

후류의 영향을 받는 익형의 공력 특성 연구

The Study of Airfoil Aerodynamic Characteristics in Backflow Field

이상우^{1*}, 백진솔¹

건국대학교 항공우주정보시스템공학과¹

초 록

유동 교란에 의하여 균일유동이 아닌 자유류가 항공기 날개 표면을 지나면 공력 계수들이 균일 자유류 유동과는 달라진다. 예를 들어, 항공기들의 편대 비행에서 앞의 항공기가 생성한 후류가 뒤 항공기에 영향을 주고, 두 개의 주익을 가지는 Tandem Wing 항공기의 경우 첫 번째 주익에서 발생된 후류가 두 번째 주익의 공력에 영향을 미친다. 본 연구는 NACA0012 익형의 앞쪽에 또 다른 익형을 배치하여 앞 쪽의 익형에서 발생된 후류가 뒤의 익형에 미치는 영향을 익형 사이의 거리에 따라 분석하였다. 앞쪽의 익형에서 발생된 압력계수와 뒤쪽에서 발생된 압력계수의 비교를 통해 후류의 효과가 어떤 영향을 끼치는지 확인 하였고, 두 익형 사이의 거리가 $2c$ 일 때 후류의 영향이 거의 없음을 확인 하였다.

Key Words : 편대비행(Formation Flight), 일렬날개(Tandem Wing), 후류효과(Backflow Effect), 익형(Airfoil), 압력계수(Pressure Coefficient)

1. 서 론

항공기의 양력과 항력은 항공기가 비행할 때 주변의 유동으로부터 얻어지는 공력이며, 보통 자유류가 주익 표면을 따라 흐르면서 발생하는 표면력을 계산하여 얻어진다. 표면력은 날개 표면에 수직으로 작용하는 힘인 압력과 수평으로 작용하는 마찰력이 있으며, 양력은 압력의 영향이 크고 항력은 마찰력의 영향이 크게 작용한다. 따라서 항공기의 공력 특성을 분석하기 위해서는 압력과 마찰력의 측정 또는 계산이 중요하다.⁽¹⁾ 균일한 자유류 유동이 항공기의 날개를 지나면서 얻어지는 압력과 마찰력의 측정 또는 계산은 용이하지만 어떤 교란에 의하여 균일하지 않은 유동이 날개 표면을 흐르게 되면 표면력의 정확한 측정이 어렵다. 항공기 한대가 순항 비행 시에는 자유류를 균일 유동으로 가정하여 공력을 계산하여 특성을 분석 가능하다. 하지만, 그림1과 같이 항공기가 편대를 이루어 비행할 경우에는 앞의 항공기에서 발생된 후류가 뒤 항공기 날개를 지나므로 균일 유동이 날개 표면을 지나지 않게 된다.⁽²⁾ 또한 그림 2의 일렬 날개 항공기에서도 첫 번째 주익을 지난 후의 후류가 두 번째 주익으로 흘러들어와 두 번째 주익의 공력 특성을 앞의 날개와 다르게 한다.⁽³⁾ 따라서 본 논



그림 1 편대 비행

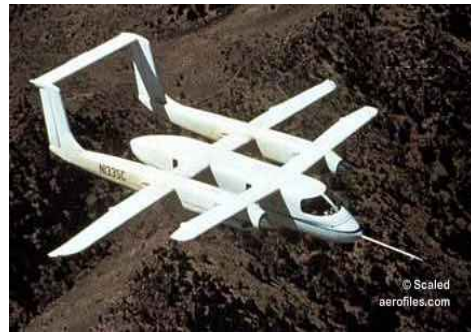


그림 2 Tandem wing 항공기

문은 하나의 날개를 지난 후의 후류가 다른 날개표면을 흐를 때의 공력 특성의 변화를 알아보기 위하여 두 개의 익형을 나란히 배치하여 뒤 쪽 익형의 압력계수를 익형 사이의 거리에 따라 비교한다.

2. 해석 방법

2.1 유동 해석 조건

후류 효과에 의한 에어포일 압력계수의 변화를 해석하기 위한 자유류는 일반 공기로 하며, 유동 해석 조건은 다음과 같다.

