

CFD를 이용한 풍동 시험 모델 지지대의 공력 특성 해석

김철완*1, 박영민*2, 이장연*3

CFD Analysis of External Balance Strut Supporting Wind Tunnel Model

C. W. Kim, Y. M. Park, J. Y. Lee

The effect of the external balance strut on the wind tunnel model is investigated with simplified geometries. For this study, flat plate and elliptic wing are simulated with and without a cylinder. Pressure and wall shear stress distribution are analyzed to understand the effect of the cylinder.

Key Words : CFD, external balance, elliptic airfoil, CRW, supporting strut

1. 서 론

Tip-jet을 이용하는 Canard-Rotor-Wing(CRW) 형태의 비행체는 rotor와 동체를 연결하는 hub가 존재하는 데 이 hub를 통해서 wing-tip에서 분사될 고온 고압의 기체가 전달되고 고속으로 회전하는 rotor를 지지해주는 복잡한 구조물들이 hub의 내부에 장착된다. 그렇기 때문에 hub의 두께는 rotor의 chord 길이나 두께에 비해 무시할 수 없는 값을 갖게 된다. 이렇게 두께가 두꺼운 hub는 주위의 유동장에 큰 변화를 초래하여 비행체 공력특성을 크게 변화시킨다.

위에서 언급한 hub와 비슷한 구조를 외장형 풍동 저울의 모델 지지부에서 찾아 볼 수 있다. 풍동 시험을 통해서 외장형 풍동저울을 사용하여 비행체의 공력을 측정할 때 모델을 지지하는 방식에는 tri-pod, bi-pod 그리고 uni-pod가 있다. 모델 지지용 strut들은 풍동 저울의 strut inter-face platform과 연결되고, 위쪽은 bayonet을 이용하여 모델과 연결되기 때문에 풍동시험 과정에서 bayonet과 pitch-rod의 일

부는 유동에 노출된다.

이렇게 유동에 노출된 bayonet과 rod는 무시할 수 없는 공기역학적 힘을 발생하고 풍동저울은 모델과 지지부에 의해 발생된 힘을 함께 측정한다. 모델과 지지부의 간섭에 의한 영향을 제거하기 위해 3 run image method 같은 방법을 사용하기도 하지만 여러 가지 제약 때문에 널리 사용되지 못하고 있다. 이보다 간단한 방법은 지지부에 의해 발생된 힘을 따로 측정하여 보정해주는 방법이다. 그렇지만 이러한 보정은 모델과 이들 지지부와와의 간섭에 의해서 생기는 효과는 고려하지 않기 때문에 측정하고자 하는 모델만의 공력특성을 정확히 구할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 위에서 언급한 hub나 모델 지지대와 연결된 구조에서 보이는 유동의 간섭에 의해 발생하는 공력특성을 이해하는데 초점을 맞추고 있다. 유동 간섭에 의한 변화를 쉽게 이해할 수 있도록 매우 간단한 모델을 이용하여 수치실험을 수행하였다. 해석에 사용된 평판은 유동의 흐름 방향 면적이 없어 유동변화가 양력에 미치는 영향을 확대해 관찰할 수 있고, 타원의형은 유동방향의 면적이 익형 면적에 비해 상당한 값을 갖기 때문에 유동 변화가 양력과 항력에 미치는 함계를 살펴 볼 수 있는 장점이 있다.

*1 정회원, 한국항공우주연구원 공력성능그룹

*2 정회원, 한국항공우주연구원 공력성능그룹

*3 종신회원, 한국항공우주연구원 공력성능그룹

E-mail : cwkim@kari.re.kr

2. 해석용 모델 및 격자 생성

수치 실험을 수행하기 위해 그림 1에서 보여진 것과 같은 매우 간단한 유동장이 준비되었다. 폭의 길이가 1m이고 chord길이는 0.4 m로 일정하다. 평판 및 타원의 하단부에 설치될 원형기둥의 지름은 80 mm로서 코드 길이의 20%에 해당한다. 계산 격자의 형성을 용이하게 하기 위해 표면은 모두 삼각격자를 사용하였고 유동장은 사면체로 구성하였다. 경계층 해석의 정확도를 높이기 위해 삼각기둥 형태의 경계층 격자를 12층 구성하였다. 유동장 전체의 3차원 격자수는 약 300,000 이며 격자의 생성을 위해 상용 프로그램인 Fluent 사의 Gambit을 이용하였다.

