

에어포일 단면의 양력 및 항력 분석

Analysis of Lift and Drag of the Airfoil Section

저자 (Authors)	이동신, 이승수
출처 (Source)	한국풍공학회 학술발표회논문집 , 2013.5, 189-194(6 pages) Proceedings of WEIJK Symposium , 2013.5, 189-194(6 pages)
발행처 (Publisher)	한국풍공학회 The Wind Engineering Institute of Korea
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02198245
APA Style	이동신, 이승수 (2013). 에어포일 단면의 양력 및 항력 분석. 한국풍공학회 학술발표회논문집, 189-194
이용정보 (Accessed)	서울대학교 147.46.182.*** 2019/06/02 01:19 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

에어포일 단면의 양력 및 항력 분석 Analysis of Lift and Drag of the Airfoil Section

©이동신* 이승수**

1. 서 론

일반적으로 항공기의 날개 및 풍력발전 블레이드에서의 에어포일은 항공기의 기능 및 풍력발전의 효율에 의해 변화가 나타난다. 에어포일의 형상의 변화에 따라 양력의 발생 효율은 변화하게 되며, 이러한 형상과 효율에 따라 적합한 에어포일을 선정하게 된다. 에어포일은 공기보다 무거운 항공기를 비행시키기 위해서 공기 역학적인 효과, 즉 양력은 크고 항력은 작은 에어포일이 선정된다.

에어포일의 양력은 물체에 닿은 유체를 밀어 내리려는 힘에 대한 반작용으로 나타나며 이것을 F_y 라 하면 그 크기는 물체의 면적 L , 흐름의 속도 V , 유체 밀도 ρ 에 따라 정해지며, 일반적으로 $F_y = 0.5 \times \rho \times V^2 \times L \times C_L$ 로 나타난다. 이 식에서 C_L 는 물체의 단면 형상 및 받음각에 의해 정해지는 양력계수이다. 받음각이 너무 커지면 물체 주위의 유선이 흐트러져 배후에 소용돌이가 생기며 갑자기 양력이 없어지고 항력이 증가하게 된다. 또한, 항력은 물체가 유체 내에서 운동하거나 유체내에서 물체가 정지해 있을 때 유체에 의해서 운동에 방해되는 힘을 받는데 이를 항력이라고 하며, 유체에 대한 물체의 상대속도의 반대방향으로 항력이 작용하게 된다. 일반적으로 항력은 $F_x = 0.5 \times \rho \times V^2 \times L \times C_D$ 로 나타난다.

이러한 항력과 양력에 의해 성능이 결정되는 에어포일은 일반적으로 양력과 항력의 비를 일컬어 양항비라하며 양항비의 값의 크고 작음은 에어포일의 성능에 큰 관계를 가지게 된다. 이 값이 클수록 우수한 성능을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 에어포일의 양력 및 항력은 에어포일이 가지는 고유특성인 Camber 및 두께에 의해 결정된다. 따라서, 에어포일의 성능은 두께 및 캠버에 의해 결정되며, 이러한 에어포일 중 A~Z계열 에어포일의 최대두께 및 최대캠버에 의한 성능에 대한 분석을 실시하였다.

2. 에어포일의 실험과 수치해석에 의한 양력 및 항력 비교

2.1 기본 지배 방정식

본 논문의 에어포일의 수치해석은 기본 유체 지배 방정식인 질량 보존의 방정식, 운동량 보존 방정식을 만족시키며 방정식은 다음과 같다.

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

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

이때, u_j 는 $j=1, 2, 3$ 에 따라 x, y, z 방향의 유속을 나타낸다. 본 연구에서는 x, y 는 수평면의 좌표를, z 는 중력과 반대방향의 수직 좌표를 나타낸다. 또한 ρ, p, μ 는 각각 공기의 밀도, 압력 및 동점성계수를 나타낸다.