실제로 비행하는 날개의 유동 해석을 위해서는 항공기의 평균 비행속도와 레이놀즈수를 만족하는 범위에서 유동해석이 이루어져야한다. 따라서 마하수는 0.3으로 선정하였으며, 이는 익형의 크리티컬 마하수보다 작게 설정하여 익형 표면에서 마하수가 1을 넘지 않는다. 또한, 레이놀즈수는 항공기가 순항할 때의 레이놀즈수 영역인 $Re \approx 10^6$ 으로 한다.⁽¹⁾

유동 해석은 EDISON solver중 하나인 2D_Comp_P를 이용하였으며, 기본 세팅은 다음의 표와 같이 하였다.

표 1 해석 유동 성질

밀도	압력	온도	마하수	레이놀즈수
$1.225kg/m^3$	$1.01 \times 10^5 N/m^2$	298K	0.3	3×10^6

표 2 2D_Comp_P Setting

Flow Type	Flux Scheme	Limiter	Time Integration	Error Tolerance
Turbulent	RoeM	Van Albada	LU-SGS	0.00001

표 3 익형 사이 간격에 따른 격자 개수

익형 사이 간격	0.5C	1C	1.5C	2C
격자 개수	388×178	420×178	452×178	484×178

2.2 격자 모델링 및 생성

해석 익형은 대칭형 익형인 NACA0012를 사용하였고, 첫 번째 익형과 두 번째 익형의 크기는 동일하게 하였다. 에어포일 사이의 거리에 따른 후류 영향과 그 강도를 알아보기 위하여 익형 사이의 간격을 익형 코드 길이의 0.5c, 1c, 1.5c, 2c 4가지의 경우로 유동 해석을 시행하였다. 격자 종류는 C형 격자를 사용하였으며, Far-Field까지의 거리는 코드길이의 20배 이상으로 격자를 모델링 하였고, 뒤쪽 에어포일의 leading edge에서 격자를 최대한 사각형으로 만들어주기 위해 격자를 여러 개로 나누어 스페이싱을 하였다.

본 연구는 후류 영역에 놓여있는 익형의 표면력 중 일부인 압력 계수를 계산하여 익형의 공력 특성을 알아보고자 하므로, 격자 생성시 첫 번째 익형을 지난 후류

의 계산을 위하여 익형 사이에 격자를 많이 생성하였다. 또한, 표면력을 최대한 정확히 계산 할 수 있도록 익형 표면에서 격자의 수직성을 중요한 요건으로 하였고, 경계층의 계산을 위해 y^+ 가 1 이하가 되도록 노력하였다.

3. 해석 결과

3.1 유동 해석 결과

그림5~8은 각 익형사이의 거리에 따른 앞, 뒤 익형의 압력계수를 비교한 것이다. 두 익형 사이의 거리가 0.5c 일 때와 1c 일 때를 보면 c/4지점에서 앞 쪽의 익형보다 Cp가 더 높고, 중반을 지나면서 더 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. 거리가 1.5c 일 때는c/4지점에서 압력 차이가나고 뒤에는 비슷해지는 것을 볼 수 있다. 따라서 뒤 쪽의 익형이 후류의 영향을 받음을 확인 할 수 있다. 그렇다면 후류효과가 어떤 효과이기에 뒤쪽 에어 포일에 효과를 주는 것일까? 이를 확인하기위해 그림 10과 그림 11의 속도와 압력 contour를 보면 앞 쪽 익형을 지난 후 유동은 자유류 보다 속력은 느리고 압력이 높은 것을 확인 할 수 있다. 즉, 자유류 보다 느린 유동이 뒤 쪽에 익형에 흐르기 때문에 그림 5, 6, 7에서 처럼 압력계수의 차이가 나는 것이다. 2c일 때 보면 후류의 영향이 거의 사라져 앞쪽의 익형의 압력계수와 뒤 쪽 익형의 압력계수가 같아지는 것을 확인 할 수 있다. 그림 12에서 보듯이 2c 일 때는 자유류와 비슷한 속도 임을 확인 할 수 있다.

결론적으로 2c 일 때 후류가 자유류와 같게 되어 후류의 영향이 거의 없음을 확인 할 수 있다. 뒤쪽 익형의 앞전에서 Cp가 1이 아님을 확인 할 수 있는데 이는 그림4에서 볼 수 있다 시피 격자생성에서 완벽하게 수직으로 나오지 않고, 빈공간이 존재해서 그로인해 생기는 계산 에러라고 볼 수 있다.

