



다양한 난류 모델에 따른 익형 특성 예측

김철완,¹ 이용교², 이장연³

PREDICTION OF AIRFOIL CHARACTERISTICS WITH VARIOUS TURBULENCE MODELING

C.W. Kim,¹ Y.G. Lee² and J.Y. Lee

In the present paper, some difficulties encountered in predicting airfoil characteristics are described and solutions for those problems are discussed. Since drag is determined by the amounts of pressure and, especially, shear stress, accurate estimation of shear stress is very crucial. However shear stress computation is dependent on the grid density and turbulence model, it should be consistent in preparing grid and turbulence model. When the transition from laminar to turbulent happens at the middle of airfoil, CFD solver should divide the region into laminar and turbulent region based on the transition location.

Key Words : 익형특성(Airfoil Characteristics), 항력예측(Drag Prediction), 유동의 천이(Flow Transition)

1. 서 론

지난 몇 십년간 전산 유체 역학은 전산기의 획기적인 발전에 힘입어 그 적용 기술 및 범위가 급속히 발전하고 있다. 항공분야의 경우 비록 시험적인 연구에 그치고 있지만 항공기의 비행시험 상황을 수치적으로 재현하고 그 결과를 비교 분석하는 단계에 이르렀고 고속 회전하는 회전익 항공기의 로터 주위의 유동을 매우 정확히 모사하고 있다. 또한 최적화 기법의 발전과 맞물려 익형, 날개 및 항공기 형상에 대한 최적화를 수행하여 그 결과를 설계에 반영하고 있다. 이렇게 질적 및 양적인 발전에도 불구하고 항공기의 공력특성을 예측하고 형상의 최적화를 수행하기 위해서는 익형에 대한 정확한 예측이 필수적이다. 익형의 특성 예측이나 형상 최적화를 수행하기 위해서는 주어진 익형에 대한 정확하고 강건한 예측이 중요한데 아직도 익형 특성의 예측에는 많은 어려움이 있다. 익형 특성 예측에 있어 익형 형상을 정확히 구현하는 것도 중요한데 일정한 간격을 갖고 주어진 좌표 점을 연결하는 Interpolation 방법에 따라 형상이 달라지고 해석 결과도 달라짐을 알 수 있다. 또한 유동 해석을 위해 사용된 격자의 밀도나 벽면 주위의 점성 유동을 위한 점성 경계층 격자와

난류 모델 사이의 관계 등에 의해서도 해가 달라진다. 따라서 본 논문에서는 익형 주위 유동해석에 있어 익형 형상 재현의 중요성과 난류 모델에 의해 발생하는 공력 특성의 차이를 보이고 이의 해결 방법을 찾아보고자 한다.

2. 정확한 익형 재현의 중요성

고속으로 비행하는 비행체의 날개는 비행에 필요한 양력을 발생하는 역할을 수행하므로 그 익형의 결정 및 형상에 따라 해석 격자를 형성하는 것은 수치해석에 있어 매우 중요하다. 육안으로 구분할 수 없는 미세한 차이가 익형 및 날개의 공력 특성을 크게 변화하게 하기도 하고 주어진 익형을 정확히 재현되지 못한 풍동모델은 예측한 공력 특성과 다른 특성을 보일 수도 있다. 본 절에서는 이러한 예를 보임으로써 정확한 형상 재현의 중요성을 환기시키고자 한다. Fig. 1은 앞전이 다른 익형을 비교한 것인데 두 익형의 차이를 주어진 그림에서는 찾아보기 힘들다. 그런데 익형 주위의 유동은 이러한 미묘한 차이에도 예민하게 반응하고 공력특성의 차이를 Fig. 2와 같이 발생시킨다. 따라서 익형을 해석하기 위한 격자를 형성할 때 정확한 익형의 재현이 매우 중요함을 인식하는 것이 필요하다. 또한 익형의 공력특성 측정을 위해 풍동시험 모델을 제작할 때도 정확한 익형을 제작하는 것이 중요하므로 제작된 익형의 검토가 필요하다.

