초경량비행장치 가이드

교 통 안 전 공 단

목 차

제 1 장 초경량동력비행장치의 개요 ······ 1
1. 초경량동력비행장치 소개 ······ 1
2. 운용개요 ······ 2
3. 제원 ······ 3

제 2 장 동력비행장치 개요 ······ 5
1. 기체일반 ······ 5
2. 동체(Fuselage) ······ 5
3. 주날개(Main wing) ······ 6
4. 꼬리날개 ······ 6
5. 착륙장치(Landing gear) ······ 6
6. 발동기 ······ 7
7. 기타 ······ 7

제 3 장 비행 ······ 11
1. 비행 전 ······ 11
2. 지상 작동 ······ 13
3. 이륙 ······ 14
나. 측풍 이륙 ······ 16
4. 착륙 ······ 17
5. 비상 접근 및 착륙 ······ 19

제4장 장주비행(場周: traffic pattern) 및 비행장 이·착륙 절차 ······ 21
1. 개요 ······ 21
2. 이륙 준비 ······ 21
3. 이륙 ······ 22
4. 측풍 및 배풍 구간 ······ 22
5. 베이스 구간 ······ 23
6. 착륙 진입 ······ 23

제 5 장 항공 약어 ······ 24

제6장 항공기의 분류 및 항공 발달사 ······ 53
1. 운행체의 분류 ······ 54
2. 항공기의 분류 ······ 56
3. 비행기의 분류 ······ 62
4. 비행기계의 꿈 ······ 70
5. 기구와 비행선 ······ 73
6. 비행기의 발명 ······ 74
7. 제1차 대전의 영향 ······ 76
8. 제2차 대전의 영향 ······ 78
9. 헬리콥터의 개발 ······ 82
10. 우주비행 ······ 83
11. 항공기 부위의 명칭 ······ 86

제7장 대기 ······ 87
1. 대기의 성질(Properties of the Atmosphere) ······ 87
2. 기체의 성질과 법칙 ······ 95
3. 점성과 공기력의 고찰 ······ 106

제8장 에어포일과 날개이론 ······ 118
1. 에어포일 ······ 118
2. 날개의 모양과 특성 ······ 124
3. 날개의 공기력 ······ 127
4. 날개의 공력 보조 장치 ······ 130

제9장 비행성능 ······ 136
1. 등속수평비행 성능 ······ 136
2. 상승비행 ······ 138
3. 활공 비행 ······ 140
4. 항속성능 ······ 142
5. 이착륙비행 ······ 144
6. 선회비행 ······ 146

7. 실속 비행 ······ 148
8. 스핀 현상 ······ 148

제10장 항공기의 안정성 및 조종성 ······ 150
1. 일반 ······ 150
2. 조종면 이론 ······ 155
3. 세로 안정 및 조종 ······ 160
4. 방향 안정 및 조종 ······ 164
5. 가로 안정 및 조종 ······ 170
6. 고속기의 비행 불안정 ······ 174

제11장 항공 기상 ······ 181
1. 대기의 기온과 습도 ······ 181
2. 기 압 ······ 188
3. 바 람 ······ 193
4. 중규모 대류계 ······ 205
5. 구름 형성과 강수 ······ 217
6. 비행에 주의해야 할 기상현상 ······ 225
7. 항공기상관측 및 보고 ······ 244
8. 공기상 예보 ······ 267

제12장 초경량비행장치 및 무인비행장치 관련법규 ······ 298
1. 목 적 ······ 298
2. 용어의 정의 ······ 298
3. 항공기의 분류 ······ 300
4. 초경량비행장치의 범위 등 ······ 301
5. 무인비행장치의 범위 등 ······ 301
6. 안전성 인증 ······ 302
7. 조종자 자격 ······ 303
8. 초경량비행장치의 신고 ······ 303
9. 비행공역 ······ 304
10. 비행계획 승인 ······ 304
11. 비행방법 ······ 305

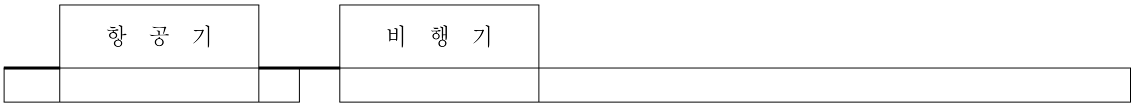
12. 기상조건 ··· 305
13. 비행시 유의사항 ··· 306
14. 기체 수리·개조시 조치사항 ··· 307
15. 사고발생시 조치사항 ··· 307
16. 보험 가입 ··· 307
17. 매매·양도시 조치사항 ··· 308
18. 영업행위 ··· 308
19. 기체 폐기절차 ··· 308
20. 기타 참고사항 ··· 308

제 1 장 초경량동력비행장치의 개요

1. 초경량동력비행장치 소개

가. 항공기의 종류

항공기(Aircraft)란 “공기력에 의해 대기 중에 떠 있을 수 있는 기기”를 총칭한다.
항공법 제2조(정의)에 의하면 "항공기"라 함은 민간 항공에 사용하는 비행기·비행선·활공기·회전익 항공기 기타 대통령령이 정하는 것으로서 항공에 사용할 수 있는 기기“로 정의하고 있어 항공기는 초경량비행장치와 별개의 것으로 분류하고 있다.



나. 초경량동력비행장치의 정의

항공에 사용할 수 있는 기기 중 동력을 사용하는 것을 초경량동력비행장치(이하 “비행장치”라 칭함)라 한다. 이를 다시 운용 목적상 구분하여 취미생활에 사용되는 것을 동력비행장치라 한다. 주로 취미생활을 목적으로 하는 기기인 이 비행장치를 상용 항공기와 동일한 규칙과 기준을 적용한다면 취미활동의 발전에 저해가 되므로 형식승인 또는 인정, 생산품 품질인증, 감항성 유지 등의 상용 항공기 기준이 아닌 최소한의 안전기준 만을 요구하고 있다.
그러나 상용 항공기의 비행안전성을 확보하기 위하여 강제하는 규정과 기준에서 벗어나 자발적인 안전 확보를 기대하는 비행장치는 이와 반대로 어느 정도는 위험에 노출되어 있다고 보아야 하며 비행장치를 사용하여 비행을 하고자 하는 조종사는 스스로 안전을 확보하기 위한 노력에 최선을 다하여야 한다.

다. 비행장치의 구분/종류

비행장치를 구분하면, 조종방식에 의한 분류로는 날개와 안정판의 일부분인 조종면을 작동하여 조종하는 타면 조종형, 날개에 작용하는 무게 중심을 이동하여 조종하는 체중 이동형, 날개의 형식으로 뼈대가 없이 섬유로 제작되어 램 에어포일(Ram Airfoil)형성하는 패러플레인(Para-plane), 날개를 회전시켜서 양력을 만드는 회전익으로 헬리콥터와 자이로플레인 등이 있다.

2. 운용개요

가. 현황과 운용

국내 비행장치의 경우 행글라이더나 무선조종(Radio control) 동호인들이 행글라이더에 동력장치를 탑재하는 형태의 타면 조종형과 비행기의 형태를 갖춘 타면 조종형을 시작으로 초기에는 1~2곳에서 순항속도 약 80 ㎞/h였으나 오늘날에는 약 150~200㎞/h 정도로 그 기능과 활동범위가 향상되어 비행장은 20여 곳으로 늘어났으며 비행가능 공역도 이륙한 장소의 인근에서만 국지적으로 비행하던 행동반경이 우리나라 전역으로 확산되었다.

항공사 운송용 항공기는 그 생산에 있어 설계단계에서부터 완제품으로 출시할 때까지, 그리고 출시 후의 모든 정비에서 규정된 이상의 정비작업이 요구될 시에는 제작사에서 규정한 인증절차에 의거하여 관리, 운영되는 반면 비행장치는 설계, 제작에 있어서 제약이 없고 운항부분에서만 최소의 안전성 확보를 위한 안전성 인증검사와 조종자격만을 요구하고 있다. 이것은 최소한의 안전성을 확보만을 강제하여 자유로운 취미활동을 보장하고자 하는 의미이며 이를 즐기는 동호인과 단체는 레저생활 시작을 위한 비행교육, 비행장치의 임대, 취미활동의 홍보, 동호인 확산을 목적으로 하는 시범비행, 전시(展示) 등을 제외하고 영리를 목적으로 한 행위는 초경량동력비행장치의 운용 목적에 위배되므로 사용해서는 안 된다.

나. 비행장치의 미래

지속적으로 향상되는 비행장치의 성능과 기술력의 발전으로 안전성 확보가 항공사 운송용 항공기의 수준에 이르고 있으므로 향후 취미생활로서 초경량동력비행장치 범위를 넘어 공공의 목적으로 활용될 여지가 충분히 잠재되어 있음은 물론 국내의 일반 항공분야에 가장 큰 걸림돌이 되는 비행장 확보의 어려움을 감안한다면 이에 대해 제약이 없는 비행장치는 일반 항공분야의 대체효과를 기대할 수 있는 발전적인 요소가 잠재되어 있으므로 안전한 운항의 실제 사례를 만들어 간다면 비약적인 발전을 충분히 기대할 수 있다.

3. 제원

가. 항공용어

항공분야는 국제성이 강하여 영어로 되어 있으며 전체 용어를 사용하기 보다는 주로 약어로 표기하고 있다.

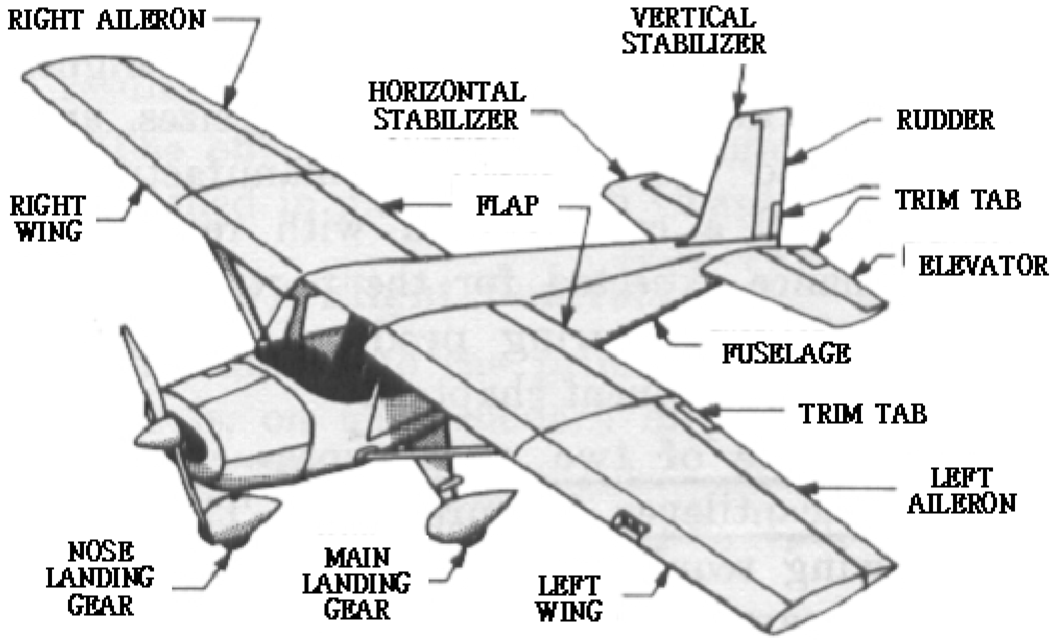
나. 제원 및 성능

최초 비행교육을 받는다면 가장 먼저 자신이 탑승하여 조종하는 항공기의 제원과 성능을 알아야

한다. 제원과 성능에는 항공기의 외형적인 규모와 물리적인 수치 외에 각각의 항공기가 운용 가능한 범위를 제시하고 있기 때문이다.

제작자가 제시하는 운용 범위를 초과한다는 것은 안전을 보장하지 못한다는 의미이며 안전을 보장하지 못함은 부상 또는 사망에 이를 수 있는 위험한 상태라고 인식하고 기준을 절대 준수하여야 한다.

앞으로 진행하는 것을 "앞(Forward)" 그 반대를 "뒤(Backward)"라고 하며 왼쪽(Left)과 오른쪽



기체 구조의 명칭

(Right) 등은 모두 내가 비행장치에 탑승했을 때를 기준으로 했을 때이다. 참고로 운송용 항공기에서 사용하는 단위로서 속도는 'Knot' 또는 음속의 단위인 'Mach'로, 거리는 'nm'(nautical mile), 시정(視程: visibility)은 'mile'(statute mile), 고도는 'feet'로 표기한다.

WING SPAN	항공기 날개의 좌측 끝에서 우측 끝까지의 폭

제 2 장 동력비행장치 개요

1. 기체일반

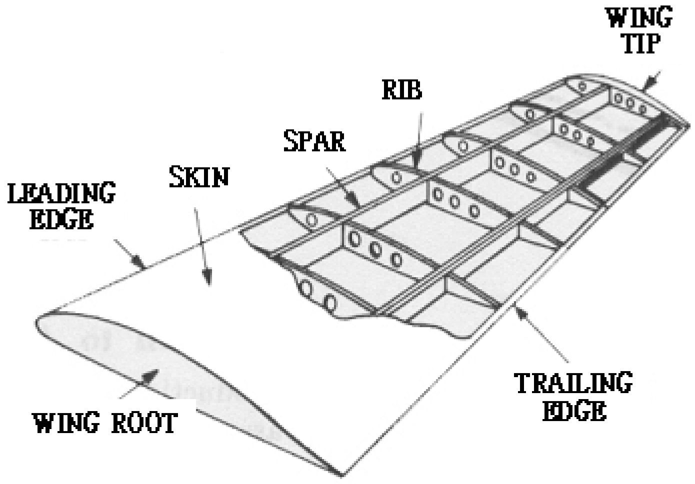
비행장치 외부 세부명칭은 다음과 같다.

2. 동체(Fuselage)

항공기를 구성하고 있는 몸통으로 내부에 조종석과 연료탱크를 구성하고 날개, 발동기, 꼬리날개, 착륙장치가 장착되어 있어 구조적으로 충분한 강도와 강성을 가지고 안전한 운항을 할 수 있어야 하며 비행 중 공기의 저항을 허용한계 내로 줄일 수 있는 기하학적 모양을 유지하여야 한다.

동체 구조 형식에 따라 분류하면 삼각형의 뼈대는 기체의 모든 하중을 담당하며 외피는 항공기의 외부 형상을 유지하며 항공 역학적 부력(浮力)을 발생시키는 트러스(Truss)구조는 구조 설계와 제작이 용이하여 경비행기에 주로 사용되고 내부 공간을 마련과 유선형으로 만들기 어려운 단점이 있다.

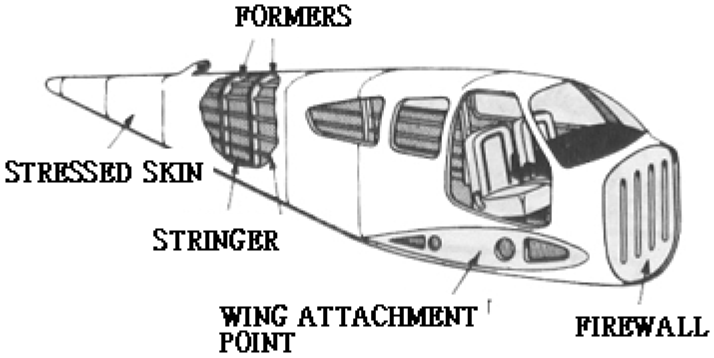
기체의 하중을 외피가 주로 담당하도록 하는 응력 외피형 구조형태의 하나인 세미모노코크(Semi-monocoque) 구조는 세로대, 스트링어로 정형하여 외피를 입히는 구조 방식으로 내부 공간 마련과 기체를 유선형으로 제작하기 용이한 구조이다. 세미모노코크 구조는 부분적으로 가해지는 집중하중을 프레임, 벌크헤드, 링, 스트링어 등을 통해서 외피로 전달토록 하여 강도를 유지한다.



금속판이나 복합소재로 제작되어 외형을 유선형으로 만들기 때문에 내부공간의 활용도가 높고 외형이 수려한 장점이 있다.

3. 주날개(Main wing)

항공기가 부양할 수 있도록 하는 힘, 즉 양력을 발생시키는 구조로 동체에 고정되어 있다. 날개의 구조는 동체와 같이 하중을 담당하는 부재에 따라 구조방식이 구분되며 주 구성품으로 스파(Spar)와 리브(Rib) 그리고 지지대(Strut)가 있는 경우도 있다.



스파는 각 날개 좌우를 연결하고 있는 주요 구조재로 하중을 담당하는 중요한 부재이며 리브는 날개의 Airfoil 형태를 만들어주는 역할을 하며 복합소재의 경우 별도의 스파와 리브가 없는 형

태도 있다. 외형으로는 항공기의 좌우 균형을 유지하거나 기울임을 주는 도움날개(보조익, ailerons)와 필요에 따라 양력과 항력을 증가시켜 주는 플랩(Flap)이 장착되며 내부에 연료탱크와 작은 화물을 넣을 수 있는 공간이 마련되기도 한다.

4. 꼬리날개

비행기에 안정성 주는 수직안정판(Vertical stabilizer)과 수평안정판(Horizontal stabilizer)이 있으며 수직안정판의 뒷부분에는 기수의 좌우방향을 운동을 주는 방향키(Rudder)가 장착되고 수평안전판의 뒷부분에 장착된 승강키(Elevator)는 기수의 위 아랫방향의 운동을 준다.

5. 착륙장치(Landing gear)

비행기의 지상 이동과 이.착륙 시 활주를 위한 장치로 3개 또는 2개의 바퀴(Wheel)로 된 것이 가장 일반적인 형태이며 수상 이,착수를 위한 뜨게(Float)방식이 있다. 이외에도 눈이나 빙판에서 사용할 수 있도록 고안된 스키드(Skid)형태와 동체의 밑면을 배처럼 만들어 수상 이착수하는 것도 있다. 착륙장치는 착륙 때 충격을 흡수하기 위한 완충장치가 포함되어 있으며 비행기가 비행을 위한 기기이므로 지상에서는 이에 대하여 다른 부품보다 소홀히 다루기 쉬우나 반드시 지상으로 돌아 와야 하는 필연적인 비행기를 생각한다면 비행기의 날개 등 다른 부속품 못지않게 중요한 장치이므로 정비를 소홀히 해서는 안 된다.

6. 발동기

비행기를 전진할 수 있도록 하는 힘을 만들어주는 원동력으로 동체의 앞에 장착되어 비행기를 끌고 가는 견인식과 뒤쪽에 장착되어 밀어서 전진하는 추진식이 있다. 발동기는 작고 무게가 가벼우며 출력이 큰 것이 가장 좋으며 마력당 중량비가 적으면서 적은 무게로 큰 출력을 내는 것이 바람직한 형태이다. 중요한 것은 장시간 작동에도 이상이 발생하지 않는 신뢰성이 좋은 발동기가 장착되어 있는지에 대한 것이다.

7. 기타

가. 계기

항공기는 안전성과 신뢰성이 중시되는 만큼 항공기 안전에 필요한 정보를 제공하는 계기는 정확히 지시하고 바르게 작동해야 하며 다음과 같은 조건을 구비하여야 한다.

- 무게와 크기는 작아야 하며 내구성(耐久性)이 높아야 한다.
- 정확하여야 하며 각종 외부 조건의 영향을 적게 받아야 한다.

- 누설오차와 접촉부분의 마찰력이 적어야 한다.
- 온도변화에 대한 오차가 적어야 하며 진동으로부터 보호되어야 한다.
- 방습, 방염처리 및 항균처리가 되어야 한다.

조종사의 신속하고 정확한 상황판단을 위하여 항공기 운용한계를 계기의 눈금 또는 덮게 유리에 색깔로 표시하여 운용한계의 최대 및 최소, 순항 운용 범위, 경고와 경계 범위를 나타낸다. 조종사는 비행 시 1차적으로 계기 바늘이 어느 색깔 범위에 있는가를 확인하고 있어야 한다. 비행교육을 받는 학생조종사의 경우 계기의 측정치 숫자에 집착하여 자칫 위험한 비행자세에 빠지는 것을 즉각 반응하지 못하는 위험한 경우가 있으므로 계기 판독 시에는 특히 주의를 기울여야 한다.

- 녹색호선 : 안전한 상태를 나타내며 속도계는 실속속도에서 운용가능속도 범위를 표시한다. 연료유량계, 오일압력계, 실린더헤드온도계, 오일온도계, 냉각수 온도계 등에서는 안전운전 범위를 나타낸다.
- 황색호선 : 안전 운전 범위에서 초과금지까지의 범위를 나타내는 것으로 경고 또는 주의범위를 뜻하며 위험에 이를 수 있음을 예고하는 범위를 표시하며 그 끝부분은 안전 운전 범위와 초과 금지인 적색 방사선이 있다.
- 흰색호선 : 대기 속도계에서 플랩을 작동시킬 수 있는 범위를 알려주는 것으로 최대 착륙하중에 대한 실속속도로부터 플랩을 작동하여도 구조 강도상 무리가 없는 최대 속도까지를 나타낸다. 녹색호선과 이중으로 표시되기도 하며 최대범위를 초과한 상태에서 플랩을 작동한다면 구조강도가 견디지 못함을 의미한다.
- 적색방사선 : 최소 및 최대 운용 한계를 표시하며 이 범위 밖에서는 절대로 운용을 금지해야하는 것을 의미한다. 일반적으로 하나의 계기에 2개의 적색 방사선이 있는데 낮은 수치는 해당 장비가 운용될 수 있는 최소의 값이며 높은 수치는 초과 금지를 의미하는 최대값이다. 속도계의 경우 최소값은 실속속도이고 최대값은 초과금지속도를 나타낸다.

항공기의 정보를 제공하는 계기의 종류로는 비행계기(flight instrument), 기관계기(engine instrument), 항법계기(navigation instrument) 그리고 기타계기(other instrument)로 구성되어 있다.

항공기의 비행 상태를 보여주는 비행계기는

- 속도계
- 고도계
- 승강계
- 선회 경사계

- 자이로 수평 지시계
- 방향 자이로 지시계
- 실속 경고장치
- 마하계, 등이 있다.

기관의 작동 정보를 제공하는 기관 계기는
- 회전 속도계
- 오일 압력계
- 오일 온도계
- 실린더 헤드 온도계 또는 냉각수 온도계
- 배기가스 온도계
- 연료 압력계
- 연료량계 등이 있으며

비행장치에는 크게 필요성이 없지만 장거리 운항에 필요한 계기로서
- 자기 나침반
- 대기 온도계
- 자동 무선 방향 탐지기(ADF)
- 초단파 전방향 무선표시(VOR)
- 거리 측정 장치
- GPS 등이 있다.

기타계기로는 전압계, 유압계, 객실 고도계 등이 있다. 이러한 계기는 중요도와 쉽고 빠르게 조종사가 정보를 인식할 수 있도록 하기 위하여 조종사를 중심으로 대략 “T"자 형으로 우선하여 배치한다.

나. 플랩(Flap)

양력과 항력을 증가시키는 장치로 주로 이.착륙 시에 날개의 뒷전을 아래로 움직여 시위선(Chord line)의 뒤쪽을 낮춰서 받음각과 캠버(Camber)를 크게 만들어서 양력과 항력을 증가시켜 활주거리를 줄이는 역할을 한다. 플랩은 상황에 따라 적절히 사용할 수 있도록 두 개 이상의 위치를 두고 있으며 장착위치에 따라 앞전플랩(Leading edge flap)과 뒷전플랩(Tailing edge flap)으로 구분되고 구조방식에 따라 플레인 플랩(plane flap), 스플릿 플랩(Split flap), 파울러플랩 등으로 나눠진다.

파울러 플랩은 캠버와 받음각을 증가시킴은 물론 날개의 면적까지 증가시켜 가장 효율이 좋지만 구조가 복잡한 단점으로 비행장치는 플레인 플랩과 스플릿 플랩을 주로 사용한다.

다. 슬롯(Slot)과 슬랫(Slat)

날개의 앞부분이나 뒷부분의 아래에서 윗면으로 공기가 흐를 수 있는 통로를 말하는 것으로 큰 받음각에서는 날개 윗부분에서 공기흐름이 떨어져 실속이 발생하는 것을 억제한다.

라. 윙랫(Wing lot)

주날개 끝부분(Wing tip)에 수직꼬리날개처럼 세워진 수직판으로 날개 끝 실속을 억제하고 유도항력을 감소시키는 역할을 한다. 장거리 비행을 하는 대형 항공기는 연료소모율을 줄이고 항속거리를 증가시키는 효과가 있다.

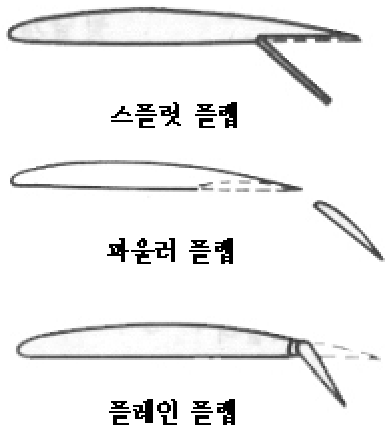
마. 공력 평형장치

비행기의 조종은 조종면을 움직임으로 인하여 발생하는 공기력의 변화에 의하므로 같은 면적의 조종면이라도 비행속도에 따라 그 크기가 변하므로 고속에서 요구되는 큰 힘은 조종사에게 상당한 피로감을 준다. 이러한 조종력을 상쇄시킬 수 있는 방법으로 앞전밸런스(Leading edge balance), 혼 밸런스(Horn balance), 내부 밸런스(Internal balance) 등이 있다.

바. 탭(Tab)

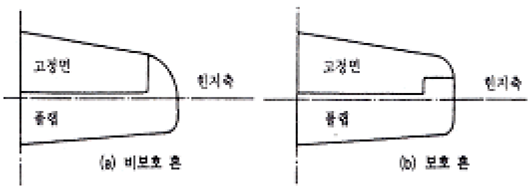
탭은 조종면(Control surface)의 뒷부분에 장착되어 조종력을 경감시키거나 조종력을 “0”으로 만들어 준다.

조종력을 경감시키는 탭으로는 조종면의 움직임과 반대로 움직이는 밸런스탭(Balance tab)과 큰 조종면을 직접 작동시키기 어려운 경우에 사용하는 서보 탭(Servo tab)이 있다. 서보탭은 조종장치가 조종면을 작동시키지 않고 조종면 끝에 장착된 탭을 조종면을 움직이고자 하는 방향의 반대로 움직이도록 하여 탭이 조종면을 작동시키는 원리를 이용하고 있으며 수동으로 조작하는 대형기나 고속기에 주로 사용된다.



기수가 아래로 내려가려는 성질이 있는 비행기를 조종하려면 비행 중 지속적으로 기수를 들어주고자 조종사는 조종간을 당기고 있어야 한다. 조종사가 원하는 자세를 유지할 때 조종사가 인위적으로 장시간 조종간에 불필요한 힘을 주지 않아도 되도록 조종력을 항시 “0”으로 만들어주는 장치가 트림 탭(Trim tab)이다. 트림 탭은 조종석내에서 기계적으로 연결되거나 전기모터를 구동하여 작동한다. 트림 탭이 장비되어 있는 비행기를 조종하고자 할 때에는 반드시 트림 탭의 위치가 어디에 있는가 반드시 확인한 후에 비행에 임해야 한다.

앞전 밸런스



혼 밸런스

제 3 장 비행

1. 비행 전

비행 전 지상에서 항공기를 점검하는 모든 행위는 비행 중 발생할 수 있는 위험요소를 찾아내는 중요하고도 최종적인 기회를 갖는 것이다. 일반적인 중요 요소를 확인하는 것은 큰 차이가 없지만 가장 신뢰할 수 있는 것은 제작사가 제공하는 점검 절차에 따라 모든 항목을 점검하여야 한다.

취미로 즐기는 비행이기에 스트레스 해소를 위한다는 생각에서 생활 속에서 일어난 짜증과 고민을 털어내는 방법으로 비행을 한다면 실제로 그러한 문제를 해소하는 역할을 한다고 해도 이미 조종사는 위험 요소를 가지고 극히 위험한 비행을 시도하는 것이다. 따라서 비행에 임하는 조종사의 마음이 고민 서두름 흥분 슬픔 등등 평온한 마음 이외의 상태라면 비행을 포기하는 것이 최선의 선택이다.

자동차는 도로나 지면위에 위치하여 이동하는 2차원 속에서 운행을 하므로 충돌이나 추돌 이외에 위험 상황이 비행기에 비해서 제한되어 있으나 비행기는 3차원 속에 있으므로 자동차와 같은 조건에 더하여 공중에 머물러 있어야 하는 조건이 더해진 상태이며 일정한 속도 이상으로 이동하여야 하므로 운전보다 더 많은 집중력과 주의가 요구된다.

가. 비행 전 점검

비행 전 점검은 비행 중 발생할 수 있는 위험 요소를 찾아낼 수 있는 마지막 기회이므로 점검을 수행하는 동안 소홀함이 없어야 한다. 점검 항목과 방법 및 절차는 비행기 제작사가 제공한 것을 기준으로 점검 리스트를 보면서 한 항목씩 수행하는 것이 가장 적절한 방법이다. 점검 리스트는 별도로 만들어지지 않고 대개의 경우 운용 기준서에 수록되어 있으므로 조종사는 운용 기준에서 필요한 내용을 발췌하여 자기만의 점검표를 만드는 것도 바람직한 모습니다.

비행전 점검은 비행기 운용의 최종적이고 직접적인 안전 책임자인 조종사로서 적극적인 마음가짐으로 차근차근 점검해야 하며 이륙에 급급하여 점검을 생략하는 경우가 있어서는 안 된다. 특히 동절기에 비행장치에 눈이나 얼음이 있는 상태로의 비행은 항공기의 비행성능을 급격하게 감소시키므로 반드시 제거 후에 이륙하여야 한다.

육안점검(visual inspection) 시 주 점검 대상 항목은 다음과 같다.

