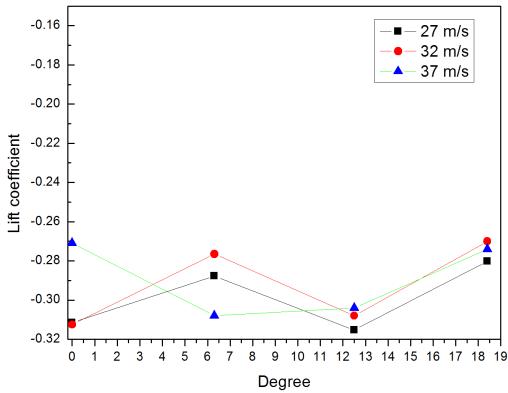


Fig. 3 Lift coefficient for each angle and velocity



(a) 0°



(b) 6.3°



(c) 12.5°

Fig. 5 Pressure contour around rear car

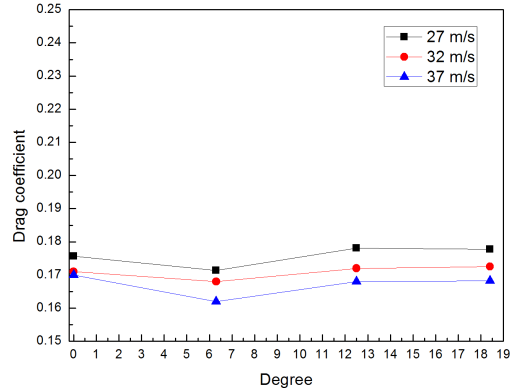


Fig. 4 Drag coefficient for each angle and velocity

해석 결과로 비추어 볼 때 리어 디퓨저의 각도에 따라 자동차의 양력 및 항력에 변화가 나타남을 확인하였다. 그 중 각도 12.5도에서 가장 작은 양력계수를 보였으며 이는 가장 큰 다운 포스가 작용하는 것을 알 수 있다. 또한 각도 6.3에서 가장 작은 항력계수를 보였으며 이는 자동차에 가해지는 항력이 가장 작은 것을 알 수 있다.

Figure. 5는 유속이 32 m/s일 때 자동차 후미에서의 압력 분포를 나타낸다. 이를 통하여 확인해보 면 각도가 0도에서 6.3도로 증가하면서 자동차 후미의 압력이 약간 상승한 것을 확인 할 수 있다. 그 후 각도가 6.3도에서 12.5도로 증가하면서 다시 압력이 0도와 비슷한 수준으로 회복된 것을 확인할 수 있다.

Figure. 6를 통해 자동차 후미의 유선을 보면 각도가 0도 일 때 자동차의 상단과 하단에 재순환 영역이 나타나는 것을 확인하였다. 이후 각도가 6.3도로 증가 시 재순환 영역이 자동차 하부의 재순환 영역과 자동차 후미의 재순환 영역이 서로 만나고 전체적으로 재순환 영역이 뒤로 밀리는 것을 확인할 수 있다. 다시 각도가 12.5도로 증가 시 재순환 영역이 각도 0도와 비슷하게 나타남을 확인하였다.

위와 같은 결과로 미루어 볼 때 리어 디퓨저의 각도가 증가할수록 일정 각도 내에서는 차량의 공력 특성이 좋아졌다

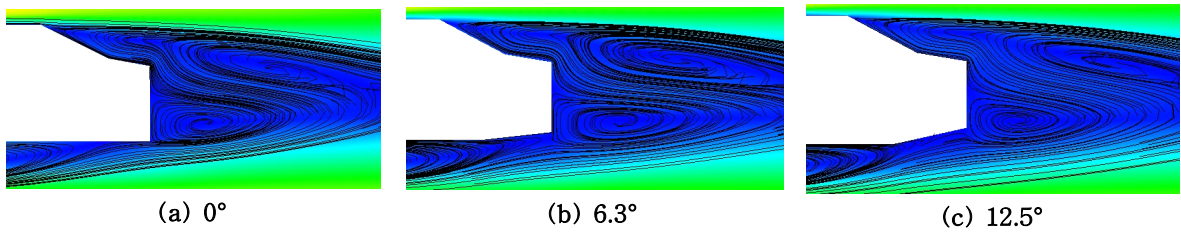


Fig. 6 Streamline around rear car of 32 m/s

가 다시 일정 각도 이상 증가하면 차량의 공력 특성이 나빠지는 것을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 국내에서 개발 중인 범용 수치해석 모델에 디스너를 활용하여 디퓨저의 각도에 따른 자동차의 공력특성에 대해서 살펴보았다. 그 결과는 다음과 같이 정리하였다.

- (1) 리어 디퓨저의 각도에 따라 특정 영역의 각도에서 자동차의 공력특성이 좋음을 확인하였으며 본 연구에서는 6.3도에서 12.5에서 가장 좋은 공력특성을 보였다.
- (2) 자동차 속도가 증가함에 따라 차량에 항력은 줄어들음을 확인하였다. 하지만 다운포스는 감소함을 확인하였다.

후 기

본 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2016M3C1A6937383)

참고문헌

- [1] 2011, X. Hu, R. Zhang, J. Ye, X. Yan, and Z. Zhao, "Influence of different diffuser angle on Sedan's aerodynamic characteristics", *Physics Procedia*, Vol. 22, pp. 239 - 245.
- [2] 2010, A. Humnic, and G. Humnic, "Computational Study of Flow in the Underbody Diffuser for a Simplified Car Model," *SAE Technical Paper* 2010-01-0119.
- [3] 1994, F. R. Menter, "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications," *AIAA Journal*, Vol.32(8), pp.1598-1605.