1 정회원, 한국항공우주연구원, 첨단공력구조팀

2 정회원, 한국항공우주연구원, 첨단공력구조팀

3 종신회원, 한국항공우주연구원, 차세대항공체계실

* Corresponding author, E-mail: cwkim@kari.re.kr

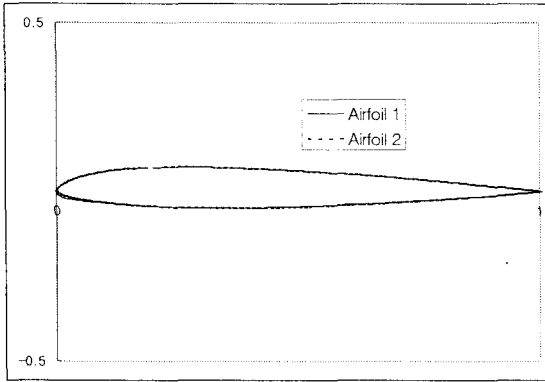


Fig. 1 앞전 형상이 다른 두 익형

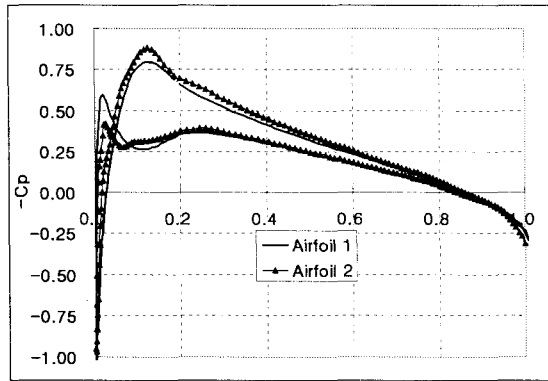


Fig. 2 앞전 형상이 다른 익형의 Cp 비교

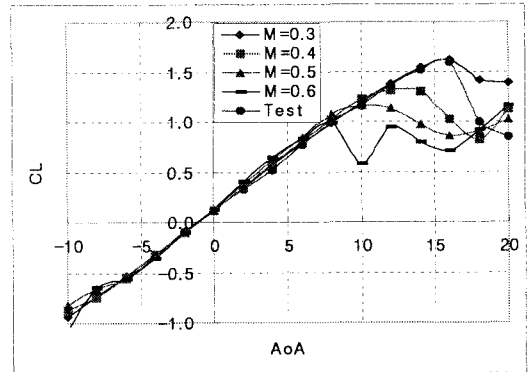


Fig. 3 마하수에 따른 NACA23012 양력 비교, Spalart-Allmarass Model

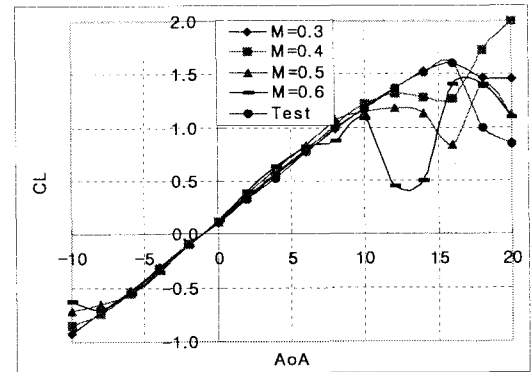


Fig. 4 마하수에 따른 NACA23012 양력 비교, K-Omega SST Model.

3. 익형 주위 유동장 해석

익형 주위의 유동해석은 정확성, 그리고 격자의 밀도나 난류 모델의 종류 등에 따라 결과가 크게 달라지지 않는 강건성 등이 중요한데 형상의 최적화 등을 위해서는 매우 중요한 요소들이다. 본 절에서는 가장 많이 사용되는 난류 모델인 Spalart-Allmass Model과 K-Omega SST Model을 사용하여 익형의 양력 및 항력 예측에 대하여 알아보았다. 사용된 익형은 NACA23012이다.

3.1 익형, NACA23012의 양력 예측

Fig. 3과 4에는 NACA23012의 양력 특성을 마하수 및 난류 모델에 따라 비교한 것인데 마하수 0.3일때 모델의 종류에 상관없이 Test 결과[1]와 양력 곡선의 기울기 및 최대 양력계수 그리고 실속각 등이 대체로 일치함을 알 수 있다. 그런데 마하수가 증가할수록 최대 양력계수 및 실속각이 감소하는데 이는 확인 결과 높은 받음각에서 익형 뒷면에 충격파가 발생하기 때문이다. 마하수 0.4에서도 받음각이 12° 이상이면 익형의 앞전부근에 약한 충격파가 발생함을 알 수 있다.