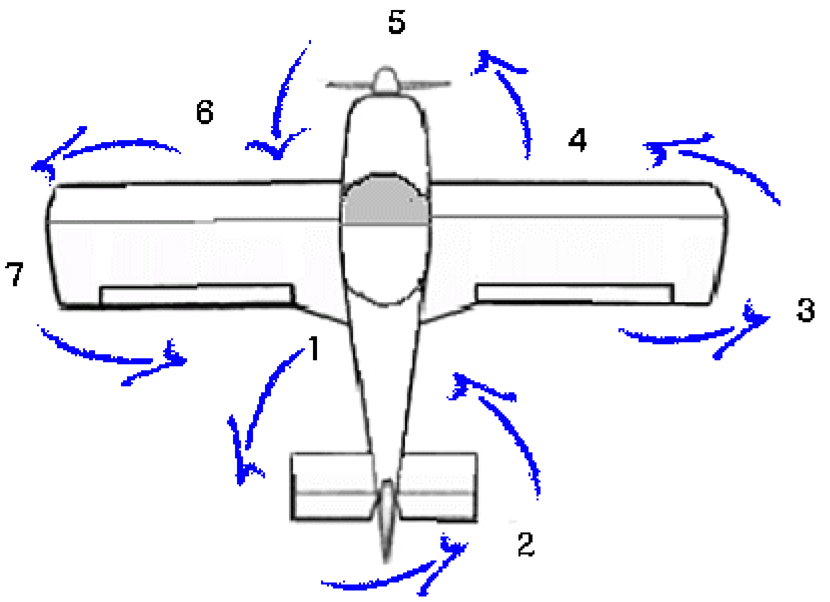
- 엔진과 기체의 액체의 누유나 누설 흔적
- 날개나 동체위의 눈 또는 서리 존재유무
- 안전핀과 안전커버
- 연료에 물 또는 이물질 혼합여부

- 타이어 압력 및 파손 여부

등이 있으며 비행장치에는 이에 더하여

- 날개 및 스트러트 연결 핀 및 안전고리
- 조종면 힌지 핀 장착상태
- 냉각수 및 오일량
- 외부로 드러난 조종 케이블 상태
- 조종 케이블에 연결된 턴 버클 조임상태
- 기체 전체의 균형상태, 찌그러짐, 패임 등 외형상 변형여부
- 외피가 섬유인 경우 손상여부

등을 비행기 주변을 한 바퀴 돌면서 비행장치에 설치된 각종 고정장치 또는 덮개를 벗기면서 점검한다.



나. 조종석 내 점검

비행장치의 조종석은 외부와 격벽이 된 것도 있으며 그렇지 않은 것도 있다. 그 외 전기장치가 운송용 항공기 수준으로 장비한 것이 있는가 하면 최소한의 계기만을 장착하고 있는 것도 있다. 이는 비행장치 별 특성이므로 어느 것이 좋은 것이라 단정 지을 수 없다. 비행 전 점검에서 언급한 바와 같이 제작자가 제공한 운용 기준서에 의거하여 하되 대략 다음과 같은 절차를 수행한다.

-① 조종간을 앞뒤좌우로 움직여서 조종면이 걸리지 않고 원활하게 작동 하는지 여부

- 주 전원 스위치를 “ON"하고 전기로 작동되는 부품들의 작동여부
- 연료량 확인

이러한 점검을 수행하는 동안에는 점화스위치는 반드시 “OFF"에 있어야 하며 전기로 작동되는 부품의 검사하고 주 전원스위치를 ”OFF"하는 것으로 조종석 내 점검을 종료한다.

2. 지상 작동

가. 엔진 시동

비행 전 점검을 이상없이 마쳤다면 비행에 임하기 위해 다음 절차에 따라 엔진을 작동시킨다.

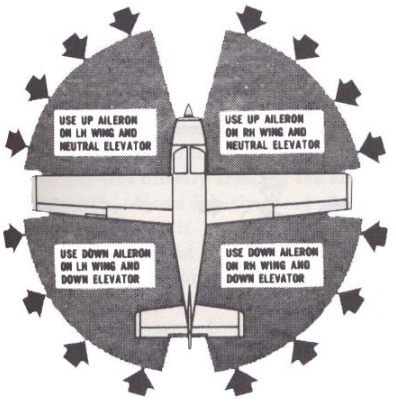
- 비행기 주변 청결 유지
- 안전벨트 착용
- 전기 작동 장치 “OFF"
- 연료 차단 밸브 “ON"
- 동절기에는 쵸크레버를 당기거나 프라이밍
- 제동 장치 작동
- 프로펠러 작동 범위 내 청결 유지
- 스로틀(throttle) 레버 “idle" 또는 idle에서 약간 전진한 상태
- 주 전원스위치 “ON"
- "clear!"라고 외쳐서 주변의 사람들에게 엔진작동을 시도함을 알림
- start 스위치 “ON"
- 오일압력계기가 장비된 엔진이라면 오일압력이 한계범위내로 지시하는지를 확인
- 시동이 되었으면 난기운전 상태에서 엔진 온도가 적정범위에 오르도록 유지

나. 지상 활주

시동이 되었고 정상적으로 이동 준비가 완료되었다면 서서히 이륙을 위해 활주로로 이동하여야 한다. 비행기가 지상에서 이동하는 때에는 반드시 주변의 사람이나 물건에 피해가 가지 않도록 유의하면서 활주로 또는 유도로의 중앙에 위치하여 이동을 하여야 한다. 정지상태에서 처음 움직일 때는 지상 주행 상태보다 다소 높은 출력을 요구하게 된다. 따라서 첫 이동시점에서 충분한 동력을 공급했다면 이동 중에는 약간 출력을 감소시키고 지상이동을 하면서 긴급한 경우를 대비하여 신속히 제동력을 사용할 수 있도록 준비한다.

지상 이동 중 방향 전환은 선회하고자 하는 방향의 러더 페달을 밟아서 방향전환을 하며 일부 앞바퀴에 조향력이 없고 좌우 브레이크를 사용하여 선회하는 기종은 좌우 제동력을 적절히 안배하여 방향을 전환한다. 지상 이동 속도는 약 8km/h로 유지하고 날개 끝이 주변의 장애물에 접촉되는 일이 없도록 유의하여 이동한다.

지상 이동 중에 조종간의 위치는 중앙에 오도록 하는 것이 좋으나 비행장 내 바람이 다소 강하게 분다면 두바퀴식 비행기는 프로펠러 후류에 의해 뒤가 들리지 않도록 유의해야 하며 조종간의 위치는 바람이 불어오는 쪽의 날개가 들릴 우려가 있으므로 풍향쪽으로 향하게 한다.



다. 이륙 전 점검

지상 이동의 목적지인 활주로 진입 전 대기 위치에서 이륙 전 점검을 실시한다. 이륙전 점검은 모든 탑재 장비와 작동기기들의 정상 상태를 확인하는 절차이다.

비행기의 엔진은 각각 별개로 구성된 2개의 점화계통을 갖추고 있다. 이것은 만일 하나의 전기 점화계통에 이상이 생겨도 또 다른 하나가 엔진 정지라는 상황에 대비한 것이다. 그러므로 동일 목적으로 개별 구성된 장치는 어느 하나가 기능을 상실해도 뚜렷한 변화가 나타나지 않으므로 매 이륙 전에 2개의 점화계통이 정상으로 작동하는지를 점검해야 한다. 점화 계통의 점검은 각 기관을 제작한 제작사가 제시한 방법으로 점검을 하고 점검 중 2개의 점화계통이 작동할 때와 인위적으로 하나만을 작동시켰을 때 기관의 회전수가 감소하는 것으로 정상 작동을 확인한다.

3. 이륙

가. 정상 이륙

비행 교육 단계 중에 이륙이 가장 쉽다고 말하기도 한다. 하지만 한정된 길이의 활주로를 활주하여 충분하게 떠 오늘 수 있을 정도의 양력을 만들어 주면서 상승과정에서는 기수가 들려진 자세이므로 앞쪽으로 하늘만 보이기 때문에 사고 위험은 존재하는 구간이다. 이륙은 활주로를 일직선으로 달려 충분한 가속을 얻은 후 자세변경(지수를 위로 든)에 의해서 상승하는 과정을 말한다.

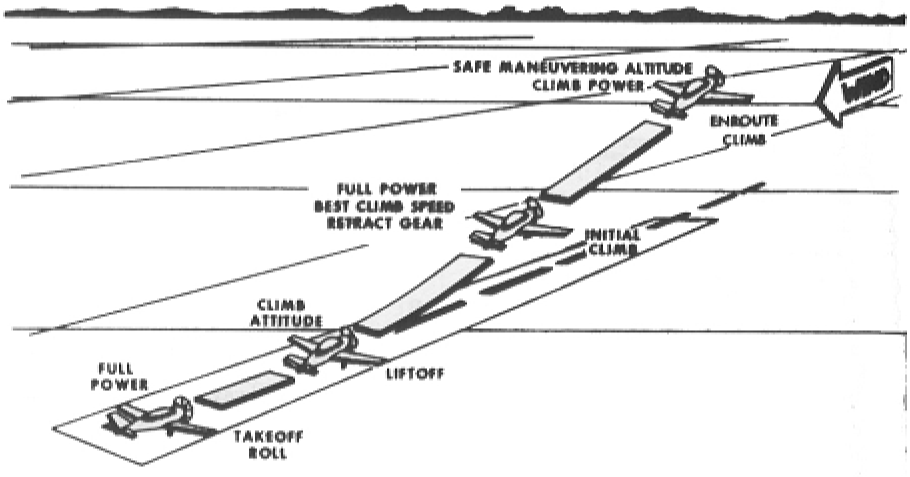
이륙 중 주의해야 할 것은,

- 일직선으로 가속하며 활주한다.
- 충분한 속도(실속속도의 1.2배) 이상일 때 기수를 들어 이륙자세 전환시킨다.
- 상승 중 외부의 어떤 요인으로 자세와 기수가 흐트러져서는 안된다.
- 이륙경로 전방에 장애물이 있어 안전하게 넘을 수 있는지 여부가 불안하면 이륙을 포기한다.
- 이륙하는 방향은 항상 바람이 불어오는 쪽으로 시도한다.

맞바람 상태에서 이륙을 하는 것은 맞바람의 풍속만큼 가속에 도움을 받으므로 이륙거리가 짧아지기 때문이다.

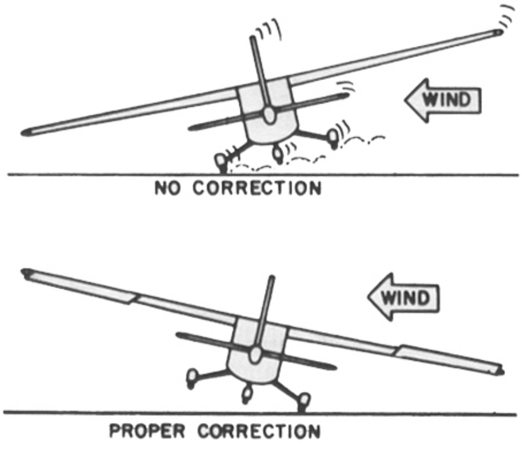
이륙 활주 과정은 부양속도(lift-off speed)에 도달할 때까지 가속하는 단순한 과정이라고 생각할 수 있겠으나 특히 측풍이 부는 상태에서는 항공기가 활주로를 이탈하지 않게 하여야 하며 엔진이 최대인 상태에서 제반상태가 정상인지를 확인해야 하는 등의 과정이므로 최대로 주의를 집중해야 한다. 비행기를 활주로와 일직선으로 정대 시키고 브레이크를 풀면서 초기에는 서서히 가속하여 움직이기 시작하면 스로틀을 신속하게 이륙 최대 출력까지 전진 시킨 후 가속이 되어 이륙이 되도

록 하여야 한다. 기관의 출력에 비해 비행기의 속도가 낮은 상태이기에 프로펠러 토크(Torque)에 의해 프로펠러 회전방향의 반대 방향으로 기수가 돌아가려는 성질과 P-factor에 의해 일직선의 진행하고자 하는 진행방향에서 좌 또는 우로 이탈하려는 경향이 뚜렷하게 나타나므로 러더를 적절히 조작하여 이를 제어하여야 한다.



정상 이륙 과정

이륙 활주 중 비행속도가 증가함에 따라 조종간을 움직일 때 느껴지는 저항감은 점점 커지고 이 저항감의 크기가 곧 조종성으로 작용하므로 최초로 느껴지는 감각을 잘 익히면 이륙 상승과 그 이후의 비행을 익히는 중요한 감각이 된다. 이륙 활주하여 충분한 lift-off 속도에 도달하면 활주를 이탈하여 상승조작에 들어가야 한다. 이상적인 이륙 자세는 고정된 출력에 최적의 상승률을 가질 수 있도록 조종간을 뒤로 당겨서 이륙 자세를 만들어야 하며 이러한 조작을 “rotation"이라 한다.
최적의 이륙 자세는 각 비행기마다 고유한 자세가 있고 이륙 환경에 따라 도 다른 자세를 요구되기도 한다.

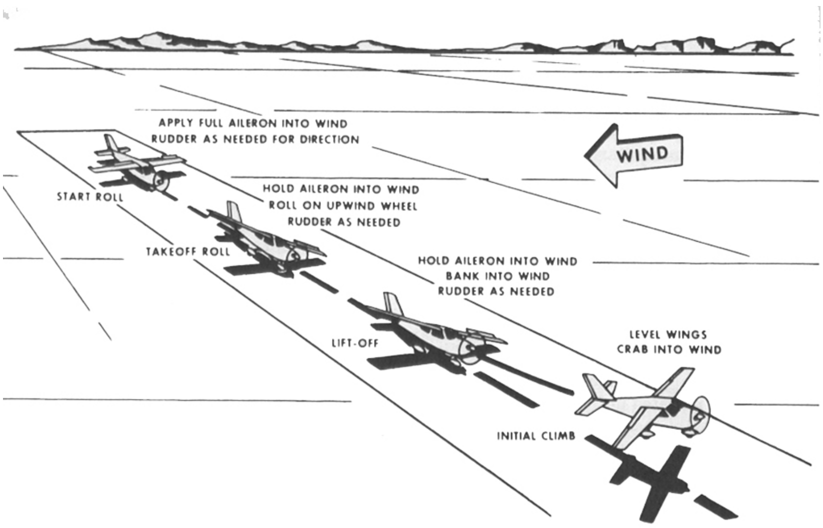


외부 참조물을 통해서 좌우로 수평자세를 유지한 상태에서 기수만 위로 들어주고 상승하는 자세를 취할 때 과도한 상향 자세는 비행속도가 낮아지고 상승이 둔화되며 자칫 위험한 상황에 빠질 수 있고 둔하게 증가하는 속도를 보상하기 위해 기수를 낮추면 받음각이 감소하여 이륙을 실패할 수도 있으므로 주의하여야 한다.
이륙 중 이미 허용된 최대출력을 유지하고 있으므로 속도는 이륙 자세에 의해 결정되며 최적의 상승과 적절한 비행속도가 동시에 이뤄질 수 있도록 유지하고 이륙 자세와 출력 및 상승 유지는 최소한 주변 장애물을 완전히 통과하는 고도를 확보할 때까지 유지하여야하며 최소한 지면으로부터 50ft 높이 고도이다

나. 측풍 이륙

측풍 상태에서 이륙을 시도하면 순항보다 현저히 낮은 비행속도이므로 측풍에 의해 옆으로 밀리는 현상이 나타날 수 있다. 측풍상태에서 이륙은 정상 이륙과 같은 조작과 절차에 의해 이뤄지며 도움날개를 사용하여 바람이 부는 쪽의 날개를 낮추어 옆 흐름을 제어해야 한다.

같은 측풍이라도 이륙 활주 중에는 도움날개를 적극적으로 활용하여 바람에 밀리는 것을 제어하고 기체가 떠오른 후에는 기수를 바람부는 쪽으로 향하게 하여 crabbing으로 직선비행을 유지한다.



다. 단거리 이륙 및 무른 약 지반에서의 이륙

비행 중에 발생하는 여러 가지 환경 중에서 평상시 보다 짧은 활주로에서 이륙해야 하는 상황이다. 취미를 목적으로 하는 비행장치는 어렵지 않게 이런 상황에 처하게 된다.

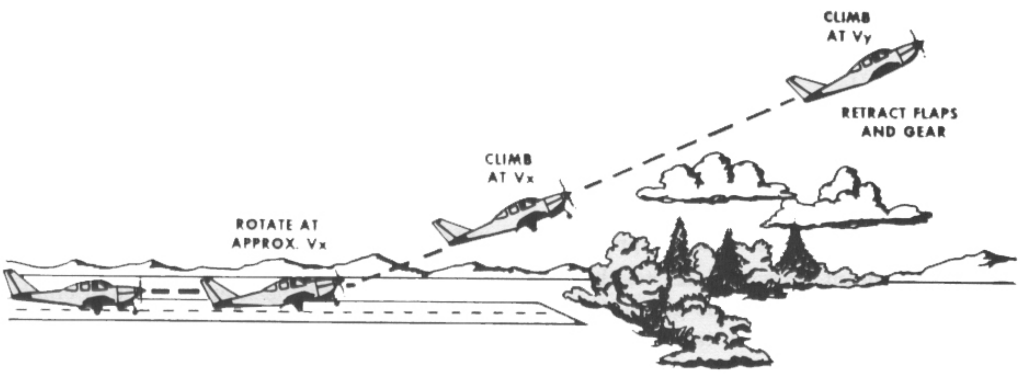
단거리 이륙은 비행기의 성능을 최대한 활용하여 가장 짧은 활주거리와 가장 큰 상승각 상태에서 이륙을 의미한다. 물론 이 절차도 운용기준에 준하여 실시하고 기관의 출력, 플랩 작동, 비행속도 등 세부적인 절차를 충분히 익혀야 한다.

단거리 이륙에는 최대 상승각 속도(best angle of climb, Vx)와 최대 상승률 속도(best rate of climb, Vy)가 있다. 즉 최대 상승각 속도는 주어진 거리에서 최대 고도에 도달할 수 있는 속도를 말하며 최대 상승률 속도는 주어진 단위 시간 내에 최고 고도에 도달할 수 있는 속도이다. 단거리 이륙은 정상이륙과 비교하여 충분한 부양속도를 얻을 수 있는 정도의 여유로운 활주거리가 확보되지 않았으므로 최대로 가속력을 낼 수 있도록 저항이 작은 자세로 최대출력 상태에서 활주를 시작해야 하며 조금이라도 더 긴 활주길이의 확보를 위해 가능한 한 활주로 가장 끝단에서 출발해야한다. 이외에도 lift-off 후 장애물 위험에서 멀어지기 위해 최대 상승각 속도로 상승을 한다.

단거리 이륙은 비행성능에 여유가 없이 최대로 활용하여 시도하므로 의도하는 상승각보다 크거

나 가속이 원만하지 못한 상태에서 강제로 떠오를 경우 심각한 결과를 초래할 수 있으므로 각별히 주의를 기우려야 하고 위험요소에서 벗어나는 즉시 부드럽게 정상 이륙과정이나 상승과정으로 전환하여야 한다.

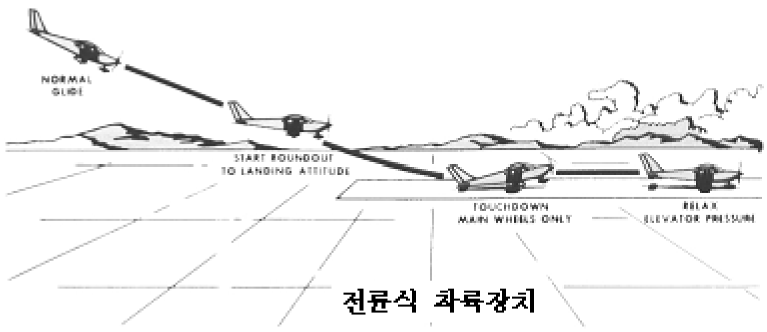
활주로가 약한 지반일 경우 이륙은 비행기의 하중이 무른 활주로를 누르는 현상으로 인해 가속이 잘 안되는 것을 의미한다. 이러한 상황에서 원인이 바퀴가 습한 땅에 빠지는 것과 같으므로 신속하게 바퀴를 누르고 있는 비행기의 하중을 줄여 주는 것이 해결 방법이며 출발하여 활주 중 출력이 변화로 주춤하는 순간에 바퀴와 지면과의 저항이 커지는 것을 주의해야 한다.



단거리 이륙과 같이 최대출력으로 이륙 활주를 하면서 lift-off 속도 전에 신속하게 앞바퀴를 들어서 받음각을 최대로 하여 주 착륙장치로 전해지는 하중을 날개의 양력이 부담하여야 한다.
그러므로 출발할 때 이미 조종간을 충분히 뒤로 당겨서 속도 증가와 더불어 빠르게 전륜이 들릴 수 있도록 하여 점진적으로 속도를 증가시키고 지면효과를 이용하여 lift-off 속도 이전에 활주로를 이탈하여야 한다. 이때 활주로를 이탈한 후 고도 침하없이 기수를 낮춰서 안정된 속도로 회복시켜야 되며 급한 상승으로 지면효과가 빠르게 상실되거나 속도증가를 위해 고도 침하를 고려하지 않아 다시 활주로로 주저앉을 가능성에 대한 주의가 요구되는 이륙이다.

4. 착륙

착륙은 비행을 종료하는 최종단계로 정상적으로 착륙을 마쳤다면 그 순간 세상에서 가장 훌륭한 조종사가 되는 순간이다. 그러므로 비행기기 착륙하여 지상에 정지하는 순간까지 진지하게 비행을 마무리하는 마음가짐이 중요하다. 비행장은 착륙하고자 하는 비행기에 대해 보편이기는 하지만 각 비행장의 상황에 맞게 설정된 틀을 가지고 있고 특징적인 환경이 아니라면 어느 비행장이나 같다고 볼 수 있으며 취미비행을 목적으로 하는 비행장치의 이착륙장의 경우는 좀 더 자유스러운 틀에 맞춰서 이용하지만 스스로 원칙을 이해하고 따르는 것이 본인과 타인의 안전을 확보하는 중요한 요소임을 인식해야 한다. 비행장은 활주로의 연장선을 한 변으로 하여 좌측 또는 우측으로 사각형의 근접비행 패턴을 가지고 있고 각 변에 해당하는 명칭으로 구분하여 착륙이나 이륙 절차를 수행한다.



전륜식 착륙장치

북쪽을 향해서 이륙을 하는 비행장을 가정하여 활주로에서 이륙하여 직선으로 상승하는 구간을 업윈드레그(upwind leg), 다음 동쪽이나 서쪽으로 방향을 전환하여 진행하는 구간을 크로스윈드레그(crosswind leg), 다시 남쪽으로 방향을 전환하여 진행하는 직선구간을 다운윈드레그(downwind leg), 활주로와 직각되는 방향으로 진입하는 구간을 베이스레그(base leg), 활주로를 향해 일직선으로 접근하는 직선로는 업윈드레그와 구분하여 착륙 활주로 연장선상을 final leg 라고 한다.

가. 베이스 레그(base leg)

착륙 접근을 위해 고도를 낮추고 착륙조작을 준비하는 구간으로 활주로의 연장선인 어프로치 구간과는 직각을 이루고 착륙접지 위치와 45°를 위치이다. 비행속도는 1.4Vso 정도를 유지하고 비교적 작은 각도의 플랩을 사용하며 만일 경사각을 과도하거나 최종경로 선상을 크게 초과하거나 미달할 것으로 판단된다면 실속의 위험 등이 발생할 수 있으므로 복행(go-around)하여 다시 착륙을 시도하는 것이 바람직하다. 이 구간을 진입할 때 관제탑에서 보고하도록 요청을 하는 경우가 있다.

나. 최종 접근로(final approach)

베이스 구간에서 최종 접근 구간으로 선회를 완료하고 비행기의 전방에 활주로의 연장선과 일치시키고 활주로의 측풍이나 장애물, 이륙 중인 비행기를 확인한다. 활주로의 연장선과 기수를 일치시켰다면 활주로까지 거리와 고도를 가늠하여 원하는 강하율을 얻기 위한 피치(pitch)로 고정한 후 비행속도를 1.3Vso로 유지한다. 활주로로 접근하는 구간에서는 비행자세, 기관의 출력, 비행속도를 적절히 유지하므로 정확하고 안정된 강하률로 유지하므로서 활공로를 형성하여 진입하여야 한다.

다. 자세변경(round out or flare) 및 접지(touchdown)

최종 접근하여 기수를 낮추고 진입하다 출력을 감소시키면서 침하율을 줄여 부드러운 접지로 이어지도록 하는 일련의 동작이 훌륭한 착륙이 되게 한다. 진입 초기에 기수를 낮추고 강하자세를 취하기 때문에 정상적인 비행속도가 증가하게 되므로 기관의 출력을 감소시켜 속도 증가를 억제하여 권장 진입속도에 맞춰야 한다. 진입하는 동안 빈번한 출력조작이나 자세의 변경없이 일정한 강하율과 속도를 유지하여 진입하도록 지속적으로 훈련하여야 한다.

활주로 말단에 이르러 접지 전에 아래로 향했던 기수를 부드럽게 들어 줌으로서 받음각을 크게 하여 양력과 항력이 증가되고 접지직전에 양력의 증가가 침하율을 줄이고 속도를 감속하여 부드러운 접지로 이어지도록 한다.

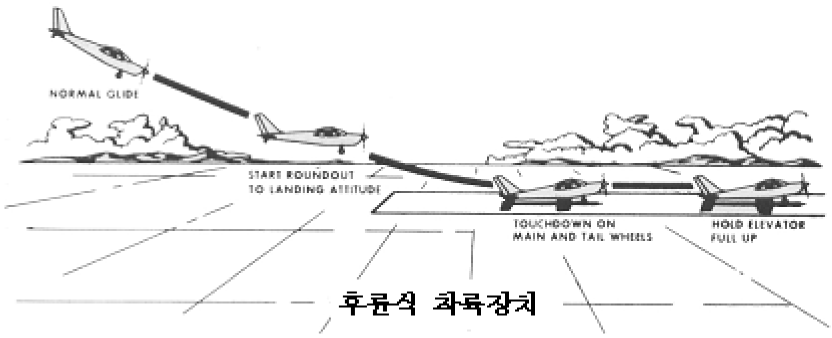
착륙 접근 중에는 실속속도에서 약간의 여유가 있는 비행속도를 유지하고 있는 비교적 순항비행에 비해 기류가 불안정할 경우에 심각한 위험에 빠질 수 있으므로 착륙 접근 중에 불안정한 기류가 예상된다면 좀 더 높은 비행속도가 요구된다.

5. 비상 접근 및 착륙

가. 개요

비행기의 기관은 반드시 신뢰성이 있어야 하며 실제로도 신뢰성을 인정받고 있지만 비행 중에는 뜻하지 않은 상황이 발생할 수 있고 이 상황은 조종사 본인은 물론 지상의 인명과 재산에 심각한 피해를 유발할 수 있다. 그러므로 조종사는 만일의 사태에 대비한 훈련과 자신감으로 부득이한 위험상황이라도 피해를 최소화할 수 있어야 한다.

만약 비행 중 기관이 정지되는 상황이 발생한다면 비행기가 공중에서 비행할 수 있는 시간은 생각보다 많지 않다는 것을 명심하여 일상의 위험상황 대처와 같이 우선 침작한 자세로 상황에 대처해야 한다. 비상 상황에 당황한 마음은 최적의 비상착륙지를 찾지 못하거나 활공거리의 미숙한 판단 등 명쾌한 조치를 하지 못하는 미숙한 결과를 낳는다.



후륜식 착륙장치

평소 비상 상황을 대비한 훈련을 충분히 익혔다면 기관을 제외한 기체에 신뢰성을 믿고 스스로 자신감이 있어야 한다. 조종사의 자신감은 결과에 대한 두려움을 이기고 비상 상황에 대처 능력을 최대한 발휘할 수 있도록 하는 가장 훌륭한 바탕이다.

나. 불시착

비상 상황에 처했을 때 인근에 공항이나 비행장 등 착륙시설이 되어 있는 환경이면 최상이겠지만 그렇지 못할 경우에는 가장 적절한 비상 착륙지를 선정해야 한다. 비상 상황에 처한 순간부터 착륙 예정지까지는 충분한 활공거리 내에 있어야 하며 최적비상 착륙지로서 농경지와 같은 평지이다. 농경지의 경우 경작을 위해 파 놓은 골이 있어 비교적 평탄한 지면이라고 할 수 없지만 골을 따라 착륙을 시도한다면 평탄한 지면과 크게 다를 바가 없다. 또한 선정한 비상 착륙지는 바위, 웅덩이 등 각종 장애물에 유의해야 하며 바람의 속도와 방향을 고려해야 한다. 정풍 상태에서 비상착륙과 배풍 상태에서 비상 착륙은 정상 착륙과 같이 활주거리에 영향을 미치고 지면과 접지 상황이 부드럽지 못할 것이므로 최초 지면과 닿은 속도에 풍속의 크기만큼 영향을 주기 때문이다. 하지만 정풍 상태로 하기 위하여 무리한 방향 전환을 시도하는 것보다는 배풍 상태의 착륙이 최선의 선택

이다. 이는 비록 배풍 상태에서 벗어나지 못하여 큰 속도로 지면에 접지하는 것보다 방향전환 중 고도를 상실하여 적절한 비상조치를 취하지 못하는 불가의 상태에 빠지는 것이 더 위험하기 때문이다.

다. 실속(Stall)

실속이란 속도가 정상비행가능 상태 이하로 되어 조종간으로 조작이 되지 않은 상태를 말하는 것으로 그 원인은 엔진고장이나 조작 잘못 등으로 날개의 시위선과 공기 흐름 방향이 이루는 각이 과도한 것에서 기인된다. 비행원리에서 설명한 것과 같이 과도한 받음각 상태에서 날개의 윗면의 공기흐름이 떨어져 나가는 현상이다.

실속 상태임을 인식할 수 있는 것으로는 시각, 청각, 운동감각. 조종력 등이 있다.

