



II

항공기의 비행 원리

1. 개요
2. 공기 역학의 기초
3. 날개 단면과 날개
4. 비행 성능
5. 비행기의 조종과 안정성
6. 회전 날개 항공기의 역학과 성능



항공기는 공기의 반작용력을 이용하여 공기 중을 비행하는 물체이다. 항공기는 인간의 활동 공간을 3차원으로 확대시켰을 뿐만 아니라 이동 시간을 크게 줄여 줌으로써 지구상의 활동 공간을 상대적으로 넓혀 주는 계기를 만들었다.

이 단원에서는 지구를 둘러싸고 있는 대기와 항공기가 공기 중을 비행하는 원리인 공기 역학, 날개 특성, 비행 성능, 비행기의 조종과 안정성 및 회전 날개 항공기의 역학과 성능에 대해 알아본다.



1

개 요

학습 목표 |

1. 대기의 구성으로 대기를 분류하고, 국제 표준 대기에 대하여 설명할 수 있다.
2. 공기의 특성으로 기본 성질을 이해하고, 이상 기체와 공기의 점성, 레이놀즈수, 압축성에 대하여 설명할 수 있다.



1 대기의 구성

1. 대기 분류

지구를 둘러싸고 있는 기체를 모두 일컬어 대기(atmosphere)라고 한다. 대기는 고도에 따라 물리적인 특성이 달라지지만, 대기의 주성분인 질소와 산소 등은 지표면에서 고도 80 km에 이르기까지 거의 일정한 비율로 분포되어 있다.

해면 고도(sea level)에서 대기를 구성하고 있는 공기를 체적비로 살펴보면, 78%의 질소, 20.8%의 산소, 0.8%의 아르곤, 0.4%의 수증기 및 소량의 탄산가스와 수소로 이루어져 있다.

대기권은 대체로 몇 개의 층으로 구분된다. 대기는 그림 II-1과 같이 지표면으로부터 고도가 높아지는 방향으로 대류권, 성층권, 중간권, 열

권, 외기권으로 구분한다. 그리고 상부 성층권 이상은 광화학 반응을 일으키는 화학권(chemosphere)이라고도 부른다.

대기는 전체 질량의 99%가 지표면으로부터 약 40 km 이내에 집중되어 있다.

(1) 대류권

대류권(troposphere)은 중위도 지방에서 지표면으로부터 약 11 km(약 36,000 ft)까지의 고도에 해당한다. 적도 지방에서는 16~17 km 정도, 극지방에서는 8~10 km 정도에 이르고 있다.

대부분의 구름이 대류권에 존재하며, 기상 변화는 대류권에서만 일어난다. 이러한 현상은 지표에서 복사되는 열로 인하여 고도가 높아짐에 따라 기온이 감소되는 음(-)의 온도 구배(temperature gradient : 온도 기울기)가 형성되기 때문이다. 따라서, 대류권에서만 공기 부력에 의한 대류 현상이 나타난다.

특히, 대류권과 성층권 사이를 대류 권계면(tropopause)이라고 하며, 이곳에는 제트 기류(jet stream)가 흐르기도 한다.

(2) 성층권

성층권(stratosphere)은 대류권 바로 위에 있는 층으로, 그 고도는 약 50 km에 이르며, 25 km의 고도까지는 온도가 일정하고 그 이상의 고도에서는 온도가 중간권에 이를 때까지 증가한다. 그 이유는 고도 약 20~30 km에 있는 오존층(ozonosphere)이 자외선을 흡수하기 때문이다.

(3) 중간권

성층권 위를 중간권(mesosphere)이라고 하는데, 이 권역에서는 다시 고도에 따라 온도가 감소하며, 그 고도는 약 80 km에 이른다.

(4) 열권

중간권 위쪽은 열권(thermosphere)이라고 하며, 고도 80~500 km



그림 II-1 대기권의 구분

사이에 존재한다. 열권에는 태양이 방출하는 자외선에 의해 대기가 전리되어 자유 전자의 밀도가 커지는 층이 있다. 이 층을 전리층(ionosphere)이라고 하며, 이 층은 전파를 흡수하거나 반사하는 작용을 함으로써 무선 통신에 영향을 미친다. 극지방에서 발생하는 극광(aurora)이나 유성(meteor, shooting star)이 밝은 빛의 꼬리를 남기는 일도 주로 이 열권에서 발생한다.

