

Ahmed body의 Slant angle 변화에 따른 항력계수 분석

강권용^{1*}, 류신규¹

한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부¹

초록

본 연구에서는 EDISON_CFD를 활용하여 승용차 모델을 단순화한 Ahmed Body의 후미 경사각 Slant angle 0°, 15°, 30°, 45°의 항력계수변화를 확인하였다. 결과 분석을 통해 Ahmed Body 후면의 후류와 항력계수의 변화 경향성이 같다는 것을 확인하였다. 항력계수는 자동차의 연비 및 최고속도 등 동력성능에 큰 영향을 미치므로 최저 항력계수를 찾아보았다. 각각의 경우에 EDISON_simulation 결과 값을 비교해보면 15°~30° 사이에서 최저 항력계수를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 정확한 값을 찾기 위해 Polynomial Curve Fitting을 사용하여 Slant angle이 22.91°일 때 최저항력계수 0.1375를 갖는 것을 확인하였다.

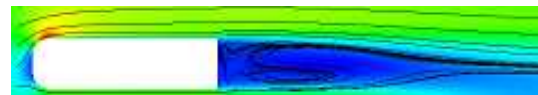
Key Words : Ahmed Body(아메드 차체), Slant angle(경사각), Drag Coefficient(항력계수), CFD(전산열유체역학)

1. 서론

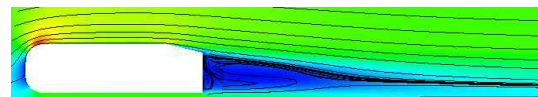
인류가 자동차를 발명한 이래 항력과 자동차는 서로 불가분의 관계로 자리매김해 왔다. 자동차에 미치는 항력은 자동차의 연비 및 최고속도 등 동력성능에 영향을 끼친다. 그러므로 자동차가 더 좋은 연비를 갖기 위해 그리고 더 빠른 속도를 갖게 하기 위해 항력에 대한 연구가 수행되어져 왔다. 연구는 차체를 낮추거나 유선형의 디자인을 만든다거나 항력을 최대한 적게 받는 방향으로 나아갔다.

본 연구에서 단순화된 자동차 모델인 Ahmed Body[그림1]를 이용하여 항력에 대한 연구를 EDISON_CFD를 이용하여 수행하였다. Ahmed Body의 Slant angle을 변화시키면 차체 후면의 후류의 발생 크기가 달라진다. 후류의 크기는 항력과 밀접한 관계가 있으므로 이를 중점으로 연구를 수행하였다.

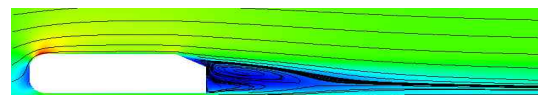
Simulation 조건은 자동차가 시속 110km로 달릴 때로 가정하였다. 위 그림은 Slant angle 0°, 15°, 30°, 45°일 때 자동차 후면의 후류의 변화를 보여준다. 유선을 육안으로 확인했을 때 0°와 15°를 비교하면 후류의 크기가 줄어드는 것을 볼 수 있고 15°와 30°를 비교하면 후류 크기의 변화가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 그러나 30°와 45°를 비교해보면 다시 후류의 크기가 커지는 것을 유선을 통해 확인할 수 있다.



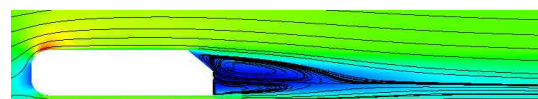
Slant angle 0°



Slant angle 15°



Slant angle 30°



Slant angle 45°

그림 2 Ahmed body의 slant angle 변화에 따른 후류 변화

2. 본론

2.1 Ahmed Body의 Slant angle 변화에 따른 후면의 후류 변화, 항력계수 변화

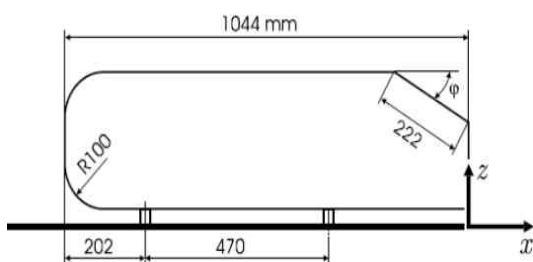


그림 1 Ahmed Body

표 1 Slant angle 변화에 따른 항력계수값

Slant Angle	항력 계수
0°	0.181348344188937
15°	0.141989937453251
30°	0.140531346273370
45°	0.161973430557593

[표 1]은 Slant angle 변화에 따른 항력계수의 값이다. 0°와 15°를 비교해보면 항력계수 값이 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있고 15°와 30°를 비교해보면 근소하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 30°와 45°를 비교해보면 값이 다시 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 위 분석으로 Slant angle 변화에 따른 후류의 변화와 항력계수 변화의 경향성이 일치하는 것을 확인할 수 있다.