시각으로 인식되는 것은 비정상적인 비행자세인 경우 실속을 인지하거나 실속 범위에 근접해 있음을 알 수 있다. 또한 비정상적인 자세인 경우 정상비행 상태와 비교하여 외부의 소음이 특이함으로 인해 청각으로 인식이 할 수 있다. 조종 경험이 충분히 있는 경력자는 자신의 비행 감각으로 인식할 수 있다. 고도침하나 속도 감소 등을 초기에 정상이 아님을 즉각 감지할 수 있다. 그 외 기체가 실속상태에 빠지기 시작하면서 이와 함께 조종에 사용되는 타면에 끼치는 공기력의 변화에 의해서도 알 수 있다.

실속 상태에 빠지기 전에 상황을 즉각 인식하는 감각이 있음은 안전한 비행에 유효한 감각이며 실속의 근본적인 원인을 알면 신속한 회복방법을 알 수 있고 꼭 교본에서 언급되지 않아도 스스로 그 방법을 행할 수 있다. 실속의 근본 원인은 과도한 받음각임은 이미 알고 있으므로 회복 방법은 과도한 받음각으로부터 받음각을 작게 만들면 되는 것이다. 실 예로 비행기의 기수를 상향자세로 유지하고 있다고 가정했을 때 지속적으로 상승을 한다면 공기의 흐름이 언제나 정면에서 흐르므로 실속에 빠지지 않는다. 하지만 상승자세를 유지하고 있는 동안 비행기의 추력이 상승속도를 유지할 수 없을 경우에는 자세는 변함이 없어도 날개로 유입되는 공기 흐름방향이 변하게 된다. 따라서 상승자세에서 부족한 추력으로 인해 수평을 상태로 전진을 하면 상승 때보다 큰 받음각 상태가 되고 고도가 침하 된다면 공기흐름이 아래에서 올라오므로 더 큰 받음각 상태가 된다. 결국 과도한 받음각으로 인해 실속에 빠지는 것이다.

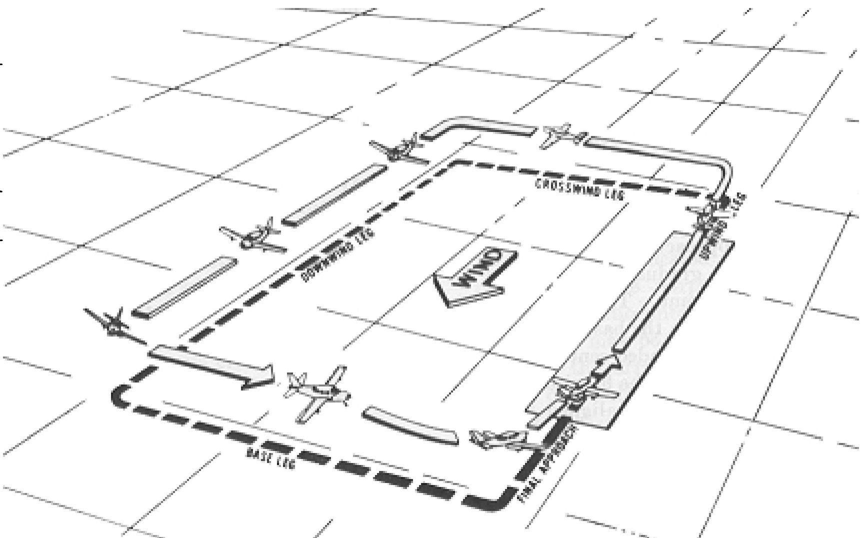
이러한 경우 실속회복의 기본은 기수를 낮춰서 받음각을 실속각 이하로 만들어 주는 것으로 회복이 되는 것이다.

실제 비행 중이거나 실속 회복 훈련 모두 실속으로부터 회복하고자 하는 과정 중에 주의할 점은 첫째 받음각을 작게 줄여주고 속도를 회복하는 동안 상당한 고도 침하가 수반되므로 낮은 고도에서는 자칫 회복되기 전에 지면에 충돌하는 위험 상태에 이를 수 있으며 둘째 주 날개에서 발생한 실속보다 더 낮은 속도에서 조종력이 작용할 수 있도록 비행기를 제작하였으므로 비행 중 균형을 잃어 옆으로 미끄러져 내리는 등 자세를 잃지 않도록 유의하여야 한다.

제4장 장주비행(場周: traffic pattern) 및 비행장 이·착륙 절차

1. 개요

장주비행이란 활주로를 중심으로 항공기가 시계비행 시에 여러 항공기가 안전하며 효율적으로 관제가 될 수 있도록 하기 위하여 설정된 비행로이다. 장주 비행로를 설정하는 것은 비행장의 교통 흐름을 효율적으로 운용하고 안전한 입출항을 위한 것이므로 장주 규칙, 관제 절차, 비행 조언에 충분히 익숙해야 한다. 비록 비행 중에는 비행기 각각 최적의 순항속도가 다르므로 다양한 속도로 비행을 하지만 장주권 내에 진입하면 모든 비행기는 장주 규칙에서 제시하는 속도와 비행 방향에 따라야 한다. 항공기는 일반적으로 지정된 공역에서 비행 후 비행장으로 돌아올 경우에는 비행장 외곽에 저명지점을 정해놓고 이 지점을 경유하여 비행장 장주에 진입토록 되어 있다. 이는 여러 대의 항공기가 동일 시간대에 비행장으로 집중될 경우 관제의 어려움과 함께 충돌의 위험이 있으므로 항공기 흐름을 일정하게 하여 안전한 비행이 되도록 하기 위한 것이다. 비행장치 항공기들이 한 지역에 많을 경우에는 이러한 경로를 만들어 두는 것이 좋다.



장주 비행 형태

2. 이륙 준비

이륙은 비행을 시작하는 단계이므로 만족스러운 이륙은 최종 비행종료까지 상쾌한 기분을 갖을 수 있다. 매 비행의 안전을 위하여 지상에서 충분한 이륙 전 점검을 수행하였지만 시동과 더불어 주기상태에서 점검할 수 없었던 작동상태를 점검하여야 한다. 비행기에 탑승하여 비행에 임하는 것은 비록 취미비행을 목적으로 하는 비행일지라도 대형기 여객기의 기장의 역할과 다를 바가 없으므로 비행안전의 책임자로서 의무감을 가지고 있어야 한다.

탑승 전 점검을 끝내고 탑승 후에는 시트벨트 잠금여부, 출입문의 잠금상태, 각 계기의 정상 여부와 프로펠러 주변에 사람이나 장애물이 있는지를 확인하고 시동을 건다. 시동 후에 엔진을 충분히 워밍업 한 후 주기장을 떠나 활주로를 향해서 지상 이동을 한다.

활주로 진입 전에 비행기를 정지시키고 엔진의 출력과 작동상태가 적정한지 점검하고 엔진 또는 비행기 제작사에서 제시하는 엔진 점검 및 조종계통 작동상태를 점검한 후 활주로에 진입하는 타 항공기가 있는지를 확인한 후 활주로에 진입한다.

이러한 최종 점검을 활주로에 진입하여 점검하는 것은 타 항공기의 원활한 이/착륙에 장애가 되거나 활주로의 활용시간을 줄이는 것이므로 반드시 최종 작동 점검은 활주로 진입 전에 완료하고 활주로에 진입하여야 하며 활주로 진입 후에는 곧 이륙할 수 있어야 한다.

3. 이륙

이륙 준비가 완료되고 활주로 끝단에서 이륙 활주를 할 때에 대부분의 비행기는 적당한 유도로가 갖춰지지 않았기에 활주로로 진행하여 끝단에서 활주방향으로 방향전환을 한다. 이때 주의할 점은 방향전환을 완전히 마무리하고 지상에서 조향장치가 활주로 진행방향과 일치하는 것을 확인하고 출발한다.

이륙활주와 지면에서 이탈한 상태는 착륙장치가 지면에서 떨어져 있으므로 비행 상태가 달라지는 것을 유념해야한다. 특히 측풍 이륙을 시도한 경우 바퀴가 땅에서 이탈하면서 측풍에 대한 저항을 담당한 바퀴가 더 이상 저항력을 유지하지 못하므로 이를 대비하여야 하고 이외에 프로펠러 토크 등 정상 순항에 도달하기 전까지 비행자세가 틀어지는 것을 고려하여 즉시 대처할 수 있도록 한다.

지상 활주를 시작해서 이륙자세로 변경할 수 있는 충분한 속도에 도달할 때까지 지상 활주를 계속하여야하고 특히 충분한 속도가 얻기 전에 활주로의 끝단이 도달할 것이라는 염려에 미리 이륙자세로 변경하면 순간 지면에서 이탈한 후 추락할 위험이 있다.

4. 측풍 및 배풍 구간

이륙하여 충분한 고도를 획득한 후 좌측 또는 우측으로 처음 90° 선회한 후의 비행로를 측풍구간이라고 한다. 측풍구간은 비행기가 항시 맞바람 상태에서 이륙하므로 어느 한쪽을 바람이 부는 방향으로 두기 때문에 지정된 명칭이다.

배풍구간은 이륙방향과 반대방향으로 진행하는 구간을 의미하며 외부에서 비행장에 착륙을 위해 진입한다면 이 구간 중간지점으로 비스듬히 진입하는 것이 일반적인 방법이다. 배풍구간을 비행할 때는 활주로와 평행을 유지하는 것을 중요하며 비행장에 착륙한다는 전제이므로 속도와 고도를 낮추기 시작하는 구간이다.

5. 베이스 구간

측풍구간과 같이 옆바람을 받는 상태이나 이륙 후 접하는 측풍구간과 구별하기 위하여 명칭을 베이스구간이라 한다.

베이스 구간은 배풍구간에서 시도한 속도와 고도 낮춤을 계속 유지하고 먼저 착륙을 시도하는 타 항공기의 존재 여부에 주의를 기우려야 한다. 이 구간에서 평상시 보다 먼 거리에서 먼저 활주로에 진입을 시도한 항공기가 있는 것을 모르고 진입하면 타 항공기의 진입 예정구간에 끼어들기 형태가 되어 위험 상황을 만들 수 있다.

6. 착륙 진입

베이스 구간을 지나 착륙을 위한 마지막 선회를 시도하여 활주로와 일직선상으로 진행하며 기수를 내리고 고도와 속도를 낮추기 위해 엔진의 출력을 다소 감소시킨 상태에서 난기류나 예상하지 못한 기상에 대비해 충분히 대처하기 어려운 환경에 있고 조종사의 시각에는 지면에 충돌할 듯이 아래로 내려가고 지면의 변화로 속도감을 느끼므로 불안과 긴장이 되는 순간이다. 이외에도 엔진의 출력이나 비행속도 등이 순항상태보다 낮아져 있으므로 비행 평형상태에서 벗어날 수 있으므로 이륙 때와 같이 자세를 유지하는 것에도 상당히 조심해야 한다.

제 5 장 항공 약어

(호박색) Amber

(수정기상보)Amended meteorological message

(공대공) Air-to-air

(비행장 지표상) Above aerodrome level

(정좌(우)현애) Abeam

(공항(또는 비행장) 등대)Aerodrome beacon

(대략) About

(고적운) Altocumulus

(지역관제국)Area control centre or area control

(항공기사고통보)Notification of an aircraft accident

(항공기) Aircraft

(수령하다) Acknowledge

(고도계수정치 점검지점)Altimeter check location

(항공기의 포장에 주는 영향치)Aircraft classification number

(접수) (전문)Acceptance(message type designator)

(접수) Accept or accepted

(활동중) Active or activated or activity

(공항 또는 비행장) Aerodrome

(충고지역) Advisory area

(추가) Addition or additional

(자동방향탐지기)Automatic direction-finding equipment

(방공식별구역)Air defence identification zone

(인접한) Adjacent

(충고항로) Advisory route

(충고) Advise

(비행중에 제출된 비행계획서)Flight plan filed in the air

(비행장항공정보업무)Aerodrome flight information service

(그와 같음)Yes or affirm or affirmative or this is correct

(항공고정업무)Aeronautical fixed service

(...이후(시간 또는 장소))After...(time or place)

(항공고정통신망)Aeronautical fixed telecommunication network

(공대지) Air-to-ground

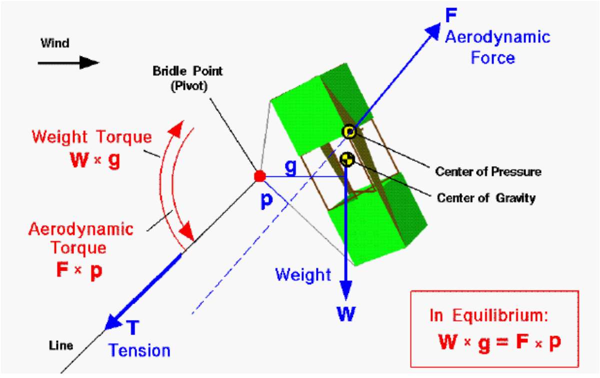
(비행장 및 지상보조시설)Aerodromes, air routes and ground aids

(지표높이) Above ground level

(재차) Again

제6장 항공기의 분류 및 항공 발달사

인간이 타고 다니거나 물건을 운송하기 위한 목적으로 인간이 만든 모든 이동 수단을 총괄하여 운행체(vehicle)라고 정의하며 사람을 탑승시켜 안전하게 상공을 운항하는 기계를 항공기(aircraft)라 한다. ICAO에서 규정하는 항공기의 정의는 공기의 반작용에 의하여 공중에 머무를 수 있는 기기로 정의하며 국내항공법 제2조에 따르면 "항공기"라 함은 민간항공에 사용하는 비행기·비행선·활공기·회전익 항공기 기타 대통령이 정하는 것으로서 항공에 사용할 수 있는 기기라고 정의되어 있다.



[국제 항공법에 따른 항공기의 분류]

[국내 항공법에 따른 항공기의 분류]

1. 운행체의 분류

운행체는 운행체를 운영하는 영역에 따라 구분할 수 있다. 외공간(outer space)에서 운용되는 것을 우주선(space vehicle)이라 하고 대기권 안에서 운용되는 것을 비행체(air vehicle)라 하며, 지표 또는 수상에서 운용되는 것을 지표 운행체(surface vehicle)라고 하며 수중에서 운용되는 것을 지중 운행체 등으로 크게 구분한다. 이중에서 항공학에서 공부해야 할 대상은 우주선과 비행체이다.

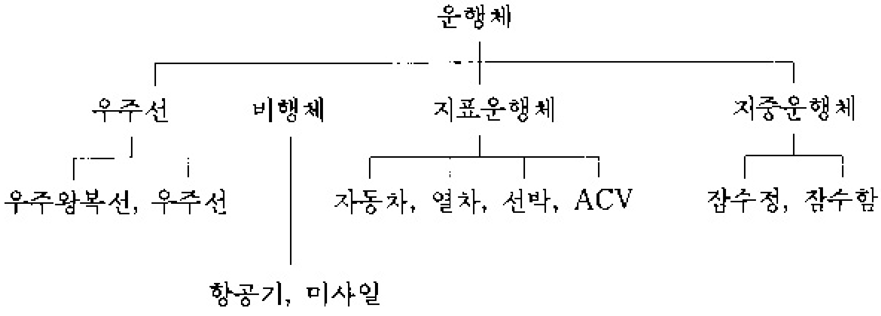
[우주선]

[비행체]

[지표 운행체]

[지중 운행체]

운행체를 구분하는 또 다른 방법으로는 운행체의 용도에 따른 분류 방법이다. 비행 중에 인간이나 물건을 운송하는 목적으로 반복하여 지속적으로 사용하는 운행체를 항공기(aircraft)라 하고, 반복하여 사용하지 않는 운행체를 미사일(missile)이라 부른다. 미사일은 군사용 목적으로 주로 사용하는 운행체이다. 이러한 방법으로 운행체를 분류하여 표로 나타내면 다음과 같다.



2. 항공기의 분류

하늘을 날아다니는 운행체의 종류는 다양하다. 그러나 이러한 비행체를 크게 구분하면 공기보다 가벼운(lighter than air) 항공기와 공기보다 무거운(heavier than air) 항공기로 구분한다.

공기보다 가벼운 항공기는 동력장치의 작동 없이 비행체가 공기 중에 머무를 수 있는 비행체로 공기보다 비중이 작은 기체를 공기 중에 두면 부력(浮力)이 발생하여 자체의 무게를 이기고 공중으로 떠오르는 원리를 이용한 항공기이다. 부력을 발생시키기 위하여 주머니에 뜨거운 공기나 수소, 헬륨 등을 넣으면 공기와의 비중차이에 의해서 부력이 발생한다. 이러한 원리를 사용하는 항공기로는 기구(ballon)와 비행선(airship)이 있다. 기구와 비행선의 차이는 추진 장치 장착 여부에

따르는데 기구는 추진 장치가 장착되어 있지 않고 비행선은 추진 장치가 장착되어 있어서 원하는 방향으로 이동이 가능하다.

[열기구]

[비행선]

그리고 비행선은 구조에 따라 연식, 반경식, 경식 등으로 구분한다. 연식을 기낭 내부에 골격이 없이 자체 충전 가스의 압력에 의해서 형태가 유지되는 구조이며, 경식은 기낭 내부에 구조재가 설치되어 형태를 유지하는 구조이고 반경식은 하중을 받는 주요 부분은 구조재를 설치하고 나머지 부분은 가스 압력으로 형태를 유지하는 구조이다. 기구 중 열기구는 항공 스포츠용으로 이용되고 있다.

공기보다 무거운 항공기는 항공기를 공중에 띄우기 위해서 부력을 사용하지 않고 공기역학적으로 발생하는 양력(lift)을 이용한다. 양력을 발생시키는 날개의 형태에 따라서 고정익 항공기(fixed wing aircraft)와 회전익 항공기(rotary wing aircraft)로 구분한다.

[고정익 항공기]

[회전익 항공기]

고정익 항공기는 다시 동력장치의 장착 여부에 따라서 비행기와 활공기로 구분한다. 보통 항공기와 비행기를 동일한 의미로 사용하는데 항공기는 넓은 의미의 비행체로 그리고 비행기는 동력을 가진 고정익 항공기라는 좁은 의미로 사용된다.

[비행기]

[활공기]

비행기는 동력장치가 장착되어서 스스로의 힘으로 상승 비행할 수 있지만 활공기는 자동차나 다른 비행기로 견인하여 고도를 만들어 주면 서서히 하강하면서 활공 비행한다. 그리고 상승기류가 있는 지역에서는 기류의 힘을 이용하여 고도를 상승시킬 수 있다. 활공기 이외에도 동력장치가 없는 종류로 행글라이더와 패러글라이더가 있다. 대부분의 활공기는 항공 스포츠용으로 활용되고 있다.

[행글라이더]

[패러글라이더]

항공기 날개에서 발생되는 양력은 날개와 공기와의 상대속도에 의해서 발생하므로 항공기가 비행하기 위해서는 고정된 날개에 작용하는 공기의 상대속도가 반드시 필요하다. 이 속도를 만들어 주기 위해서 비행기는 반드시 활주로에서 이륙 활주해야 하며 전진 비행해야 한다. 반면 활주하지 않고 이륙하기 위하여 활주하는 대신에 날개를 회전시켜서 상대속도를 만들어 내는 항공기를 회전익 항공기라 한다. 회전익 항공기의 대표적인 종류로는 헬리콥터(helicopter)와 오토자이로(autogyro) 및 자이로콥터(gyrocopter) 등이 있다.

비행기는 통상적으로 이륙하기 위해서는 활주해야 하지만 헬리콥터와 같이 수직으로 이착륙하는 항공기를 수직 이착륙기(VTOL, vertical take-off and landing)라 한다. 수직 이착륙기는 헬리콥터를 포함하여 수직으로 이착륙할 수 있는 모든 종류를 말한다. 예를 들어 헤리어기도 전투기 형태이지만 수직 이착륙기에 포함된다. 완전한 수직 이착륙은 아니지만 기존의 비행기에 비하여 현저하게 활주거리가 짧은 항공기를 단거리 이착륙기(STOL, short take-off and landing)라고 분류한다.

[수직이착륙기인 헤리어기]

[단거리 이착륙기인 F-15기]

항공기의 제작과 운항에 관한 항공법규의 규정에 따르면 항공기의 형식 분류는 아래와 같다.

유형		최대하중배수	내용
비행기	곡예A acrobatic	6.0	최대 이륙중량이 5,700 kg 이하인 비행기로서 보통 N류에 적용하는 비행 및 곡예비행에 적합한 것
비행기	실용U utility	4.4	최대 이륙중량이 5,700 kg 이하인 비행기로서 보통 N류에 적용하는 비행 및 60° 경사를 넘는 선회, 횡 8자, 샨델 등의 곡예비행에 적합한 것
비행기	보통N normal	2.5~3.8	최대 이륙중량이 5,700 kg 이하인 비행기로서 보통의 비행(60° 경사를 넘지 않는 선회 및 실속)에 적합한 것
비행기	수송T transport	2.5 이상	항공수송 사업용으로 적합한 비행기
회전익항공기	보통N	+3.5	최대 이륙중량이 2,700 kg 이하의 회전익 항공기
회전익항공기	수송T A 급	+2.0 −3.5	항공수송 사업용으로 적합한 다발 회전익 항공기로서 임계발동기가 정지되어도 안전하게 운항할 수 있는 것
회전익항공기	수송T B 급	+2.0 −3.5	최대 이륙중량이 9,000 kg 이하의 회전익 항공기로서 항공수송 사업용으로 적합한 것
활공기	제1종 I	6.5	최대 이륙중량이 600 kg 이하의 활공기로서 활공기 제3종 Ⅲ에 적합한 비행, 곡예비행 또는 비행기에 의한 견인비행에 적합한 것
활공기	제2종 Ⅱ	5.0	최대 이륙중량이 600 kg 이하의 활공기로서 활공기 제3종 Ⅲ에 적합한 비행, 급선회, 반회전, 실속반회전 등의 곡예비행 및 비행기에 의한 견인비행에 적합한 것
활공기	제3종 Ⅲ	4.0	최대 이륙중량이 600 kg 이하의 활공기로서 보통의 비행 및 고무견인 사출 혹은 윈치에 의한 견인비행에 적합한 것
동력활공기S		5.0	50 kw(67 PS) 이하인 동력장치를 장착한 활공기
특수항공기 X			이상의 유형에 속하지 않는 것

항공기의 유형을 비행기, 회전익 항공기, 활공기, 동력 활공기 그리고 특수 항공기의 다섯 종류로 나누고 각 유형으로 각각 세 분류하고 최대이륙중량이나 동력장치의 크기에 따른 세 분류를 각각 규정하고 있다.

3. 비행기의 분류

비행기의 형태는 사용 목적, 임무 그리고 성능에 따라 현저하게 차이가 난다. 비행기를 설계하는 기술자 입장에서는 요구되는 임무와 성능을 만족시키면서 설계 당시의 기술 수준에 따라 어떤 형태가 가장 경제적이고 효율적인가에 따라 설계 기준을 결정한다. 따라서 비행기의 형식에는 일반적인 것도 있지만 매우 특이한 형태도 있다.

비행기를 분류하는 방법 중에서 날개의 형태에 따른 분류방법을 적용하면 날개의 개수에 따라서 단엽날개, 복엽날개, 삼엽날개 등으로 구분할 수 있다.

[단엽기]

[복엽기]

[삼엽기]

날개의 장착수직위치에 따라서 고익(high wing), 중익(middle wing), 저익(low wing) 등으로 구분한다. 여기서 고익은 동체 위에 날개가 장착된 형식이고 저익은 동체 아래 부분에 날개가 장착된 형식을 말한다.

[고익기]

[중익기]

[저익기]

비행기를 정면에서 보았을 때 대부분의 날개는 약간 위로 들린 형태인데 동체에 가까운 부분은 약간 내려가고 중간부분부터 접혀서 위로 들린 형태인 갈매기형(gull wing)과 반대로 날개 중간이 접혀 내려간 뒤집힌 갈매기형(inverted gull wing)도 있다.

[갈매기형 날개인 Corsair]

비행기의 날개 평면 형태에 따라서 분류하면 직사각형, 테이퍼형(taper), 타원형, 후퇴형 또는 전진형 및 삼각형 등으로 구분할 수 있다. 그 중 후퇴형 날개는 그 후퇴각이 고정되어 있지만 비행 상태에 따라서 각도를 변경시킬 수 있는 가변후퇴익기도 있다.

[가변익을 채택한 F-14기]

비행기의 수평꼬리날개는 대부분 날개의 뒤쪽 동체 끝 부분에 위치한다. 그러나 삼각형이나 후퇴형 날개를 사용하는 경우에 수평꼬리날개를 날개 앞쪽 동체에 장착한 비행기도 있는데 이러한 형태의 앞에 장착된 수평날개를 귀날개 또는 커나드(canard)라고 한다.

[커나드윙을 장착한 프랑스의 라파엘기]

동력장치의 종류나 수에 따라서 비행기의 형식을 구분하기도 한다. 먼저 동력장치의 수에 따른 분류를 살펴보면 단발기, 쌍발기 그리고 다발기 등으로 구분하고 동력장치의 종류에 따라서는 왕복기관 및 제트기관으로 프로펠러를 회전시켜서 추력을 발생시키는 항공기를 프로펠러기라 하며 프로펠러가 기관 앞에 장착된 형식을 끄는 형(tractor type), 프로펠러가 기관 뒤쪽에 장착된 형식을 미는 형(pusher type)이라 한다. 특히 제트기관으로 프로펠러를 회전시키는 형식을 터보프롭 비행기라고 한다.

[프로펠러기]

그리고 터빈엔진의 출력이 제트 분사의 추력으로 나오는 동력장치를 장착한 비행기를 제트기라고 한다. 제트기의 종류에는 터보 제트기, 터보 팬 제트기 등이 있다.

[터보제트기를 장착한 F-4 팬텀기]

[터보팬 엔진을 장착한 B747-400]

그리고 비행기의 용도에 따라서 군용기와 민간기로 크게 구분할 수 있다. 군용기는 임무에 따라서 전투기, 폭격기, 정찰기, 초계기, 수송기 등으로 구분된다.

[F-18 전투기]

[B-2 폭격기]

[E-3 정찰기]

[SR-71 초계기]

[C-130 수송기]

민간기는 크기에 따라서 소, 중, 대형으로 구분하며 항속거리에 따라서 단거리, 중거리, 장거리 여객기나 화물기 등으로 구분된다. 그리고 음속의 속도에 따라서 음속보다 느린 아음속기, 음속과 거의 비슷한 속도인 고아음속기(천음속기), 음속보다 더 빠른 초음속기, 음속보다 매우 빠른 극초음속기 등으로 구분된다.

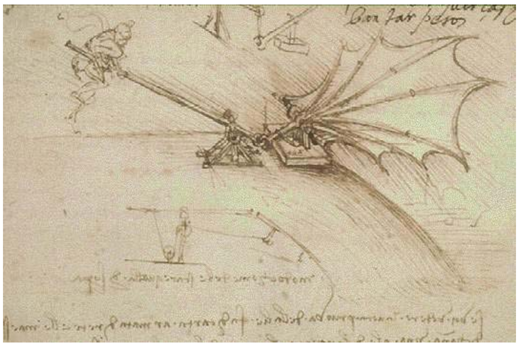
[아음속기인 소형항공기]

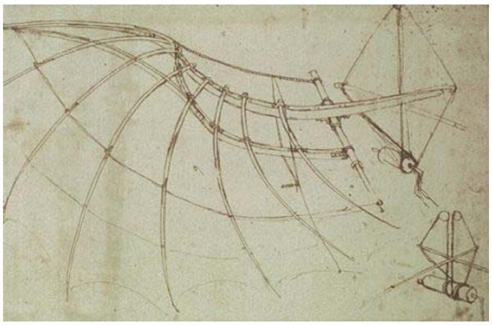
[고아음속기인 B-747-400]

[초음속기인 콩코드여객기]

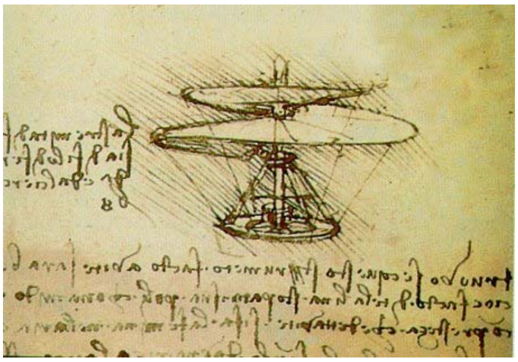
4. 비행기계의 꿈

 비행기계의 꿈을 체계적으로 탐구하기 시작한 사람 중에 레오나드로 다빈치의 영향이 매우 크다. 항공 분야에서 다빈치는 새를 해부하여 비행의 비밀을 알아내려고 노력했다. 연구 결과로 새와 같이 날개를 쳐서 비행할 수 있는 장치와 나사식 프로펠러를 장착한 헬리콥터의 모형 그리고 낙하산의 스케치까지 인간이 날고자하는 욕망을 다양한 방법으로 연구하였다.





