

NACA0012 에어포일 주위 유동의 정상해와 비정상해 비교 연구

A Comparative Study between Steady and Unsteady Solutions of NACA0012 Airfoil flow

추연복^{1*}, 장경식¹
한서대학교 항공기계학과¹

초 록

비정상 유동 해석을 수행하는데 있어서 비정상 Navier-Stokes 방정식을 적용한 결과와 정상 N-S 지배 방정식을 적용한 결과의 차이를 비교하려한다. 적용하고자 하는 비정상 유동은 대칭형 에어포일 NACA0012 에어포일 주위 유동으로 정하였으며, 이 때 에어포일 시위(chord) 길이와 자유류(free stream) 속도 기준으로 $Re=100,000$ 에 해당한다. 계산결과 비정상 지배 방정식을 적용한 경우 비정상 유동박리(flow separation)를 모사 할 수 있었으며, 평균 양력계수(C_L)와 항력계수(C_D)는 실험치^[1]와 비교적 잘 일치하였다. 하지만 정상 N-S 방정식을 적용했을 경우 비정상 유동을 모사하기 어려웠으며 평균 양력, 항력계수도 실험치와 차이를 보였다. 이러한 결과는 비정상 유동 해석시 시간에 따라 변화하는 유동의 특성을 고려해 비정상 N-S 지배 방정식을 적용해야한다는 사실을 보이고 있다.

Key Words : 비정상유동(unsteady flow), 유동박리(flow separation), Unsteady RANS(unsteady reynolds average Navier-Stokes), 에어포일(airfoil)

1. 서 론

1.1 연구배경

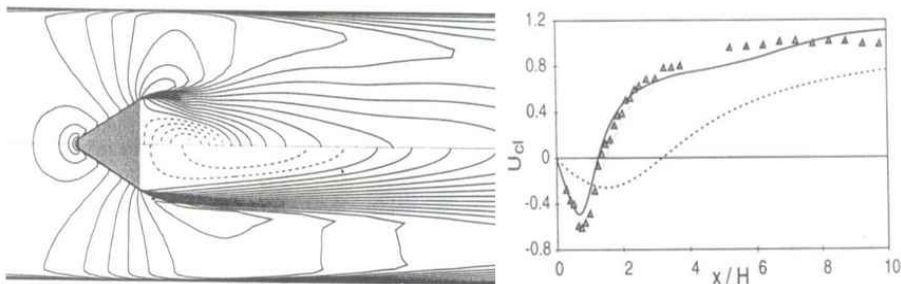


그림 1. 삼각 실린더 주위 유동장의 정상해와 비정상해 비교

Left : 유동방향 등속도선도, (위) 비정상해, (아래) 정상해

Right : 유동방향 속도 분포도 (Δ) 실험치, (--) 정상해, (—) 비정상해

본 연구는 비정상 유동장을 비정상 Navier-Stokes 방정식을 적용하여 구한 해와 정상 N-S 지배 방정식을 적용하여 구한 해를 비교하는데 목적이 있다. 그림 1은 Durbin^[2]의 책에서 제시한 결과로 삼각실린더 주위의 유동장을 해석하는데 있어서 Unsteady RANS로 구한 해와 Steady RANS로 구한 해의 U속도 선도를 보여주고 있다. Durbin^[2]의 결과에 의하면 비정상 유동장을 정상 지배방정식을 이용하여 해를 구했을 경우 실제 유동장과 큰 차이를 보이고 있다. 본 연구에서는 비정상 유동 형태가 나타나는 받음

각이 큰 NACA0012 에어포일 주위의 유동장에 대해서 비정상해와 정상해를 구하여 비교해보고자 한다.

2. 본 론

2.1 수치기법 및 유동조건

본 연구는 EDISON_CFD(EDucation-reserch Intergration through Simulation On the Net_CFD)를 사용하여 수행되었다. 2D 비압축성 Reynolds Averaged Navier-Stokes 지배방정식이 사용되었으며 난류 모델링으로는 Menter's $k-\omega$ SST 모델을 적용하였다. 자세한 수치기법은 EDISON 사이트^[3]에 나타나있다. 계산하고자 하는 형상은 NACA0012 에어포일이며, 에어포일 코드 길이와 자유류 속도 기준으로 $Re=100,000$ 에 해당하는 유동장을 해석하였다. 받음각(α)은 비정상 박리 유동이 발생하는 20° 로 설정하였다.