2.2 Ahmed body의 Slant angle 변화에 따른 유동 박리

Slant angle 변화에 따라 후류 변화의 원인을 찾기 위해 Eidson_CFD의 기능을 활용하여 Ahmed Body 주위에 형성되는 속도 Vector 성분을 화살표 모양으로 표시하였다.

그 결과 경사면 근처에서 경계층이 형성됨을 확인할 수 있고, 유동박리 지점을 찾을 수 있다. 또한 0°, 15°에서는 유동박리가 후면 뒤 모서리에서 발생하지만, 30°, 45°의 경우 후면 앞 모서리(빗변)에서 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 Slant angle이 증가함에 따라 경사면에 형성되는 역 압력구배가 증가하여, 경사면을 따라 흐르던 유체가 후면의 뒤 모서리를 지나기 전에 운동량이 0이 되어 표면에서 떨어지기 때문이다.

위 결과로 알 수 있는 것은 Ahmed Body 주위의 유선을 보면 15° 이하에서는 유동박리가 후면 뒤 모서리에서 발생하고 Slant angle의 증가에 따라 후류의 크기가 감소함을 볼 수 있다. 하지만 경사면에서 유동박리가 발생하는 30° 이상에서는 Slant Angle이 증가함에 따라 유동박리 발생 기점의 전진으로 인해 후류의 크기가 증가함을 확인할 수 있다. 즉 후면의 뒤 모서리에서 유동박리가 발생하는 15° 이하에서는 Slant angle의 증가에 따라 후류의 형성크기가 감소하지만, 30° 이상에서는 경사면에서 유동박리가 형성되어 Slant angle의 증가에 따라 후류의 크기가 증가한다.

2.3 Slant angle 변수에 따른 항력계수 변화난측

Slant angle 변화에 따라 항력계수변화 요인을 분석해보면, 항력은 마찰항력과 압력항력의 합이므로, 항력계수의 변화 요인을 두 가지 항력의 관점에서 접근 할 수 있다. 먼저 마찰항력은 물체 표면의 마찰에 의한 항력이므로 물체가 유체와 접촉하는 표면적에 비례한다. [표 2]를 보면 Ahmed Body의 폭이 1m라고 가정할 때 Slant angle의 변화에 따른 상부의 표면적을 보면 Slant

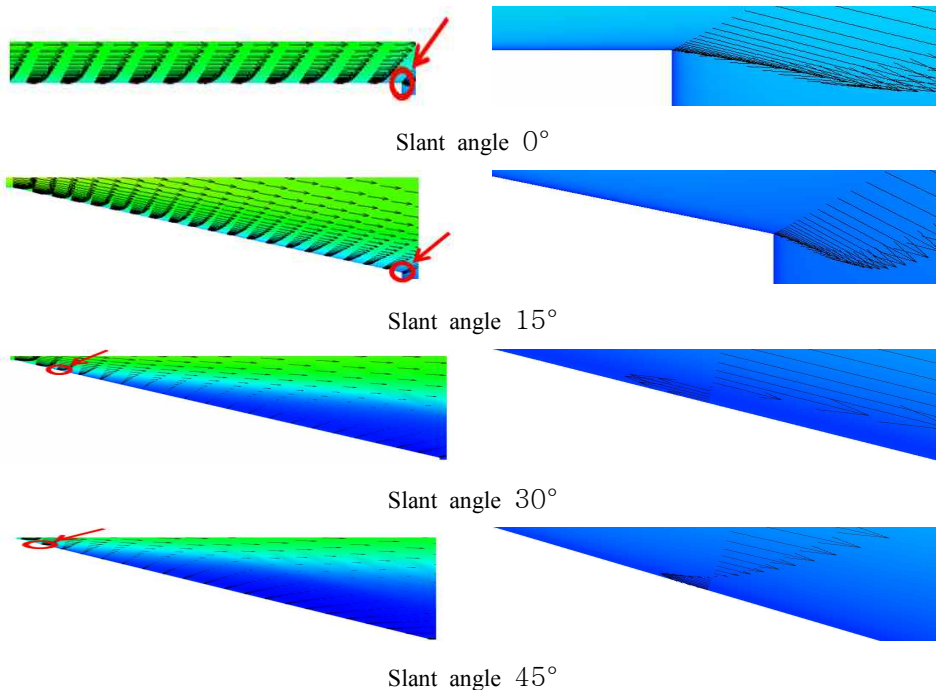


그림 3 Ahmed body의 slant angle 변화에 따른 유동 박리

표 2 Slant angle 변화에 따른 접촉 면적 변화

Slant Angle	접촉 면적 (차폭은 1m로 가정)
0 °	1 m ²
15 °	1.00681 m ²
30 °	1.02679 m ²
45 °	1.05858 m ²