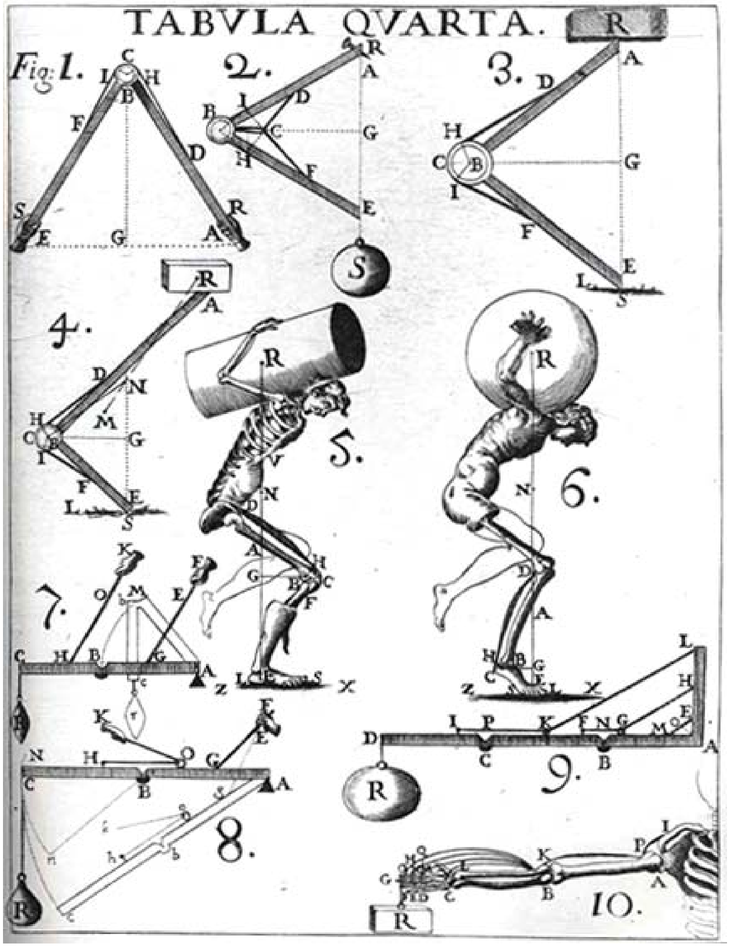
[날개치기 비행기 스케치]



[헬리콥터 스케치]

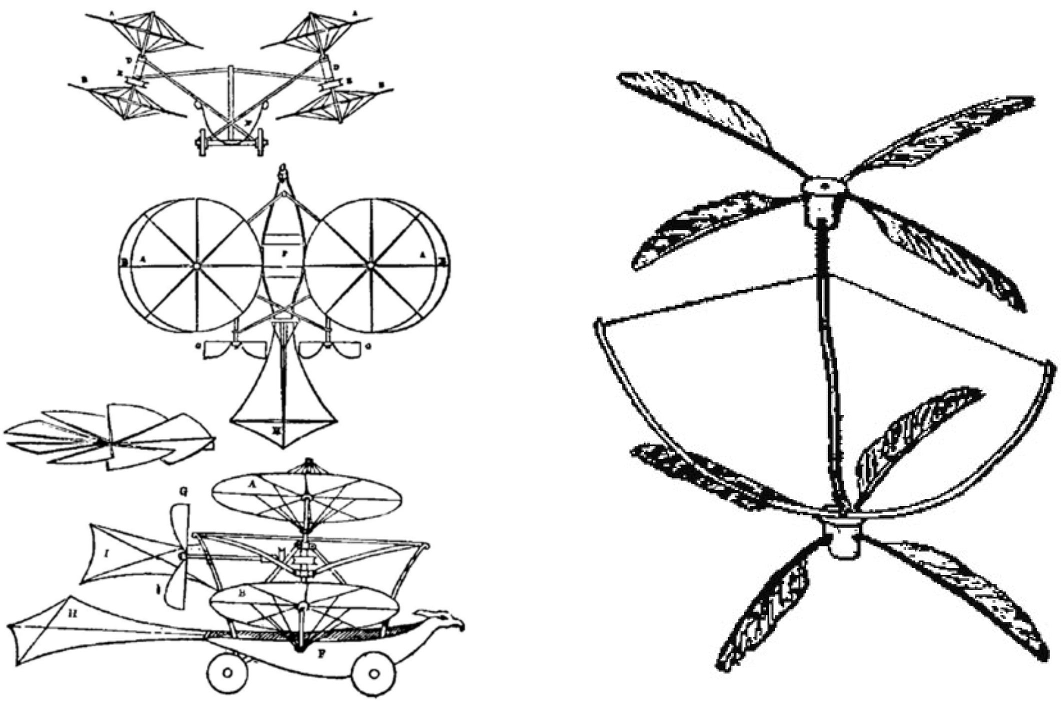
[낙하산 스케치]

 그러나 이러한 다빈치의 항공기에 대한 상상을 과학적으로 비판한 사람이 이탈리아 생리학자 보렐리이다. 새의 날개치기 운동은 역학적으로 인간의 근육으로 불가능하다고 결론 내렸다.



[지렛대 원리를 이용한 뼈와 부착근의 관계를 설명한 그림]

하늘을 나는 방식에 대해 보다 체계적이고 과학적으로 접근한 사람은 영국의 과학자 케일리이다. 케일리는 “공중비행에 대하여”라는 논문에서 바람을 맞아 공중에 뜨는 연의 원리를 이용해서 양력과 항력 등의 개념을 정립하여 근대 항공 이론을 정립하는데 기여했다.



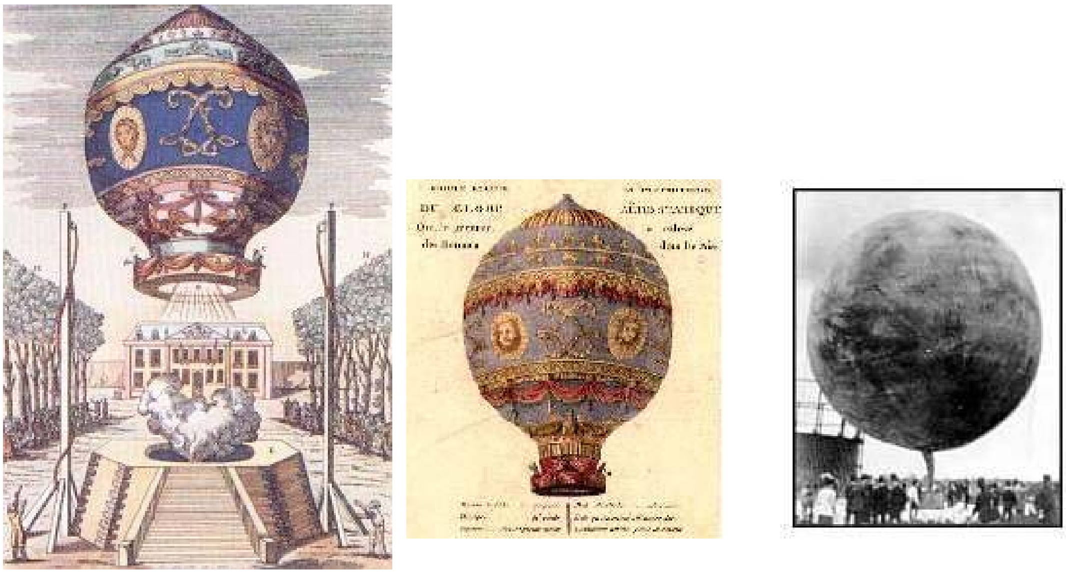
[케일리의 비행기와 헬리콥터 모형]

독일의 오토 릴리엔탈은 고정날개를 가진 글라이더를 고안하여 약 2,000회 가량 비행하였고 무게 중심의 이동에 의해서 조종하는 방식으로 글라이더를 조종하였다. 그러나 조종면에 의해 글라이더를 조종하는 방식을 새로이 고안하여 실험 비행하던 중 조종 방식이 익숙하지 않아 1896년 활공 비행 중 추락하여 사망하였다.

[릴리엔탈의 글라이더 활공비행 장면]

5. 기구와 비행선

최초로 기구를 하늘에 띄운 사람은 프랑스의 몽골피에 형제이다. 그들은 1783년 6월에 직경 10m의 열기구를 제작하여 불로 기구 내부 공기를 가열하여 약 1,800m 높이까지 상승시키는데 성공하였다. 그리고 같은 해 11월에 기구에 2명을 탑승시켜 약 900m까지 상승시켜 인류 최초의 비행에 성공하였다. 이후로 열공기 대신에 가벼운 수소나 헬륨가스를 내부에 주입하여 부력을 만들어 내는 비행선으로 발전하였다.



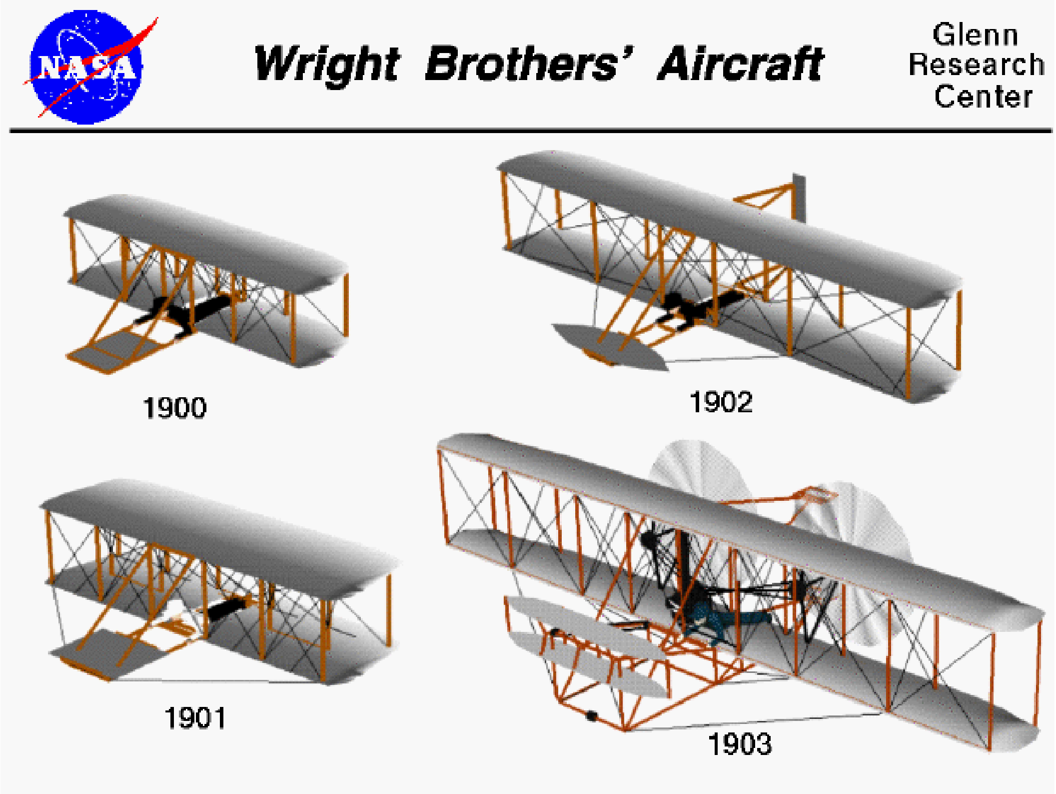
[몽골피에 형제의 인류 최초 비행에 성공한 열기구와 비행선]

그 이후 상투스 듀몽이 유선형의 비행선에 엔진을 탑재하여 파리 에펠탑을 선회하는데 성공하였다. 그리고 독일의 제플린이 경식 비행선을 개발하여 본격 항공사업에 진출하였으나 힌덴부르크호의 공중 폭발에 의한 참사로 문을 닫는 비운을 맞이하기도 하였다.

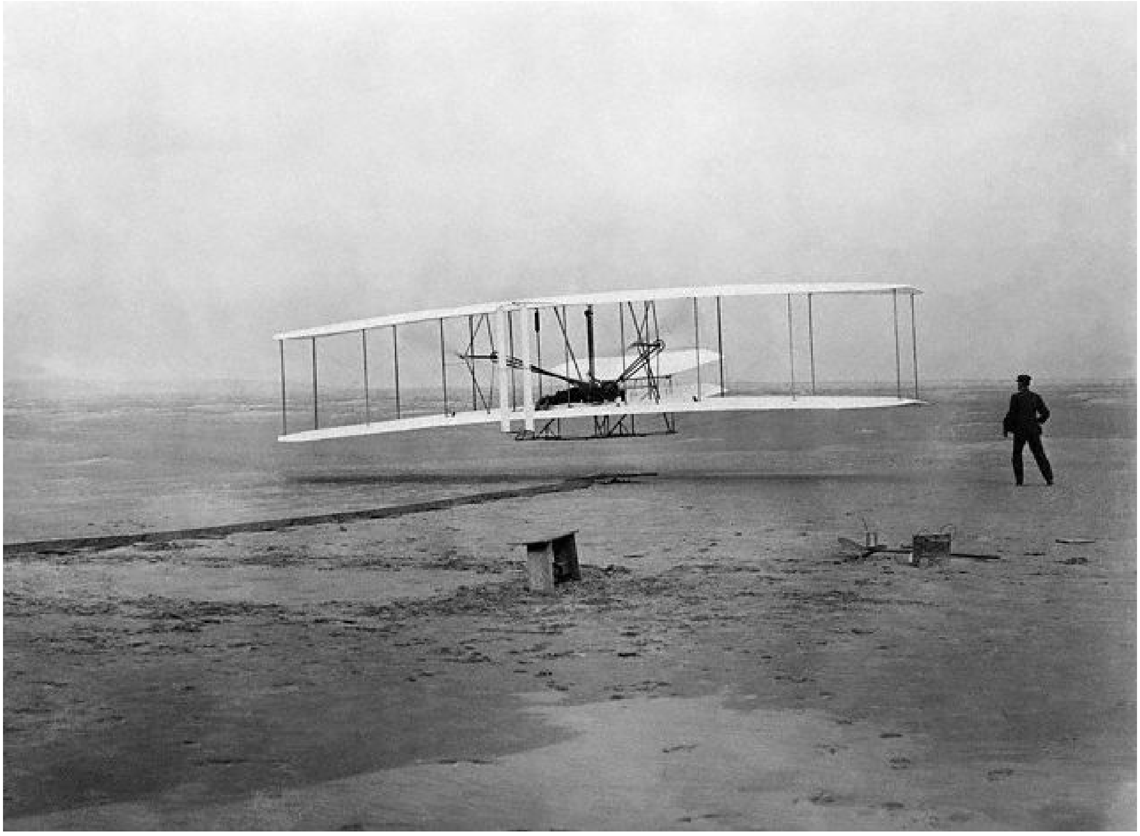
[공중 폭발하는 힌덴부르크호]

6. 비행기의 발명

인류 최초의 동력비행에 성공한 이는 미국의 라이트 형제이다. 이들은 1903년 12월 노스 캐롤라이너주에 있는 키티호크 해변에서 시속 43km로 약 37m를 비행하는데 성공하는 대기록을 세웠다. 이들이 비행에 성공하기까지 수많은 실험과 장치들을 개발하였다. 먼저 모형항공기를 제작하여 비행성능을 점검하고 실험하기 위해 풍동장치를 개발하였고, 항공기의 조종성을 위해서 새처럼 날개를 비틀어 비행기를 좌우로 기울이는 메카니즘을 만들었고 4기통 12마력 수냉식의 엔진을 개조하여 장착하였고 그리고 프로펠러를 만들어서 사용하였다.



[라이트형제가 개발한 FLY-I호기의 발전도]



[인류 최초의 동력비행 모습]

[키티호그 사막에 세워진 기념비]

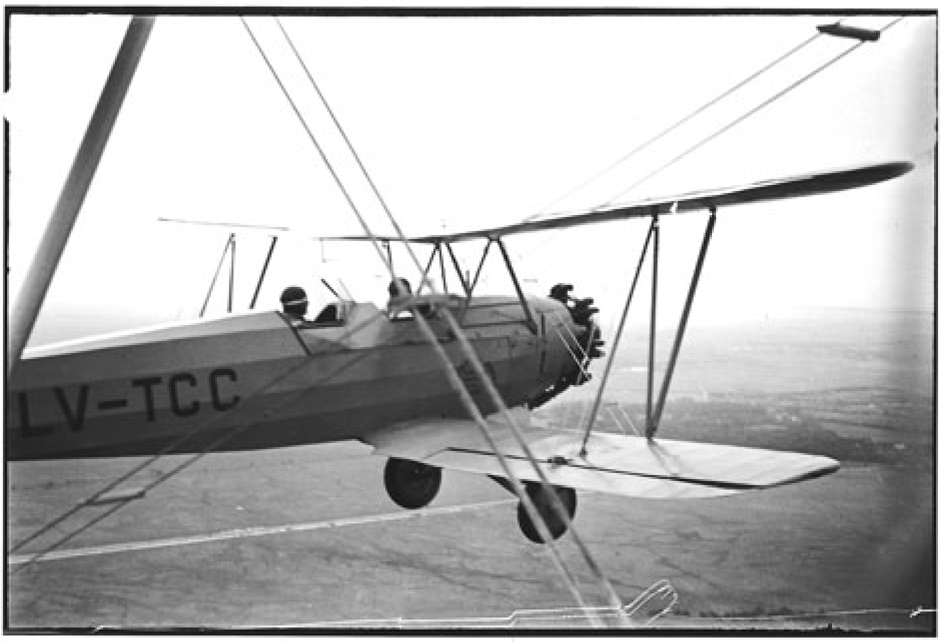
이후 이들은 1908년 미군과 유럽에 비행기를 판매하는 사업적 성과를 거두었으나 1912년 형인 윌버 라이트가 사망하여 라이트형제의 시대에 막을 내렸다.

라이트형제의 비행성공에 자극 받아서 프랑스의 상투스 듀몽은 1906년 10월 파리 인근에서 비스호로 약 60m의 비행에 성공하였고 같은 해 11월에 약 220m를 비행하여 유럽 최초 동력비행에 성공하였다.

그리고 1909년 블레리어가 영불 해협을 횡단하는데 성공하여 본격적인 장거리 비행시대의 막을 여는 쾌거를 달성하였다.

7. 제1차 대전의 영향

1차 대전을 치루면서 항공기의 발달에 큰 변화를 가져왔다. 미국에서는 국립항공자문위원회(NACA)가 설립되어 본격적인 항공 연구가 진행되었다. 1차 대전 중에 항공기의 중요성이 확실하게 인식되었고 항공기의 용도에 따라 전투기, 폭격기, 정찰기 등으로 분류되었으며, 각 국에서는 공군을 창설하기에 이르렀다.



[1차 세계대전 중의 복엽기]

1차 대전이 끝나고 미국의 록히드사와 노스롭사에서는 지주가 없는 단엽기와 유선형 동체를 결합시켜 고성능의 항공기를 개발하는데 노력을 기울였다.

그리고 항공기가 고성능 대형화하면서 목재구조물에서 더 큰 힘에 견딜 수 있는 금속재 구조인 응력외피 구조 또는 모노코크 구조로 발전하였다.

[전금속재의 모노코크 구조의 항공기]

그리고 비행성능에 가장 큰 역할을 한 플랩이 개발되어 폭격기나 수송기 같은 대형 항공기가 고속으로 비행할 수 있게 되었다. 플랩이 개발되어 고속비행이 가능해지자 항력을 줄이기 위해서 착륙장치를 날개나 동체에 접어 넣을 수 있는 방식이 개발되었고, 고속화되면서 가변피치 프로펠러가 개발되었고, 고고도 비행이 가능해지면서 고고도에서 엔진에 공기를 공급하는 과급기가 개발되었다.

그리고 1927년 5월 20일 미국의 뉴욕 루스벨트 비행장을 이륙한 린드버그가 조종한 스피릿 오브 센트 루이스 항공기가 33시간 30분 동안 대서양을 비행하여 파리에 착륙한 사건은 항공기가 대륙을 넘어서 장거리 비행이 가능하다는 것을 증명함으로써 항공기의 중요성을 인식시키는 중요한 사건이 되었다.

[최초로 대양비행에 성공한 린드버그]

8. 제2차 대전의 영향

2차 세계 대전 중에는 항공기가 전쟁무기로서 그 중요성을 확고하게 하여 각 국에서는 최우선으로 항공기를 개발하는데 주력하였다.

2차 대전 초기에 유명한 전투기로는 독일의 메서슈미트, 영국의 스핏화이어, 미국의 헬켓 그리고 일본의 제로 전투기들이 있다.

[메서슈미트]　　　　　[스핏화이어]

[헬켓]　　　　　[제로 전투기]

후반에 들어서 미국 록히드사의 P-38 라이트닝과 F-51 무스탕, 콜세어 등이 있고, 소련의 La-5기와 독일의 메서슈미트 Bf 109와 융커스 Ju-87기 등이 유명하다.

[P-38 라이트닝]　　　　　[F-51 무스탕]

[메서슈미트 Bf 109]　　　　　[융커스 Ju-87]

2차 대전 중의 또 다른 특징으로는 폭격기가 확실하게 그 역할을 수행했다는 것이다. 폭격기로는 독일의 하인켈 He-111과 융커스 Ju-88, 영국의 아브로 랭카스터와 핸들리 페이지 HP-42 및 미국의 B-17, B-29 등이 있다.

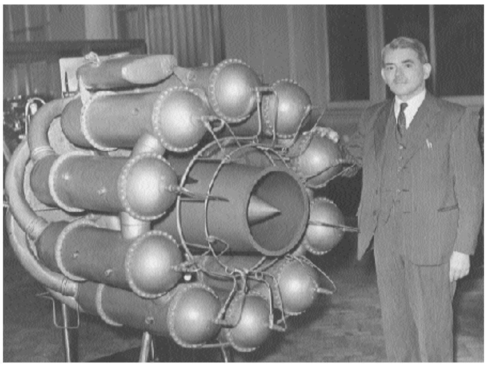
[하인켈 He-111]

[아브로 랭카스터]

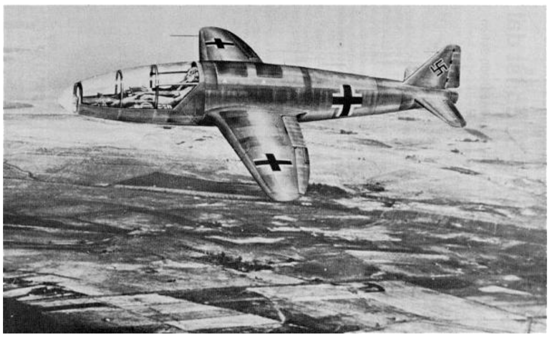
[핸들리 페이지]

[B-29]

2차 대전 중 항공사에 가장 큰 성과는 제트엔진의 개발로 고성능의 제트 항공기가 출현하였다는 것이다. 제트 기관은 영국의 프랭크 휘틀이 개발하여 1930년 특허를 취득하였다. 그러나 최초의 제트 항공기는 1939년 독일의 하인켈사의 He-176기였다. 그리고 영국에서는 1941년 글로스터 E-28-39기에 원심식 제트엔진을 장착하여 비행하는데 성공하였다.



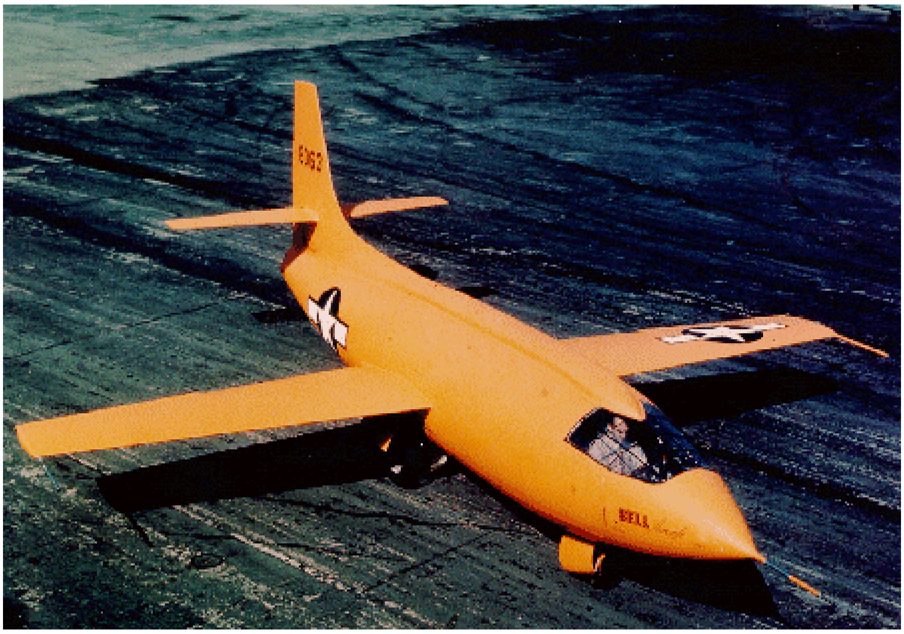
[프랭크 휘틀]



[He-176]

[글로스터 E-28-39기]

2차 대전 후에 각 국에서는 음속 돌파 항공기 개발에 노력하였다. 미국의 벨사에서 개발한 X-1기가 1947년 최초로 음속을 돌파하는데 성공하였다.



[최초 초음속 비행에 성공한 X-1]

전쟁이 끝난 후 군용기로 사용되던 항공기가 민간용으로 개량되어 항공산업에 커다란 발달을 가져왔다. 이 중 B-29를 개량한 C-54, 군용 수송기에서 개량된 DC-4, Dc-6, Dc-7등이 장거리 수송기의 주류를 이루었다. 그리고 미국의 보잉사는 독자적으로 승객 100명 이상을 수송할 수 있는 B-707기를 개발하였다. 그리고 1970년대에는 초대형 여객기인 B-747이 비행을 시작했으며 초음속 여객기인 콩코드기도 비행을 시작했다. B-747기가 전세계 여객수송시장을 장악하는데 성공하였으나 초음속 여객기는 상용화하는데 실패하였다. 그리고 유럽 합작의 에어버스 A-300이 개발되면서 미국의 독무대였던 민간 여객 시장에서 30%이상을 점유하는데 성공하였다.

[B-707] [B-747]

9. 헬리콥터의 개발

18, 19 세기에 몇몇 사람들이 모형헬리콥터를 제작하였는데 1796년 케일리가 시계태엽으로 구동하는 헬리콥터로 30m 높이까지 비행하는데 성공하여 헬리콥터 개발에 희망을 주었다.

헬리콥터 개발에 결정적인 역할을 한 사람은 스페인의 시에르바이다. 그는 전방추진 프로펠러를 장착한 항공기에 자유롭게 회전하는 회전날개를 장착하여 비행하는데 성공하였다. 이를 오토자이로라 부른다. 오토자이로는 분명히 헬리콥터는 아니지만 헬리콥터의 비행원리를 발전시키는데 기여하였다.

[시에르바의 오토자이로]

헬리콥터의 실용화에 성공한 사람은 미국의 시코르스키이다. 그는 단일로터에 토크를 상쇄하는 꼬리 로터를 장치한 VS-300 헬리콥터를 개발하였다. 그리고 VS-300을 개량하여 XR-4 헬리콥터를 개발하여 미군에 수 백 대를 납품하였다.

[VS-300]　　　　　　　　　　[XR-4]

2차 대전 후에 왕복기관을 탑재한 헬리콥터에서 제트엔진을 탑재한 헬리콥터가 개발되었다. 최초의 제트 헬리콥터는 1951년 캐먼사가 제작한 K-225기이다.

[K-225]

10. 우주비행

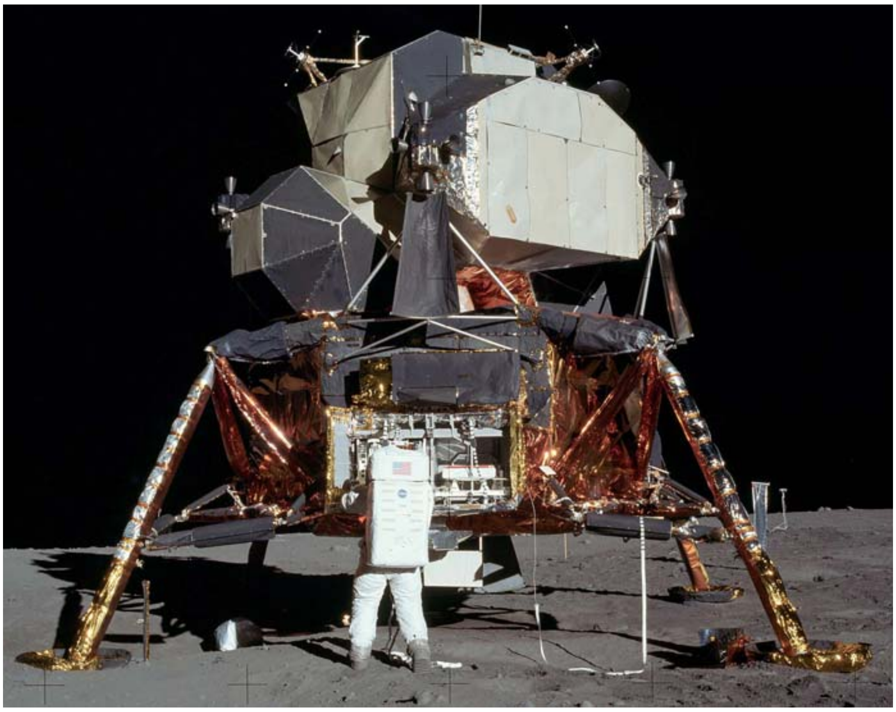
2차 대전이 끝나면서 독일의 로켓 무기인 V-2 개발에 참여했던 많은 기술자들이 미국과 소련으로 이주하였다. 미국과 소련 각 국은 로켓 무기가 핵폭탄을 운반하는 운반체로서 중요하다고 판단하고 경쟁적으로 대륙간탄도탄을 개발하였고, 이 탄도탄의 기술이 우주 궤도를 선회하는 인공위성의 개발로 이어졌다.

[V2 로켓]

소련은 1957년 10월 4일 최초로 지구괘도를 선회하며 전파를 발사하는 인공위성 스푸트니크 1호를 쏘아 올리는데 성공하였다.

[최초의 인공위성 스푸트니크1호]

미국에서는 우주비행에 본격적으로 참여하기 위해서 국립항공우주국(NASA)를 설립하여 1962년 지구궤도 비행에 성공하였고 1969년 7월 20일 아폴로 우주선이 암스트롱과 올드린을 태우고 달에 착륙하는데 성공하였다.