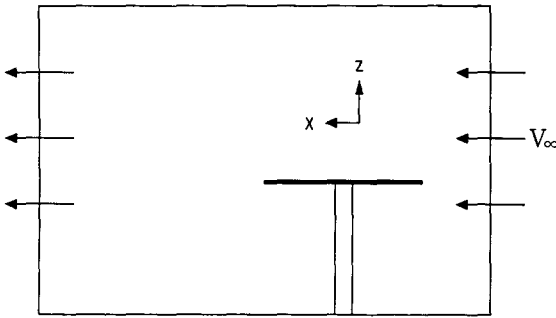


그림 1 유동장 해석을 위한 전체 개략도

3. 수치 해석

본 수치 실험은 Navier-Stokes equation을 지배방정식으로 하여 상용화된 Fluent 6.1을 이용하여 수행하였다. 적용된 경계조건은 상하 좌우 벽면에서 slip 조건을, inlet 경계는 일정한 속도를 정해주는 velocity-inlet 조건을 그리고 outlet 경계는 outflow 조건을 설정하였다. 난류계산을 위해 K & ε 모델이 wall function과 함께 사용되었다.

반복 계산 초기에 해를 빠르게 수렴시키기 위해 1차의 정확도를 갖는 수치기법을 사용하였고 해의 수렴이 어느 정도 진행된 후에(약 400번의

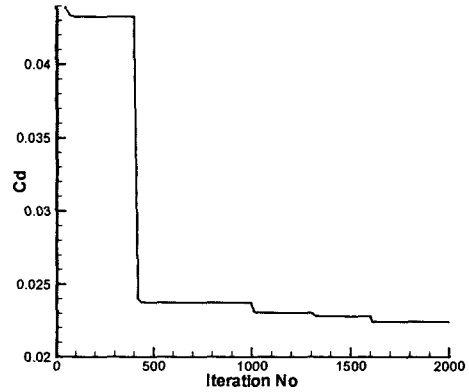


그림 2 반복 계산 시 항력 계수의 수렴 경로

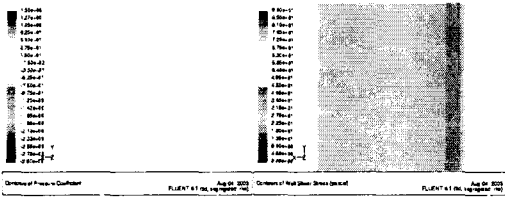
반복 계산 후) 2차의 수치 기법을 이용해 반복계산을 계속 수행하였다. 그 후 수렴된 해의 분포를 이용해 grid refinement를 3차에 걸쳐 수행하였다. 해의 구배가 큰 영역의 격자를 세분화하는 grid refinement는 해의 수렴을 가속화한다. 위에서 서술한 과정을 통해 얻어진 항력 계수의 수렴 경로가 그림 2에 나타나 있다. 400번의 반복계산 후에 수치 기법을 2차로 변환하였고, 600번의 추가 반복계산 후 첫 번째 grid refinement가 수행되었다. 그 후 300번의 계산 후 두 번째, 그리고 300번의 계산을 추가한 후 세 번째 refinement를 수행하였다.

4. 해석 결과 및 분석

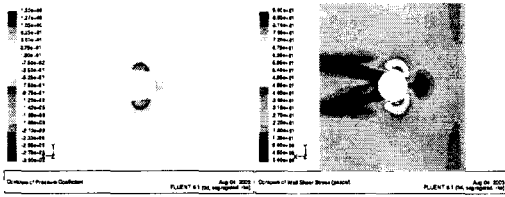
모델의 지지대에 의한 간섭 효과를 분석하기 위해 평판과 타원의형에 대한 수치해석이 수행되었다. 유동장 입구의 유속은 120m/s로 설정되었다.

4.1 평판의 수치해석

먼저 코드 길이가 0.4m인 평판에 대한 수치 해석이 행해졌다. 지지대가 설치되지 않은 평판은 매우 간단한 유동의 특성을 갖는다.



(a) Cp 분포 (b) wall shear stress



(c) Cp 분포 (d) wall shear stress

그림 3 지지대가 없는 평판(a, b)과 지지대가 설치된 평판(c, d)의 유동 특성 분포

그림 3 (a)와 (b)는 지지대가 없는 평판의 압력계수 (Cp)와 wall shear stress 분포를 보여 주고 있다. 그림 3(c)와 (d)는 지지대가 설치된 평판의 Cp 와 wall shear stress 분포를 보여준다. 평판의 하단에 설치된 지지대에 의해 지지대를 중심으로 평판의 전 반부에 고압의 영역과 정체점이 형성되고 평판의 중간 부분은 유속의 증가로 인해 저압의 영역이 형성된다. 이의 두 경우 wall shear stress로 인한 평판의 항력은 거의 같은 값을 갖지만 양력은 다른 경향을 보인다. 지지대가 없을 경우 양력은 0이 되지만 지지대가 존재하면 상하면의 압력 차이가 발생하고 평판에 양력을 발생시킨다.

