

저레널즈수날개특성에 주는 날개기하학적 파라미터의 영향

리정혁, 장대욱

우리는 산림자원탐사와 기상관측, 재난감시와 환경오염, 농장물의 생육상태조사와 수확고판정 등 여러 부문에서 적극 리용되고있는 저속비행체의 항공력학적특성을 연구하였다.

낮은 속도에서 운영되는 비행체들은 동력소비를 최소화하기 위하여 항공력학적특성이 좋은 저레널즈수자름면을 가진 종횡비가 비교적 큰 날개를 리용한다.

선행연구[1-3]들에서는 10^6 이하의 저레널즈수에서 항공력학적특성이 좋은 날개자름면들에 대한 실험적인 연구들과 저레널즈수날개의 항공력학적특성에 대하여 수치계산하였다.

본문에서는 XFLR5프로그램을 리용하여 FX63-137형자름면을 가진 날개의 항공력학적특성에 미치는 몇가지 날개기하학적파라미터들의 영향을 평가하였다.

항공력학적특성에 미치는 날개기하학적파라미터들의 영향을 고찰하기 위하여 비행체의 날개는 폭이 b 이고 평균현이 c 인 보통의 제형날개라고 가정한다.(그림 1)

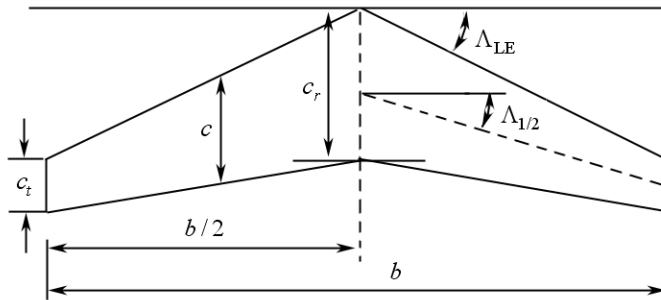


그림 1. 날개의 기하학적파라미터

날개면적 S 와 날개폭 b 가 주어졌을 때 종횡비는 $AR = b^2/S$ 으로, 날개뿌리현과 끝현을 c_r 와 c_t 라고 표시하면 수축비는 $\lambda = c_t/c_r$ 로 되며 날개면적과 날개폭, 수축비와 종횡비가 주어졌을 때 뿌리현은

$$c_r = \frac{S}{(b/2)(1+\lambda)} = \frac{4(b/2)}{AR(1+\lambda)}$$

와 같이 결정할수 있다.

날개의 저항력계수는 근사적으로 자름면저항계수 C_{D_p} 와 감응저항계수 C_{D_i} 에 의하여 다음과 같이 평가할수 있다.[3]

$$C_D = C_{D_p} + C_{D_i}, \quad C_{D_p} = 2C_f[1 + 2.2(t/c) + 60(t/c)^4], \quad C_{D_i} = C_L^2/(\pi \cdot e \cdot AR)$$

여기서 t 는 날개자름면의 최대두께, e 는 오스왈드인자로서 고립날개에서 $0.85 \sim 0.90$ 의 값을 가지며 c_f 는 마찰계수로서 주어진 레널즈수 Re 에 대하여 층류에서는 $1.33/Re^{0.5}$, 난류에서는 $0.455/(\log_{10} Re)^{2.58}$ 를 리용하여 계산한다.

마중각 α 에 따르는 양력계수의 선형변화구간에서 양력계수경사도 C_{L_α} 를 이용하면 이 구간에서 양력계수는 다음과 같이 결정된다.[4]

$$C_L = C_{L_0} + C_{L_\alpha} \cdot \alpha, \quad C_{L_\alpha} = \frac{2\pi \cdot AR}{2 + \sqrt{(\beta \cdot AR/k)^2 (1 + \tan^2 \Lambda_{1/2} / \beta^2) + 4}}, \quad \beta = \sqrt{1 - M^2}$$

여기서 C_{L_0} 은 날개의 령양력계수, M 은 마흐수, $\Lambda_{1/2}$ 은 날개현의 1/2 선에서의 화살각(후퇴각), k 는 날개앞끝의 화살각 Λ_{LE} 와 관계되는 형태인자로서 종횡비 $AR > 4$ 인 경우

$$k = 1 + \frac{[(8.2 - 2.3\Lambda_{LE}) - AR(0.22 - 0.153\Lambda_{LE})]}{100}$$

이다. 양력계수와 저항력계수의 식으로부터 양력저항비 C_L/C_D 는 날개의 자름면형태와 종횡비, 화살각, 수축비에 관계된다는것을 알수 있다.

그러나 위의 방법으로 양력과 저항력을 평가하자면 날개주위흐름이 완전히 층류이든가 완전히 난류이어야 한다.

