

特輯論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(3), 212-216(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.3.212

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

전산해석을 활용한 두께비 18%익형(Case1)의 공력특성 분석

김철완*, 이용교**

Aerodynamic Analysis of 18% Thick Airfoil(Case 1)
with Computational Fluid Dynamics

Cheolwan Kim* and Yung-gyo Lee**

Aeronautics Technology Research Office

Korea Aerospace Research Institute* , **

ABSTRACT

Aerodynamic analysis for the airfoil, KARI-11-180 having 18% thickness ratio, was performed with CFD techniques. The boundary layer grid was generated by projecting the wall grid normally and fine grid was placed behind the trailing edge to capture the wake accurately. The distance to the far boundary is 100 chords and the flow condition is same as the wind tunnel test condition. Transition SST and DES turbulence models were utilized for accurate prediction of the transition point. The predicted lift is higher but the drag is predicted lower than the wind tunnel test. 3-dimensional results with airfoil models of which aspect ratio were 2 and 5 were compared with 2-dimensional results.

초 록

두께비 18% 익형(KARI-11-180)에 대한 공력특성 분석이 전산해석기법을 활용해 수행되었다. 익형주위의 격자는 벽면에서 수직으로 투영하여 경계층 격자를 형성하였고 익형 후방에는 정밀한 후류 예측을 위해 조밀한 격자를 위치하였다. 원방경계까지의 거리는 익형 코드의 100배로 정하였고 익형시험결과와의 비교를 위해 자유류 속도, 익형 코드 및 Reynolds수를 풍동시험과 동일하게 정하였다. 또한 난류 모델은 천이지점 예측이 우수한 transition SST 및 DES 모델을 사용하였다. 3차원 전산해석은 세장비가 2와 5인 익형모델에 대해 수행되었는데 양력은 풍동시험결과보다 높은 값을 항력은 낮은 값을 예측하였다.

Key Words : Airfoil(익형), Wind tunnel test(풍동시험), Surface pressure(표면압력)

1. 서 론

익형의 공력특성을 분석하기 위한 전산해석은 다양한 전산해석 Software를 활용하여 수행되어 왔다. 특히 수치해석기법의 개발 초기에는 점성

경계층 해석과 비점성 영역 해석을 분리하여 수행하고 그 결과를 바탕으로 경계조건을 수정하여 최종적으로 결과가 수렴할 때까지 반복계산을 수행하는 방법이 개발되었는데 Mark Drela[1]의 XFOIL은 이러한 방법을 발전시킨 대표적인 익형

† Received : November 15, 2016 Revised : January 14, 2017 Accepted : February 27, 2017

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

해석 코드이며 강한 박리가 일어나지 않는 익형의 공력특성 분석에 사용되고 있다. 이 코드들은 점성 유동의 해석을 경계층방정식을 이용하여 수행하므로 경계층 방정식이 유효하지 않은 강한 박리영역은 분석이 불가능하다.

익형을 포함한 비행체의 공력성능 예측을 위해 전산유체역학 기법이 발전되어 왔는데 익형의 최소항력, 최대 양력 그리고 최대 양항비 예측의 정확도를 높이기 위한 다양한 수치 기법의 개발은 지속되고 있다. 정확한 공력특성 예측은 수치 해석 기법의 정확성 및 난류 모델의 정확성에 좌우되는데 특히 난류모델은 유동의 천이지점 및 난류 강도를 결정하기 때문에 적합하지 않은 난류 모델은 항력예측의 정확도를 악화시키고 최대 양력 및 받음각 예측에 많은 오차를 갖게 한다.

본 논문에서는 KARI-11-180익형의 공력특성[2] 분석을 위해 상용 Software인 Fluent.v.13을 활용하였으며 최소항력, 최대 양력 및 받음각 비교 등을 수행하였다.

II. 본 론

2.1 KARI-11-180 전산해석

KARI-11-180익형은 대형 풍력터빈 블레이드 용으로 설계된 익형으로서 두께비는 18%이며 레이놀즈수가 2.8×10^6 일 때 양항비가 150이상인 고효율 익형이다. 항력 감소를 위해 천이지점에 위치하며 점진적인 속도 증가를 위해 익형 앞전의 반경이 축소되었다. 이 익형은 Delft 공대의 풍동과 항공우주연구원 풍동에서 공력특성 측정 실험이 수행되었고 그 결과가 비교 검증되었다.