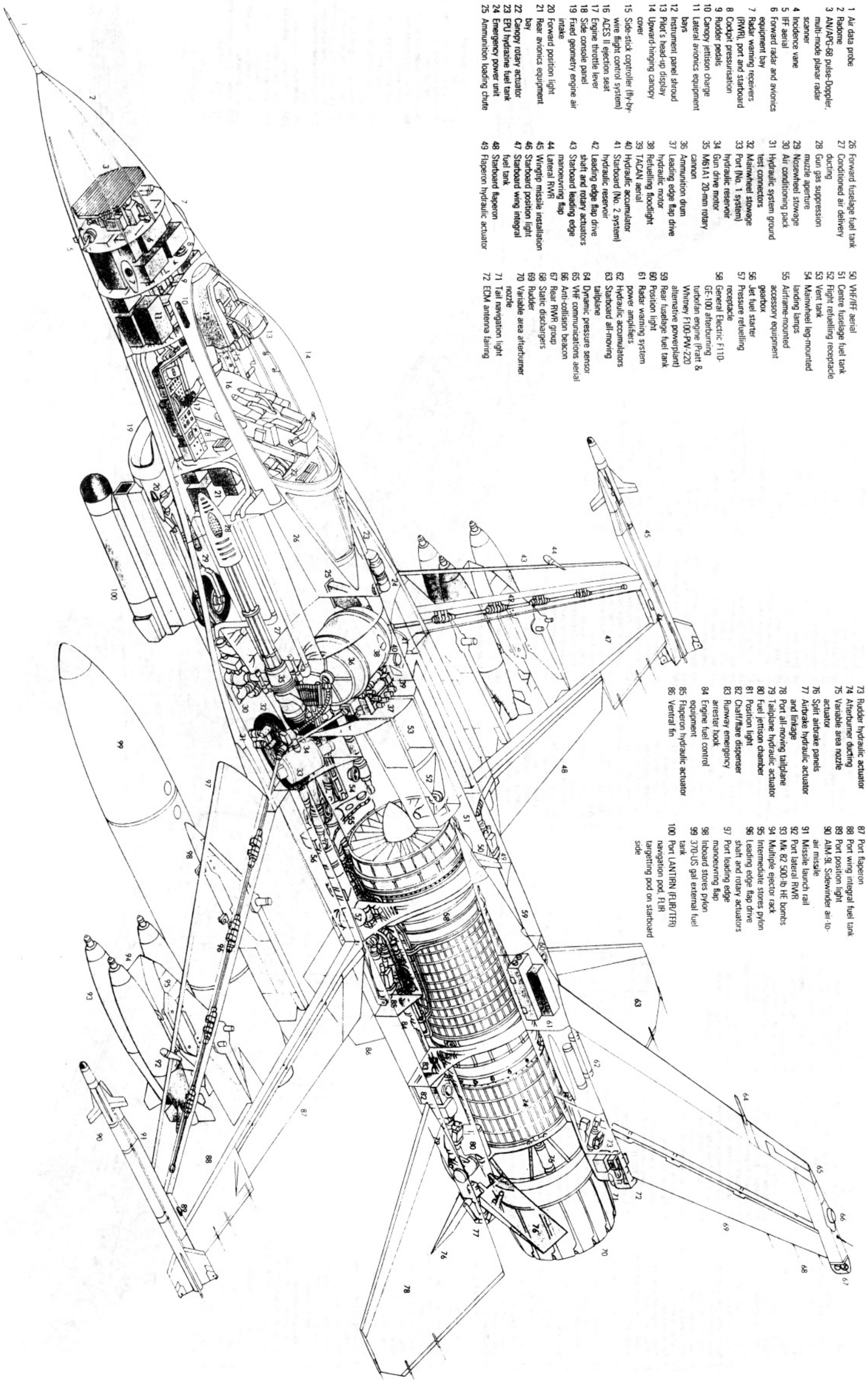
[최초로 달에 착륙한 아폴로호]

유인 우주계획과 병행하여 태양계 행성에 대한 탐사활동도 활발하였다. 1961년 소련이 금성1호를 발사하였고, 미국은 1965년 매리너4호로 화성 근접 촬영에 성공하였다. 1975년에는 소련의 금성 9호가 금성에 최초로 착륙하였고 1976년 미국의 바이킹 1, 2호가 각각 화성 위성이 되어서 화성 착륙에 성공하였다. 1980년 미국의 보이저 1호가 목성에 접근하여 관측사진을 보냈으며 1981년에는 보이저 2호가 토성에 접근하였으며 계속 진행하여 1986년에는 천왕성에 접근하였고 1989년에는 해왕성에 접근하여 태양계를 벗어난 인공위성이 되었다.

미국은 우주계획을 실용적인 방향으로 전환하여 우주왕복선으로 계획을 바꾸었고, 1981년 컬럼비아호의 실험을 개시하였으나 1986년 챌린저호가 공중 폭발되어 사고를 맞았다. 이제 우주왕복선은 상용화가 이루어져 위성 발사, 위성의 수리 및 군사 활동 등에 사용하고 있다.

11. 항공기 부위의 명칭

항공기의 각 부위는 크게 날개, 동체, 꼬리날개, 전자장비 및 엔진 등으로 구분된다.



제7장 대기

1. 대기의 성질(Properties of the Atmosphere)

가. 대기의 성분

항공기는 공기를 매질로 이동하는 비행체이다. 그리고 항공기 표면에 작용하는 공기력은 공기의 특성에 크게 영향을 받는다. 그러므로 항공역학을 이해하는데 먼저 공기의 특성을 이해해야 하는 이유가 바로 이 때문이다.

공기는 질소, 산소, 아르곤, 이산화탄소 및 기타 성분과 수증기 등으로 구성되어 있다. 그러나 이를 해석하는데 있어서 공기를 단일 특성을 가진 단일 기체로서 취급한다. 이러한 것들을 국제민간항공기구(ICAO)에서 정의해오고 있으며 이를 국제표준대기(ISA)라고 한다. 해발고도에서 대기에 포함되어 있는 가스를 부피비율로 비교해 보면 다음 표와 같다.

기체	분자기호	부피비(%)

대 기를 구성하는 기체의 성분비율은 지표면에서 고도 80km까지 거의 일정하다. 이와 같이 기체의 성분비가 일정한 지역을 균질권이라 한다. 80km 이상에서는 대기의 성분비는 고도가 높아짐에 따라 중력의 영향이 작아지므로 가벼운 기체의 성분비율이 증가한다. 이와 같이 기체의 성분비가 일정하지 않은 지역을 비균질권이라 한다.

나. 대기권의 분류

지구를 둘러싼 기체의 총칭을 대기(Atmosphere)라고 한다. 대기의 온도, 습도, 압력 등의 상태는 수평 방향으로도 변하지만 수직 방향으로 고도에 따라 크게 변화한다. 고도가 증가하면 밀도가 감소하며 또한 압력도 밀도와 비슷한 비율로 감소한다.

그림 1-1은 고도에 따른 밀도의 변화를 나타낸 그래프로 고도가 높아짐에 따라 밀도가 감소되는 것을 알 수 있고, 처음 100km까지의 고도에서 급격히 감소되는 특성이 있다.

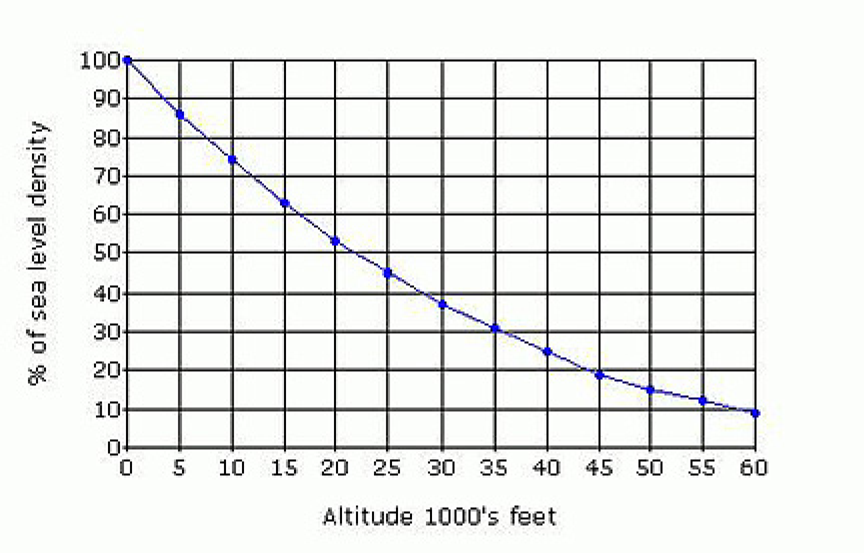
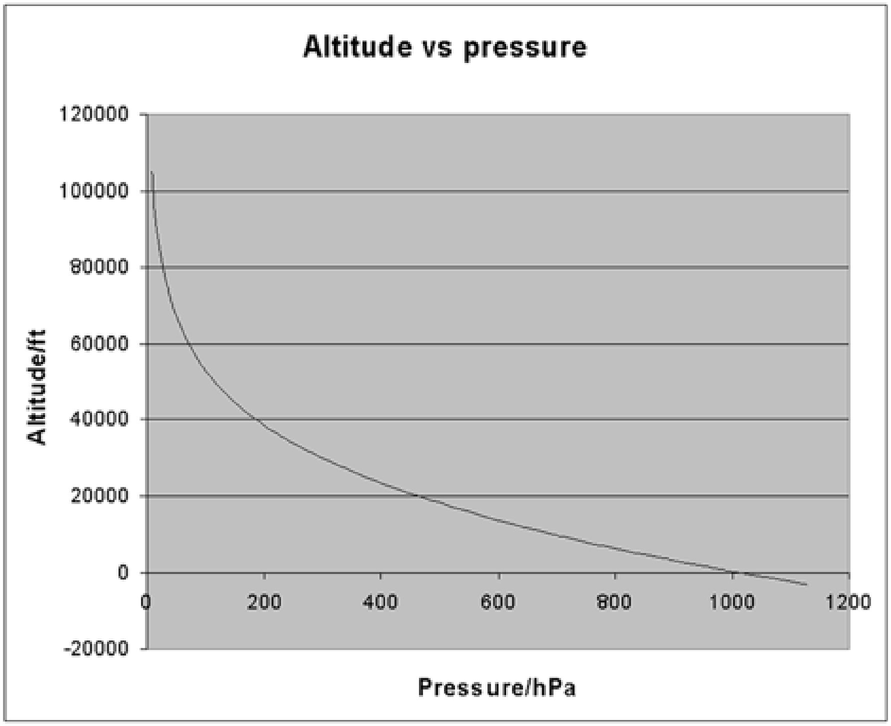
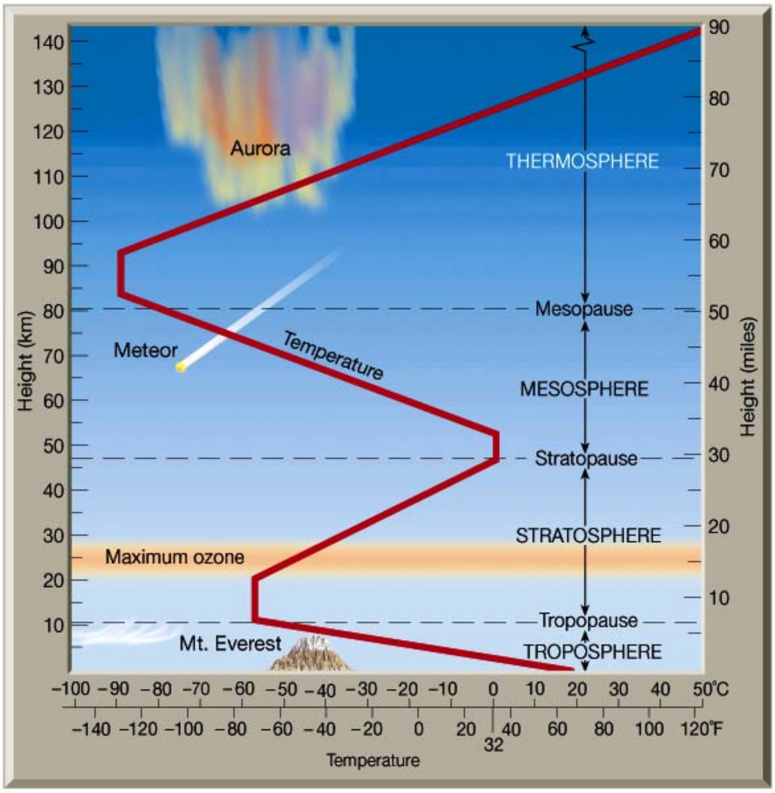


그림 1-2는 고도에 따른 대기 압력의 변화를 나타낸 그래프로 밀도 변화 그래프와 그 모양이 유사하다.



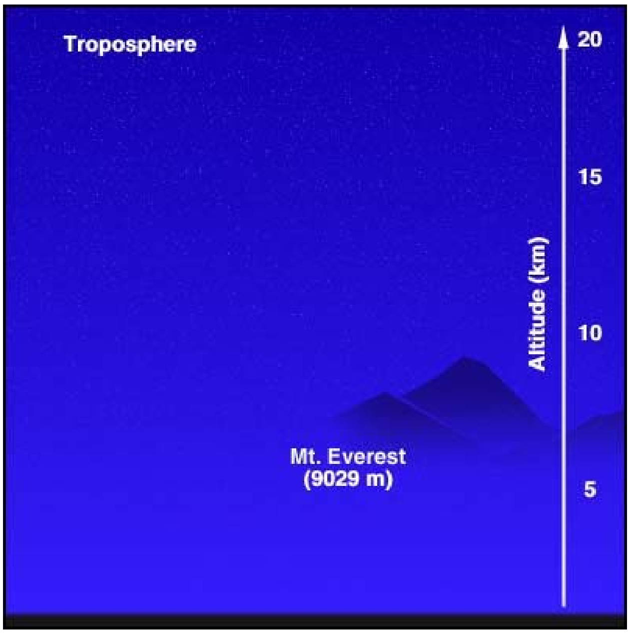
대기권은 수직방향으로 몇 개의 층으로 구분하는데, 지표에 접한 대류권부터 성층권, 중간권, 열권, 극외권 등 아래부터 총 5개 층으로 구분한다. 이 5개의 층을 구분하는 기준은 고도에 따른 온도 변화율이다. 그리고 각 층과 층 사이의 경계를 아래층의 경계면으로 정의하며 고도가 증가해도 온도가 변하지 않는 특성을 가지고 있다.



1) 대류권(Troposphere)

대류권이란 기상 현상 즉, 구름의 생성, 비, 눈, 안개 등이 발생되는 지역을 말한다. 그리고 복사열로 인하여 고도가 높아지면 기온이 낮아진다. 일반적으로 평균 11km까지 고도가 1,000m 상승하면 기온이 6.5℃씩 감소한다. 이와 같이 고도가 높아짐에 따라 기온이 감소하는 비율을 기온체감률이라고 한다.

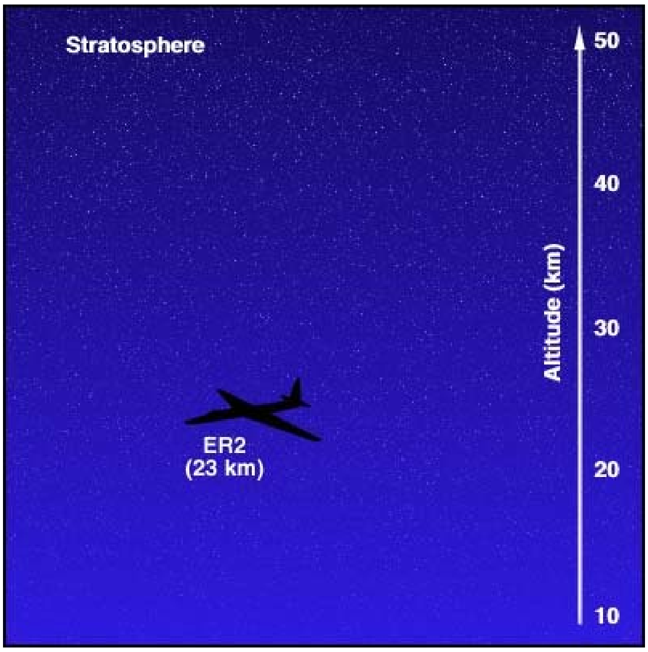
대류권과 그 위의 층인 성층권 사이의 경계면을 대류권 계면이라 하며 높이가 적도 지방에서는 16~17km이고, 극지방에서는 8~10km로 높이가 낮으며, 평균 높이는 11km 정도이다. 대류권 계면에서는 대기가 안정하여 구름이 없고 기온이 낮으며, 공기가 희박하여 제트 항공기 운항 고도로 적합하다.



2) 성층권(Stratosphere)

성층권에서는 여러 가지 형태의 운동이 일어나기 때문에 대기의 성분이 80km까지 거의 일정하다. 그리고 성층권 아래 지역은 고도 변화에 관계없이 기온이 거의 일정하지만 높이 약 30km부터 오존층이 있어 태양의 자외선을 흡수하므로 고도가 증가하면 기온이 증가하여 50km에서는 최고 온도가 된다.

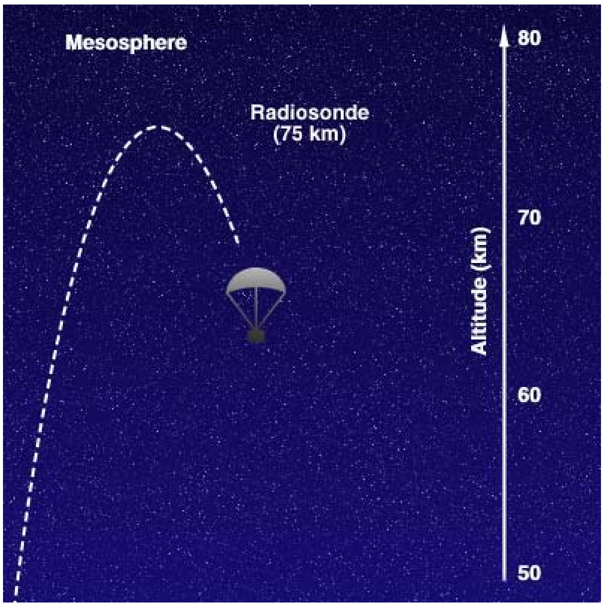
성층권과 그 위의 층인 중간권 사이의 경계면을 성층권 계면이라 하며 그 높이는 약 50km 정도로 온도가 다소 높다.



3) 중간권(Mesosphere)

중간권은 고도 50km에서 90km에 걸쳐 고도가 증가함에 따라 온도가 감소하는 특징을 가지고 있다. 그리고 온도가 고도 50km에서는 약 0℃이고, 고도 90km에서는 약 -80℃이다.

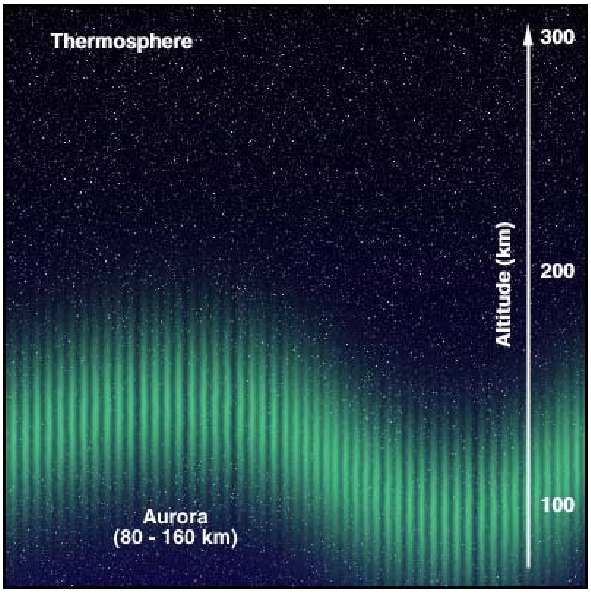
중간권과 그 위의 층인 열권 사이의 경계면을 중간권 계면이라 하며 그 높이가 약 85~90km의 영역으로 대기권 중 가장 온도가 낮은 지역이다.



4) 열권(Thermosphere)

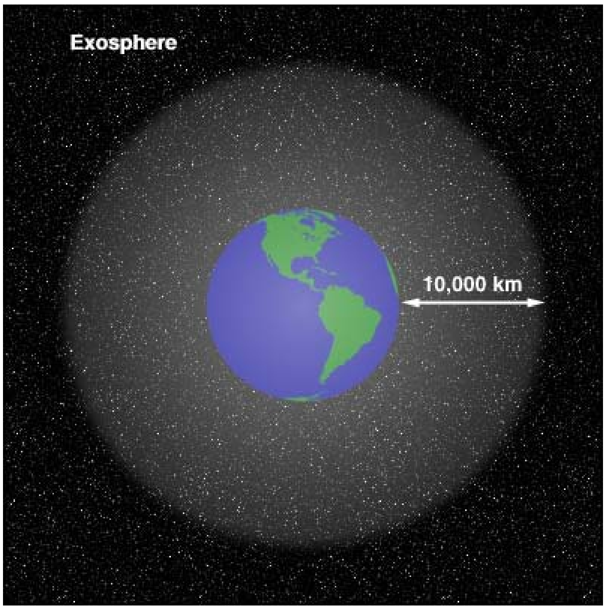
열권은 고도가 증가함에 따라 온도가 증가하는 특징을 가지고 있다. 그리고 공기가 매우 희박하며 태양의 자외선에 의해서 자유전자의 밀도가 커지는 층이 있는데, 이 층을 전리층(ionosphere)이라 하며, 전파를 흡수, 반사하는 작용을 하여 전자 통신에 영향을 끼친다. 그리고 극지방에서 극광(오로라)이나 유성이 밝은 빛의 꼬리를 길게 남기는 현상이 발생하는 지역이다.

열권과 그 위의 층인 극외권 사이의 경계면을 열권 계면이라 하며 고도는 약 500km이다.



5) 극외권(Exosphere)

극외권(외기권)은 공기 입자가 매우 희박하고 공기가 분자와 원자 상태로 상호 충돌하는 현상이 매우 적어 입자가 지상에서 발사된 탄환과 같은 궤적을 그리며 운동한다.



다. 국제 표준 대기(International Standard Atmosphere)

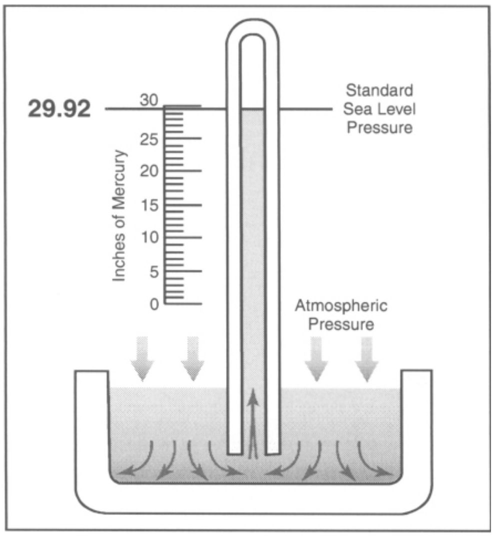
대기는 여러 가지 성분으로 구성되어 있고 고도 변화에 의해 온도, 압력, 밀도 등의 특성이 변한다. 항공기가 이와 같은 대기 중을 비행하면 비행 특성과 성능이 대기 상태에 따라 영향을 받게 되고 시간과 공간에 따라 변하게 되어 항공기의 설계와 운용에 하나의 통일된 기준을 정할 필요가 있는데 이를 국제 표준 대기(ISA; International Standard Atmosphere)라고 하며 이를 국제민간항공기구(ICAO; International Civil Aviation Organization)에서 정한다.

표준대기란 다음의 조건을 만족하는 기체를 말한다.

1) 공기는 건조해야 하며 이상기체의 상태방정식 즉, $P\upsilon=RT$ 또는 $P=\rho RT$를 만족해야 한다. 여기서 P, υ, R, T, ρ는 각 각 임의 고도의 기압, 비체적, 공기의 기체상수, 절대온도, 밀도이다.

2) 해발 고도에서 압력, 밀도, 온도, 중력 가속도 및 기체상수가 각 각 다음의 값을 가져야 한다.

- 압력 : P_0 = 760 mmHg = 29.92 inHg = 10332.3 ㎏/㎡
  = 14.7 psi = 1013 ㎜bar = 101,325 Pa



- 밀도 : ρ_0 = 0.1249 kg s^2/m^4 = 0.002377 lb s^2/ft^4 = 1.225 kg/m^3
- 온도 : t_0 = 15℃ = 59°F = 288.16。K = 518.688 。R
- 중력가속도 : g_0 = 9.8066 ㎨ = 32.1742 ft/s^2
- 기체상수 : R = 848Kg·m/kmol K = 53.35 ft/。R

3) 고도 11,000m까지 기온이 일정한 비율로 감소하여 1,000m 상승시 마다 6.5℃씩 온도가 균일하게 감소하고 11,000m에서는 -56.5℃가 된다. 그리고 11,000m 이상의 고도에서는 -56.5℃로 온도가 일정하다.

고도 변화에 따른 온도의 변화를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$t\ ℃ = 15 - 0.0065 \times h \qquad (\ h : \text{고도(m)})$$

위의 조건하에서 고도변화에 따른 온도, 압력, 밀도를 계산한 것을 다음 표에 나타내었고 이때의 고도는 지구 포텐셜 고도이다.

고도 H(m)	온도 t℃	압력 p(Pa)	압력비 δ	밀도 (kg/㎥)	밀도비 ρ/ρ0	음속 (㎧)

고도 H(m)	온도 t℃	압력 p(Pa)	압력비 δ	밀도 (㎏/㎥)	밀도비 ρ/ρ0	음속 (㎧)
5000	-17.50	54020	.53313	.73608	.60091	320.65
5500	-20.75	50506	.49846	.69705	.56906	318.61
6000	-24.00	47181	.46564	.65582	.53852	318.55
6500	-27.25	44035	.43459	.62380	.50926	314.48
7000	-30.50	41060	.40524	.58947	.48122	312.39
7500	-33.75	38251	.37751	.55662	.45438	310.29
8000	-37.00	37561	.35134	.52514	.42870	308.18
8500	-40.25	33099	.32666	.49504	.40415	306.05
9000	-43.50	30742	.30340	.46630	.38069	304.91
9500	-46.75	28523	.28151	.43885	.35828	301.75
10000	-50.00	26453	.26091	.41266	.33690	299.58
11000	-56.50	22632	.22336	.36382	.29707	295.18
12000	-56.50	19331	.19078	.31077	.25373	295.18
13000	-56.50	16069	.16924	.26546	.21672	295.18
14000	-56.50	14102	.13917	.22673	.18510	295.18
15000	-56.50	12044	.11887	.19358	.15810	295.18
16000	-56.50	10287	.10153	.16534	.13503	295.18
17000	-56.50	8786	.08671	.14122	.11534	295.18
18000	-56.50	7504	.07406	.12062	.09851	295.18
19000	-56.50	6410	.06326	.10307	.08413	295.18
20000	-56.50	5474	.05403	.08797	.07188	295.18

통상 고도의 측정은 지구 중력가속도를 일정한 값으로 가정하고 정한 것이다. 이렇게 정한 고도를 기하학적 고도(geometric altitude)라고 한다. 그러나 고도가 매우 높아지면 중력가속도 크기가 변하여 이를 무시할 수 없게 되는데, 이의 영향을 고려한 고도가 지구 포텐셜 고도(gpm : geopotential altitude)이다. 지구 포텐셜 고도는 단위 질량의 위치 에너지를 지구의 표준 중력가속도로 나눈 값이다.

$$dH = \frac{g}{g_0} dH$$

$$H = \frac{1}{g} \int_0^h g dH$$

그러나 지표면으로부터 약 20km까지는 기하학적 고도와 지구 포텐셜 고도가 거의 같은 값을 가지기 때문에 식 (1-3)처럼 사용한다.

$$H = h$$

국제 민간 항공기구에서 정한 표준 대기는 현재 약 30km까지로 규정하며, 미국의 미 항공 우주국(NASA)에서는 1000km까지를 표준 대기로 정의하고 있다.

2. 기체의 성질과 법칙

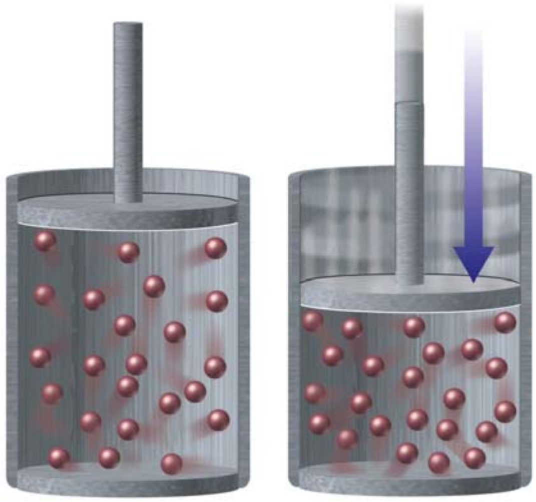
가. 유체의 성질과 점성

항공기가 공기 중을 비행할 때 항공기 주위의 대기는 정지한 상태이다. 그러나 유체의 성질을 해석할 때에는 항공기가 정지한 상태에서 주위의 대기가 항공기 비행속도와 같은 크기로 움직인다고 가정한다. 따라서 대기가 흐름의 속도를 갖게 되면 대기는 온도와 압력, 그리고 밀도가 변화하는 상태가 되고 이러한 공기의 성질이 변화하고 이러한 변화가 어떤 유체 역학적 법칙을 따르는지를 이해하기 위해서는 흐름의 성질을 이해해야 한다.

정지 상태에 있는 유체에 힘이 가해지면 운동을 하는데 이러한 현상을 유체의 흐름이라고 한다. 유체에 힘을 가하는 가장 효과적인 방법은 유체에 압력을 작용시키는 것이다. 유체의 한 지역에 압력을 가하여 다른 지역과 압력의 차이가 발생하면 유체는 압력이 높은 쪽에서 압력이 낮은 쪽으로 이동하게 된다.

1) 압축성과 비압축성(Compressibility & incompressibility)

정지 상태의 공기 밀도는 압력과 온도에 의해 변화한다. 흐름 상태의 공기도 압력과 온도에 의해 밀도가 변화한다. 그리고 온도가 일정한 상태에서 공기에 압력을 가하면 공기의 체적이 감소하고 체적이 감소되면 공기 입자 사이의 간격이 좁아져 밀도가 증가하게 된다. 이와 같이 압력이 가해지면 밀도가 증가하는 유체를 압축성 유체(compressible fluid)라고 한다. 그리고 압축성 유체는 가해진 압력이 감소하면 공기 입자 사이의 간격이 넓어져 밀도가 감소한다. 공기를 포함한 대부분의 기체는 압축성 유체이다.



