

EDISON_CFD를 이용한 경사진 평판에서의 경계층 계산

Computation of Boundary Layer over Declined Flat Plates Using EDISON_CFD

손미소^{1*}, 박수형¹

건국대학교 항공우주정보시스템공학과¹

초 록

경계층이란 유체와 물체 표면의 마찰로 인해 생성되는 층을 말한다. 경계층은 두께에 따라 층류 경계층, 천이 경계층, 난류 경계층으로 나누어진다. 레이놀즈 수 크기에 따라 경계층은 몇 가지의 층으로 구분되어진다. 이 계산에서는 경사진 평판 위에서 유동의 현상들이 어떻게 일어나는지 확인하였다. 또한, 경사가 없는 평판위에서 velocity profile과 Blasius solution을 비교하였고, 평판의 뒤쪽에 격자의 간격이 넓음으로 큰 오차가 발생하게 됨을 알 수 있었다.

Key Words : 경계층(Boundary Layer), 평판(Flat plate), 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics), 층류 유동(Laminar flow)

1. 서론

1.1 연구배경

양력과 항력은 항공기에 가장 중요한 작용을 하는 힘이며 이 두 힘은 서로 상관되어 있다. 양력을 크게 하고 항력을 작게 하는 것이 항공연구자에게는 목표이다. 그렇기 때문에 물체에 작용하는 항력이나 벽의 전단응력을 구하기 위해서는 경계층내부의 유동에 대한 완전한 해석이 요구된다. 실제 항공기 날개의 경계층을 알아보기 위해서는 에어포일의 표면에서의 경계층 계산이 필요하지만 이 연구에서는 에어포일이 아닌, 가장 기초적인 평판에서의 경계층을 보며 경계층의 개념을 확실히 파악해 보고자 한다. 더 나아가 경사가 있는 평판에서 일어나는 현상들을 분석하고자 한다.

1.2 연구목표

본 연구에서는 EDISON_CFD를 이용하여 각이 다른 평판에서의 경계층 문제를 계산한 후 Blasius solution에 대해 알아보고, 각이 0도 일 때 평판에서 경계층은 Blasius solution과 비교하여 정확도를 확인한다. 또한, 각 30도, -30도 일 때 평판에서 경계층은 공기역학적으로 어떤 현상이 나타나는지 확인해보는데 목표를 두고 있다.

2. 본론

2.1 배경이론

흐르고 있는 유체의 속도는 어떤 물체의 표면에 가까이 접근할수록 느려진다. 이러한 이유로 물이나 공기와 같은 점도가 낮은 유체가 물체의 주위에 흐를 때, 레이놀즈 수가 비교적 높은 경우에는 평판위에 층류 경계층과 난류경계층으로 구분 된다. 이 연구에서는 레이놀즈수가 작은 조건에서 계산했기 때

문에 층류경계층에 대한 것만 언급하겠다. 층류 경계층은 물체 표면에 가까운 얇은 층으로 점성의 영향이 눈에 띄게 나타나는 층이다. 레이놀즈수가 작아지면 점성의 영향도 커져서 마찰과 경계층의 두께가 커지게 된다. 계산한 경계층의 velocity profile과 비교할 exact solution은 Blasius solution이다. 이것은 비압축성, 점성, 평판의 층류영역 모든 위치에서 무차원 길이에 대한 velocity profile이 같다.