전산유체해석을 위한 격자는 점성경계층 해석의 정확도를 높이기 위해 사각격자와 삼각격자를 혼용하여 사용하였다. 또한 천이지점 예측의 정확도를 높이기 위해 난류 모델 중 천이지점 예측 정확도가 높은 transition SST 모델을 활용하였으며 압력과 속도의 관계를 활용하는 커플링 방법을 사용하였다.

2.1.1 전산해석 격자 구성

전산해석에 사용된 격자는 Fig. 1에 나타난 것처럼 익형 면에서 격자를 수직으로 투사하여 점성경계층 격자를 구성하였으며 외부 유동장은 삼각격자와 사각 격자를 혼용하여 격자를 구성하였다. 익형 면에는 260개의 격자점을 분포하였으며 익형의 앞전과 뒷전에 격자를 밀집하였다. 또한 원방경계까지의 거리는 익형주위의 Circulation을 보조하지 못하는 경계조건의 단점을 보완하기 위

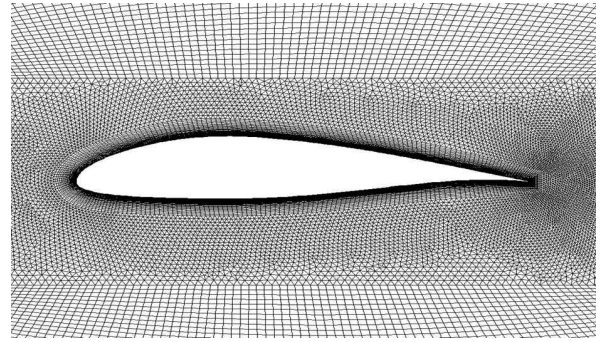


Fig. 1. Hybrid computational grid for airfoil

해 익형길이의 100배로 하여 경계조건의 오차를 최소화하였다.

2.1.2 전산해석 조건 및 전산해석

익형면은 No-slip 벽면조건을 적용하였고 원방 경계조건은 자유류의 속도 및 방향을 설정하여 구성하였다. 경계에서의 난류강도는 풍동실험이 수행된 항공우주연구원 아음속 풍동의 난류 강도를 고려해 0.1%로 설정하였다. 난류모델은 천이지점 예측 성능이 우수한 transition SST 모델[3]이 적용되었으며 해석 초기에는 정상상태의 해석으로 유동을 수렴시킨 후 비정상 해석을 수행하였다. 익형의 길이는 60cm이며 자유류의 속도는 25m/sec, 50 m/sec 그리고 75 m/sec이다.

Figure 2는 익형면의 압력분포를 나타낸 것인데 받음각에 따른 익형 윗면의 천이영역 변화를 파악할 수 있다. 보다 정확한 천이영역의 예측을 위해서는 천이가 예상되는 영역에 대한 격자 세밀화 및 적절한 Time Step을 결정하기 위한 추가 연구가 필요하다고 판단된다. 익형의 항력을 줄이기 위해서는 천이지점이 익형의 후방에 위치하도록 익형 윗면의 유동가속을 지연시켜야 하며 이러한 경향이 Fig. 2의 압력계수 분포에 나타나