흐름이 날개를 지나면서 층류로부터 난류로 이행하는 경우에는 위와 같은 방법의 평가를 진행할수 없다.

우리는 회리격자법에 기초한 XFLR5프로그램을 이용하여 저레널즈수날개해석을 진행하였다.

먼저 날개자름면의 양력과 저항력특성에 대하여 고찰하자.

$Re=2 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$ 의 범위에서 마중각에 따르는 최대두께가 13.7%인 FX63-137형자름면의 양력계수와 저항력계수의 변화는 그림 2와 같다.

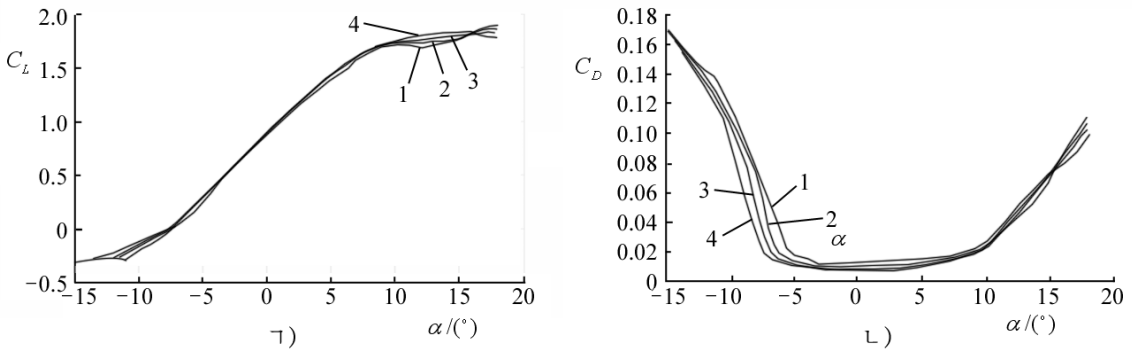


그림 2. FX63-137형자름면의 양력(ㄱ)과 저항력계수(ㄴ)

1-4는 각각 $Re = 2 \times 10^5, 3 \times 10^5, 4 \times 10^5, 5 \times 10^5$ 일 때

그림 2에서 보는바와 같이 각이한 레널즈수 Re 에 대하여 마중각 $5 \sim 10^\circ$ 의 범위에서는 양력과 저항력계수의 특성이 크게 변하지 않는다는것을 알수 있다.

다음으로 마중각변화에 따르는 FX63-137형자름면의 면적이 $5m^2$ 인 유한날개의 양력저항비특성에 미치는 종횡비 AR , 수축비 λ , 화살각 $\Lambda_{1/2}$ 의 영향을 평가하자.

계산은 날개면적 $5m^2$, 수축비 $\lambda = 0.5$, 1/2 현선의 화살각 $\Lambda_{1/2} = 0$ 일 때 종횡비각이 각각 $AR = 20, 25, 30$ 인 경우에 대하여 진행하였다.

세가지 종횡비에 대하여 평균현은 각각 0.50, 0.45, 0.41m이고 비행속도는 바다면고도에서 15m/s로 설정하였다.

그림 3과 계산결과로부터 종횡비가 20을 넘어서면 최대양력저항비가 40이상으로 증

가한다는것을 알수 있다.

종횡비가 증가하면 양력은 2차원특성값으로 다가가며 유도저항력이 감소하면서 저항력 특성도 작아지므로 양력저항비가 커지면서 종횡비에 따라 양력저항비에서 일정한 차이를 가져온다.

그러나 종횡비가 커질수록 날개폭은 증가하며 날개구조중량을 증가시킨다. 실례로 $AR=30$ 과 $AR=25$ 일 때 최대양력저항비는 각각 $C_D/C_L=48$ 과 $C_D/C_L=45$ 로서 양력저항비의 증가률은 6%정도이지만 그것에 대응하여 구조질량증가률은 8.8%로 된다.

따라서 종횡비는 항공력학적특성과 구조 질량조건을 고려하여 합리적으로 설정하여야 한다.

다음 날개면적 $5m^2$, 종횡비 $AR=25$, 화살각 $\Lambda_{1/2}=0$ 인 경우 수축비를 $\lambda=1/3\sim 1$ 범위에서 일정한 크기로 변화시키면서 마중각에 따르는 양력저항비특성을 평가하였다.(그림 4)