* 충북대학교 토목시스템공학과 석사과정 (ldshh0405@gmail.co.kr)

** 정희원, 충북대학교 토목공학학과 교수 (joshua@cbnu.ac.kr)

2.2 에어포일의 실험 및 수치해석의 비교 검증

본 해석을 위해 유한체적 기반의 FLUENT를 이용한 Airfoil을 해석하였다. 본 논문에서는 여러 가지 난류유동에 대하여 일반적으로 가장 광범위하게 사용되고 있는 $k-\epsilon$ 난류 모델을 사용하였다. 난류 운동 에너지 k 및 난류 운동 에너지 소실률 ϵ 을 기본으로 하여 난류량을 예측하는 반경험(semi-empirical)모델이다.

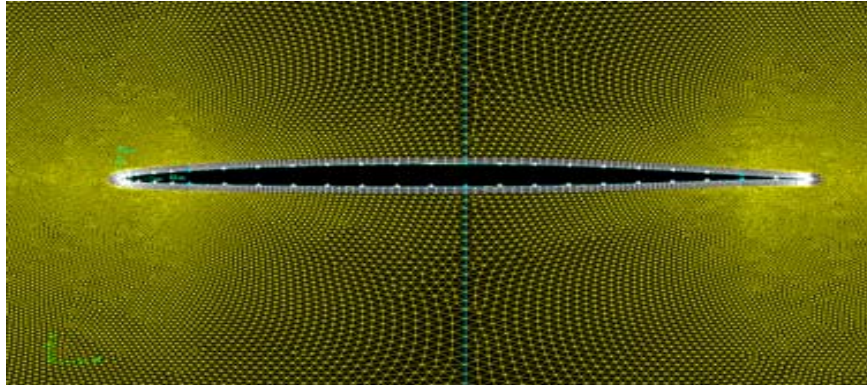


그림 1 NACA66-206의 모델링 결과

전산유체역학을 통한 Airfoil의 항력 및 양력의 비교 및 검증을 위해 NACA(National Advisory Committee for Aeronautics:국립항공자문위원회)에서 정의한 NACA66-206의 모델을 사용하였다. 그림 1은 NACA66-206의 모델링의 결과로 모델의 표면의 주위 유동의 자세한 확인을 위해 Boundary layer를 설정하였다.

NACA66-260 모델을 해석하기 위해 $Re = 6.0 \times 10^6$, 받음각 0° 에서의 항력계수 및 양력계수를 비교하였다. 양력계수 및 항력계수는 방정식과 같다. 여기서, 물체의 단위 길이 L , 흐름의 속도 V , 유체 밀도 ρ 로 정의된다.

$$C_L(\text{양력계수}) = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times L} \quad (3)$$

$$C_D(\text{항력계수}) = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times L} \quad (4)$$

표 1은 $Re = 6.0 \times 10^6$ 에서 받음각 0° 에서의 실험에 의한 NACA66-206⁽¹⁾ 모델의 양력계수 및 항력계수를 나타낸 것으로, 전산해석의 해석 결과값과 거의 일치하는 것으로 나타났다.

표 1 NACA66-206모델의 실험치 및 전산해석 결과

	양력계수 C_L	항력계수 C_D
실험치	0.2	0.035
전산해석	0.20288	0.03649

3. 에어포일의 최대두께 및 최대캠버 분류

3.1 에어포일의 최대두께 및 최대캠버

각각의 에어포일이 가지는 특성인 두께 및 캠버에 의해 양력과 항력의 변화가 나타나는 것으로

알려져 있다. 그림 3은 에어포일의 각 부분의 용어로 앞전에서 뒷전까지의 길이를 시위라고 하며 보통의 측정 단위의 기준거리로 사용되며, 윗면과 아래면에 내접한 원에서의 원의 직경을 에어포일의 두께이며, 이러한 두께의 최대값을 최대두께라고 한다. 또한, 아랫면과 윗면의 중심점 또는 윗면과 아래면의 내접하는 원을 그렸을 때 이 원의 중심점들을 연결한 선을 평균 캠버선이라고 하며, 시위선과 평균 캠버선과의 높이 차를 캠버라고 하며, 이러한 높이차가 최대값을 가지는 캠버를 최대 캠버라고 한다.