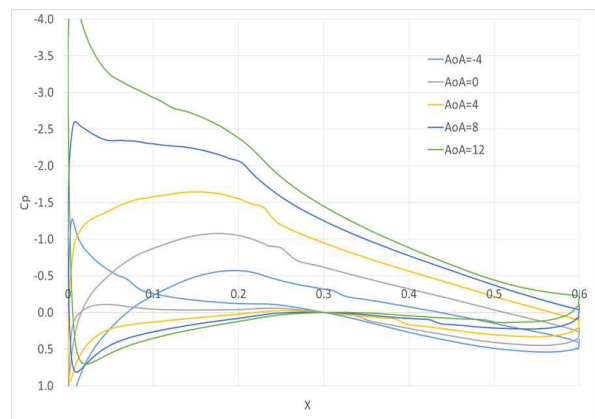


Fig. 2. Pressure coefficient distributions for various angles of attack

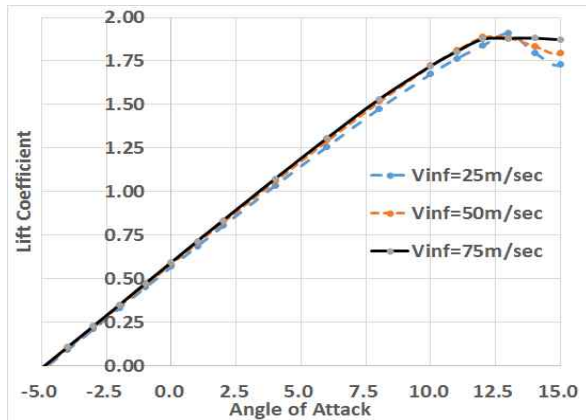


Fig. 3. Lift coefficient distributions for various speed and angles of attack

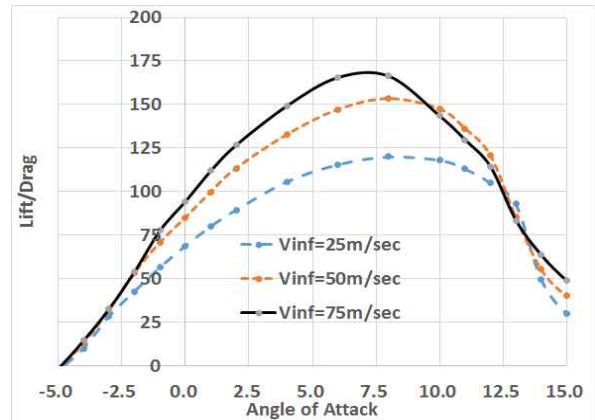


Fig. 5. Lift and drag ratio distributions for various speed and angles of attack

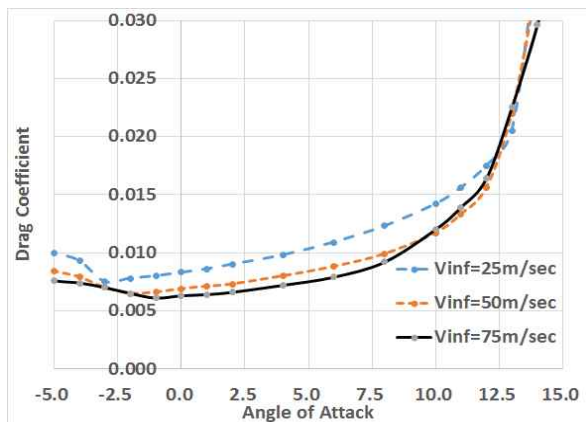


Fig. 4. Drag coefficient distributions for various speed and angles of attack

있다.

Figure 3은 자유류 속도와 받음각의 변화에 따른 양력분포이다. 속도가 증가할수록 받음각에 따른 양력계수의 기울기가 미세하게 증가하지만 실속각은 미세하게 감소한다. Fig. 4는 익형의 항력분포인데 속도가 증가할수록 Reynolds수가 증가하여 항력이 감소한다. 그러나 실속각은 감소하여 항력의 급격한 증가는 속도가 빠를수록 작은 받음각에서 나타남을 알 수 있다. 0도 이하의 받음각에서 비선형 유동현상이 발생함을 알 수 있는데 속도가 증가할수록 비선형 유동현상의 받음각은 0도에 가까워지며 이러한 현상은 풍동실험 결과에서도 확인할 수 있다. 받음각 10도까지 항력은 거의 선형적으로 증가하다 10도 이상에서 급격하게 증가함을 알 수 있다.

Figure 5는 자유류의 속도 및 받음각에 따른 양력과 항력의 비율을 보여주는데 속도가 증가할수록 양항비가 증가함을 알 수 있다. 이는 속도 증가에 따라 항력 감소가 두드러졌기 때문이다.