2.2 격자테스트

계산 영역은 에어포일 코드(c)길이 기준으로 $15c$ 만큼 떨어진 지점에 201개의 노드를 가진 원방 경계를 설정하고 신뢰할 수 있는 결과 값을 얻기 위해 에어포일의 격자는 앞, 뒷전에 노드를 생성해 조밀하게 분포시키고 경계층을 모사하기 위해 에어포일 표면 근처에도 격자를 조밀하게 분포시켰다. 격자테스트를 위하여 원의 반지름 방향 격자수를 120개와 140개로 변화를 주면서 그에 따른 양력계수(C_L)와 항력계수(C_D) 값들을 계산하였으며, 이 값들을 본 연구에서 사용된 난류 모델과 같은 모델에 해당하는 Menter's $k-\omega$ SST 결과^[1], 실험결과^[4]와 비교하여 표1에 나타내었다. 벽근처 경계층을 모사하기 위하여 벽으로부터 첫 번째 격자점까지의 거리를 0.00006으로 두었다. 계산 결과 원의 반지름 방향의 격자수가 140개 일 때, 참고문헌의 결과와 비교적 잘 일치하였다. 정확한 격자테스트를 위하여 격자수가 140개 보다 많은 경우의 계산 결과와 비교를 하여야 했으나 격자를 증가시켜 계산한 경우 특별한 이유없이 계산이 수행되지 않았다. 그림 2는 원의 반지름 방향으로 140개의 격자점을 사용한 격자를 보여주고(그림 2, Left), 벽근처 경계층을 모사하기 위하여 격자점을 벽근처에 조밀하게 모은 형태(그림 2, Right)를 보여주고 있다.

표 1. 격자수에 따른 C_L , C_D 비교

	120개	140개	$k-\omega$ SST	EXP
C_L	1.00	0.93	0.89	0.68
C_D	0.21	0.33	0.38	0.31

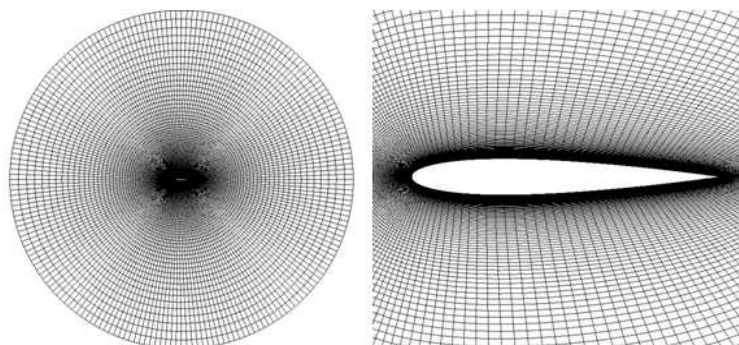


그림 2. 격자(원의 반지름 방향으로 140개 격자점)

2.3 계산결과

2.3.1 에러수준

그림 3은 비정상 계산(Left)과 정상 계산(Right)을 수행하였을 경우의 계산 횟수에 따른 압력 변수의 에러 수준(log scale)을 보여주고 있다. 비정상 계산의 경우 2.5오더에서 4.5오더 범위에서 수렴하는 결과를 보여주고 있으며 정상 계산의 경우 2.5오더정도 에러가 낮아지다가 진동하는 모습을 확인하였다.

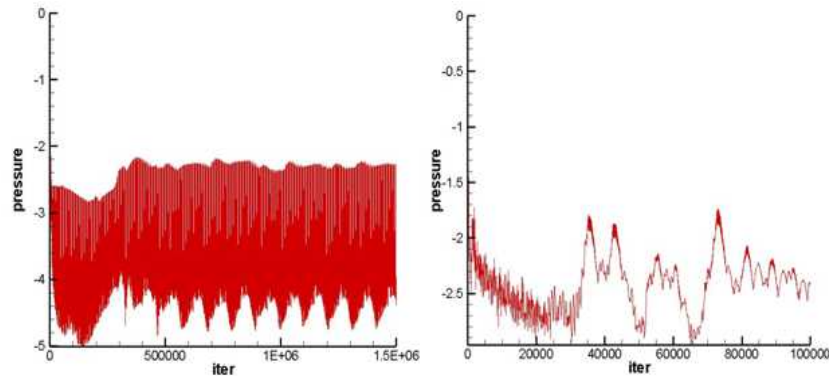


그림 3. 계산 횟수에 따른 에러 수렴정도 : (Left) 비정상 계산, (Right) 정상 계산

2.3.2 양력계수(C_L), 항력계수(C_D)

계산횟수에 따른 비정상해와 정상해의 양력계수(C_L)와 항력계수(C_D)의 변화를 그림 4에 나타내었다. 이 때 유동장이 수렴하여 진동하는 구간에서 평균값을 취해 비정상해와 정상해의 양력계수(C_L)와 항력계수(C_D)를 계산하였다. 비정상해의 경우 C_L 과 C_D 값을 0.928, 0.329로 예측하였으며 이 값은 참고문헌^[1]에서의 결과 0.897, 0.379와 비교적 잘 일치하였지만 정상해의 경우 C_L 과 C_D 값을 0.750, 0.242로 예측하였으며 각각 19.6%, 56.6% 정도의 차이를 보였다.