(5) 외기권

열권의 위쪽에는 외기권(exosphere)이 있으며, 대체로 고도 약 500 km로부터 시작된다. 공기의 농도가 매우 얇기 때문에 운동하는 공기 분자가 서로 충돌할 확률이 매우 적어 분자들이 궤적을 그리며 운동을 한다. 이 중에는 속도가 빨라 지구 중력을 벗어나는 경우도 있다.

2. 국제 표준 대기

공기 속을 비행하는 항공기의 비행 성능은 대기의 물리적인 상태인 기온, 압력, 밀도 등에 따라 많은 영향을 받는다. 이러한 물리량은 시간, 장소, 고도에 따라 변화한다. 따라서, 국제민간항공기구(ICAO: International Civil Aviation Organization)에서는 항공기의 설계, 운용에 기준이 되는 국제 표준 대기(ISA: International Standard Atmosphere)를 규정하고 있다.

지구 중위도 지방의 대류권계면까지인 11 km 높이까지는 고도가 1 km 올라갈 때마다 기온이 약 6.5 °C씩 낮아진다고 정하고 있다. 이와 같이 고도가 높아짐에 따라 기온이 감소하는 비율을 기온 감소율(lapse rate)이라고 한다. 그 이상의 성층권에서는 -56.5 °C로 일정한 기온을 유지한다고 본다. 물론 성층권 중반부터는 다시 기온이 상승한다.

표준 대기압에 의한 압력 고도가 0이 되는 기준 고도를 해면 고도(해수면)라고 하며, 이 지점의 표준 대기압을 1기압(1 atm)이라고 한다.

표준 대기압으로 해면 고도의 압력, 밀도, 온도, 음속 및 중력 가속도는 다음과 같이 정한다.

• 압력 :

$$\begin{aligned} p_0 &= 760 \text{ mmHg} \\ &= 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 1.03323 \text{ kg}_f/\text{cm}^2 \end{aligned}$$

• 밀도 :

$$\begin{aligned} \rho_0 &= 1.225 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0.125 \text{ kg}_f \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \end{aligned}$$

• 온도 :

$$t_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}, T_0 = 288.16 \text{ K}$$

• 음속 :

$$a_0 = 340.429 \text{ m/s}$$

2 공기의 특성

1. 공기의 기본 성질

물질의 상태로 보았을 때, 공기는 기체에 속한다. 기체와 액체의 특성은 고체에 비해, 서로 매우 비슷한 성질이 있기 때문에 기체와 액체를 유체(fluid)라고 말한다.

기체는 분자 운동이 활발하여 분자 간 거리가 크므로 응집력이 거의 없다. 따라서, 기체는 그림 II-2(a)와 같이 용기 내에서 자기 스스로 체적을 유지할 수 있는

능력이 없고, 벽에 부딪칠 때까지 자유로이 팽창하며, 자유 표면을 형성하지 못한다. 반면에 액체는 기체에 비하여 분자의 운동 에너지가 작아 분자 간 거리가 짧으므로 응집력이 비교적 크다. 이로 인해 액체는 그림 II-2(b)와 같이 자기 스스로 체적을 유지하려는 경향이 있으며, 자유 표면을 형성한다.

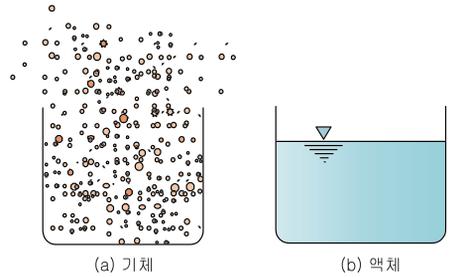


그림 II-2 기체와 액체

(1) 압력

압력(p)은 단위 면적(A)당 작용하는 힘(F)을 나타낸다.

$$\text{압력}(p) = \frac{\text{힘}(F)}{\text{면적}(A)}$$

그리고 온도에 따라 기체 분자 운동 속도(c)의 크기가 달라지므로, 그림 II-3과 같이 압력도 변화한다.

