Navier-Stokes equations을 활용한 익형의 점성경계층 특성분석

김 철 완[1]

Analysis of Airfoil Boundary Layer Characteristics with Navier-Stokes Equations

C. W. Kim

NACA0012 Airfoil was simulated with Computational Fluid Dynamics(CFD) and the aerodynamic characteristics was analyzed for various far-field boundary distances ranging from 10 airfoil chord to 50 chord. Drag coefficient distribution was dependent on the far-field distance and circulation, integrated along the loop inside the flow region, was also dependent. It was turned out that some corrections based on the circulation should be added to the far-field boundary condition for accurate airfoil simulation.

Keywords: 전산유체역학(CFD), NACA0012, 항력예측(Drag Prediction), 원방경계조건(Far-field Boundary Condition)

1. 서 론

항공기를 설계하기 위해서는 날개의 공력성능에 대한 정확한 예측이 중요하고 이를 위해서는 익형의 공력특성(양력, 항력 및 모멘트)에 대한 정확한 예측이 필수적이다. 따라서 익형의 성능 예측을 위한 다양한 방법이 발전되어 왔다. 최근에는 항공기의 항력을 저감하기 위해 자연층류 익형에 대한 관심이 점점 고조되고 있고 전산유체역학을 활용한 분석이 지속적으로 시도되고 있다. 그러나 층류에서 난류로의 천이점 예측에 대한 어려움이 있는 기존의 난류모델로는 해석에 한계가 있었다. 최근에 개발된 transition SST 모델은 기존의 방법보다는 비교적 천이점을 정확히 예측하고 층류와 난류가 혼재한 유동의 해석에도 다양하게 활용되고 있다[1].

transiton SST모델을 활용한 익형의 해석결과에 의하면 작은 받음각 영역에서는 시험결과와 비교적 일치하는 항력을 예측하지만 받음각이 증가할수록 항력이 급격히 증가하였다. Potential flow와 boundary layer equation을 결합한 익형 해석 코드인 Xfoil의 항력예측 결과는 전산해석보다는 시험결과와 잘 일치하였다.

1 정회원, 한국항공우주연구원, 항공연구본부
* TEL : 042) 860-2691
* Corresponding author E-mail: cwkim@kari.re.kr

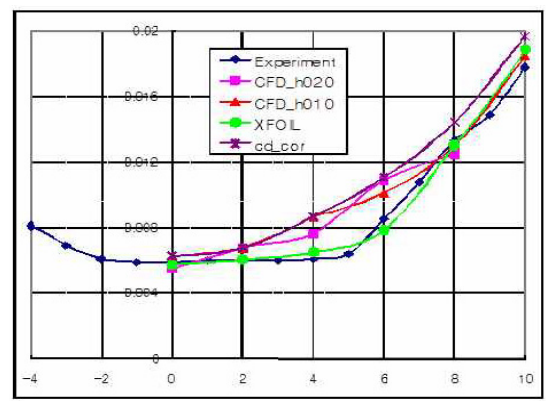

Fig.1 Comparison of drag of NACA64(3)618

전산해석 결과가 시험결과에 큰 차이를 갖는 원인을 분석하기 위해서 점성저항(viscous drag)과 압력저항(pressure drag)을 각각 비교하였다. 비교 결과(Fig. 2)에 의하면 전산해석의 점성저항은 익형해석 전용코드인 Xfoil의 점성저항보다 작은 값을 갖지만 압력저항은 받음각이 증가할수록 급격히 증가하여 전산해석에 의한 저항이 Xfoil이나 풍동시험 결과보다 큰 값을 예측하였다. 압력저항의 급격한 증가의 원인을 찾기 위

한 시도가 계속되었고 원방경계조건에 대한 분석이 수행되었다.

