

상용 여객기에서 엔진의 비장착/장착을 고려한 유동 해석

김양균* · 김성초** · 최종욱** · 김정수**

Flow Analysis of a Commercial Passenger Airplane with or without Jet Engines

Yangkyun Kim* · Sungcho Kim** · Jongwook Choi** · Jeong Soo Kim**

ABSTRACT

This paper describes the aerodynamic interference characteristics between the wing and the engines in a commercial airplane which is realized by reverse engineering based on the photo measurement. Steady three-dimensional compressible inviscid Euler equation is solved in the unstructured grid system under the cruise condition. The lift and drag forces in the wing with engines increase by 1.49% and 3.9%, respectively compared with the wing without engines.

초 록

천음속 영역에서 순항 속도로 비행하는 상용 여객기에 대해 공력을 해석하였다. 실제 여객기의 축소 모형을 사진으로 계측하여 역설계하여 형상을 모델링하였다. 사면체로 전체 격자계를 구성하였고 정상 상태에서 압축성 비점성 3차원 Euler 방정식을 풀었다. 날개에 엔진이 장착되었을 때와 제거되었을 때에 대해 계산하였는데 엔진이 장착되면 양력과 항력이 각각 1.49%와 3.9%씩 증가하였다. 또한 날개 표면에서 압력 분포와 엔진 주위의 유동 특성을 밝혔다.

Key Words: Geometry Modeling(형상 모델링), Aerodynamic Force(공력), Wing-Engine Interface(날개-엔진 간섭), Lift(양력), Drag(항력), Streamline(유선)

1. 서 론

항공기 개발 과정에서 비용과 시간을 줄이고 최적 설계를 하려면 전산 해석이 필수이며, 따라서 공력(aerodynamic) 특성을 밝히기 위해 날개 골(airfoil), 날개(wing), 동체(fuselage) 등에 대한

수치해석이 꾸준히 이루어져 왔다[1-2]. 특히 기하학적으로 복잡한 형상 주위 유동을 정확히 해석하기 위해서 항공사들은 자체적으로 제작한 프로그램은 물론 여러 가지 해석 프로그램을 사용하고 있다[3-4].

비행기 추진 기관(propulsion engine)은 비행기 사용 목적을 고려해서 추진 방식, 장착 위치, 개수 등을 면밀히 분석하여 결정된다. 상용 여객기(commercial airplane) 엔진 형상은 일반적으로 위쪽으로 약간 들려있고 입구 부분은 아래

* 순천대학교 기계우주항공공학부 기계공학전공
* 순천대학교 기계우주항공공학부
연락처, E-mail: ksc@sunchon.ac.kr

방향으로 적당한 각도로 기울어져 있다. 이것은 엔진으로 들어오는 유동이 날개의 영향 때문에 위 방향 속도 성분을 가지므로, 위 방향으로 들어오는 유동의 유선(streamline)과 입구를 일치시키기 위한 것이다[5]. 또한 비행기가 상승할 때 엔진 입구와 이루는 각도에 의해 발생하는 유동의 박리(separation of flow)를 가능한 한 억제시키기고 엔진으로 유입되는 공기 흐름을 비교적 균일하게 하기 위해서 나셀(nacelle) 아래 부분을 비대칭적으로 두껍게 한다. 김 등[6]은 바이패스(by-pass ratio)가 높은 터보팬(turbofan) 엔진과 나셀을 장착했을 경우에 3차원 오일러(Euler) 방정식을 구조 격자계(structured grid system)에서 풀었으며, Pendergraft 등[7]은 저익(low-wing)에 장착된 터보팬 나셀-파일론(pylon)이 날개의 공력 특성에 미치는 간섭 효과를 실험으로 규명하였다.

본 연구에서는 상용 여객기를 3차원으로 사진 계측(photo measurement)하여 얻은 형상에 대해서 날개에 엔진이 장착되거나 그렇지 않은 경우에 순항 조건(cruise condition)에서 공력 변화를 해석하였고, 엔진 주위의 유동 특성을 파악함으로써 엔진 장착이 유동장(flow field)에 미치는 영향 또는 간섭 효과(wing-engine interference effect)를 살펴보았다. 다만, 엔진 형상을 실제 모양에 근접하게 모형화하지는 않고 단순화하였다.

2. 형상 모델링

실제 항공기의 상세한 형상 데이터를 얻는 것은 거의 불가능하기 때문에 선행적으로 수행해야 하는 중요한 작업은 모형을 정확히 계측하는 것이다. 여기서는 100:1로 축소된 Boeing 747-400 모형에 대해서 사진을 이용하여 비접촉 방법으로 형상을 계측하였다. 계측은 포토모델러(photomodeler)로 하였으며 공칭 정확도는 0.004 mm/m인데 이것은 카메라 성능 즉 초점거리(focal length), 사진 해상도(resolution), 렌즈 왜곡(lens distortion) 등의 영향을 받는다. 측정된 형상을 역설계(reverse engineering)했으며 측정

오차는 최대 1.4%이다. 또한 문제를 간단히 해석하기 위해서 엔진 모양을 단순화하였다. 즉 엔진의 팬과 연소기 등을 제거하였다.