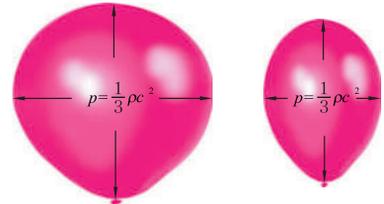


그림 II-3 온도에 의한 압력 변화

(2) 밀도

기체의 밀도(ρ)는 단위 체적(V)이 가지는 질량(m)을 나타낸다.

$$\text{밀도}(\rho) = \frac{\text{질량}(m)}{\text{체적}(V)}$$

(3) 비체적

비체적(v)은 단위 질량(m)이 가지는 체적(V)을 나타낸다.

$$\text{비체적}(v) = \frac{\text{체적}(V)}{\text{질량}(m)}$$

(4) 비중량

비중량(γ)은 단위 체적(V)이 가지는 중량(W)을 나타낸다.

$$\text{비중량}(\gamma) = \frac{\text{중량}(W)}{\text{체적}(V)}$$

(5) 비중

물질의 비중은 그 물질과 같은 체적의 1기압, 4°C의 물의 중량(또는 질량)에 대한 그 물질의 중량(또는 질량)비로 정의한다.

$$\text{비중} = \frac{\text{주어진 물질의 중량(또는 질량)}}{\text{같은 체적의 1기압 4°C의 물의 중량(또는 질량)}}$$

예제 1 밀도, 비체적 계산

체적 2m³에 들어 있는 물의 질량이 2000kg이다. 물의 밀도와 비체적은 얼마인가?

$$\text{풀이 | 물의 밀도 : } \rho = \frac{m}{V} = \frac{2000 \text{ kg}}{2 \text{ m}^3} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{비체적 : } v = \frac{V}{m} = \frac{2 \text{ m}^3}{2000 \text{ kg}} = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2. 이상 기체

공기는 비체적, 압력 및 온도 등에 의해 그 특성이 달라진다. 그리고 공기는 여러 가지 기체들이 혼합되어 이루어진 기체이다. 이러한 공기의 특성은 다음과 같은 이상 기체 상태 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{절대 압력}(p) \times \text{비체적}(v) = \text{기체 상수}(R) \times \text{절대 온도}(T)$$

이 법칙은 보일·샤를(Boyle-Charles) 법칙으로부터 유도되었으며, 이 법칙을 만족시키는 기체를 이상 기체(ideal gas)라고 한다. 이때의 기체 상수(gas constant) 값은 기체의 종류에 따라 달라진다.

3. 점성

흐르는 공기 입자가 물체와 접촉하면 점성(이질 분자 간의 부착력)으로 인해 공기 입자가 물체의 표면에 달라붙는다. 또, 공기 입자와 입자가 서로 상대 운동을 할 때에도 점성(동질 분자 간의 응집력)으로 인해 공기 입자들이 마찰력을 받는다.

그림 II-4는 매끈한 벽면 위에 얇은 층의 유체를 놓고, 그 위에 평판을 올려놓은 상태를 나타낸 것이다.

평판을 일정한 속도로 잡아당기려면 힘이 필요하다. 이 힘이 바로 마찰력(F)이다. 이 힘은 평판의 넓이(S)와 속도(V)에 비례하고, 벽면으로부터

터의 거리(l)에 반비례한다. 이때의 비례 상수(μ)는 유체의 성질에 따라 달라지는 특성을 말하며, 이러한 성질을 유체의 점성(viscosity) 또는 점성 계수(coefficient of viscosity)라고 한다.

$$\text{마찰력}(F) = \text{점성 계수}(\mu) \times \frac{\text{속도}(V)}{\text{거리}(l)} \times \text{면적}(S)$$