2.2 풍동시험결과 비교

Figure 6은 KARI-11-180 익형에 대한 풍동실험 결과와 전산해석 결과를 비교한 것이다. 전산해석의 자유류 속도는 25m/sec, 50m/sec 그리고 75 m/sec이며 받음각은 -5도부터 15도까지이다. 받음각에 대한 양력의 기울기는 자유류의 속도가 25m/sec 일때 결과가 풍동실험결과와 가장 가까우며 50m/sec와 75m/sec의 전산해석 결과는 동일하다. 전산해석을 통해 예측된 실속각은 풍동실험결과보다 1.5도 이상 높으며 최대 양력은 0.3 높게 예측되었다.

전산해석에 의한 항력예측은(Fig. 7) 풍동실험 결과와 유사한 경향을 보이지만 전반적으로 낮은 값을 예측하였다. 자유류의 속도가 25m/sec일 때 전산해석결과와 풍동실험결과가 매우 유사하지만 받음각이 8도 이상에서는 풍동실험결과가 진동하면서 두 예측 값이 차이를 보였다. 자유류 속도, 75m/sec에서는 풍동실험 결과가 전산해석 결과보다 큰 값을 예측하였다. 또한 음의 받음

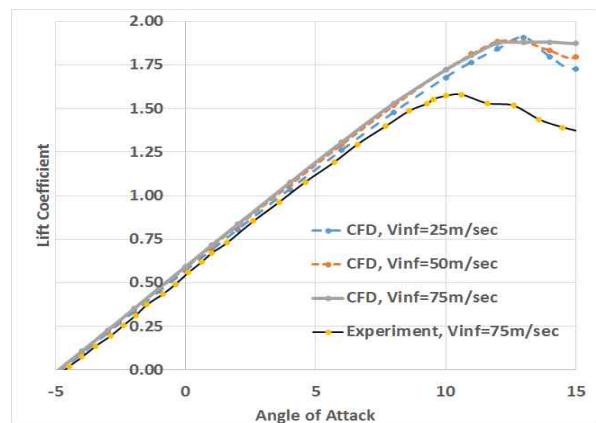


Fig. 6. Lift coefficient comparison

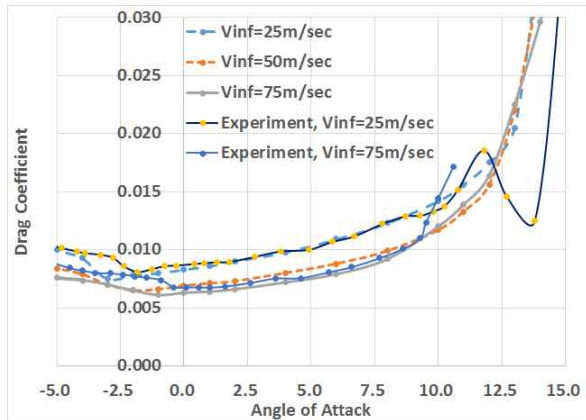


Fig. 7. Drag coefficient comparison

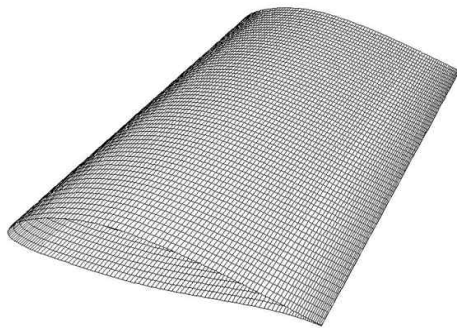


Fig. 8. Grid for 3D Airfoil Geometry

유각에서 나타나는 비선형적인 특성도 경향은 유사하지만 발생하는 받음각 및 크기는 일정한 차이를 보였다.

2.3 3차원 전산해석결과 비교

익형의 3차원 특성을 분석하기 위해 풍동시험 조건을 고려하여 익형모델의 세장비를 2와 5로 변화하며 전산해석을 수행하여 2차원결과와 비교하였다.

2.3.1 3차원 격자 구성 및 전산해석

3차원 익형의 형상은 2차원 격자를 수직방향으로 투사하여 구성하였다. 세장비는 2와 5이며 세장비가 2의 경우, 수직방향으로 격자를 60개로 정하였다. 3차원 익형의 양 끝단은 Slip 조건을 적용하였다. 난류모델은 transition SST와 DES 모델[4]을 활용하여 그 결과를 비교하였다.