Gas

압력이 가해져도 체적의 변화가 아주 작아서 밀도의 변화가 매우 작은 유체를 비압축성 유체(incompressible fluid)라고 한다. 대부분의 액체는 압력이 가해져도 밀도가 거의 변하지 않으므로 비압축성 유체로 분류된다.

결과적으로 압축성 유체와 비압축성 유체를 구분하는 기준은 압력의 변화에 의해 밀도가 변하는가 변하지 않는가이다.

2) 정상 흐름과 비정상 흐름(Steady flow & unsteady flow)

정상 흐름이란 유체내의 임의 지점에서 유체의 속도, 압력, 밀도 등이 시간이 경과해도 일정한 값을 유지하는 흐름을 말한다. 유체에 가하는 압력을 일정하게 유지시켜 주면 유체의 속도, 압력, 밀도 등이 시간 흐름에 관계없이 일정하게 유지되므로 정상 흐름이 된다. 항공기가 일정한 속도로 일정한 고도를 비행하게 되면 유체의 속도, 압력, 밀도 등이 시간에 관계없이 일정한 값을 유지하므로 비행기 주위의 흐름은 정상 흐름이 된다. 항공기 모형을 이용한 실험과 이론적인 해석을 할 때에는 공기 흐름을 정상 흐름으로 취급한다.

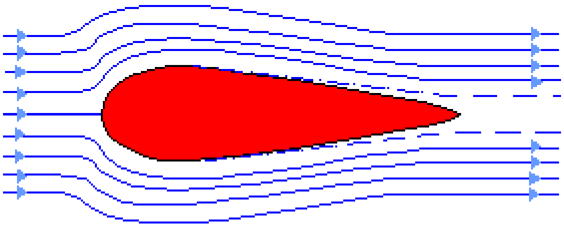
비정상 흐름이란 유체에 가해지는 압력이 시간의 경과에 따라 계속 변하게 되면 주어진 한 점에서의 속도, 압력, 밀도 등이 시간의 경과에 따라 계속 변하는 흐름을 말한다. 비행기가 속도와 고도를 변화시키면 유체의 속도, 압력, 밀도 등이 시간이 경과함에 따라 그 값이 변하므로 비행기 주의의 흐름은 비정상 흐름이 된다.

3) 점성 흐름과 비점성 흐름(Viscous flow & inviscid flow)

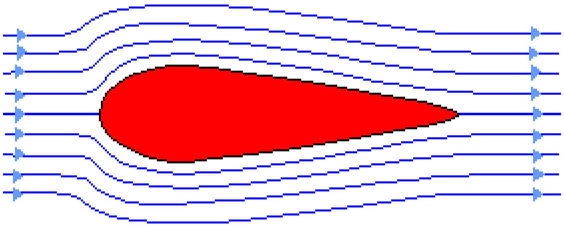
기름과 같이 끈적끈적한 성질을 지닌 유체의 성질을 점성(Viscosity)이라고 한다. 모든 유체는 크기의 차이는 있지만 점성을 가지고 있으며, 이 점성에 의해 흐름을 방해하는 저항력이 발생한다. 공기의 경우에는 액체에 비해 끈적끈적한 느낌이 매우 적은데 이는 공기가 점성이 매우 작기 때문이다.

점성은 온도에 의해 영향을 크게 받는다. 액체의 경우에 온도가 높아지면 점성이 작아지는 특성을 가지고 있으나 기체의 경우에는 온도가 높아지면 반대로 점성이 증가하는 특성을 가지고 있다.

이와 같이 점성의 영향을 고려하여 흐름을 해석하는 경우의 유체를 점성 흐름(Viscous flow) 또는 실제 흐름(Real flow)이라 한다.



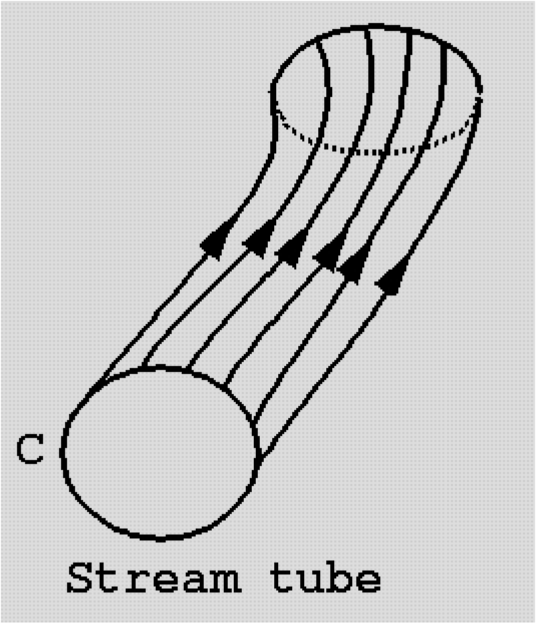
점성의 영향을 고려하지 않으면 유체의 해석이 매우 간단하고 편리하다. 점성의 영향이 매우 적은 경우에 이렇게 점성의 영향을 무시하는데 이러한 유체를 비점성 흐름(Inviscid flow) 또는 이상흐름(Ideal flow)이라고 한다.



나. 이상 유체(Ideal flow)

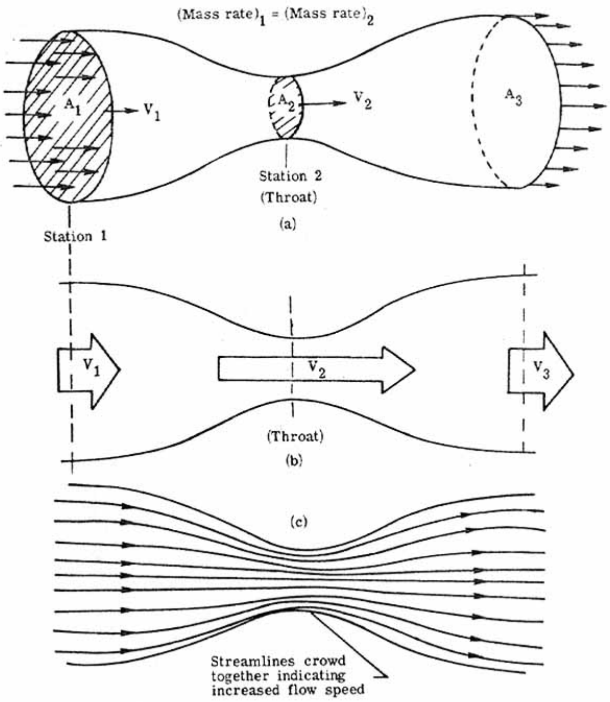
실제 유체의 흐름은 매우 복잡하다. 촛불에서 불꽃의 흔들림이라든지 홍수가 난 강물이 격류를 만들며 흐르는 모습 등을 해석하는 것은 매우 복잡하다. 그래서 유체의 흐름을 분석할 때는 먼저 가장 간단한 경우로 이상유체를 가정한다. 이상유체란 압축되지 않고, 즉 유체가 흘러가면서 유체의 부피가 바뀌지 않고, 내부 마찰 즉 점성이 없는 유체를 말한다. 점성이 없는 유체의 경우에는 유체가 흐르면서 역학적 에너지의 손실이 없다. 점성이 있는 유체는 유체가 흐르면서 역학적 에너지의 일부가 열에너지로 바뀐다.

이상 유체의 흐름은 유선(Stream line)으로 기술하면 편리하다. 유선이란 유체를 구성하는 입자들의 운동 경로를 말한다. 유선의 가장 큰 특징은 이상 유체의 경우 두 유선이 절대로 서로 교차하지 않는다는 것이다. 이러한 유선이 모여서 형성된 흐름의 형태를 유관(Stream tube)이라 한다. 유체가 유관의 벽을 통하여 유출되거나 유입되지 않는다면 질량 보존 법칙이 적용되어 일정시간 동안 유관에 유입된 질량과 유출된 질량이 같게 되고 이에 의하여 유체의 연속 방정식을 적용할 수 있다.



다. 연속의 법칙(The law of continuity)

이상 유체가 면적이 변하는 관, 즉 벤투리관을 흘러 갈 때 단위 시간동안 유관으로 들어간 유체의 질량과 유관에서 배출된 질량은 동일해야 하므로 면적이 넓은 지점과 면적이 좁은 지점 사이에 속도의 변화가 발생된다. 그리고 면적이 넓은 지점은 유선 사이의 간격이 넓은데 비해 면적이 좁은 지점은 유선 사이의 간격이 좁다. 이것은 면적이 좁은 지점에서 유체의 속도가 크다는 것을 말해준다. 결과적으로 면적이 넓은 지점은 유체의 속도가 느리고 면적이 좁은 지점은 유체의 속도가 빠르다는 것이다.



이를 수식으로 설명하면 다음과 같다.

임의 지점을 통과하는 단위 시간당 유체의 질량은 단면적×속도×밀도로 표현할 수 있다. 따라서 A_1 지점을 통과하는 유체의 속도를 V_1, 밀도를 ρ_1이라고 하면 유체의 질량은 $A_1V_1\rho_1$이 된다.
그리고 관 안에서 흘러가는 유체의 흐름이 정상 흐름이라면 A_1과 A_2를 통과하는 유체의 질량은 동일해야 하므로

$$A_1V_1\rho_1 = A_2V_2\rho_2 = \text{일정}$$

이 된다. 이 식을 압축성 흐름에서의 연속 방정식이라 한다. 만약 흐름의 속도가 작아 압축성 영향을 무시한다면 ρ_1과 ρ_2는 같은 값을 가지므로

$$A_1V_1 = A_2V_2 = \text{일정}$$

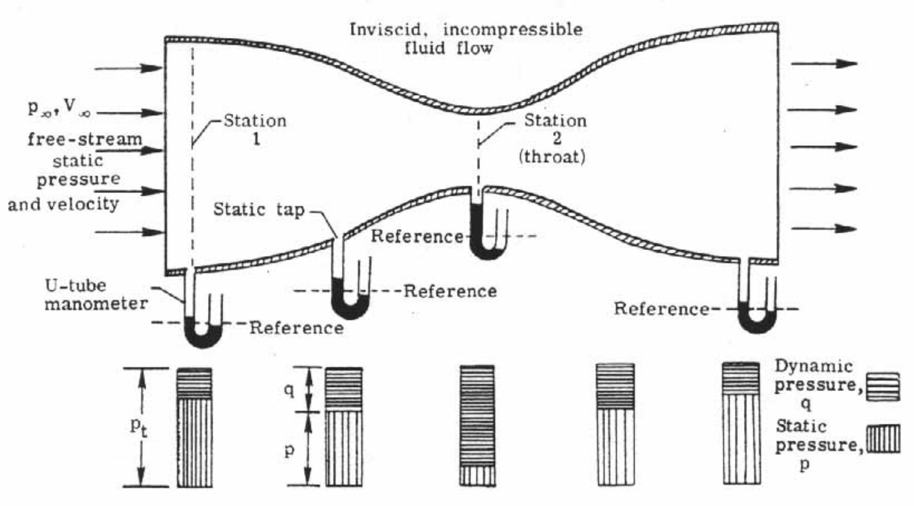
이 된다. 이 식을 비압축성 흐름에서의 연속 방정식이라 한다.

이 식으로부터 관의 단면적과 유체의 속도는 상호 반비례함을 알 수 있다. 그리고 임의 지점에서 면적과 속도의 곱은 일정함도 알 수 있다. 이러한 원리에 의해 유체가 흘러가는 지점의 면적 크기를 조절하면 유체의 속도를 조절할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 면적을 크게 하면 유체의 속도는 작아지고 면적을 작게 하면 유체의 속도를 크게 할 수 있다. 이 원리는 의미가 매우 크다. 면적의 크기를 조절하면 유체의 속도를 조절할 수 있고, 그리고 유체의 속도가 조절되면 각 지점에 작용하는 압력의 크기를 조절할 수 있게 되어 원하는 공기력을 만들 수 있게 되고 따라서 항공기가 공중을 비행할 수 있는 양력 발생의 기본원리가 되는 것이다.

라. 베르누이 이론(Bernoulli's Theory)

1) 베르누이 정리

정상 운동 상태의 공기는 고도에 의한 위치 에너지, 열 에너지, 압력 에너지 그리고 운동에 의한 운동 에너지 등을 지닌다. 그리고 추가로 일과 열이 그 계통에 공급되거나 방출될 수 도 있다. 베르누이는 이상 유체의 정상 흐름에서 유체의 에너지 총량은 항상 일정하다고 정의하였다. 즉, 이상 유체의 정상 흐름에서 전압, 즉 정압(Static pressure)과 동압(Dynamic pressure)의 합은 항상 일정하다고 정의하였다.



정압은 물체 표면에 수직으로 작용하는 단위 면적당 공기력을 말하고 동압은 유체 속도의 제곱에 비례하는 단위 면적당 공기력을 말한다.

유체의 밀도를 ρ라 하고 속도를 V라고 하면 동압 q는 다음 식으로 표현된다.

$$q = \frac{1}{2}\rho V^2$$

이 식으로부터 동압은 유체의 운동 에너지가 압력으로 변환된 것이며, 그 크기는 속도의 제곱에 비례한다는 것을 알 수 있다.

이상 유체의 정상 흐름에서 동일한 유선상의 정압과 동압 사이에는 다음과 같은 관계가 성립된다.

정압(P) + 동압(q) = 전압(P_t) = 일정

유체 흐름에서 정압과 동압의 합은 일정한데 이를 전압(Total pressure)이라 한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 = P_t$$

유체의 유선에서 동일 유선상에 있는 두 지점 1, 2 사이의 에너지 관계를 수식으로 나타내면

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 = P_t$$

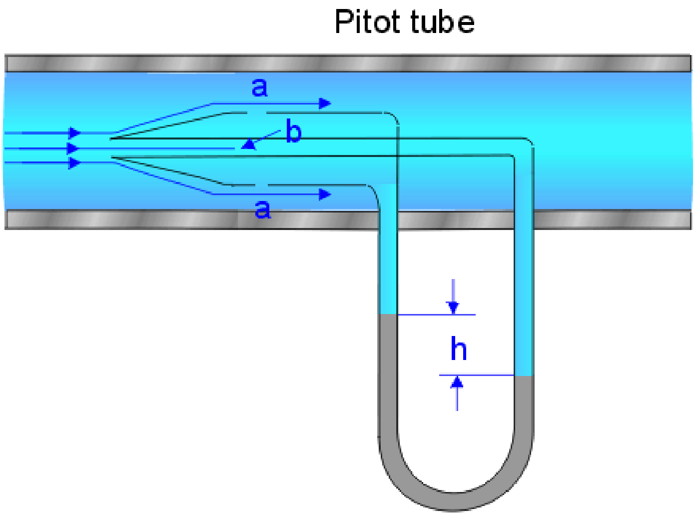
이 된다. 이 관계를 베르누이의 정리(Bernoulli's Theory)라고 한다.

이 관계를 정리하면 동압이 작은 지점은 정압이 크고 동압이 큰 지점은 정압이 작다는 것을 의미한다. 즉, 면적이 큰 지점은 유속이 작고 유속이 작으면 동압이 작으므로 정압이 크고, 면적이 작은 지점은 유속이 크고 유속이 크면 동압이 크므로 정압이 작다.

결과적으로 면적이 큰 지점은 정압이 크고 면적이 작은 지점은 정압이 작다. 이를 응용하면 날개 아래 면은 유체가 흐르는 면적을 넓게 하여 정압을 크게 만들고, 날개 위 면은 유체가 흐르는 면적을 좁게 하여 정압을 작게 만들면 날개 아래 면의 압력이 위 면의 압력보다 높아지게 되므로 날개를 위로 들어올리는 공기력이 만들어진다. 이를 양력(Lift)이라 한다.

2) 베르누이정리의 응용

베르누이 정리를 응용하여 항공기가 대기 중을 비행하는 공기와의 상대 속도를 측정하는 장치로 피토-정압관(Pitot-static tube)이 있다. 피토-정압관의 작동원리를 이해하기 위해서는 압력차를 측정하는 기본 장치인 U형 마노미터의 원리를 이해해야 한다. U형 마노미터는 U자형의 유리관에 액체가 들어 있고, 이 유리관의 양끝에 공기의 압력이 작용하여 두 압력의 차이만큼 액체의 높이 차이가 발생하도록 하여 이 높이 차이를 측정하면 압력 차이를 알 수 있는 장치이다.



만약 U형 마노미터의 양끝에 동일한 크기의 압력이 작용한다면 액면의 높이는 차이가 나지 않고 동일할 것이다. 그러나 왼쪽 관 끝의 압력 P_1이 오른쪽 관 끝 압력 P_2보다 커지면 왼쪽 관의 액체 표면에 작용하는 힘이 오른쪽 관의 액체 표면에 작용하는 힘보다 커져서 그 힘의 차이만큼 왼쪽 관의 액체 높이가 밀려 내려간다. 이때 내려가는 높이는 양쪽에 작용하는 힘의 차이와 밀려 올라간 액체 기둥의 무게가 같아질 때까지이다. 이때가 힘의 평형상태이며 그 높이차를 h라 하고 액체의 비중량을 ɣ라 하면 다음식이 성립된다.

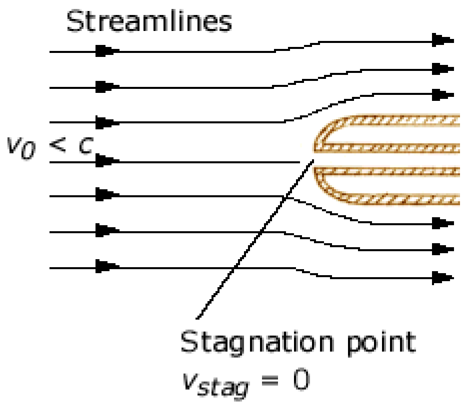
$$P_1 - P_2 = \gamma h$$

위의 식으로부터 양 끝단의 압력차가 주어졌을 때 비중량ɣ가 작은 액체를 사용하게 되면 높이차가 크게 나타남을 알 수 있다. 이렇게 두 지점 사이의 압력차를 위와 같은 원리로 측정하는 장치를 U형 모노미터(U-type manometer)라 한다.

유리관 속에 사용되는 액체는 주로 알코올 또는 수은이 많이 사용되며, 알코올은 압력차가 작아서 높이차가 작게 나타날 때 사용하고 수은은 압력차가 커서 높이차가 너무 크게 나타나는 경우에 사용된다. 그리고 마노미터에 사용하는 액체의 비중량은 압력차를 측정하기 전에 정확한 값을 알고 있어야 한다.

벤투리관에 유체가 흐를 때 두 점 사이의 정압 차이를 측정하는 데에도 U형 마노미터를 사용할 수 있다. 두 점 사이의 정압 차이를 U형 마노미터로 측정하고, 베르누이 정리와 연속방정식을 이용하면 유체의 속도를 측정할 수 있다. 정압을 측정하기 위해서는 관의 벽면에 수직으로 구멍을 뚫어야 하는데, 이 작은 구멍을 정압공(static pressure hole)이라 한다. 그리고 정압공과 U형 마노미터는 부드러운 관으로 연결한다.

대칭형 물체를 움직이는 기류에 놓으면 흐름 패턴을 볼 수 있게 되는데 공기흐름의 일부는 물체 위를 지나가고 일부는 그 아래로 흘러가지만, 물체의 앞부분에서 흐름이 완전히 정지하게 된다. 이 점을 정체점(Stagnation point)이라고 부른다. 즉, 날개 위쪽으로 가는 흐름과 날개 아래쪽으로 가는 흐름의 경계인 분리유선을 따라서 흐르는 공기가 날개로 접근하면서 점차 속도가 느려지고 분리가 일어나기 전에 한 지점에서 순간적으로 정지하게 된다. 바로 이 위치에서 입자들이 순간적으로 정체되기 때문에 이 지점을 정체점이라고 한다. 이 지점의 공기 속도가 0이므로 정체 압력은 공기흐름의 전압(P_t)과 같아야 한다.



대기속도를 측정하는 가장 일반적인 방법은 운동에 의해 만들어지는 압력차를 이용하는 것이다. 여기서 압력차란 공기에 대해 정지상태인 정체점에 하나의 구멍 만들고 주변 대기의 압력과 같은 압력을 갖는 지점인 항공기 표면에 다른 하나의 구멍을 만들어서 이 두 지점 사이의 압력차를 말한다.

피토관(pitot tube)은 입구에 정체점이 있다. 피토관의 공기는 속도가 없으므로 정체압력은 공기 흐름 전압의 값을 갖는다. 즉, $P_t = P + q$(P 와 q 는 정압과 동압의 자유 흐름 값이다.)이다. 그리고 전압은 U형 마노미터의 한 쪽 끝에 작용한다. 그리고 유체 흐름에 수직으로 설치된 정압공에는 정압이 작용하여 U형 마노미터의 다른 끝에 작용한다. 따라서 전압과 정압의 차이만큼 액체의 높이차이가 생긴다.

즉,

$$P_t - P = \gamma h$$

$$\frac{1}{2}\rho V^2 = \gamma h$$

$$\therefore \quad V = \sqrt{\frac{2\gamma h}{\rho}}$$

실험실에서는 U형 마노미터를 사용할 수 있지만, 실제의 항공기에서는 속도를 측정하기 위해서 U형 마노미터를 사용하기 곤란하므로 항공기 속도계 내부에 설치된 다이어프램을 사용하거나 전기적인 신호 처리 방법을 이용한 장치를 사용하고 있다.

3) 압력 계수

항공기와 같이 속도 변화의 범위가 크고 압력 변화도 크며 공기 밀도도 크게 변하는 경우에는 항공기 주위의 압력 분포를 압력 계수(pressure coefficient)로 나타내는 것이 효과적이다. 압력 계수는 정압과 동압의 비로서 다음과 같이 나타낸다.

$$C_P = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2}\rho V_0^2}$$

여기서 P_0, V_0는 각각 물체의 영향을 받지 않는 흐름의 상류 쪽에서의 압력과 속도이며, ρ는 밀도, P는 물체 주의의 정압이다.

날개골 주위의 압력과 속도를 각각 P와 V라 하고, 날개골 상류의 압력과 속도를 각각 P_0와 V_0라 하면, 베르누이 정리로부터 다음이 성립된다.

$$P_0 + \frac{1}{2}\rho V_0^2 = P + \frac{1}{2}\rho V^2$$

압력계수는 속도의 비를 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_P = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2}\rho V_0^2} = 1 - (\frac{V}{V_0})^2$$

비압축성 유체의 흐름에서는 정체점에서의 속도 V=0이므로 C_P=1이 되고, 물체로부터 멀리 떨어진 상류의 속도 V = V_0이므로 CP = 0이 된다. 베르누이 정리에서 알 수 있듯이, 정상흐름의 유체에서 속도가 증가하면 압력이 감소하고, 속도가 감소하면 압력이 증가한다.

비행기의 경우 비행기 날개골 윗면에서는 속도가 증가하여 압력이 낮아지고, 날개 아랫면에서는 속도가 감소하여 압력이 증가하는 현상이 발생된다. 이 때, 날개골 윗면에서는 압력 계수가 대부분 음의 값이 되고, 아랫면에서는 양의 값을 가진다. 그러면 아랫면에서 위로 작용하는 압력이 윗면에서 아래로 작용하는 압력보다 크게 되어 비행기가 공중으로 뜰 수 있는 양력이 발생된다.

4) 대기 속도의 종류

대기속도 지시계의 수치에는 여러 가지 오차가 포함되어 있다. 진대기속도를 얻기 위해서는 수정이 이루어져야 한다. 이러한 오차를 아래에서 기술하며, 필요한 수정을 순서에 따라 살펴보기로 하자.

가) 지시속도 (Indicated Airspeed) (IAS)

지시속도는 계기판에서 아무런 수정도 하지 않고 바로 읽어낸 것이다. 즉 계기판에 나타나 있는 속도 그대로이다. 이것은 눈금에 의하여 MPH 혹은 Knot 로 읽어낸다.

나) 계기속도 (Basic Airspeed) (BAS)

계기속도 일명 기초속도란 지시속도에다 계기오차를 수정한 것이다. 각 속도계에는 다른 속도계와 각기 다른 제나름의 특성을 가진다.

그것은 약간의 차이가 나는 Hairspring 의 장력, Diaphragm 의 신축성, 눈금표시의 정확

도 혹은 지시기구의 금속차로 일어나는 온도의 효과 등이다. 온도의 효과로서는 구성요소인 금속의 팽창계수가 서로 다르므로서 발생하는 오차를 들 수 있다. 이 오차는 기계적인 연결부 사이에 Bimetallic 보상장치를 장착함으로서 해소시킬 수 있다. 또한 장착할때의 구부러짐과 길이에 의하여도 그의 정확도가 변하며 이는 계산으로 산출하여 수정할 수 있다. 이들 장착눈금 계기오차 등을 모두 합쳐서 계기오차라고 하며 대다한 것이 아니고 무시할 정도이다.

다) 수정오차 (Calibrated Airspeed) (CAS)

수정속도는 계기속도에서 Pilot 정압오차(비행기의 자세)를 수정한 것이다. 비행중인 항공기의 Pilot 정압계통에는 어떤 오차가 발생한다. 적은 오차가 Pilot계통에서 발생한다면 정압계통에 있어서는 아주 큰 차이가 일어난다. 즉, 항공기의 비행자세가 변화하면 정압의 흡입도 변화한다. 이는 공기의 흐름이 어느 각도를 가지고 흡입구에 부딪히기 때문이다.

라) 대등속도 (Equivalent Airspeed) (EAS)

대등속도는 수정속도에다 공기압축을 수정한 것이다. 이 정압오차는 고속기에 나타나는 것이다. 즉 속도가 아주 빨라서 Pilot 관의 앞부분에 축적되는 공기분자가 쌓여서 충격압력을 형성하여 Pilot 앞 부분을 막는 결과를 준다.

마) 밀도오차 (Density Airspeed) (DAS)

밀도속도는 수정속도에 기압고도와 외기온도를 수정한 것이다. Pilot 압력은 항공기의 속도뿐만이 아니라 공기의 밀도에 의하여도 변화하는 것이다. 즉 대기의 밀도는 높이 올라갈수록 감소하고 주어진 공기속도에 대한 Pilot 압력 역시 고도의 증가에 따라 감소하게 되는 것이므로 속도계는 압력을 덜받아서 적게 지시하니 지시된 속도는 진속도보다 적게된다.

바) 진대기속도 (True Airspeed) (TAS)

진대기속도는 대등속도에 밀도고도(기압고도와 진대기온도)를 수정해준 대기속도이다. 다시 말해서 대등속도에다 외기온도와 기압고도를 수정해준 것이다.

진대기속도는 지시속도가 일정할 때 고도에 따라서 증가하는 것이다. 즉 항공기속도가 일정하면 고도상승에 따라서 지시속도는 감소하게 된다. 진대기속도는 그날의 대기상태에 따라서 다르게 되며 그때 그때 계산하여 찾아 내어야 한다.

3. 점성과 공기력의 고찰

가. 점성과 경계층

1) 점성(Viscosity)

우리는 경험적으로 물체가 물이나 공기 등의 유체 속에 놓여있을 때 유체로부터 어떤 힘을 받고 물체에 의해서 유체의 흐름이 흐트러지거나 소용돌이가 발생되는 것을 알고 있다. 이렇게 유체의 흐름 방향과 반대로 힘을 느끼는 것은 저항력이 있기 때문이다. 이러한 저항 중에서 공기와의 마찰에 의해 발생되는 저항력은 바로 점성에 의해서 발생되는 힘이다.

통상 공기는 점성을 무시할 수 있는 이상유체로 가정하고 베르누이 정리를 적용하여 해석하였으나, 공기 속을 비행하는 물체의 마찰 저항력을 산출할 때에는 점성의 영향을 고려해야 한다.

흐르는 공기 입자가 물체와 접촉하면 점성 때문에 공기 입자는 물체의 표면에 달라붙게 되어 마찰력을 발생시키고, 공기의 입자와 입자가 서로 상대운동을 할 때에도 점성 때문에 공기 입자들은 상호 마찰력을 받는다.

이러한 마찰력을 분석하기 위하여 매끈한 벽면 위에 얇은 층의 유체를 놓고 그 위에 평판을 올려놓는다. 이 평판을 일정한 속도로 잡아당기려면 힘이 필요하다. 이 때, 평판에 작용하는 힘 F는 평판의 면적 S와 속도 V에 비례하고, 벽면과 평판 사이의 거리 h에 반비례함을 실험적으로 구할 수 있다. 그리고 유체의 종류에 따라서도 작용하는 힘의 크기가 달라진다. 이 때, 유체의 성질을 나타내는 비례 상수를 μ라 하면, 작용해야 하는 힘 F는 다음 식으로 표시된다.

$$F = \mu S \frac{V}{h}$$

위의 식에서 비례 상수 μ를 점성 계수(Coefficient of viscosity), 또는 간단히 점성(Viscosity)라고 한다.

이 상황에서 아래 벽면과 유체가 접촉한 지점에서의 유체의 속도는 0이고, 이동하는 평판 접촉면에 있는 유체의 속도는 V이며, 벽면과 평판 사이의 거리가 대단히 작다면 속도의 기울기 $\frac{V}{h}$는 일정하다고 볼 수 있다. 그러므로 유체가 주어져 있을 때 평판 면적이 일정하면 평판에 가해야 하는 힘 F는 속도 기울기 $\frac{V}{h}$에 비례하다는 것을 알 수 있다.