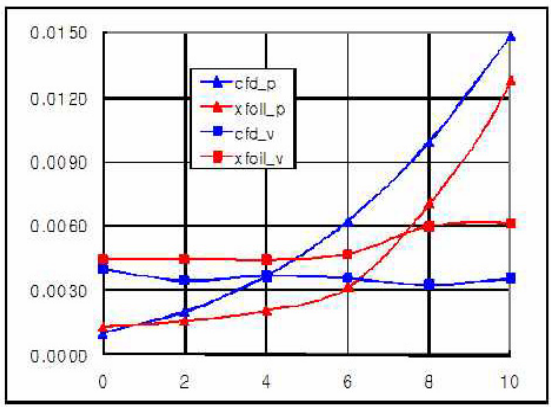

Fig 2 Pressure & viscous drag of NACA64(3)618

본 해석에 수행된 원방경계조건은 익형에서 발생한 Circulation을 보존하지 못하는 것으로 알려져 있는데 원방경계까지의 거리에 따른 Circulation값의 변화와 공력특성 변화를 관찰하고자 한다.

2. NACA0012 익형해석

NACA0012를 대상으로 해석을 수행하여 원방경계까지의 거리가 익형의 공력특성에 미치는 영향을 분석하였다. 먼저 격자는 Fig. 3에 나타난 것처럼 약 40층의 점성경계층을 구성하였고 약 400개의 격자점을 익형위에 구성하였다.

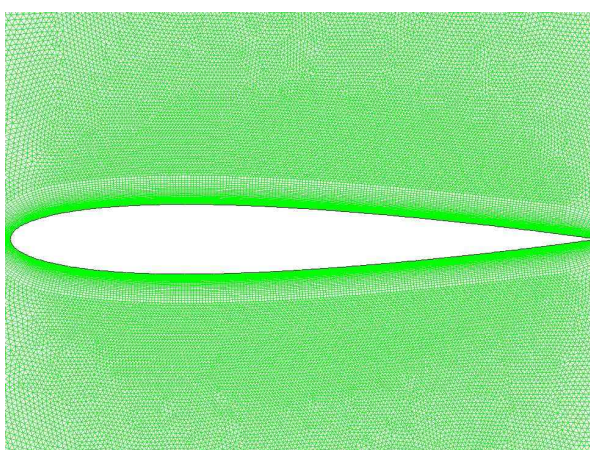

Fig 3 Computational grid around NACA0012

Fig 4는 Circulation 계산을 위한 적분 경로 및 원방경계의 형태를 나타낸 것이다. Circulation 적분은 익형의 점성유동 특성이 없는 익형코드 4배의 거리의 원형 loop를 따라 수행되었다.

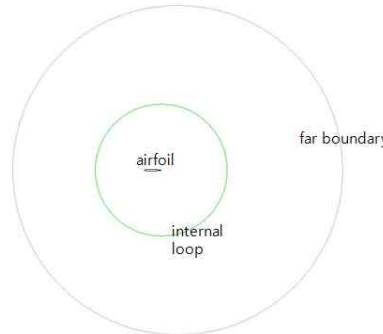

Fig. 4 Shape of Far-field Boundary

전산해석에 활용된 난류모델은 Transition-SST이며 Pressure Far-Field 조건을 원방경계조건으로 활용하였다. Circulation 비교 및 익형의 공력특성 비교를 위해 원방 경계까지의 거리는 익형 코드의 10배, 20배, 30배, 50배 및 100배로 하여 격자를 구성하고 전산해석을 수행하였다.

3. 전산해석 결과

Fig.5와 6는 원방경계까지의 거리에 따른 익형의 양력 및 항력계수의 분포를 받음각을 변화시키며 나타낸 것이다. Fig.5에 의하면 받음각 8도까지는 원방경계의 거리에 따른 양력변화가 거의 없는 것으로 관찰되지만 원방경계의 거리에 따른 실속각의 변화는 크게 나타난다.

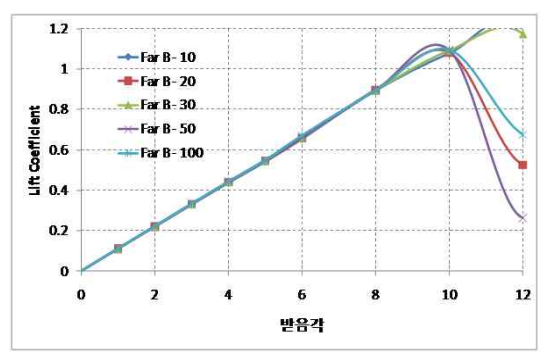

Fig 5 Lift coeff. for various far-field distance

Fig. 6은 항력분포를 나타낸 것인데 원방경계 거리가 증가할수록 항력이 계속 감소한다. 이는 압력에 의한 항력이 계속 감소하기 때문인데 이에 대한 원인을 분석하기 위해 유동영역 내부에서 Circulation을 적분하여 그 변화를 관찰하였다.