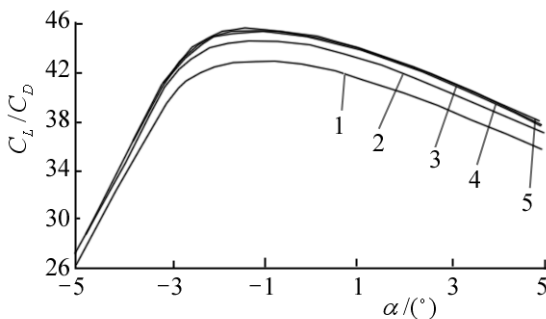


그림 4. 수축비에 따르는 양력저항비특성
1-5는 각각 $\lambda=1, 1/1.5, 1/2, 1/2.5, 1/3$ 일 때

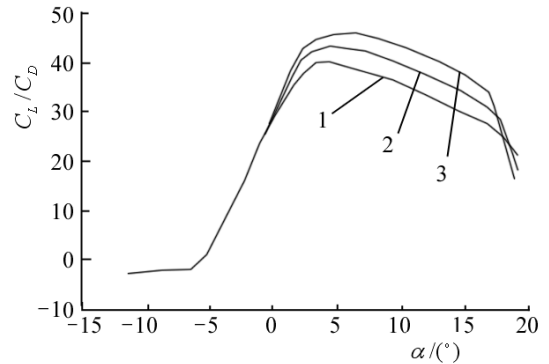


그림 3. 종횡비에 따르는 양력저항비특성
1-3은 각각 $AR=20, 25, 30$ 일 때

그림 4와 계산결과로부터 수축비가 작아질수록 날개의 양력저항비특성은 개선되지만 수축비가 0.4보다 작아지면 양력저항비의 증가에서 큰 차이가 거의 없다는것을 알수 있다. 그러므로 날개의 수축비를 0.4~0.5 즉 끝현길이를 뿌리현길이의 40~50%정도로 선정하는것이 합리적이라고 볼수 있다. 화살각의 영향을 고찰하기 위하여 계산은 날개면적 $5m^2$, 수축비 $\lambda=0.5$, 종횡비 $AR=25$ 일 때 화살각 $\Lambda_{1/2}=0\sim 10^\circ$ 범위에서 2° 간격으로 변화시키면서 진행하였으며 결과는 그림 5와 같다.

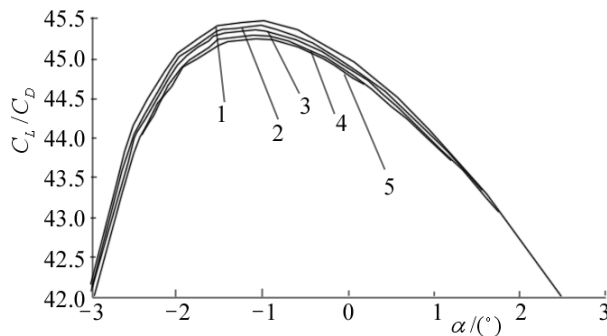


그림 5. 화살각에 따르는 양력저항비특성
1-5는 각각 $\Lambda_{1/2}=0^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ$ 일 때

그림 5에서 보는바와 같이 종횡비가 큰 날개들에서 화살각을 크게 주는것은 양력저

항비특성에 불리하며 화살각을 작게 주거나 될수록 주지 말아야 한다는것을 알수 있다.

화살각을 크게 하는것은 구조적견지에서도 불리하므로 설정하는 경우에도 6° 이하로 하는것이 합리적이다.

이상의 해석을 통하여 항공력학적특성이 우수한 저레널즈수날개를 설계하자면 종횡비와 화살각, 수축비와 같은 기하학적파라미터들을 합리적으로 설정하여야 한다는것을 알수 있다. 종횡비가 큰 저레널즈수날개에서 화살각은 될수록 주지 말아야 하며 수축비는 0.4~0.5정도로 하는것이 합리적이다.

맺 는 말

항공력학적특성이 우수한 저레널즈수날개를 설계하자면 종횡비와 화살각, 수축비와 같은 기하학적파라미터들을 합리적으로 설정하여야 한다. 종횡비가 큰 저레널즈수날개에서 화살각은 될수록 주지 말아야 하며 수축비는 0.4~0.5정도로 하는것이 합리적이다.

참 고 문 헌

- [1] M. S. Selig et al.; Summary of Low-Speed Airfoil Data, University of Illinois, 278~287, 2011.
- [2] R. Vinuesa et al.; International Journal of Heat and Fluid Flow, 72, 86, 2018.
- [3] D. Howe; Aircraft Conceptual Design Synthesis, Antony Rowe, 113~152, 2005.
- [4] M. R. Napolitano; Aircraft Dynamics: From Modeling to Simulation, John Wiley & Sons, 42~48, 2011.

주체109(2020)년 6월 5일 원고접수

Effect of Wing Geometric Parameter on the Characters of Low Reynolds Number Wing

Ri Jong Hyok, Jang Tae Uk

In this paper, the effects of wing geometric parameter on the aerodynamic characters of low Reynolds number wing are considered. The ratio of lift to drag with attack angle is estimated as function of aspect, tapered ratio and sweep angle.

Keywords: lift resistivity, aspect radio