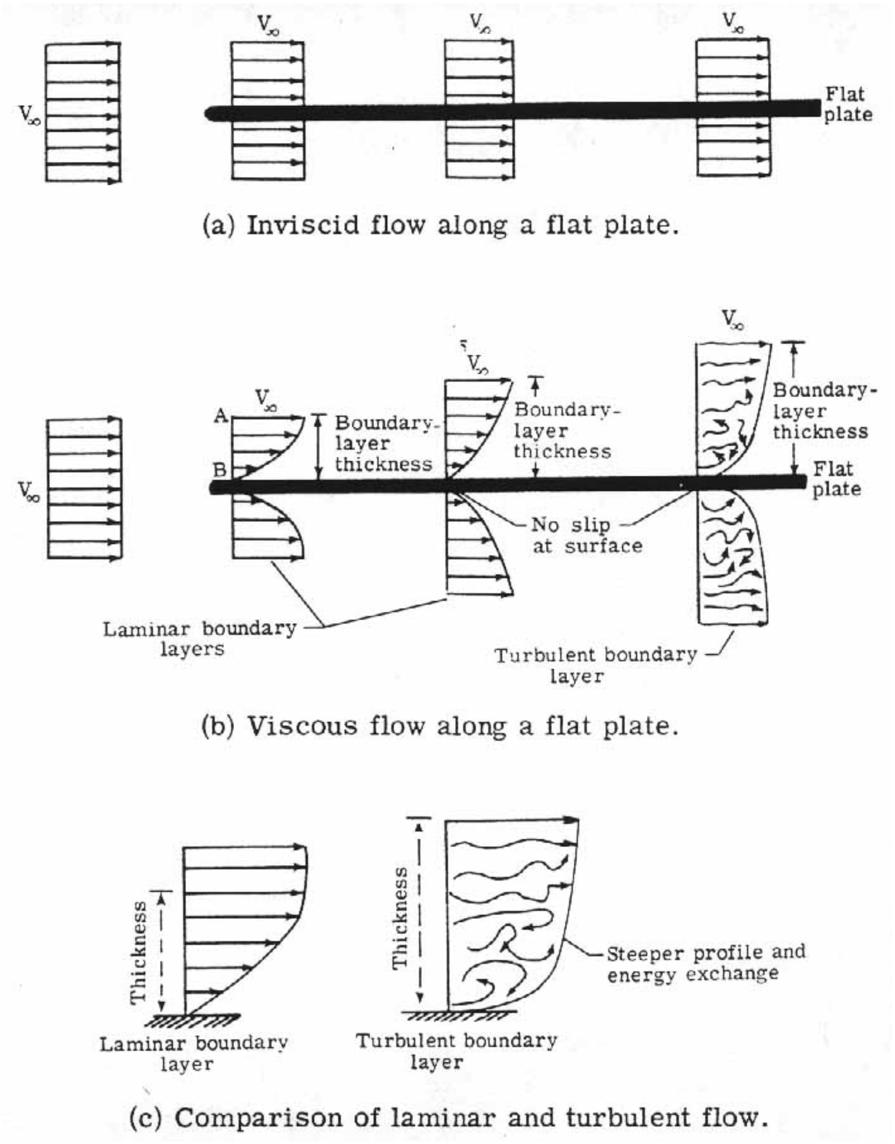
아래 벽면에 붙어 있는 유체의 속도 u=0이 되는 것을 미끄러지지 않는 조건(No-slip condition)이라고 한다. 모든 유체는 점성을 가지고 있으며, 이 점성에 가장 크게 영향을 주는 요소가 온도이다. 통상적으로 액체의 경우 온도가 높아지면 점성이 낮아지고, 기체의 경우에는 온도가 높아지면 점성이 커진다. 그리고 점성에 압력이 영향을 끼치는 효과는 온도에 비해 낮으므로 압력에 의한 영향은 무시하는 것이 일반적이다.

유체의 흐름을 해석하는 경우에 점성 계수 μ를 밀도 ρ로 나눈 값을 사용하는데 이 값을 동점성 계수(Kinematic viscosity) ν라 한다.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

2) 경계층(Boundary layer)

이와 같이 공기의 점성으로 인하여, 흐르는 공기 속에 물체가 놓이게 되면 물체의 표면에 공기의 입자가 부착되는 것과 같은 현상이 나타난다. 고정된 평판 위에 공기가 흐르게 되면 표면에 접한 공기 입자는 점성의 영향에 의해 속도가 감소하게 되고 표면에서 멀어질수록 점성의 영향이 작아져서 속도가 점차 증가하게 되고 일정 거리에 도달하면 자유 흐름과 거의 같은 유체의 속도를 갖게 된다. 이는 물체의 표면에 가까울수록 점성의 영향을 많이 받게 되어 유체의 속도가 감소하기 때문이다. 분명하게 점성의 영향을 받는 지역과 받지 않는 지역을 구분하기는 어려우나 일반적으로 자유 흐름 속도의 99%에 해당하는 지역을 경계로 하여 점성의 영향을 받지 않는 지역과 점성의 영향을 받는 지역으로 구분할 수 있는데, 점성의 영향이 뚜렷한 벽 가까운 구역의 가상적인 층을 경계층(Boundary layer)이라 한다.

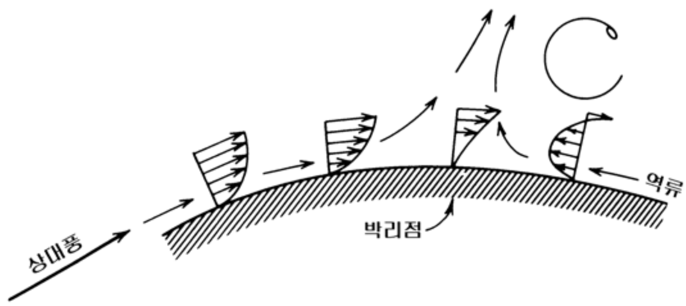


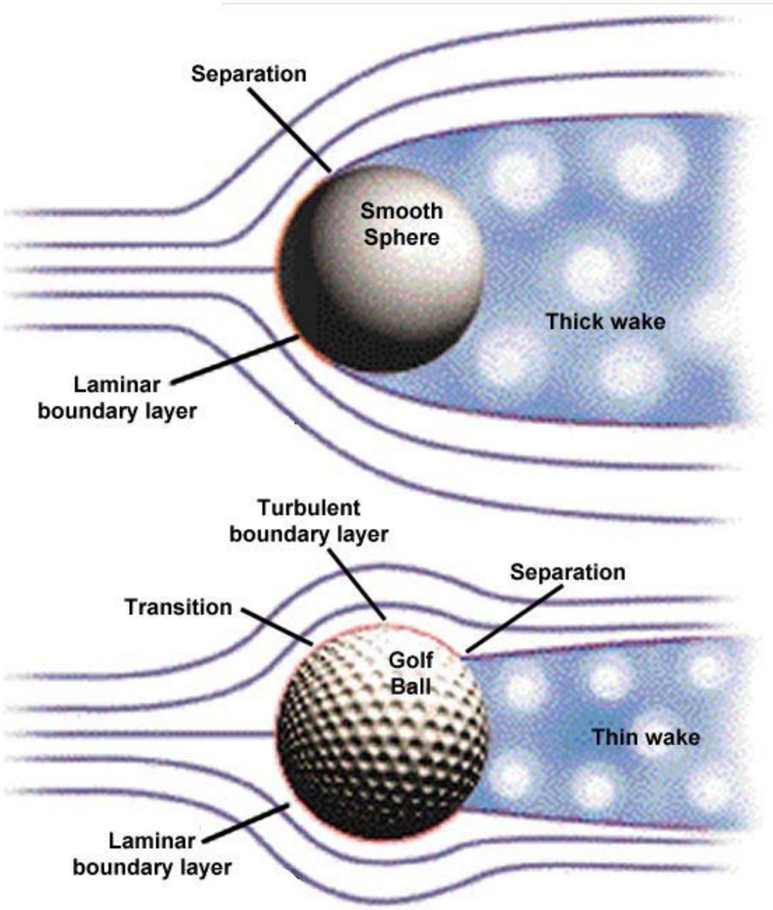
마찰력을 구할 때에는 경계층 외부에서의 공기의 점성에 의한 영향은 무시하고 경계층 내에서만 점성의 영향을 고려하여 마찰력을 구한다. 경계층은 공기의 흐름 속도가 커질수록 두께가 얇아지기 때문에 경계층이 존재하지 않는 것처럼 보이나 물체 주위에는 항상 경계층이 존재한다. 경계층은 물체 주위에 발생하는 아주 얇은 공기층이며, 이 층 내에서는 점성의 영향이 중요하고, 이 점성으로 인하여 물체의 표면 마찰력이 발생한다.

3) 흐름의 떨어짐(Separation)

물체가 유체 속에 놓일 때 경계층이 발생하게 되고 경계층 내에서 유체의 속도가 감소함을 알았는데 이러한 현상 외에도 마찰력에 의해 또다른 현상이 물체 주위에 발생한다. 경계층 내에서 흐름이 하류로 갈수록 공기 흐름 속도가 감소되어 압력이 높아져서 경계층이 갑자기 두꺼워지고 흐름이 심하게 변동되는 볼텍스(Vortex)가 발생하는데, 이 볼텍스는 유속이 빠르고, 또 곡률이 클수록 크고 세다. 이러한 볼텍스 영역이 발생하는 이유는 유체가 갖는 관성력이 클 때, 곡률이 큰 영역에서 흐름이 표면을 따라 흐를 수 없고 공기 흐름이 표면에서 떨어져 나가고 이 공기 흐름이 떨어진 곳에서는 급격히 압력이 감소하여 이미 흘러간 흐름을 역으로 빨아들여 볼텍스를 만들게 된다. 이 볼텍스는 원래의 흐름이 정상 흐름이더라도 비정상 흐름으로 변하여 물체 표면에 작용하는 압력을 시간이 변함에 따라 심하게 변화시킨다.

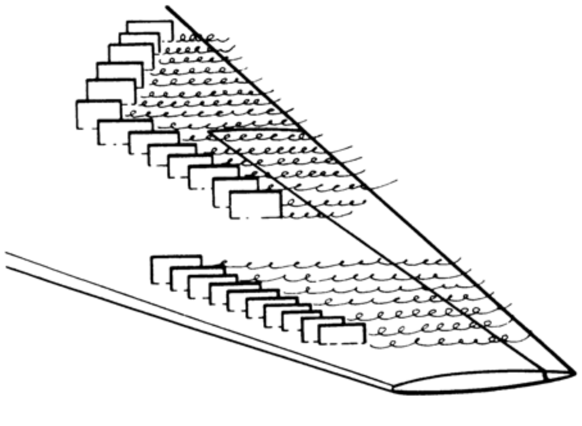
이렇게 공기 흐름이 물체 표면에서 떨어져 나가는 현상을 흐름의 떨어짐 또는 박리(Separation)라 하며 흐름의 떨어짐이 시작된 지점을 박리점(Separation point)라고 한다. 박리점을 기준으로 상류의 압력 기울기와 하류 압력 기울기가 다르므로 통상 박리는 흐름의 압력 구배가 역압력 구배가 형성되었을 때 발생한다고 한다.





흐름의 떨어짐은 층류 경계층과 난류 경계층 어느 경우에도 발생할 수 있는데, 난류 경계층보다 층류 경계층에서 쉽게 일어난다. 난류 경계층에서는 경계층의 외부에 있는 바른 속도를 가진 유체 입자들이 경계층의 벽면 가까이에 있는 느린 입자들에게 운동 에너지를 전달해 주기 때문에, 난류 유체 입자들이 층류 경계층 보다 점성 마찰력과 증가한 후류 지역의 압력에 잘 견디기 때문에 흐름의 떨어짐이 잘 발생하지 않게 된다.

이러한 특성을 이용하여 항공기의 날개 표면에서 층류를 난류 경계층으로 바꾸어 흐름의 떨어짐을 방지하는 와류 발생 장치(Vortex generator)를 장착하거나 날개의 윗면을 거칠게 하여 난류 경계층이 발생되도록 하는 장치를 설치하기도 한다.



나. 레이놀즈수와 층류 및 난류

1) 레이놀즈 수(Reynolds number)

비행기가 공중을 비행할 때 비행체에는 동압으로 인한 관성력, 정압에 의한 힘, 그리고 점성에 의한 마찰력 등의 공기력이 작용한다. 이 때 비행체에 작용하는 점성력의 특성을 가장 잘 표현한 식은 관성력과 점성력의 비를 표시하는 레이놀즈수(Reynolds number)이며, R_e로 다음과 같이 표시한다.

$$\text{레이놀즈수} = \frac{\text{관성력}}{\text{점성력}}$$

즉,

$$R_e = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu}$$

μ:점성계수 V:유속

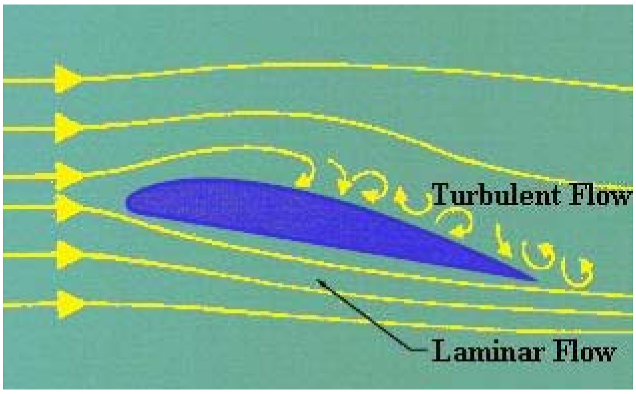
ν:동점성계수

이다.

위 식에서 L은 흐름 속의 판재인 경우 판재의 길이이며, 날개골에서는 시위의 크기를, 그리고 원형관에서는 원형관의 직경이 된다. 레이놀즈수는 유체 속에서 운동하는 물체에 작용하는 점성력의 특성을 가장 잘 나타내는 무차원수이다.

레이놀즈는 1884년 수조 아래 부분에 단면적이 일정한 유리관으로 배출되는 물의 흐름 속에 물감을 분출시켜 물감의 흐름 형태를 관찰하였다. 배출되는 물의 속도를 변화시켜 관찰한 결과 유속이 느릴 때에는 물감이 하나의 선 형태로 흐르고, 유속이 빨라지면 물감은 주위의 물과 완전 혼합되는 현상을 관찰할 수 있었다.

유속이 느릴 때에는 유체의 입자들이 층을 형성하여 하나의 층 위로 또 다른 층이 나란히 미끄러지듯이 흐르게 되지만, 유속이 빨라지면 유체 입자들이 매우 불규칙하게 혼합되어 흐른다. 이렇게 유체 입자들이 층을 이루면서 흘러가는 흐름을 층류(Laminar flow), 매우 불규칙하게 완전 혼합된 상태로 흐르는 흐름을 난류(Turbulent flow)라 정의하였다.



특히 층류에서 난류로 변하는 천이점에서의 레이놀즈수를 임계 레이놀즈수(Critical Reynolds Number)라고 한다.

2) 층류 및 난류

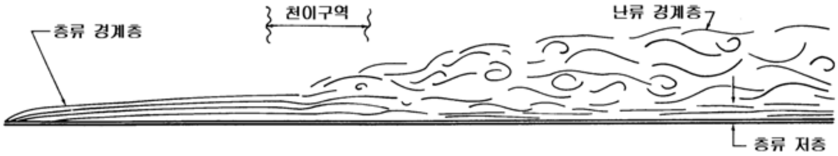
일정한 흐름 속에 흐름과 평행하게 놓여진 평판에서 평판의 표면 가까이 흐르는 유체는 평판의 선단에서 어느 정도 거리까지는 흐름이 흐트러짐이 없이 일정하게 흐르나 어느 지점부터는 점차 흐트러지기 시작한다. 이렇듯 흐름의 형태가 흐트러짐 없이 일정한 흐름을 층류(Laminar flow), 흐름의 형태가 흐트러지고 일정하지 않은 흐름을 난류(Turbulent flow)라 하며 흐름이 층류에서 난류로 바뀌기 시작하는 영역을 천이(Transition)라 한다. 난류에서는 흐름이 정상류가 아니고 속도의 성분이 시간에 따라 변한다.

평판의 표면에 접하여 흐르는 유체 입자는 마찰력의 영향을 받아서 속도가 감소하는 경계층이 평판의 앞전에서부터 형성되어 흐름의 방향이 진행될수록 경계층의 두께가 증가하다가 어느 지점부터는 경계층의 두께가 불규칙적으로 변화하는 구역에 이르고, 진행 방향으로 계속 흐르면 경계층의 두께는 급격히 두꺼워진다.

평판의 앞전 부근에서 형성된 경계층은 흐름 상태가 층류이며 이 경계층을 층류 경계층이라 한다. 평판의 경우에 앞전으로부터 측정한 거리를 이용하여 레이놀즈수를 계산하는데 층류 경계층이 끝나고 불규칙적인 변화를 일으키는 위치에서의 레이놀즈수를 임계 레이놀즈수라 하는데 그 값이 대략 300,000이 된다. 그리고 불규칙한 경계층의 변화를 나타내는 천이 지역을 지나면 경계층 내부의 흐름은 난류상태가 되고, 이 구역을 난류 경계층이라 한다.

층류 경계층에서의 속도 분포는 포물선 형태로 나타나며 난류 경계층에서의 속도 분포는 층류 경계층에서의 속도 분포보다 벽 가까운 지역에서 급격히 변하는 특징을 나타낸다. 이는 난류에서는 유체입자들의 혼합 운동이 활발하기 때문에 물체 표면으로부터 거리가 먼 곳의 유체 입자의 운동량이 경계층 속 깊숙한 물체 표면 가까이 까지 전달되기 때문이다.

난류 경계층에서는 물체 표면 가까운 지역에 흐름의 형태가 흐트러짐이 적은 층류와 유사한 흐름이 형성되는 지역이 존재하는데 이를 점성저층(Viscosity sublayer)이라 한다.



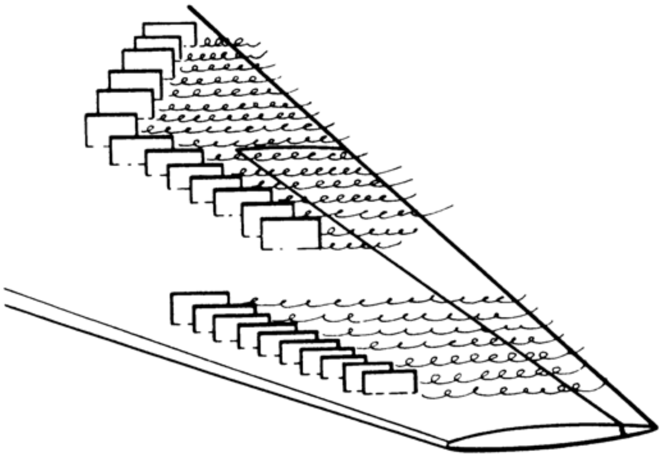
경계층의 두께는 층류 경계층에서 보다 난류 경계층에서 급격히 증가하는 특징이 있다. 경계층의 유동에 관한 이론적인 해석과 실험적 증명에 의해서 경계층의 두께는 다음과 같이 표현된다.

층류 경계층의 두께 : $\delta_x = \frac{5.2x}{\sqrt{Re_x}}$

난류 경계층의 두께 : $\delta_x = \frac{0.37x}{Re_x^{0.2}}$

여기서 x는 평판 앞전으로부터 흐름방향으로의 거리이고, $Re_x = \frac{V_0 x}{\nu}$ 로 정의되며, V_0는 상류 흐름의 유속이다. 여기서 경계층의 두께는 흐름 방향 쪽으로 가면서 x에 따라 증가함을 알 수 있다. 그리고 경계층의 두께는 흐름의 속도가 커질수록 두께가 얇아지는 특징을 가지고 있다.
경계층 내에서의 물체 표면에 작용하는 표면 마찰력은 난류 경계층에서 보다 층류 경계층에서 훨씬 작기 때문에 평판이나 비행 물체의 항력을 감소시키려면 층류 경계층을 물체 표면에서 길게 연장시키는 방법을 사용한다. 고속 항공기에 사용되는 날개 중에는 층류 흐름을 길게 유도하고 난류 경계층의 형성을 최소로 억제하여 항력을 감소시키는 층류익이라는 형태의 날개가 사용되기도 한다.

그러나 난류 흐름은 층류 흐름보다 더 많은 에너지를 가지게 되어 임계경계층에 에너지를 부가시켜 주어 운동량의 변화를 일으키므로 층류 보다 더 후방에서 박리(흐름의 떨어짐) 현상이 발생한다. 이를 이용하여 날개 윗면에 층류를 난류로 전환시켜서 흐름의 떨어짐을 억제하는 와류 발생(Vortex Generator) 장치를 사용한다.



다. 물체에 작용하는 공기력

물체가 유체 내에서 이동하게 되면 압력과 공기의 점성에 의한 마찰력에 의해서 물체에 힘이 작용하게 된다. 이 힘이 발생되는 요인 중 압력의 영향이 가장 크며 이 압력에 의해서 물체에 양력과 항력이라는 공기력이 발생된다.

공기력의 특성을 알아보는 가장 쉬운 방법은 유체 흐름의 방향과 수직으로 놓인 평판의 경우이다. 흐름 속에 수직으로 놓인 평판은 공기력인 항력을 받는다. 이 항력을 통상 R이라 표기한다. 흐름 속에 수직으로 높인 평판의 면적을 S, 공기 밀도를 ρ, 유체의 속도를 V라 하면 초당 평판에 충돌하는 공기의 체적은 유속과 평판의 면적의 곱 즉, VS가 되고, 공기의 질량은 공기의 체적에 공기 밀도를 곱한 ρVS가 된다. 공기 입자가 평판에 충돌하면 흐름 속도 V가 0이 되었다고 하면 초당 변화된 가속도는 V-0=V가 된다. 그리고 힘은 질량과 가속도의 곱이므로 $\rho VS \times V = \rho V^2 S$의 힘이 평판에 작용하게 된다.

평판이 받는 힘은 곧 유체가 작용하는 힘의 반작용이므로 평판의 반력 $R=\rho V^2 S$이다. 그러나 실험에 의하면 평판의 반력 $R=0.64\rho V^2 S$인데, 이는 평판에 부딪히는 공기의 일부가 평판 주위로 빗겨 나갔다는 것을 뜻한다. 결국 물체에 작용하는 공기력은 공기의 밀도와 속도의 제곱(V^2)에 비례하고 물체의 면적(S)에 비례한다. 즉,

$$R \propto \rho V^2 S$$

비례 상수 C_R을 사용하여 표시하면

$$R = C_R \rho V^2 S$$

이다. 실험에 의하여 비례상수 C_R은 0.64이다.

일반적으로 비례상수 C_R은 물체의 모양과 유체 속에 있는 물체의 자세에 영향을 받고, 유체의 속도, 물체의 크기 및 물체의 종류에는 영향을 받지 않는다.

라. 양력과 항력

평판 대신 날개골을 공기 흐름 속에 놓게 되면 날개의 단면인 날개골(Airfoil section)에는 공기력이 작용하게 되는데 이 공기력 중에 공기의 흐름 방향에 수직으로 작용하는 공기력을 양력(Lift), 공기의 흐름 방향과 나란하게 흐름 방향 쪽으로 작용하는 공기력을 항력(Drag)이라 한다. 그리고 이 양력과 항력이 작용하는 지점을 압력 중심(Center of pressure)라 하며, 이 힘에 의하여 날개골을 회전시키려는 모멘트가 발생한다. 따라서 날개골 주위에는 양력과 항력 그리고 공기력 모멘트가 작용하게 된다. 이 세 가지 공기력을 공기력의 3분력이라고도 한다.

양력은 날개를 위로 들어올리는 힘이고 항력은 날개를 뒤로 미는 힘이다. 즉, 양력은 항공기의 무게를 들어올리는 힘이고 항력은 비행을 방해하는 저항력이며 비행기에 장착된 기관의 추력이 항력을 이겨 비행기를 전진시키는 힘이다. 양력과 항력의 크기를 결정하는 요소는 공기력의 크기를 결정하는 비례상수인 C_R이며, 양력과 관계된 비례상수를 양력계수(C_L), 항력과 관계된 비례상수를 항력계수(C_D)라 정의한다.

1) 양력계수(Lift coefficient)

공기 중을 움직이는 물체에 작용하는 힘은 여러 가지 요소에 의해서 그 크기가 결정된다. 영향을 끼치는 요소로 흐름의 속도, 공기의 밀도, 물체의 면적, 물체의 모양, 음속의 크기, 물체 표면의 거칠기 정도, 공기의 점도, 받음각 등이 있다.

양력은 앞서 정의한대로 유체 흐름 방향과 수직으로 작용하는 공기력으로 정의되며 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$L \propto \rho V^2 S$$

위의 식에 비례상수인 양력계수를 도입하고 $\frac{1}{2}$을 넣어서 표현하면 다음과 같다.

$$L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 S$$

양력계수는 날개골의 형태와 받음각에 영향을 받는 무차원수이다. 양력계수는 받음각에 따라 그 크기가 변하지만 속도가 커지면 마하수(M)와 레이놀즈수(R_e)에 따라 크기가 변한다.

2) 항력계수(Drag coefficient)

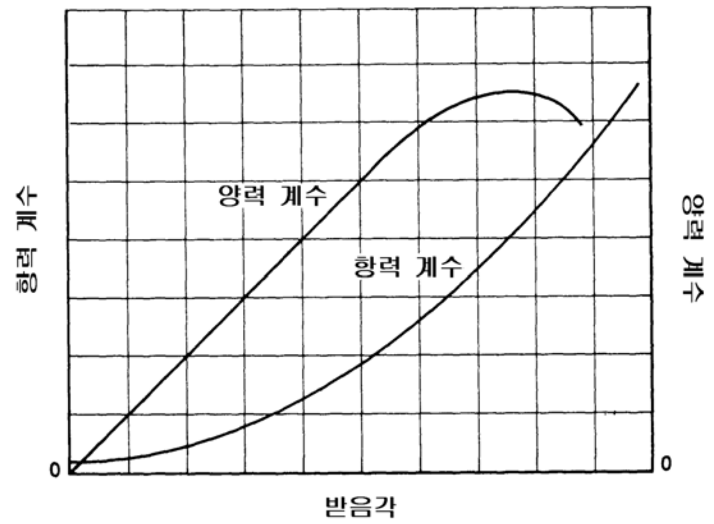
항력은 정의한대로 유체 흐름 방향과 나란하게 흐름 방향 쪽으로 작용하는 공기력으로 정의되며 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$D \propto \rho V^2 S$$

위의 식에 비례상수인 항력계수를 도입하고 $\frac{1}{2}$을 넣어서 표현하면 다음과 같다.

$$D = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 S$$

항력계수는 양력계수와 마찬가지로 날개골의 형태와 받음각에 영향을 받는 무차원수이다. 그리고 항력계수도 받음각에 따라 그 크기가 변하지만 속도가 커지면 마하수(M)와 레이놀즈수(R_e)에 따라 크기가 변한다. 마하수가 음속 가까이 커지면 항력계수는 급격히 증가하고 양력계수는 그 크기가 감소한다. 날개골은 양력계수는 크고 항력계수가 작을수록 성능이 좋은 것이다. 그러나 비행 속도에 따라 저속에서 성능이 우수한 날개골이 있고 고속에서 성능이 우수한 날개골이 다르기 때문에 항공기의 순항 속도를 고려하여 가장 적합한 날개골을 선택해야 한다.

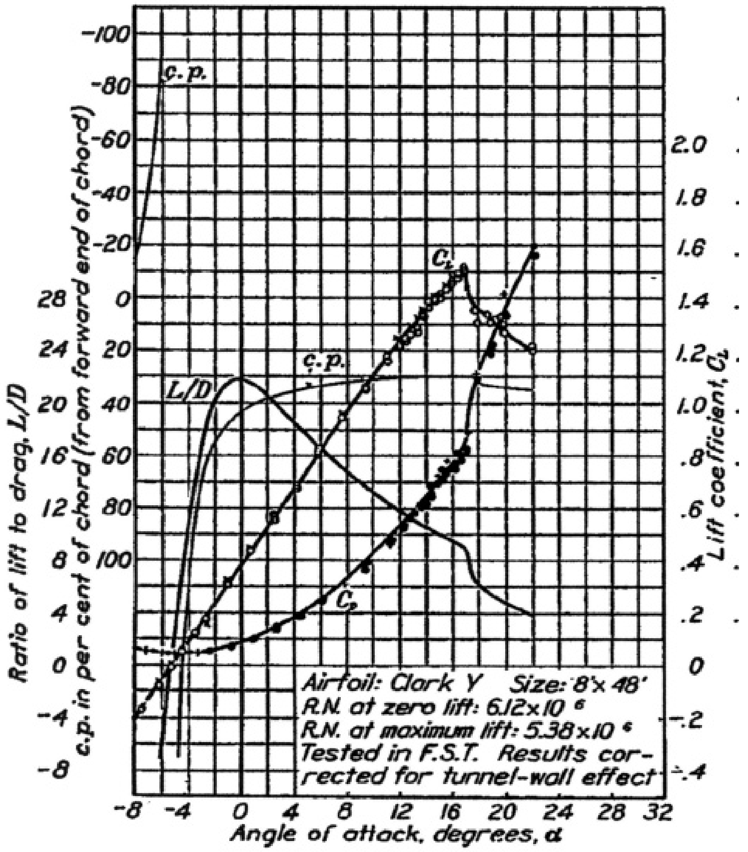


마. 받음각과 양력 및 항력계수

앞서 설명한 대로 양력계수와 항력계수는 날개의 형태와 받음각에 의해서 결정된다. 날개의 형태는 날개골의 종류를 말하는데 날개골의 종류에는 Clark Y형 및 NACA 날개골 등이 있다. 그리고 날개골의 받음각에 대한 설명에서는 날개골의 종류 중 Clark Y형 날개골을 예로 드는 경우가 많다. Clark Y형 날개골은 저속 항공기에 많이 사용되며 성능이 양호하고, 날개의 밑면이 직선형으로 날개 제작이 용이하다는 특징이 있다.

받음각(Angle of attack)은 날개의 앞전과 뒷전을 연결한 시위선(Chord line)과 항공기 진행 방향 또는 공기가 날개로 유입되는 방향 사이의 각도로 정의된다. Clark Y형 날개골이 받음각에 의해 어떠한 영향을 받는지 알아보자.