3.2 익형 사이의 거리에 따른 압력계수 결과 비교

다음은 익형 사이의 거리에 따라 압력계수를 비교해 보았다. 압력계수가 큰 차이는 없지만 0.5c일 때 앞 쪽

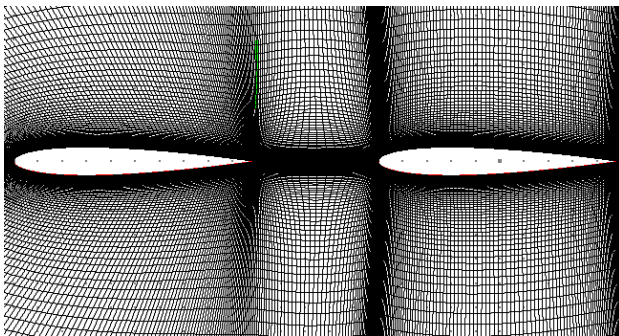


그림 3 익형 사이 간격 0.5c 격자 형상

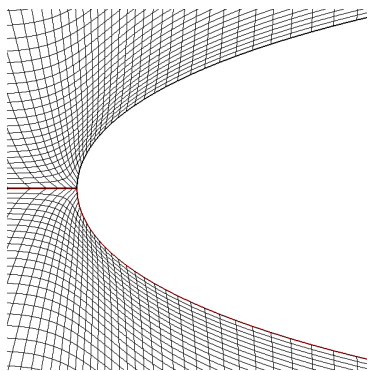


그림 4 익형 표면 격자 확대

3.1 유동 해석 결과

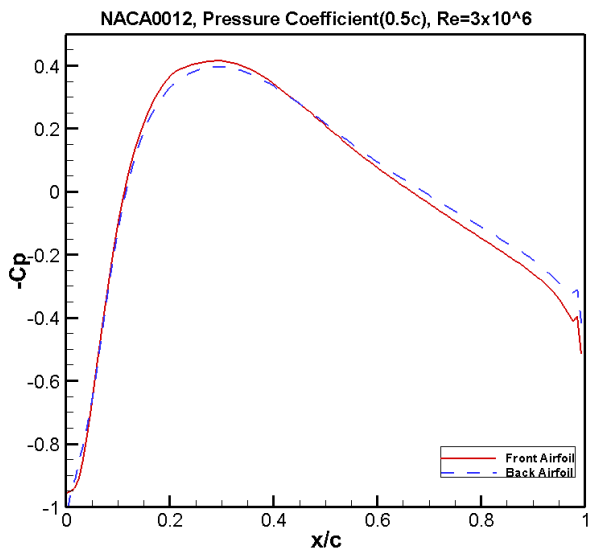


그림 5 익형 거리 0.5c일 때 압력계수

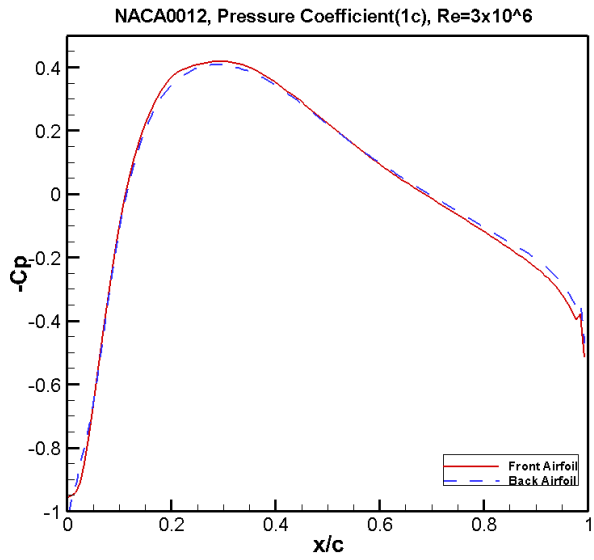


그림 6 익형 거리 1c일 때 압력계수

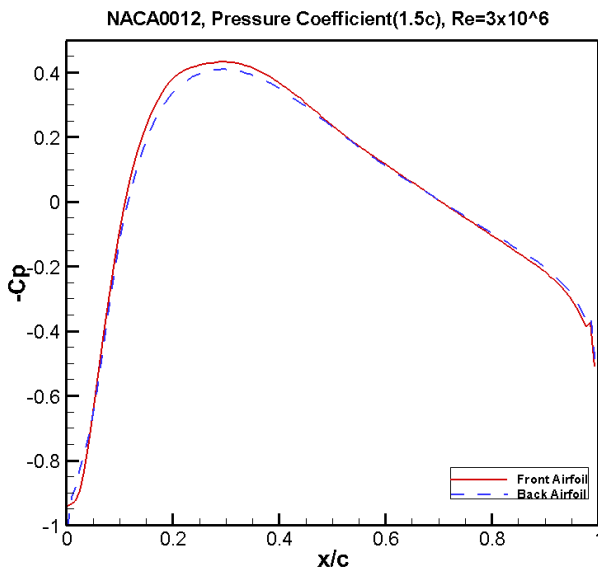


그림 7 익형 거리 1.5c일 때 압력계수

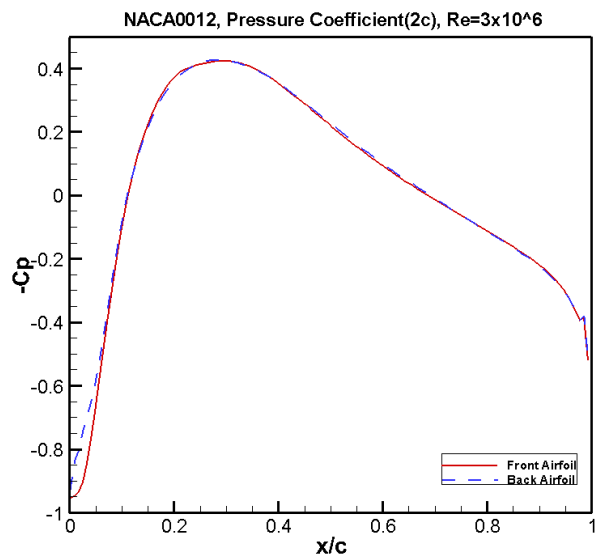


그림 8 익형 거리 2c일 때 압력계수

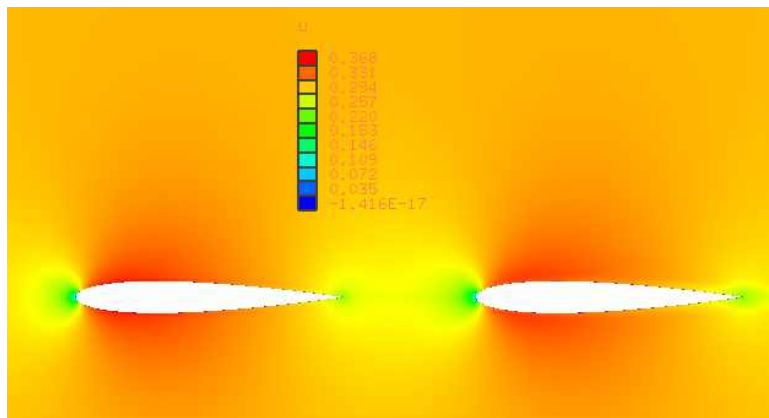


그림 9 익형 거리 0.5c일 때 속도contour

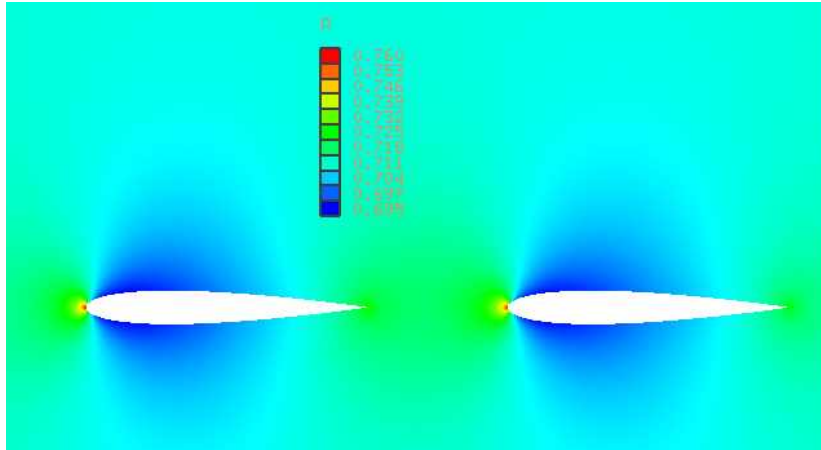


그림 10 익형 거리 0.5c일 때 속도contour