2.3.2 전산해석 결과

Figure 9는 2차원 및 3차원 익형의 양력해석 결과를 비교하였다. 3차원 해석은 받음각 10도 이상에 대해서만 수행하였는데 transition SST의

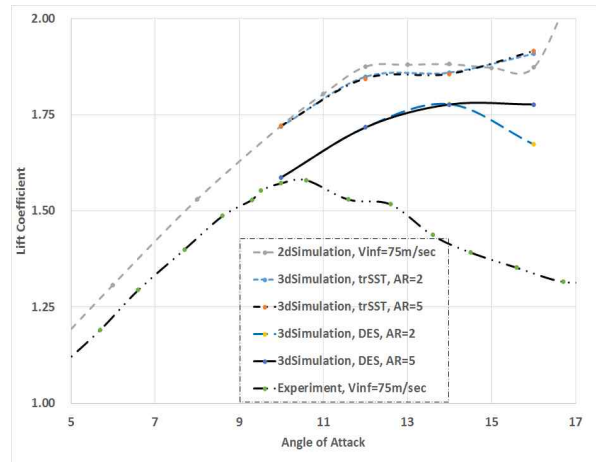


Fig. 9. 2D & 3D airfoil lift comparison

결과는 2차원 및 3차원 결과가 유사하지만 양력 계수의 최대값이 2차원 결과보다 미세하게 작음을 알 수 있다. transition SST 모델의 3차원 결과가 2차원과 유사한 이유는 실속 각 이후에도 유동의 3차원 특성을 예측하지 못하기 때문으로 판단된다. 하지만 DES결과는 2차원 결과에 비해서 낮은 양력을 예측하였고 풍동실험에 의해 예측된 양력계수 기울기와 매우 유사하다. 그러나 실속 각 및 최대 양력은 풍동실험결과보다 크게 예측되었다. 본 전산해석에 사용된 DES모델은 SST모델과 LES모델을 혼합한 모델인데 벽면 주위는 SST모델을, 외부유동은 LES모델을 이용하여 전산해석이 수행되었다. SST모델은 익형의 천이점을 풍동실험결과보다 조기에 예측하고 익형 주위를 강한 난류유동으로 예측하여 실속각이 후퇴하고 따라서 최대양력을 크게 예측하는 것으로 판단된다. 향후 transition SST모델과 LES모델을 결합한 DES모델을 활용한 전산해석을 통해 실속 각 및 최대양력 예측의 정확도를 높이는 추가 연구가 필요하다.

2차원 및 3차원 익형의 항력 비교는 생략하였는데 이는 전산해석 결과와 풍동실험결과의 받음각 영역이 달라서 직접적인 비교에 어려움이 많기 때문이다.

III. 결 론

전산해석결과는 풍동시험결과와 매우 유사하지만 최소항력, 최대항력, 양력의 기울기, 최대양력발생 받음각의 예측에는 여전히 오차를 포함하고 있다. DES 난류 모델을 활용한 3차원 익형 해석결과는 풍동시험에 더 근사한 결과를 보여주지만 최대양력 받음각 등의 예측에는 한계를 보

여주고 있다. 이러한 오차의 대부분은 난류모델의 한계와 활용의 부적절성 때문으로 분석되며 transition SST모델과 혼합한 DES 모델에 대한 분석과 이를 활용한 전산해석이 필요한 것으로 판단된다.

References

- 1) M. Drela, XFOIL: An Analysis and Design System for Low Reynolds Number Airfoil, Low Reynolds Number Aerodynamics, Springer-Verlag Lecture Notes in Engineering, Vol. 54, 1989
- 2) Kim, C. W. and Cho, T. H., "Wind Tunnel Test of the 2D Airfoil for the MW Size Wind Turbine", Journal of Wind Energy, Vol.2, No. 2, 2011
- 3) Langtry, R. B., and Menter, F. R., "Correlation-Based Transition Modeling for Unstructured Parallelized Computational Fluid Dynamics Codes," AIAA Journal, Vol. 47, No. 12, 2009, pp. 2894-2906.
- 4) Travin, A., Shur, M., Strelets, M., and Spalart, P. R., "Physical and Numerical Upgrades in the Detached-eddy Simulation of Complex Tubulent Flows," Advances in LES of Complex Flows, Vol. 65, 2004, pp. 239-254.