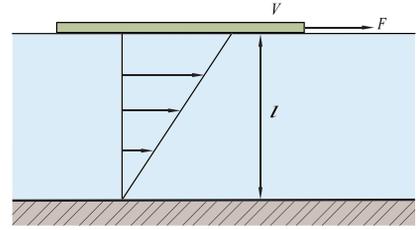


그림 II-4 마찰력

4. 레이놀즈수

비행하는 물체에 작용하는 점성력의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 관계는 관성력과 점성력의 비를 표시하는 레이놀즈수(Reynolds number)이며, Re 으로 표시한다.

$$Re = \frac{\rho V c}{\mu}$$

위 식의 c 는 날개 단면(airfoil)에서는 시위 길이(chord length)가 된다.

레이놀즈는 그림 II-5와 같은 실험 장치를 이용하여 물의 속도를 바꾸어 가며 실험하였다.

유속이 느릴 때는 레이놀즈수가 작아 유체 입자들이 층을 이루면서 흘러가는 층류(laminar flow)가 형성되고, 유속이 빨라지면 레이놀즈수가 커짐으로 유체 입자들은 매우 불규칙하게 혼합되어 흐르는 난류(turbulent flow)가 형성된다.

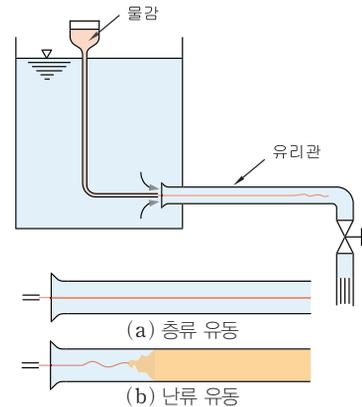


그림 II-5 레이놀즈 실험 장치

레이놀즈는 층류 또는 난류가 형성되는 중요한 특성이 레이놀즈수에 의해 달라진다는 사실을 밝혀냈다. 그리고 층류에서 난류로 전이되는 과정에서는 층류와 난류가 공존하는 천이 유동(transition flow)이 형성된다는 사실도 알아냈다.

5. 압축성

압력 변화에 따른 체적 또는 밀도 변화가 나타나는 정도는 유체 성질의 압축성과 밀접한 관계가 있다. 이와 같이 압력 변화에 따른 체적 또는 밀도 변화의 정도를 나타내 주는 척도로는 체적 탄성 계수(bulk modulus of elasticity)를 사용한다. 체적 탄성 계수가 크면 압축이 어렵고, 작으면 압축이 쉽다.

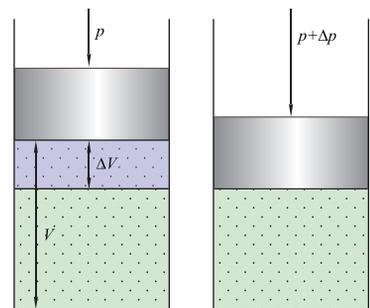


그림 II-6 압축성

공기의 압축성 효과는 음속과 관련되어 나타나는데, 이때 중요하게 사용되는 무차원 수가 마하수(Mach number)이다. 마하수는 음속(a)과 비행 속도(V)의 비로 정의되며, 다음 식과 같다.

$$\text{마하수}(M) = \frac{\text{비행 속도}(V)}{\text{음속}(a)}$$

음속(acoustic velocity)은 공기 중에 미소한 교란이 전파되는 속도로, 온도가 증가할수록 빨라진다.

표 II-1 마하수와 비행 속도

마하수(M)	비행 속도(airspeed)
0.8 이하	아음속(subsonic)
0.8~1.2	천음속(transonic)
1.2~5.0	초음속(supersonic)
5.0 이상	극초음속(hypersonic)

예제 2 마하수 계산

비행 속도 900 km/h으로 비행하는 항공기의 마하수는 얼마인가? 단, 비행 고도에서의 음속은 320 m/s이다.

풀이 | 항공기의 속도 : $V = 900 \text{ km/h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 250 \text{ m/s}$

마하수 : $v = \frac{V}{a} = \frac{250 \text{ m/s}}{320 \text{ m/s}} = 0.78$