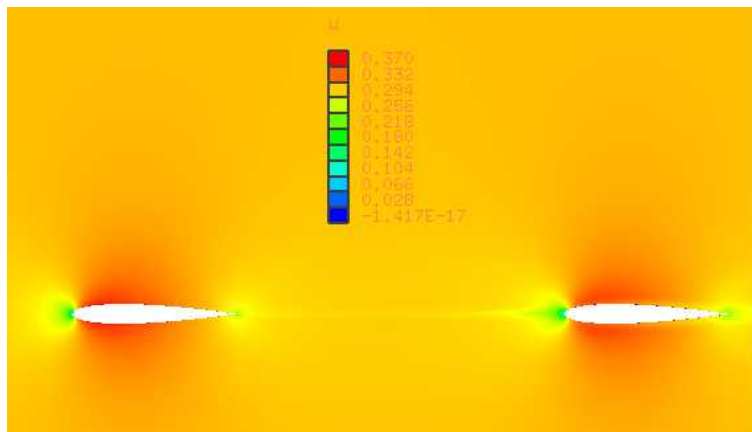


그림 11 익형 거리 2c일 때 속도contour

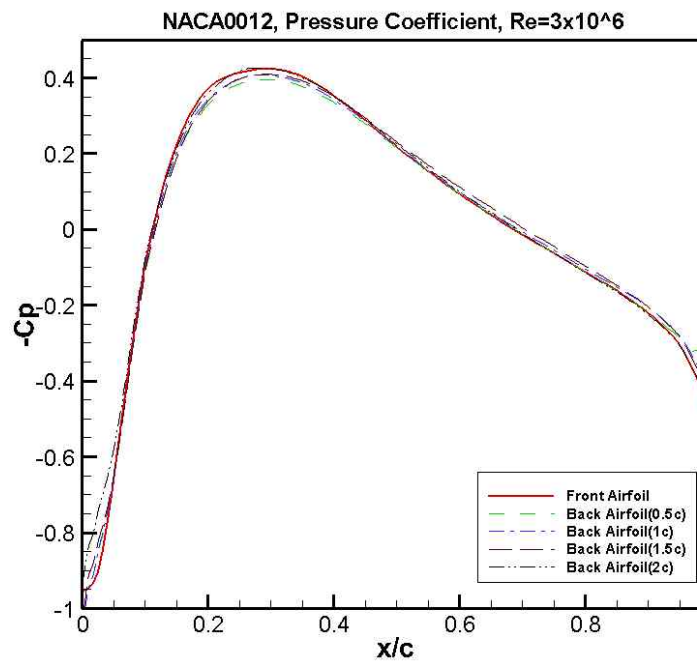


그림 12 모든 익형 거리에 따른 압력계수 비교

익형과 압력계수의 차이가 가장 크고, 2c일 때 거의 같은 것으로 보아 두 익형의 사이가 좁아질수록 후류의 영향을 크게 받는다는 결론을 내릴 수 있다.

4. 결 론

본 내용에서는 NACA 0012의 2개의 익형을 거리에 따라 배치하여 후류의 영향을 받는 익형의 공력 특성을 연구 하였다. 격자는 경계층 조건과 후류의 영향이 잘 해석 될 수 있도록 설계 하였고, 이로부터 두 익형 사이의 거리가 0.5c, 1c, 1.5c, 2c 일 때 앞쪽과 뒤쪽의 압력계수를 비교 하였다. 거리가 2c일 때 앞쪽과 뒤쪽의 압력계수가 같은 것으로 보아 2c 일 때 후류의 효과가 사라지는 것을 확인 하였고, 거리가 가까우면 가까울수록 후류의 영향이 더 커지는 것을 확인하였다. 2차원 유동으로 해석했기 때문에 후류에 날개 끝단에서 발생하는 볼텍스가 제외 됐으므로 크게 차이가 안 나는 것 같다. 만약 3차원 날개의 유동이라면 날개 끝단 볼텍스 때문에 후류의 영향이 증가하고 공력에도 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다.

후 기

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2011-0020557).

참고문헌

- [1] John D Anderson Jr. , “Fundamentals of Aerodynamics”, MacGraw-Hill, pp. .
- [2] H.P Thien, M.A. Moelyadi, and H. Muhammad, 2007, “Effects of Leader’s Position and Shape on Aerodynamic Performances of V Flight Formation.”, International Conference on Intelligent Unmanned Systems
- [3] Timothy M Broering, and Yongsheng Lian, 2010, “The Effect of Wing Spacing on Tandem Wing Aerodynamics.”, AIAA
- [4] Daniel F. Scharpf, and Thomas J. Mueller, 1990, “An Experimental Study of a Closely Coupled Tandem Wing Configuration at Low Reynolds Numbers.”, AIAA