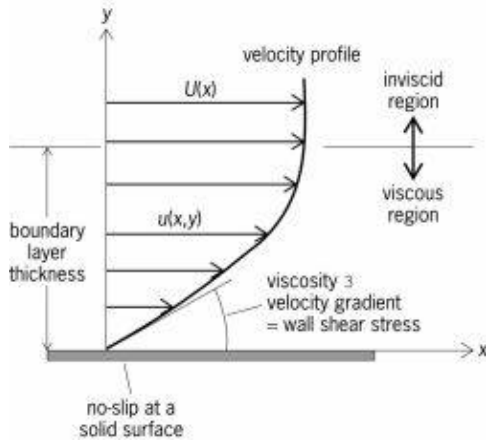


그림 1. 평판에 대한 속도 분포

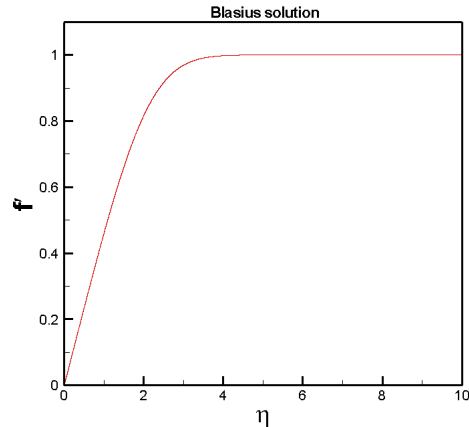


그림 2. Blasius 속도분포

η 는 레이놀즈 수에 따라 값이 달라지며 레이놀즈 수는 $Re = \rho V_{\infty} L / \mu$ 이므로 점성계수에 따라 변한다. 이것을 통해 점성 마찰이 작을수록 η 가 커짐을 알 수 있다. $f'(\eta) = u / V_{\infty}$ 는 속도를 무차원화 한 값으로서 유동의 속도를 나타내고 있다. 위 velocity profile을 통해 평판에서의 경계층 계산 수렴 여부를 알 수 있다. Blasius solution인 $f''' + ff'' = 0$ 은 경계조건을 만족하는 방정식의 해를 구하는 문제로 귀착한다. Blasius Solution은 다음과 같이 구한다. 2차원 정상, 비압축성, $\mu = \text{constant}$, x방향의 압력 변화가 없다는 가정한 평면유동에 대해서 운동량방정식과 연속방정식으로 경계층 방정식을 나타낸다. 편미분방정식인 경계층 방정식을 상미분방정식으로 변환한다. 변환된 상미분방정식은 여전히 비선형 방정식이므로 Runge-Kutta 수치적분을 이용하여 Blasius solution을 구할 수 있다.

2.2 EDISON_CFD Setting

Table 1. CFD 계산조건

CFD 실험 조건			
Flat plate	-30°	0°	30°
격자수	258×180	189×100	258×180
End Cell Space	inviscid part: 0.05 viscous part: 0.000001 or 0.001(기울기 있는 평판)		
Stretching Types	tanh, sinh, 사용., 기울기 있는 평판에서 Both도 함께 사용		
경계조건	i min: Free stream flow i max: Subsonic outlet j min: mixed boundary j max: inflow or outflow BC		
Solver	2D_incomp 2.0		
유동조건	Mach Number	비압축성이기 때문에 마하수를 입력하지 않음.	
	Reynolds Number	1.0×10 ⁴	
	AOA	0°	
	Flow Type	0 : Laminar Flow (점성층류 유동)	