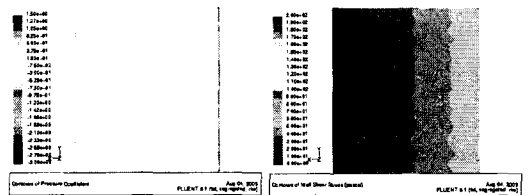
표 1. 지지대의 유무에 따른 평판의 압력 및 점성 저항 계수

		지지대가 없는 평판	지지대가 설치된 평판
항력 계수	압력 저항	0.0000	0.0000
	점성 저항	0.0065	0.0064
양력 계수	압력 저항	0.0000	-0.0051
	점성 저항	0.0000	0.0000

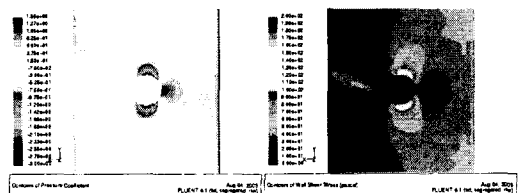
표 1은 지지대의 유무에 따른 평판의 항력 및 양력계수 값들을 보인 것이다. 평판의 항력은 오직 점성저항에 의해서만 발생하는 데 지지대의 유무에 관계없이 거의 같은 값을 가짐을 알 수 있다. 그렇지만 지지대가 설치된 평판의 경우 평판 아랫면의 압력분포가 윗면보다 작아 약 50 count의 음의 값을 갖는다. 위에 나타난 것처럼 평판은 그 형상의 특성상 압력 차이에 의한 저항은 없지만 양력에 영향을 미치게 된다.

4.2 타원익형의 수치해석

다음은 코드 길이가 0.4m인 타원 익형에 대한 수치해석을 수행하였다. 지지대가 설치되지 않은 타원 익형은 형상이 대칭이어서 양력이 발생하지 않고 약 200 count의 항력 계수를 갖는다. 그러나 지지대가 설치된 타원익형은 매우 복잡한 유동 현상을 보인다. 그림 4(a)와 (b)는 지지대가 없는 타원익형의 Cp 및 wall shear stress 분포를 보여준다. 그림 4(c)와 (d)는 지지대가 있는 타원 익형의 Cp와 wall shear stress 분포를 나타낸다. 지지대에 의해 타원 익형 전반부에 형성된 압력분포는 평판(그림 4(c))의 경우보다 높은 압력이 넓은 영역에 형성됨을 알 수 있다. 따라서 평판과 달리 아랫면의 압력이 윗면보다 높아 양력이 양의 값을 갖는다. 또한 압력 차이에 의한 저항도 증가하였다.



(a) Cp 분포 (b) wall shear stress



(c) Cp 분포 (d) wall shear stress

그림 4 지지대가 없는 타원익(a, b)과 지지대가 설치된 타원익(c, d)의 유동 특성 분포

표 2. 지지대 유무에 따른 타원익형의 압력 및 점성 저항 계수

		지지대가 없는 평판	지지대가 설치된 평판
항력 계수	압력 저항	0.0131	0.0195
	점성 저항	0.0082	0.0084
양력 계수	압력 저항	0.0000	0.0549
	점성 저항	0.0000	0.0000

표 2는 지지대의 유무에 따른 타원 익형의 항력 및 양력계수 값들을 보여주고 있다. 지지대에 의해 타원 익형 전반부에 형성된 높은 압력 분포는 익형의 항력을 약 60 count 증가시킨다. 그러나 지지대에 의해 변화된 유동의 속도 분포는 점성 저항에 별 차이를 주지 못한다. 또한 아랫면 전반부에 형성된 높은 압력은 익형의 양력을 크게 증가시킨다.

5. 결론

지지대가 설치된 평판의 저항은 지지대가 없는 평판과 별 차이가 없지만 평판의 하단에 낮은 압력 분포를 형성해 음의 양력을 갖게 한다. 타원익형의 경우 이와 달리 지지대에 의한 아랫면의 압력변화가 항력과 양력을 증가시킨다. 위에서 살펴본 것처럼 모델의 하단에 설치된 원통이 부근 유동 흐름에 많은 영향을 주고 측정하고자 하는 모델의 공력 특성을 크게 변화시킨다. 이런 현상에 대한 체계적인 분석을 위해 보다 다양한 형태의 모델과 유동 조건에 대한 추가적인 수치 실험이 요구된다.

참고문헌

- [1] Fluent Manual 6.1
- [2] 신 개념 비행체 1차년 실적 보고서-공력분야
- [3] Fairing 배치에 따른 동압 변화, 정진덕, 성봉주, 이장연, 한국 항공우주 학회 2002년 추계 학술 발표회