위의 해석결과를 근거로 판단하면 난류모델의 종류에 상관없이 최대 양력계수 및 실속각을 정확히 예측함을 알 수 있다. 양력의 크기는 익형 표면의 압력에 의해 결정되기 때문에 바리가 발생하지 않으면 난류 모델이나 격자의 밀도 등에 크게 영향을 받지 않는다. 그러나 실속각은 난류 모델에 따라 달라지기 때문에 최대 양력계수나 실속이후의 양력계수 경향 등은 난류 모델의 영향을 받는다.

3.2 익형, NACA23012의 항력 예측

익형에 대한 항력계수 예측은 양력과 달리 많은 어려움을 갖고 있다. 받음각이 작은 경우, 익형의 항력은 표면의 전단력에 의한 영향이 매우 큰데 이를 정확히 예측하기 위해서는 난류 특성을 정확히 예측하는 난류 모델을 사용하는 것이 매우 중요하다. 그러나 현재 사용가능한 난류 모델은 격자나 유동조건에 따라 그 예측치가 다르게 나타난다. 따라서 정확한 항력예측을 위해서는 사용 격자나 난류 모델의 변화에 따른 차이 등에 대한 세심한 주의가 요구된다.

Fig. 5는 마하수에 따른 NACA23012의 항력계수 분포를 나

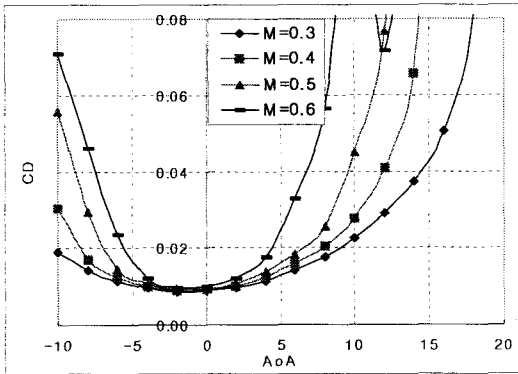


Fig. 5 마하수에 따른 NACA23012의 항력계수



Fig. 6 측정된 NACA23012의 항력계수[1]

타낸 것인데 0.4이상의 마하수에서 충격파가 발생하면 이에 반응하여 항력이 급격히 증가함을 알 수 있다. 충격파에 대한 반응은 양력보다 항력이 훨씬 민감하게 나타난다.

Fig. 6은 Reynolds수에 따라 측정된 NACA23012의 Drag-Polar를 나타낸 것인데 받음각이 0° 부근에서 항력이 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 표면 거칠기가 큰 경우(삼각형 표

시)를 제외하고 동일하게 나타나는데 익형주위 유동의 일부 부분이 층류를 유지하기 때문으로 이해된다. 그러나 이런 경향은 Fig. 5의 수치해석 결과에서는 관찰되지 않는데 이는 유동장 전 영역에 난류 모델을 적용하여 해석을 진행했기 때문으로 판단된다. 따라서 앞으로 비행체 순항시의 항력예측이나 낮은 받음각을 갖는 익형의 항력예측을 위해서는 유동의 천이 점을 정확히 예측한 후 유동영역을 층류와 난류 영역으로 분리하여 해석을 수행해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 익형의 공력 특성을 예측할 때 직면하는 어려움 특히 항력 예측의 어려움에 대해 간략히 기술하였다. 항력은 압력과 전단력의 크기에 의해 결정되는데 충격파가 없고 받음각이 작은 경우 전단력에 의한 영향이 커서 항력 예측의 오차를 크게 한다. 또한 층류와 난류가 혼재하는 유동영역의 해석에 어려움이 많은데 이는 천이점을 대략적으로라도 예측한 후 유동영역을 분리하여 해석을 수행하여 그 오차를 감소시켜야 한다.

참고문헌

- [1] I.H. Abbott & A.E. Von Doenhoff, *Theory of Wing Sections*, Dover Publications, Inc., New York
- [2] S.F. Hoerner, *Fluid-Dynamic Lift*, 2nd edition, Hoerner Fluid Dynamics, 1985
- [3] S.F. Hoerner, *Fluid-Dynamic Drag*, Hoerner Fluid Dynamics, 1965
- [4] Fluent User Manual, V.6.2, Fluent Inc.