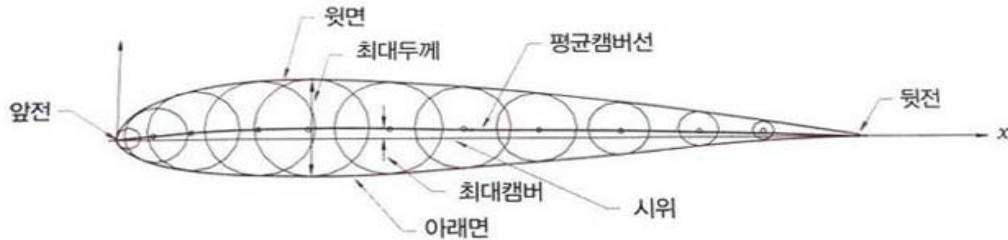


그림 2 에어포일 각 부분의 용어

3.2 에어포일의 최대두께 및 최대캠버 분류

290개의 A~Z계열 에어포일의 최대두께 및 최대캠버를 산정하였다. 시위의 단위길이는 1로 하였다.

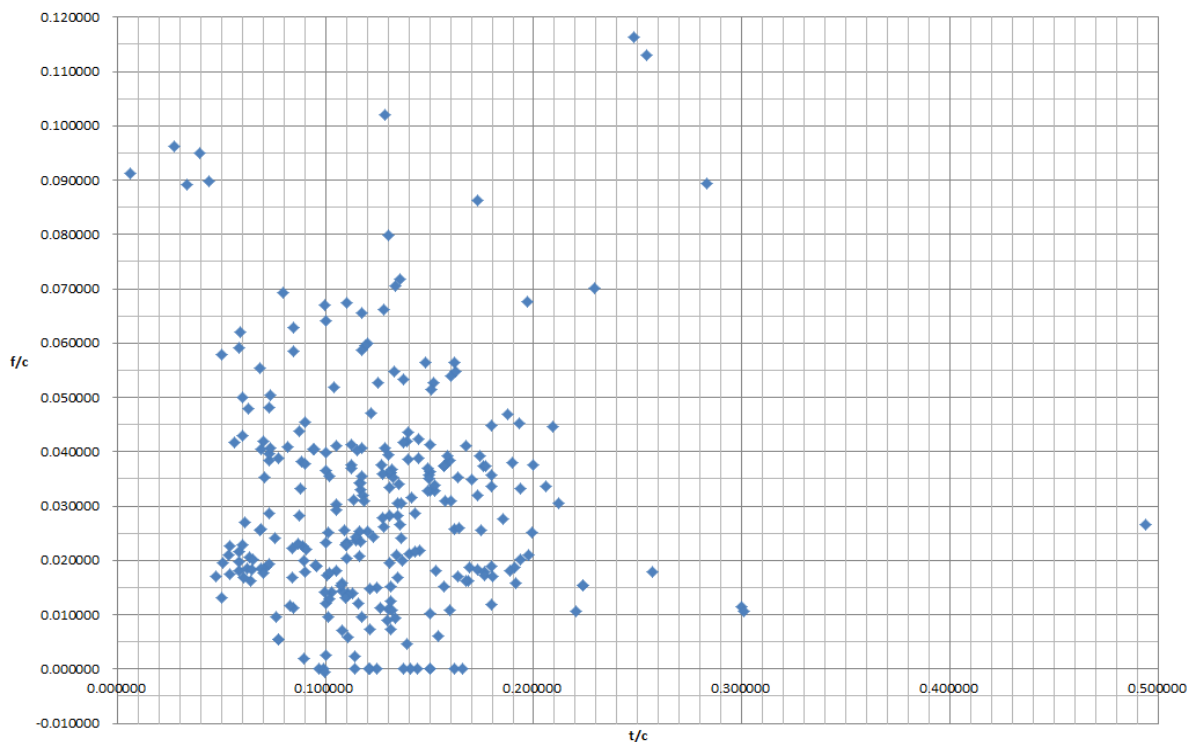


그림 3 A~Z계열 에어포일 최대두께 및 최대캠버 분포도

그림 3은 A~Z계열의 290개 에어포일의 최대두께와 최대캠버의 분포도이다. X축은 시위 길이에 대한 최대두께의 비를 나타내며, Y축은 시위 길이에 대한 최대 캠버의 비를 나타낸다. 분포도에서 에어포일의 최대두께는 약 0.0~0.5사이의 값을 가지며 대부분의 최대두께는 0.05~0.2에서의 분포를

가진다. 또한 최대 캠버는 약 0.0~0.12사이의 값을 가지며 대부분의 최대캠버는 0.0~0.06사이의 분포를 가진다.

4. 에어포일의 최대두께 및 최대캠버에 따른 전산해석

4.1 전산해석 에어포일 선정

앞선 에어포일 분포도에서 대부분의 최대두께 및 최대캠버의 값은 0.05~0.2와 0.0~0.06사이에서 분포하는 것을 알 수 있었다. 