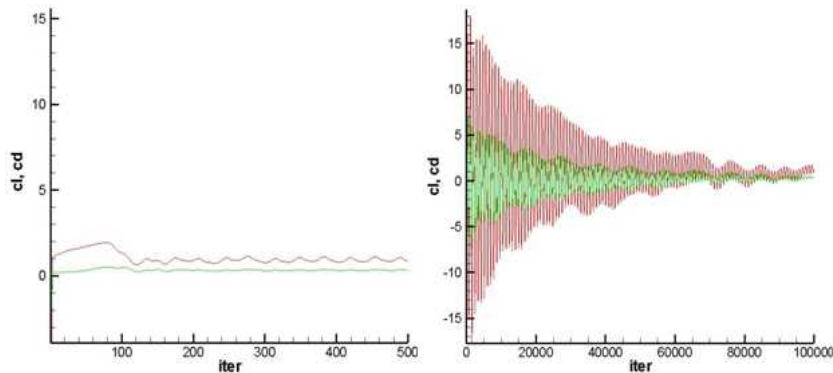


그림 4. 계산횟수에 따른 C_L (붉은색) C_D (녹색)
(Left) 비정상해, (Right) 정상해

2.3.3 비정상 계산의 U속도장과 유선도

비정상 박리 유동장 형태를 살펴보기 위하여 그림 5에 0.5시간 간격으로 U 속도장과 유선도(streamline)을 나타내었다. 시간에 따라 에어포일 앞전에서부터 0.9C 해당하는 뒷전까지 박리구간이 형성되고 뒷전에서는 와류가 떨어지면서(그림 5a) 앞부분의 박리구간에서 버블이 형성되고 뒷전의 와류가

커지다가(그림 5b) 뒷전의 와류는 떨어지고 앞부분의 버블도 이어서 떨어져 나가는 현상(그림 5c,d)을 확인 할 수 있었다.

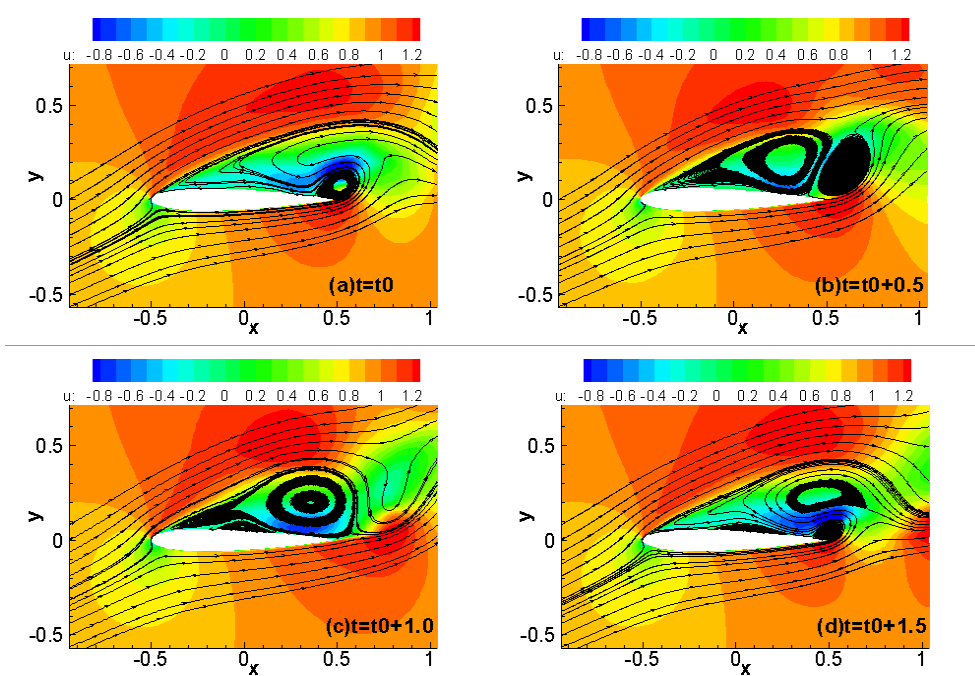


그림 5. 비정상 계산의 U속도장과 유선도

3. 결 론

본 연구는 비정상 유동현상을 Navier-Stokes 지배 방정식의 비정상해와 정상해를 비교하였다. 계산 결과 비정상 유동을 해석하기 위해서는 비정상 지배방정식이 고려되어야 하며, 정상해의 경우 양력계수와 항력계수를 예측하는데는 한계가 있다는 것을 알 수 있었다. 실제 공학에서 나타나는 유동 현상 중 비정상 형태가 나타나는 유동의 경우 반드시 비정상 N-S 지배 방정식을 적용한 해석이 고려 되어야 한다. 비정상해를 얻기 위해 계산시간이 더 많이 요구되지만, 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해서는 비정상 지배방정식이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] M. Strelets, 2001, Russian Scientific Center "Applied Chemistry", St.-Petersburg, "Detached Eddy Simulation of Massively Separated Flows, AIAA, 1801 Alexander Bell Drive, Suite 500, Reston, VA 20191-4344, pp. 5~7.
- [2] P. A. Durbin, 2001, Statical Theory and Modeling for Turbulent Flows, John Wiley & Son Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England, pp. 188~190.
- [3] <http://cfed.edison.re.kr>, EDISON_CFD Manual, solver, 2-D Incompressible Solver Specification, pp. 2.
- [4] McCroskey, W.J., McAlister, K.W., Carr, L.W., and Pucci, S.L., "An experimental study of dynamic stall on advanced air-foil sections", NASA TM 84245, 1982.