angle이 증가함에 따라 접촉 면적이 증가함을 볼 수 있다. 하지만 Ahmed Body 주위의 유선을 보면 Slant angle이 30° 이상일 때는 유동박리로 인해 실질적인 접촉면적은 감소하므로 오히려 마찰항력은 감소하게 된다. 그렇기 때문에 마찰항력은 항력의 증가요인으로 볼 수 없다.

다음으로 압력항력은 물체 후면과 전면의 압력차로 인한 항력이며, 물체 후면의 후류 크기가 클수록 압력차가 커지기 때문에 압력항력은 후류에 비례하여 커지게 된다. Ahmed Body 주위의 유선을 보면 15° 이하에서는 후면 경사각의 뒤 모서리에서 박리가 발생하기 때문에 후류의 크기가 Slant angle 증가에 따라 압력항력이 감소하게 된다. 하지만 30° 이상에서는 역 압력구배로 인해 경사면에서 유동박리가 발생하여 Slant angle의 증가에 따라 후류의 크기가 함께 증가해 압력항력이 감소하게 된다.

즉, 항력계수변화의 주요인은 Ahmed Body 후면의 후류의 크기에 따른 압력항력의 변화이다.

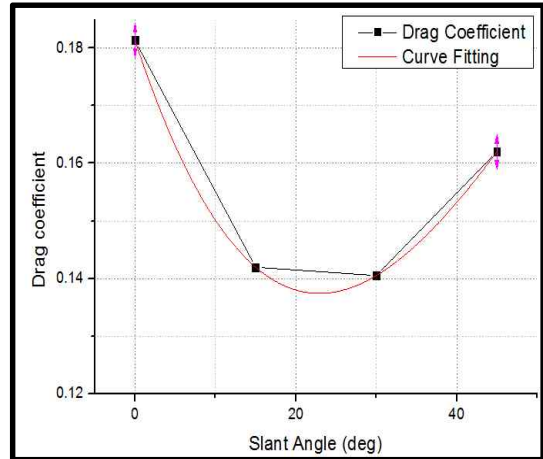


그림 4 Polynomial Curve Fitting

2.4 최적의 Slant angle

최적의 Slant angle을 구하기 위해서는 항력을 가장 적게 받는 Slant angle을 찾아야 한다. 위 결과로 생각해보면 최저 항력계수를 갖는 구간은 15°~30°이라는 것을 알 수 있다. 이를 바탕으로 Polynomial Curve Fitting을 이용하여 최저 항력이 발생하는 Slant angle을 예상해보았다.

$$C_D = -7.40698E-7\phi^3 + 1.17553E-5\phi^2 - 0.00422\phi^1 + 0.18135$$

위 식은 Slant angle에 따른 항력계수의 변화에 따른 Polynomial Curve Fitting 통해 얻은 3차 다항식이다. 위 Curve Fitting 다항식을 바탕으로 최저항력이 발생하는 Slant angle을 예상해 보면 Slant angle이 22.91일 때 최저 항력계수가 0.1374629277이 된다.