3 수치계산

유동 계산은 정상상태 3차원 압축성 흐름에 대해 수행되었다. 즉, 질량 보존식, 운동량 보존식, 에너지 보존식과 기체 상태 방정식을 함께 풀었으며 각각 아래와 같이 정리된다.

$$\frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho u_j h}{\partial x_j} = - u_j \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (3)$$

$$p = \rho R T \quad (4)$$

여기서 ρ 는 유체 밀도, p 는 유체 압력, u_i 는 속도 벡터, x_i 는 좌표, h 는 엔탈피, R 은 기체 상수, T 는 절대 온도이다.

수치 계산은 유한 체적법(finite volume method)로 하였고 대류항(convective term)은 Crank-Nicholson 기법으로 처리하였으며 공간 차분화(spatial discretization)는 1차 풍상 차분(upwind differencing)을 채택하였다.

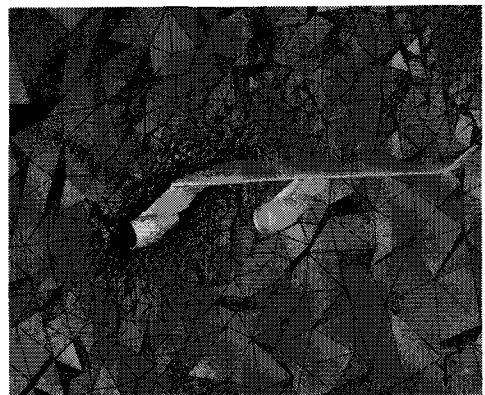


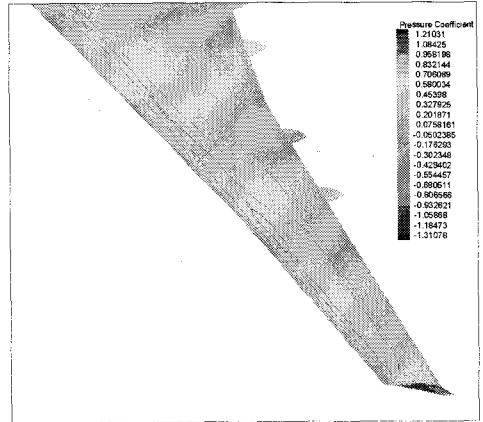
Fig. 1 Grid system near the inner engine

계산에 필요한 물리 상태는 순항 조건(cruise condition)인 고도는 13 km, 마하수 0.85로 선택하였다. 계산 영역의 앞쪽 경계에서 자유 흐름이 비행기에 평행하게 접근하며 물체 표면에서는 단열(adiabatic) 미끄럼 조건(slip condition)을 나머지 경계에서는 압력 조건을 부여하였다. 격자 계는 비정렬(unstructured) 사면체(tetrahedron)로 구성하였는데 유동 변화가 심할 것으로 예상되는 곳에 격자를 충분히 밀집시켰으며 Fig. 1은 특정 단면의 격자 구성이다.

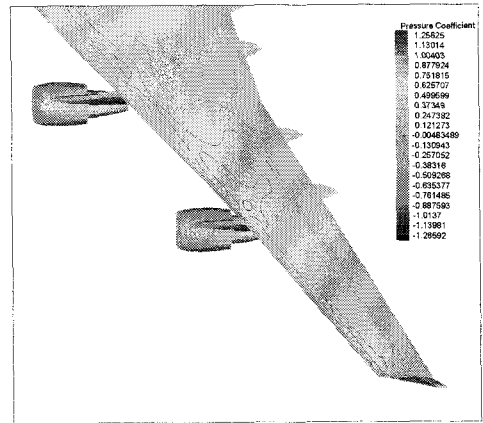
4. 계산 결과 및 토론

수렴 판정은 전체 물리량 변화가 10^{-6} 이하가 되는 것을 기준으로 하였으나 특히 공력 변화가 없을 때까지 계산을 수행하였다. Fig. 2는 엔진이 없거나 있을 때 날개 윗면에서 압력 계수 $c_p = (p - p_\infty) / (\rho U_\infty^2 / 2)$ 분포를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 날개 안쪽보다 날개 끝 쪽에서 압력 계수는 낮아진다. 엔진이 장착된 근처의 날개 면에서 상대적으로 압력 계수는 더 낮아지고 그 영역도 더 넓는데 이것은 엔진 마운트(engine mount)부분의 영향으로 흐름이 더 가속되기 때문이다. 엔진이 장착되면 날개와 엔진에서 발생하는 양력(lift)과 항력(drag)이 엔진이 제거된 경우에 비해서 각각 1.49%, 3.9%씩 증가하였다. 이것은 엔진 자체의 형상에 의해서도 양력이 발생될 수 있지만 한편으로 엔진에 의해 상대적으로 큰 항력이 발생되므로 엔진 장착 위치와 그 모양 및 개수가 중요한 설계 변수가 될 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 이 연구에서는 엔진 형상을 비교적 단순하게 구성하였고 내부의 팬과 연소 장치 등을 제거하였기 때문에 실제 엔진에 의한 영향은 좀 더 면밀히 분석되어야 한다.