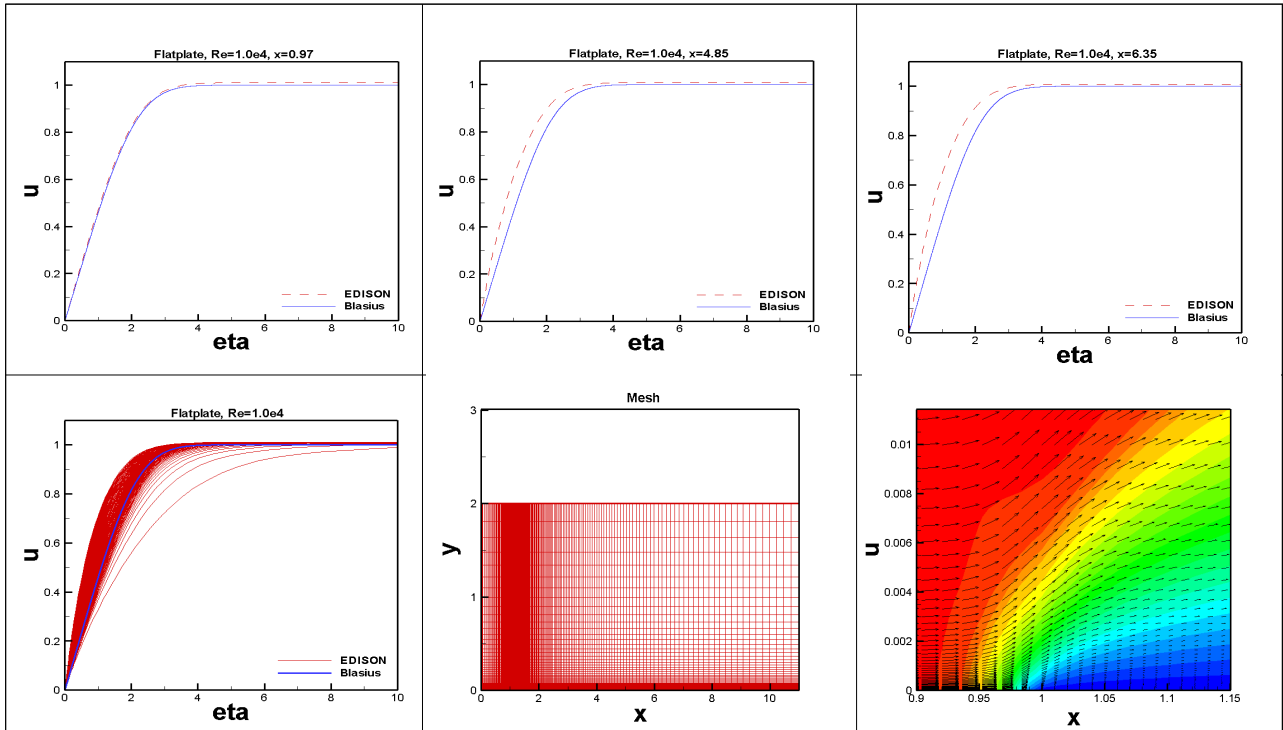


Fig 3. 각 0도일 때의 평판에서의 경계층과 Blasius Solution 비교

2.3 EDISON_CFD 이용하여 나타낸 각 0도일 때의 평판에서 경계층 결과

평판의 길이는 10이다. 평판 $x=0\sim 1$ 까지 비점성영역, $x=1\sim 10$ 까지 점성영역이다. 평판 입구의 위치에 Blasius solution과 비교해봤을 때 평판의 앞부분에서는 Blasius solution에 거의 일치한다. 하지만 평판의 뒤쪽으로 갈수록 Blasius solution에 벗어나는 것을 볼 수 있다. Fig 3의 왼쪽아래 그림이 평판 전체를 Blasius solution과 비교를 한 것이다. Blasius solution안에 있는 평판의 velocity profile은 $x=0.97$ 에서 Blasius solution과 맞는 것을 보아 비점성영역이나 그에 가까운 위치라고 볼 수 있으므로 Blasius solution과 자세하게 비교 하지 않아도 된다. mesh 그림에서는 비점성에서 점성영역으로 들어가는 구간에서 격자의 조밀함을 볼 수 있으며 이렇게 격자를 만들어야 속도, 압력 등과 같은 상태량들을 자세히 알아낼 수 있다. 속도contour 그림을 통해 평판에서 속도변화의 시작은 $x=0.95$ 부터 시작되는 것을 볼 수 있다. 그러한 이유는 laminar 영역에서 유속은 유동이 흐르는 방향의 앞부분으로부터 영향을 받는다. 그렇기 때문에 $x=1$ 근처부터 점성영역으로 들어가 유동의 속도가 변하게 된다. streamline을 통해 점성영역으로 들어가면서 유동의 속도가 지표면부터 점점 작아지는 것을 볼 수 있고 이러한 이유로 점성영역은 경계층의 두께와 연관돼있음을 알 수 있다.

2.4 EDISON_CFD 이용한 경사진 평판 해석

아래 그림을 살펴보자. 평판은 $x=0\sim 1$ 까지 비점성이고, $x=1\sim 6$ 까지 점성을 나타낸다. 아래 그래프들을 통해 코너 부분에서 박리가 생기는 것을 알 수 있다. 그림1)에선 코너가 시작되기 전부터 박리가 자라는 것을 알 수 있으면 코너가 시작되는 $x=4$ 에서 박리현상이 크게 나타남을 알 수 있다. 그림3)에서 박리현상이 일어나는 지점에서 속도가 작아지는 것을 확인할 수 있는데 이것은 흐르는 유동 앞에 코너가 있어서 코너 쪽에 유동들이 계속 부딪치게 되고 위치 $x=4.3$ 에서 압력이 높아 압력의 특성상 고압에서 저압으로 흐르기 때문에 $x=4$ 에서 시계방향으로 박리현상이 일어나게 된다. 즉, 역압력구배로 인해 박리현상이 나타나는 것이다. 그림2)와 그림4)는 C_p vs. x 그래프와 함께 본다면 $x=4$ 에서 압력이 작아지는 것을 확인 할 수 있고 역압력구배(adverse pressure gradient)로 인해 박

리 현상이 발생하는 것을 볼 수 있다. 두 개의 평판 모두 역압력구배로 인한 박리현상을 나타내지만 박리현상이 나타나는 위치가 다름을 그림에서 볼 수 있다.