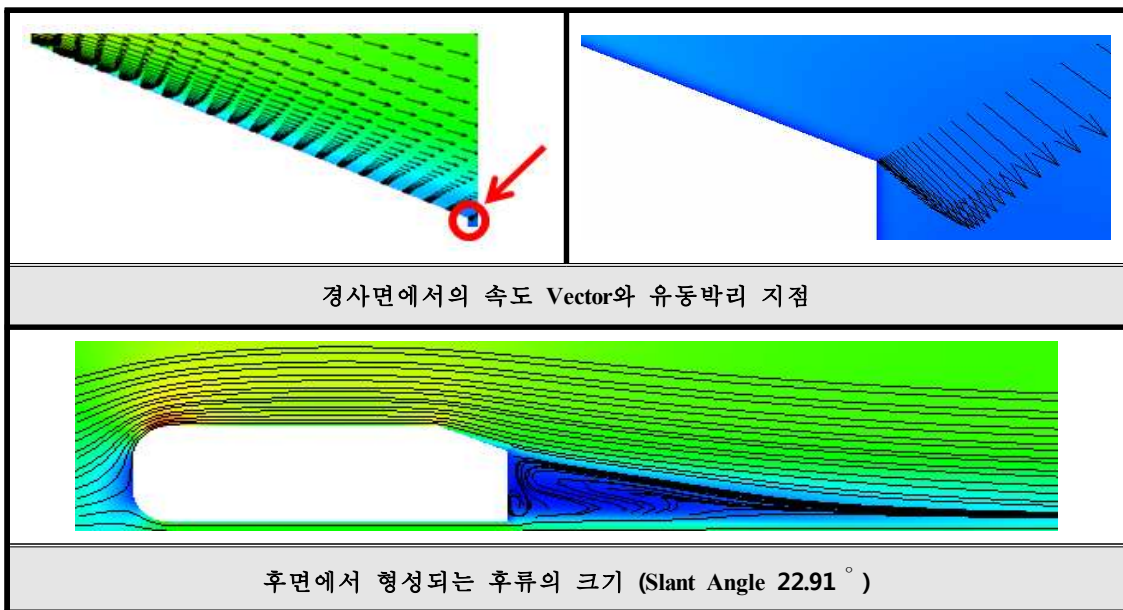


그림 5 Slant angle 22.91일 때 Edison_simulation

앞서 구한 최저 항력계수가 발생하는 Slant angle 22.91°의 신뢰성을 알아보기 위해 이 각도에서 추가적으로 Simulation을 수행하였다. 그 결과 항력계수는 0.13108142497188로 추정치와 오차율이 4.8966%로 Curve Fitting을 통한 항력계수의 경향성 예상은 신뢰할 만한 수준임을 알 수 있다. 또한 최적 Slant angle에서는 경사면에서 유동박리가 발생하지 않고 후면 뒤 모서리에서 유동박리가 발생하는 모습을 확인할 수 있으며, 이로 인해 후류의 크기가 작게 형성되어 낮은 항력이 발생하게 된다.

3. 결론

자동차에 대한 공력 성능 해석 시 가장 중요한 파라미터는 항력계수로, 자동차의 연비 및 최고속도 등의 동력성과 밀접하게 연관된다. 그래서 본 연구에서는 EDISON_CFD를 활용하여 Ahmed Body 후면의 Slant angle을 변화에 따른 항력계수변화를 분석하였다.

경사면에서는 경계층이 형성되며, Slant angle이 15° 이하일 때는 후면의 뒤 모서리에서 유동박리가 발생하지만, Slant angle이 30° 이상일 때는 높은 역 압력구배로 인하여 경사면에서 유동박리가 발생한다. 그리고 후면의 뒤 모서리에서 유동박리가 발생하는 15° 이하에서는 Slant angle의 증가에 따라 후류의 형성크기가 감소하지만, 30° 이상에서는 경사면에서 유동박리가 형성되기 때문에 Slant angle의 증가에 따라 후류의 크기가 증가한다. 이 결과를 통해 후류의 크기 변화는 항력계수 변화와 경향성이 같다는 것을 확인하였다.

항력계수는 30°에서 최저점을 이루고 이후 Slant angle과 함께 증가하는 모습을 볼 수 있는데, 이는 Slant angle에 따른 후면의 후류의 크기 변화에 의한 압력 항력의 변화 때문이다. 또한, Polynomial Curve Fitting을 이용하여 최저 항력 계수가 발생하는 최적 Slant angle을 추정해보면 22.91°일 때, 최저 항력 계수 0.1375가 발생한다. 최적 Slant angle에 대해 Edison_Simulation을 수행한 결과 유동박리가 후면 뒤 모서리에서 발생하여 작은 후류를 형성하였으며 항력계수는 0.13108로 추정치와 4.8966%의 오차율을 보였다.

후 기

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2011-0020557).

참고문헌

[1] 조원국, 허남건, 1993, “Ahmed Body 주위의 유동장 해석에 관한 연구”, 93년 춘추학술대회 논문집, 대

한기계학회, pp.47-50.

[2] 김욱, 허남건, 1997, “CFD를 이용한 Ahmed Body 후미의 저저항 최적 설계”, 97년 한국전산유체공학회 학술대회논문집, 한국전산유체공학회, pp.181-187.

[3] 이욱, 사공웅, 최해천, 2007, “수동제어 장치를 이용한 3차원 모형의 항력 감소”, 07년 대한기계학회 춘추 학술대회 논문집, 대한 기계학회, pp.2407-2411