Figure 3은 몇 위치에서 유선을 그린 것이다. Figure 3(a)는 전형적인 날개 주위의 유동을 나타내지만 Fig. 3 (b)를 보면 엔진에 의한 영향을 알 수 있다.

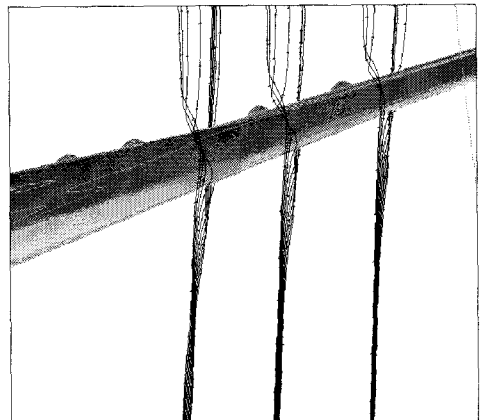


(a) without jet engine

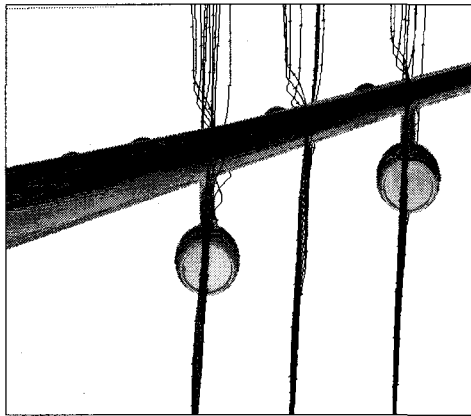


(b) with jet engines

Fig. 2 Distributions of static pressure coefficient (c_p) on the upper wing



(a) without engine



(b) with jet engines

Fig. 3 Streamlines with or without jet engines

5. 결 론

본 연구에서는 사진 계측 방법으로 상용 여객기 형상을 역설계하였다. 날개에 단순화된 형상의 엔진이 장착되거나 제거되었을 때에 계산영역을 비정렬 사면체 격자로 구성하여 순항 조건에 대해 유동장을 해석하였다. 엔진의 장착으로 항력 손실은 다소 크게 증가하지만 엔진의 자체 형상으로 양력도 발생하였다. 이러한 결과를 기초로 엔진의 형상 및 위치, 장착되는 각도 변화를 고려하여 최적 공력 설계를 해야 한다. 날개 윗면의 압력분포로부터 엔진의 영향에 의해 상대적으로 더 낮은 압력 분포 범위가 확대되었다. 또한 유선에 의한 가시화부터 엔진 장착에 의해 유동장이 변하는 것을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2006년도 교육인적자원부의 지방대

학 혁신역량강화사업(NURI)에 의해 지원되었음.

참 고 문 헌

1. 강정훈, "풍상차분법을 이용한 3차원 날개 주위의 천음속 유동장 해석," 한국항공우주학회지, 제19권, 제4호, pp.4012-4021, 1991.
2. Neal T. Frink, "A Fast Upwind Solver for the Euler Equations on Three-Dimensional Unstructured Meshes," AIAA-91-01027, 1991.
3. E. M. Lee-Rausch, N. T. Frink, "Transonic Drag Prediction on a DLR-F6 Transport Configuration Using Unstructured Grid Solvers," AIAA 2004-0554, 2004.
4. O. Brodersen, A. Stürmer, "Drag Prediction of Engine-Airframe Interference Effects Using Unstructured Navier-stokes Calculations," 19th AIAA Applied Aerodynamics Conference, Anaheim, California, 11-14 June, 2001.
5. 주원구, "항공기 터보팬엔진에서 인테이크/터보팬/후방엔진요소 사이의 유동장 간섭", 한국항공우주학회지, 제26권, 제3호, pp.1-8, 1996.
6. 김수미, 양수석, 이대성, "비장착 및 장착 엔진/나셀 형상에 대한 3차원 Euler 유동해석," 한국항공우주학회지, 제26권, 제5호, pp.50-60, 1998.
7. Pendergraft, O.C. Jr., Ingraldi, A.M., Re, R.J. and Kariya, T.T., "Installation Effects of Wing-Mounted Turbofan Nacelle-Pylons on a 1/17-Scale, Twin-engine, Low-wing Transport Model," NASA Technical Paper 3168, 1992.