이러한 분포된 에어포일을 최대두께 0.05~0.2에서 0.05단위로 3개의 구간으로 나누었으며, 최대캠버는 0.0~0.06에서 0.01단위로 6개의 구간을 나누어 각 구간에서의 대표 에어포일 모델을 선정하였다. 총 구간은 18개 구간이나 최대 캠버의 0.0~0.01구간에서의 최대두께 0.05~0.1과 0.15~0.2에서의 에어포일의 분포가 나타나지 않아 총 해석 에어포일 모델은 16개의 모델을 선정하였다. 표 2은 각 구간의 에어포일 대표모델이다.

표 2 최대 두께 및 최대 캠버 분류에 따른 대표 에어포일

최대두께 최대캠버	0.05~0.1	0.1~0.15	0.15~0.20	구간
0.05~0.06	ah6407	e396	ah95160	I
0.04~0.05	be50	ah80140	e1211	II
0.03~0.04	ag38	boe106	clarym18	III
0.02~0.03	ag25	e207	e1212mod	IV
0.01~0.02	b707e	c5c	as5048	V
0.00~0.01	—	c5a	—	VI

4.2 에어포일 격자생성 및 경계조건

앞선 최대두께 및 최대캠버에 따른 대표모델을 선정하였다. 그림 5은 선정된 해석 에어포일 중 e396모델로 도메인으로 2D 도메인을 사용하였으며, 에어포일 부근의 격자는 Boundary Layer를 설정하였다.