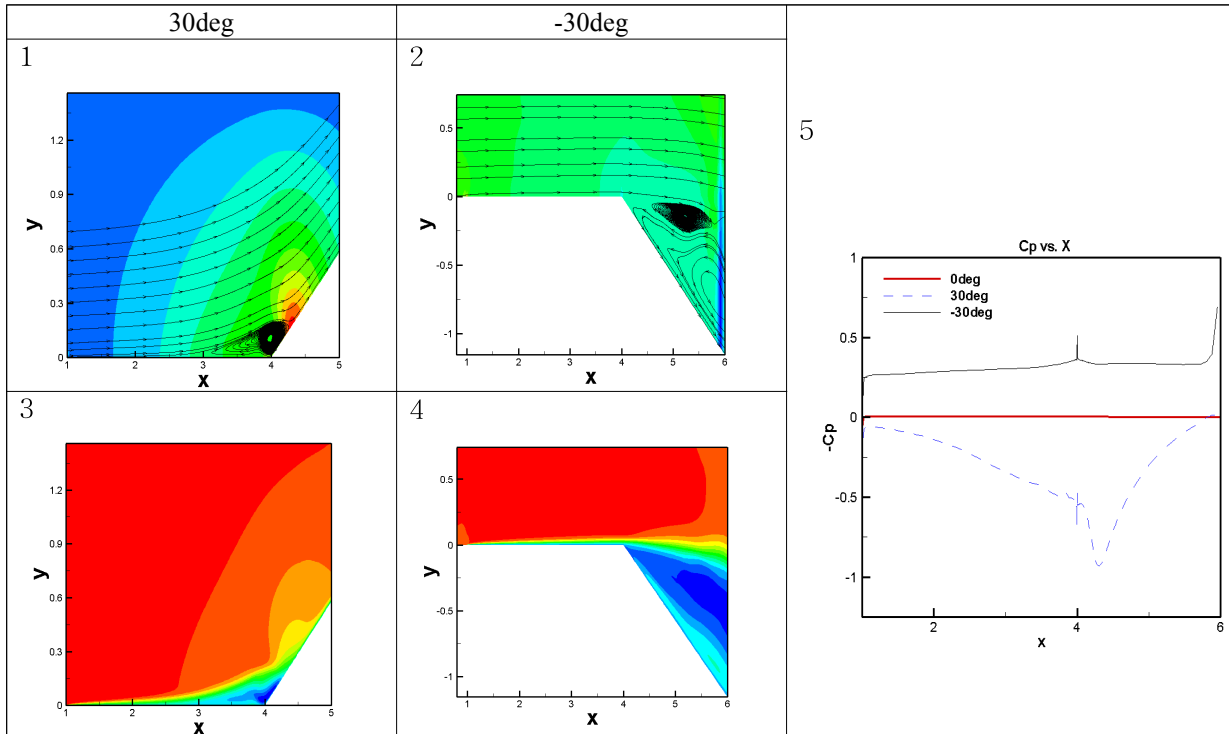


Fig 4. 각 -30도, 0도, 30도의 평판에 나타나는 1)2)압력 contour, 3)4)x방향의속도 contour, 5)Cp vs. X

3. 결론

본 연구는 학부과정에 배운 내용을 바탕으로 평판을 EDISON_CFD를 이용하여 경계층을 계산하고 Blasius solution과 비교하여 수렴의 유무를 살펴보았다. 비교한 결과 EDISON의 계산 값과 Blasius solution이 평판의 앞쪽에서 일치하고 뒤쪽으로 갈수록 벗어나는 것을 볼 수 있었다. 이것은 뒤쪽에 격자의 간격이 넓음으로 큰 오차가 발생하게 된다. 각이 다른 평판의 압력, 속도 contour 그림과 Cp vs. x 그래프를 통해 평판의 각 30도가 있는 x=4.3부근에서 압력이 커지고 코너가 있는 x=4에서 속도가 작다는 것을 관찰하게 됨으로서 역압력구배로 인해 시계방향의 박리현상이 일어난다. 평판의 각 -30도가 있는 x=4에서 박리현상이 발생하지 않고 x=4.2에서 발생하는 것을 볼 수 있었는데 그 이유는 유속이 빨라지면서 유동의 역압력구배(adverse pressure gradient)가 생겨 박리 현상이 발생하기 때문이다. 결론은 각이 다른 평판에서 일어나는 현상은 같지만 위치는 약간 다름을 확인 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부 첨단 사이언스. 교육 허브 개발 사업(2011-0020560)지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) John D. Anderson, Jr., 2005.06, "Fundamentals of Aerodynamics", Mcgraw.Hill, p.884~891
- (2) 고훈서, 김현정, 성재용, 이계복, 주상우 지음., 2008.02, "최신 유체역학", (주)교학사, p.13~14, p.249~269
- (3) Edison_CFD, edison.re.kr