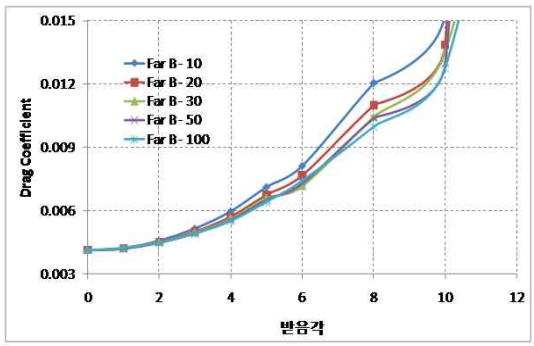

Fig 6 Drag coeff. for various far-field distances

유동영역 내부의 Circulationd 적분은 Fig.4의 internal loop를 따라 다음식을 활용하여 수행되었다.

$$\Gamma = \int \vec{V} d\vec{l}$$

이때 Γ는 circulation, $\vec{V}$는 내부 속도 그리고 $\vec{l}$ 는 internal loop를 따른 적분 경로이다. 이렇게 구한 circulation을 다음의 식을 활용하여 양력을 구하여 Fig 7에 나타내었다.

$$L(lift) = \rho U_{\infty} \Gamma$$

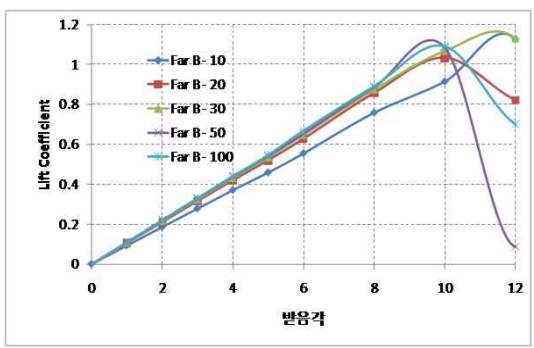

Fig. 7 Lift coeff. for various far-field distances

원방경계의 거리가 증가할수록 circulation 값을 활용하여 얻은 양력값은 증가하여 원방경계의 거리가 코드길이의 30배 이상이 되면 일정한 값을 나타낸다. 즉 원방경계의 거리가 가까으면 원방경계조건이 유동영역 내부의 circulation 값에 영향을 미침을 알 수 있다. 그리고 이는 익형의 항력에 영향을 주는 것으로 관찰된다.

원방경계조건의 특성을 관찰하기 위해 원방경계를 따라 circulation을 산출하였는데 거리에 관계없이 circulation 값이 0에 가까운 매우 작은 값을 가졌다.

4. 원방경계조건의 처리방안

참고문헌[3]에 의하면 익형해석을 위한 원방경계조건은 익형에서 발생한 circulation값을 고려하는 것이 정확한 익형특성 해석에 필요한 것으로 언급되었다. 그런데 본 전산해석에 활용된 코드는 3차원 해석을 위한 코드로 2차원 익형해석을 위한 원방경계조건의 수정이 이뤄지지 않아 위와 같은 결과가 산출된 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구

NACA0012익형에 대한 전산해석을 수행하여 원방경계조건의 특성에 대한 분석이 수행되었다. 원방경계조건이 익형에서 발생한 circulation을 고려하지 못하여 원방경계까지의 거리가 가까우면 유동영역의 circulation분포에 영향을 미쳐 익형의 공력특성, 특히 예측된 항력을 증가시킨다. 따라서 보다 정확한 익형해석을 위해서는 원방경계조건에 circulation에 의한 영향을 고려하는 수정이 필요하다.

참고문헌

[1] 2009, 김철완 & 이융교, 익형주위의 층류와 난류가 혼합된 유동해석, 한국전산유체공학회 춘계학술대회

[2] 2010, 전상언, 박수형, 감상호, 변영환, 정경진, 강인모, NACA0012 천이 유동의 저속공력특성 해석 한국전산유체공학회지 제15권 제3호, pp.1-8

[3] c. Hirsch, Numerical Computation of Internal & External Flows, Volume 2