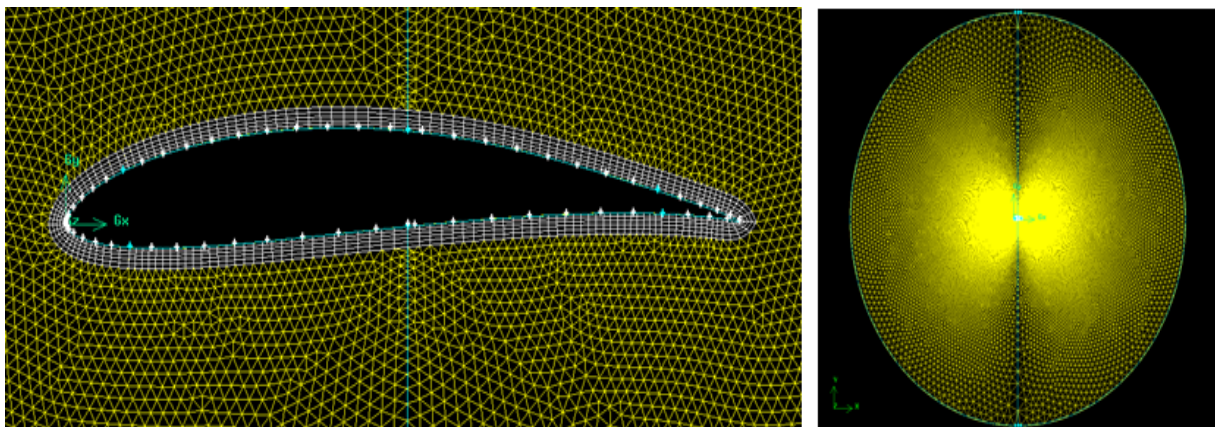


그림 4 e396 모델의 격자 생성 및 전체 도메인

경계조건에서 Renolds Number는 $Re = 6.0 \times 10^6$ 으로 $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ 으로 설정하였으며, 바람의 유입 부분에서 87.644m/s의 풍속이 유입을 설정하였다.

4.3 전산해석

각 에어포일의 받음각을 0° 로 하여 양력계수 C_L 과 항력계수 C_D 를 값을 산정하였다. 표 3는 각 에어포일에 대한 양력계수와 항력계수를 바탕으로 양항비를 산정하였다. 산정된 양항비는 최대 16.48180에서 최저 3.14401로 나타났다.

표 3 각 구간별 양력계수와 항력계수 및 양항비

	양력계수 (C_L)	항력계수 (C_D)	양항비 (C_L/C_D)
I구간 최대캠버 0.05~0.06 및 최대두께 0.05~0.1			
ah6407	2.29394	0.13918	16.48180
e396	2.14875	0.17444	12.31800
ah95160	1.87308	0.21953	11.37098
II구간 최대캠버 0.04~0.05 및 최대두께 0.05~0.1			
be50	1.96772	0.11613	16.94410
ah80140	1.08019	0.16932	6.37957
e1211	1.44581	0.24431	5.91793
III구간 최대캠버 0.03~0.04 및 최대두께 0.05~0.1			
ag38	1.22627	0.09067	13.52450
boe106	1.04819	0.149026	7.03365
clarym18	1.04890	0.22167	4.73181
IV구간 최대캠버 0.02~0.03 및 최대두께 0.05~0.1			
ag25	1.08715	0.09056	12.00470
e207	0.77528	0.13343	5.81038
e1212mod	0.68633	0.21830	3.14401
V구간 최대캠버 0.01~0.02 및 최대두께 0.05~0.1			
b707e	0.72462	0.09225	7.85496
c5c	0.72889	0.11420	6.38257
as5048	0.83394	0.16512	5.05051
VI구간 최대캠버 0.00~0.01 및 최대두께 0.05~0.1			
c5a	0.40641	0.11841	3.43235

5. 해석결과 및 고찰

본 논문에서 항공기 및 풍력발전 블레이드의 형상이 되는 에어포일에 대해 연구를 수행하였다. 에어포일의 형상의 고유값인 최대두께 및 최대캠버에 따른 양력계수 및 항력계수를 전산수치해석을 통하여 산정한 결과 최대두께 및 최대캠버에 따라 양력계수 및 항력계수가 변화하는 것을 확인하였다. 일반적으로 에어포일의 성능은 양력계수와 항력계수의 비인 양항비가 클수록 성능이 좋은 에어포일로 정의된다. 이번 연구의 해석결과를 통해 양항비가 높은 에어포일은 최대캠버가 클수록, 최대두께가 작을수록 큰 양항비가 나타나는 것을 확인하였다.

<감사의 글>

본 연구는 교육과학기술부 첨단 사이언스 교육 허브 개발 사업(과제 No. 2011-0020564) 지원으로 수행되었습니다.

<참고문헌>

1. Abbott, B.H and Albert, E., "Theory of Wing Sections : Including a Summary of Airfoil Data", Dover Publications, INC., New York, 1959.
2. 김철완, 이용교, 이장연, "다양한 난류 모델에 따른 익형 특성 예측", 한국전산유체공학회 학술대회 논문집, pp.50-52, 2007.
3. 이수정, 정의철, 임희창, "NACA0015 익형의 공력특성에 대한 수치해석적 연구", 한국풍공학회지, 제16권, 제 4호, pp.97-102, 2012.