1) α=-5.3°일 때 C_L=0, 즉 양력이 0이 되며 이 각도를 영양력 받음각(Zero lift angle of attack)이라 한다.
2) 영양력 받음각에서 받음각을 증가시키면 양력계수가 거의 직선적으로 증가하고 받음각을 감소시키면 직선적으로 감소한다.
3) α=18°근처에서 양력계수는 최대값이 되는데 이 때의 양력계수를 최대양력계수(Maximum lift coefficient)라 하고 C_{Lmax}로 표시한다. 그리고 이 때의 받음각을 실속각(Stalling angle of attack)이라 한다.
4) 받음각이 실속각 보다 커지면 양력계수는 급격히 감소하는데 이 현상을 실속(Stall)이라 한다. 실속은 날개골 받음각이 너무 커지면 흐름이 날개 윗면을 따라서 흐르지 못하고 흐름이 날개 표면에서 떨어지게 되기 때문에 발생한다. 결과적으로 날개에서 실속이 발생되는 지점이 생기면 그 면적만큼 양력 발생 면적이 감소하게 된다.



5) 항력계수는 받음각이 α=-5°에서 최소가 되는데, 이 때의 항력계수를 최소항력계수라 하며 CDmin으로 표시된다. 받음각의 크기에 따라 항력계수 곡선은 포물선 형태로 증가하게 되고 실속각을 넘어서면 날개 윗면에서 흐름의 떨어짐이 발생하기 때문에 항력계수가 급격히 증가한다.

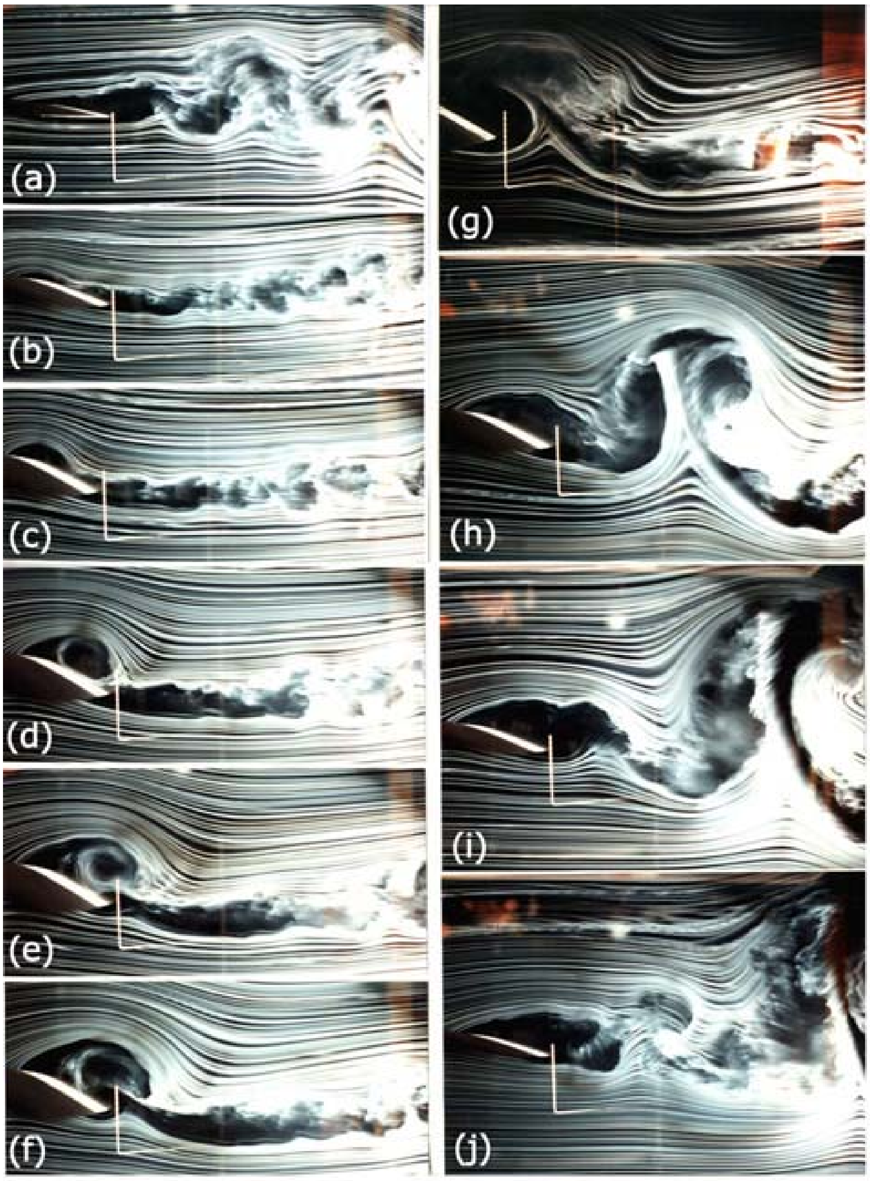
이와 같이 받음각에 따른 양력계수와 항력계수의 변화 곡선을 날개골의 특성 곡선이라 한다. 그리고 날개골에 따라 다소 날개골의 특성 곡선이 다르나 그 경향은 비슷하다. 그리고 보편적으로 날개골은 CLmax이 클수록 CD_{min}이 작을수록 성능이 우수하다.

바. 실속과 경계층 제어

실속(Stall)은 항공기가 주어진 고도를 더 이상 유지할 수 없는 현상으로 정의된다. 통상적으로 실속은 날개 주변의 공기 흐름이 날개의 형태를 따라서 흘러가지 못하고 흐름이 이탈되는 현상인 흐름의 떨어짐 때문에 날개에서 발생하는 양력이 급격히 감소하여 발생한다. 실속은 날개의 받음각이 최대각을 넘게 되면 발생하며, 이 때 양력은 급격히 감소하고 항력은 급격히 증가한다. 이 때의 받음각을 실속각이라 하며 양력계수는 최대양력계수라 한다.

이러한 실속을 방지하는 장치로 와류발생장치(Vortex Generator)가 사용된다. 와류발생장치는 날개 윗면에 수직으로 장착된 종횡비가 작은 조그만 날개로서 경계층에 에너지를 공급하여 흐름의

떨어짐을 지연시켜 준다. 이 와류발생장치에서 발생되는 Tip Vortex는 저속 경계층 공기를 자유 기류의 고속 에너지 흐름과 혼합시켜 경계층에 에너지를 증가시키는 역할을 한다. 즉, 공기흐름을 층류에서 난류로 변환시켜 흐름의 떨어짐을 억제하여 실속을 방지한다.



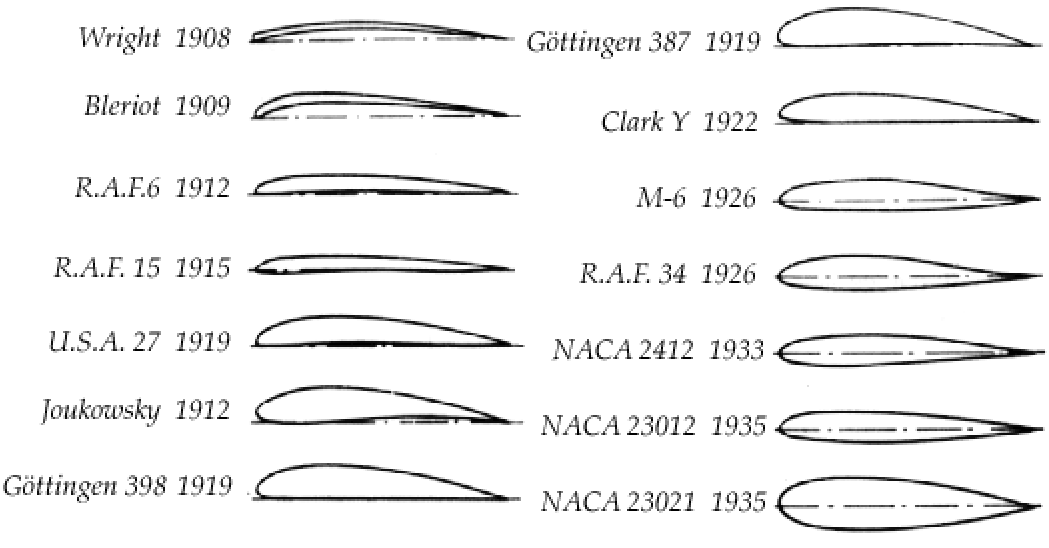
제8장 에어포일과 날개이론

1. 에어포일

가. 에어포일 각 부분의 명칭

비행기의 날개는 양력을 발생시켜 비행기를 공중에 뜨게 하는 역할을 한다. 비행기의 날개를 수직으로 자른 유선형의 단면을 에어포일 또는 날개단면이라 하며, 이것은 날개의 양력, 항력 및 모멘트를 발생시키는 기본요소이다.

항공기의 양력을 효율적으로 발생시키는 에어포일의 형태는 비행속도에 따라 여러 가지가 있으며 항공기의 용도에 따라 설계자가 선택한다. 이미 수천 가지의 에어포일이 개발되어 통풍실험으로 그 특성이 밝혀졌으며 필요에 따라 그 기본형에서 조금씩 변형시켜 사용한다. 기본형 에어포일은 미국의 국립항공자문위원회에서 정한 표시 방법에 따라 분류되는데 네 자리 계열, 다섯 자리계열 및 6 계열 에어포일 등이 있다.



NACA 표시방법을 설명하기 전에 먼저 에어포일의 형태와 특징을 결정하는 명칭을 정의하기로 한다.

먼저 앞전은 에어포일의 앞부분 끝을 말하며 앞전의 모양은 둥근 원호나 뾰족한 쐐기 모양을 갖는다.

뒷전은 에어포일의 뒷부분 끝을 말하며 뒷전의 모양은 뾰족한 곡선이나 직선 모양을 가짐으로써 에어포일을 유선형이 되도록 한다.

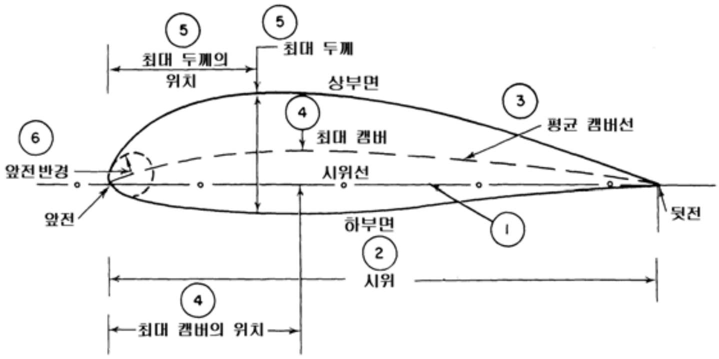
시위는 앞전과 뒷전을 연결하는 직선을 말하며 시위선이라 한다.

두께란 시위선에서 수직선을 그었을 때 윗면과 아랫면 사이의 수직거리를 말하며, 가장 두꺼운 곳의 길이를 최대두께라 하고, 두께와 시위선과의 비를 두께비라고 한다. 두께비는 퍼센트로 표시하여 12% 두께비 등과 같이 표시한다.

평균 캠버선은 두께의 이등분점을 연결한 선을 말하며, 에어포일이 휘어진 모양을 나타내는 선이다.

캠버는 시위선에서 평균 캠버선까지의 길이를 말하며 두께비와 마찬가지로 시위선과의 비율을 나타낸다.

앞전 반지름은 에어포일을 그릴 때 앞전의 뾰족한 정도를 나타내기 위한 표현으로 앞전에서 평균 캠버선에 그은 접선에 중심을 두고 앞전의 윗면과 아랫면에 접하도록 그린 원의 반지름을 말하며 앞전모양을 나타낸다. 에어포일의 위쪽과 아래쪽의 곡면을 각각 윗면과 아랫면이라 말하며, 이들 면을 따라 공기가 흘러가며 정압이 작용한다.

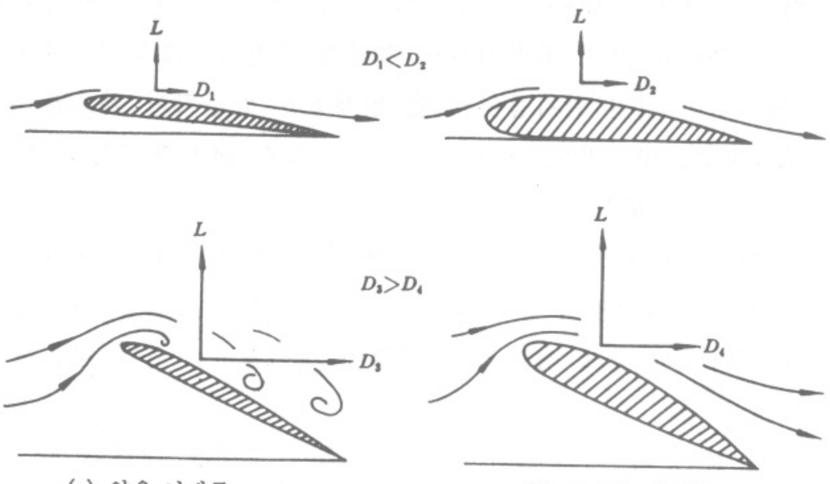


받음각은 공기흐름의 속도방향과 시위선이 만드는 사이 각을 말하며 양력, 항력 및 피칭모멘트에 영향을 주는 인자이다. 따라서 양력은 공기흐름의 속도방향에 수직한 방향으로 작용하며 항력은 속도방향과 같은 방향으로 작용한다고 정의한다.

나. 날개의 형상이 공력특성에 미치는 요소

1) 날개 두께의 영향

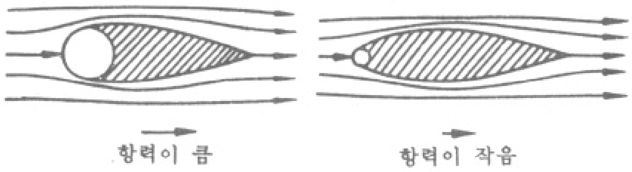
받음각이 작을 때 날개 두께가 얇은 날개골은 두께가 두꺼운 날개골보다 항력이 작지만, 받음각이 커지면 두께가 얇은 날개골은 흐름의 떨어짐이 발생하여 항력이 급격히 증가한다. 반면 두께가 두꺼운 날개골은 흐름의 떨어짐이 발생하지 않아 항력이 약간만 증가하여 상대적으로 두께가 얇은 날개골보다 항력이 작다.



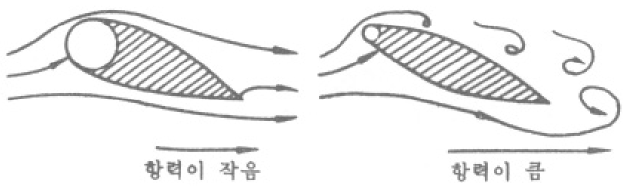
(a) 얇은 날개골 (b) 두꺼운 날개골

2) 날개 두께 분포와 앞전 반경의 영향

날개 두게 분포가 다른 경우 받음각이 같으면 양력은 거의 차이가 없지만, 항력과 최대 받음각에 차이가 생긴다. 앞전 반경이 작은 날개골은 받음각이 작을 때 항력이 작지만 받음각이 커지면 흐름에 떨어짐이 발생하기 쉬워 앞전 반경이 큰 날개보다 항력이 크다.



(a) 받음각이 작을 때



(b) 받음각이 클 때

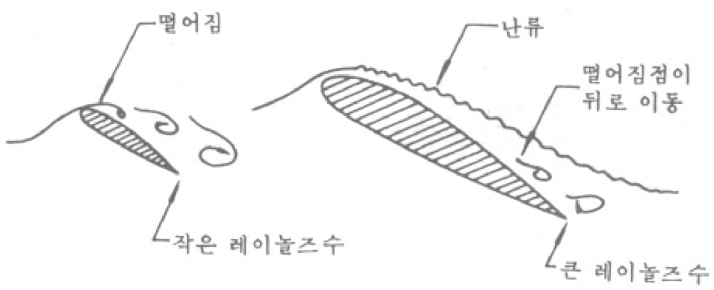
3) 캠버의 영향

캠버가 0인 대칭형 날개와 캠버가 있는 날개골이 받음각이 0도일 때 캠버가 0인 날개는 양력이 0 이지만 캠버가 있는 날개골은 양력이 발생한다. 캠버가 있는 날개골은 캠버가 없는 날개골보다 양력이 크게 발생하며 동시에 항력도 더 크다.

4) 날개 시위의 길이

동일한 종류의 날개골도 시위 길이가 다르면 공기역학적 특성이 다르다. 시위 길이가 짧으면 레이놀즈수가 작아서 날개 주위의 공기 흐름이 층류를 유지하므로 받음각이 클 때 흐름에 떨어짐이 쉽

게 발생한다. 반면에 시위 길이가 길은 날개골은 레이놀즈수가 커서 날개 주위의 공기 흐름이 난류로 변하여 받음각이 클 때 흐름의 떨어짐이 잘 발생하지 않아 상대적으로 항력이 작다. 따라서 이러한 효과가 날개의 치수 크기에 의해 발생하므로 치수효과(Scale Effect) 또는 레이놀즈수의 크기에 의해 영향을 받으므로 레이놀즈 효과(Reynolds Number Effect)라 한다.



다. 날개골의 공력 특성

날개골은 양력과 항력 및 모멘트를 발생시키고 이 공기력은 날개골의 형상에 따라 그 특성이 다르다.

공기 흐름 속에 날개골이 놓이면 주변의 공기 입자는 날개골 때문에 흐름의 속도와 방향에 영향을 받는다. 이는 공기 입자가 날개골에 의해 힘을 받고 있음을 뜻한다. 따라서 날개골은 이 힘의 반작용에 의해 공기 입자에 의해 힘을 받게 된다는 것을 의미한다. 날개골에 작용하는 공기력은 공기의 밀도와 속도의 제곱에 비례하고 날개골의 면적에 비례한다.

즉,

$$F \propto \rho V^2 S$$

비례상수 K를 적용하여 표시하면

$$F = K \rho V^2 S$$

일반적으로 K값은 물체의 모양과 유체 속에 놓인 자세에 의해 결정되며, 유체의 종류, 속도 및 물체의 크기와 관계가 없다.

이러한 관계를 날개골에 작용하는 공기력인 양력과 항력에 적용하면 다음과 같은 식이 성립된다.

$$\text{양력} : L \propto \rho V^2 S$$

$$\text{항력} : D \propto \rho V^2 S$$

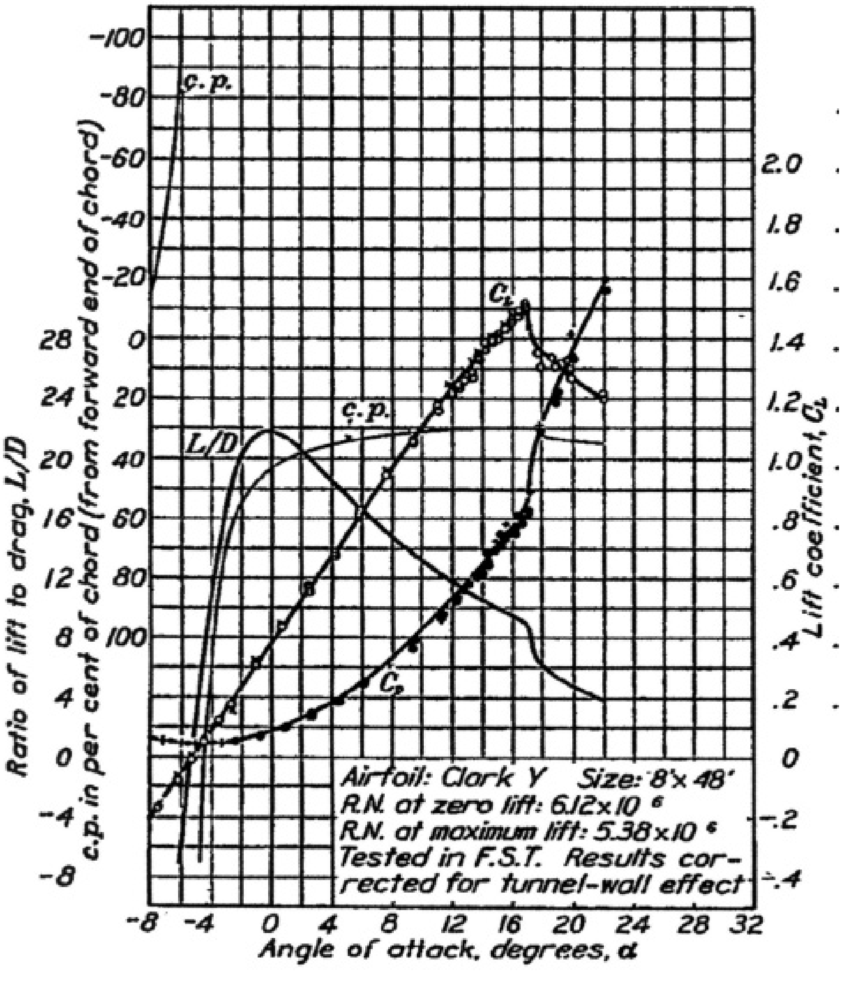
이 식에 비례상수를 적용하면 다음과 같은 양력과 항력 공식이 만들어 진다.

$$L = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 S$$

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 S$$

이렇게 정의한 비례상수 C_L과 C_D를 각 각 양력계수와 항력계수로 정의하며, 날개골의 형태 및 공기 중의 자세 즉, 받음각과 관계되는 무차원수이다.

C_L과 C_D는 날개의 형태와 받음각에 의해 결정되면 대표적인 날개골인 Clark Y형 날개골에 적용하여 살펴보면 다음과 같다.



1) α = -5.3°일 때 C_L=0, 즉 양력이 0이 된다. 이 받음각을 0양력 받음각이라 한다.

2) 0양력 받음각에서 받음각을 증가시키면 거의 직선적으로 C_L이 증가한다.

3) 받음각이 18° 근처에서 C_L은 최대가 된다. 이 때의 C_L을 최대양력계수라 하며 C_{Lmax}으로 표시한다. 또한 이 때의 받음각을 실속각이라 한다.

4) 실속각을 넘으면 C_L은 급격히 감소하는데 이 현상은 실속(stall)이라 한다.

5) C_D는 -5°에서 최소가 되는데 이를 최소항력계수라 하며 C_{Dmin}으로 표시한다.

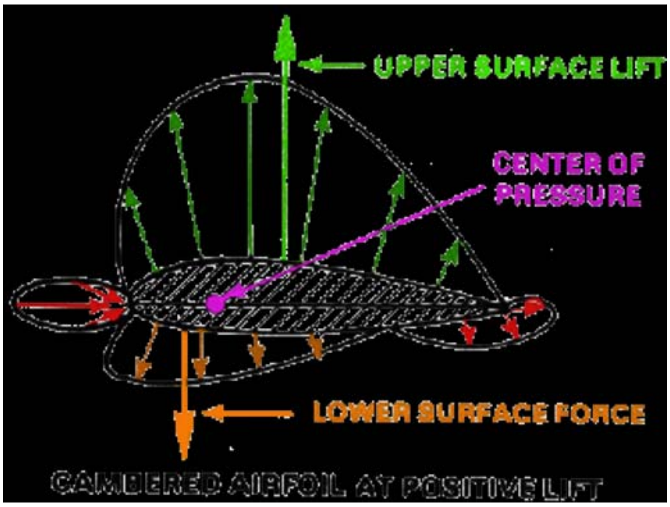
6) 받음각이 커지면 C_D는 포물선 형태로 증가하고 실속각을 넘으면 C_D는 급격히 증가한다. 이러한 현상은 실속시 날개 윗면에서 흐름의 떨어짐이 발생하기 때문이다.

이러한 받음각과 CL, CD의 곡선을 날개골의 특성곡선이라 부르며 날개골의 형태 및 종류가 다르면 곡선도 다르게 나타나지만 그 경향은 비슷하다.

날개골은 최대양력계수(C_{Lmax})가 크고 최소항력계수(C_{Dmin})가 작을수록 성능이 우수하다.

라. 압력중심과 공기력중심

날개골은 받음각에 따라 공기역학적 특성이 달라지기 때문에 날개골 주위의 흐름의 모양, 압력분포가 받음각에 따라 변한다. 날개골 주위에 작용하는 공기압력의 중심 즉, 공기력의 합력점을 압력 중심(center of pressure)라 부른다.

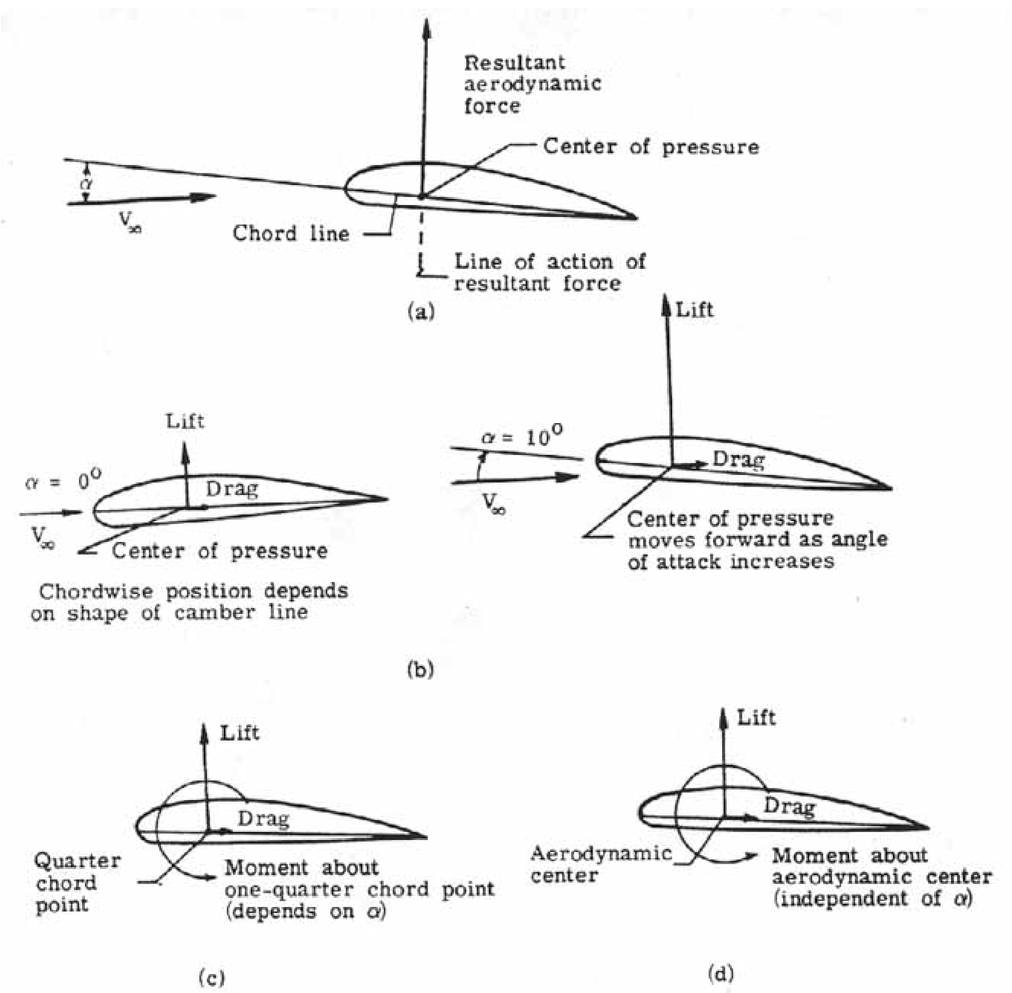


받음각이 작을 때 날개골 주위의 최대 부압 지점은 날개 시위 중앙 부근에 나타나며 따라서 압력 중심도 날개 시위 중앙 부근에 위치한다.

받음각을 크게 하면 날개골 주위의 최대 유속 발생 지점이 날개골 전방으로 이동하기 때문에 최대 부압지점도 날개골 앞전 쪽으로 이동하게 된다. 따라서 받음각이 증가하면 압력 중심은 날개 앞전 쪽으로 이동한다.

그리고 비행기가 급강하시에는 압력 중심은 뒷전쪽으로 많이 후퇴한다. 압력 중심의 이동 범위가 크면 비행기의 안정성과 날개의 구조 강도면에서 좋지 않다.

날개골의 임의 지점에 중심을 잡고 받음각의 변화를 주면 날개를 비트는 모멘트가 발생한다. 이 모멘트의 값이 받음각에 관계없이 일정한 지점을 공기력중심(aerodynamic center)라 한다. 일반적으로 압력중심과 공기력중심은 일치하지 않는다. 그리고 공기력중심은 날개골 시위의 25% 지점에 위치하는 것이 일반적이다.



항공기의 평형을 맞추기 위하여 실제로 공기력이 발생하는 압력중심에 무게중심을 위치시키면 받음각에 따라 압력중심의 위치가 변하므로 항공기의 평형을 유지하기가 어렵다. 따라서 항공기의 무게중심을 공기력중심에 위치시키고 이 때 발생하는 모멘트는 수평꼬리날개에서 상쇄 모멘트를 발생시켜 항공기의 평형을 유지한다.

2. 날개의 모양과 특성

가. 날개의 용어

날개는 2차원 모양인 에어포일을 날개길이 방향으로 유한한 길이를 갖도록 포개서 만들어진 3차원 모양을 말한다. 에어포일을 지나는 공기흐름은 에어포일이 그려진 평면 위에서만 영향을 미치므로 2차원 흐름이라 하지만 날개를 지나는 공기흐름은 에어포일을 따라 흐르는 흐름뿐만 아니라 인접한 에어포일 쪽으로 흐르는 공기성분도 생기므로 3차원 흐름이 된다. 날개의 모양은 항공기의 종류에 따라 각기 다른 모양을 갖는다.

날개는 평면 형태에 따라서 기본적으로 직사각형, 타원형, 테이퍼있는 직사각형, 후퇴형, 삼각형 및 이중 후퇴형 등으로 구분한다. 이렇게 다양한 형태의 날개로 설계하는 이유는 공기압력의 분포, 천음속이나 초음속 효과 및 구조강도 등을 고려하기 때문이다.

날개의 기하학적 형태에 대한 정의를 설명하기로 하자.

날개길이 또는 스팬이란 날개의 끝에서 다른 끝까지의 직선 길이를 말하며 b로 표시한다. 시위는 날개골의 앞전과 뒷전을 연결하는 직선거리로서 직사각형 날개를 제외한 모든 날개는 날개 길이에 걸쳐서 시위 길이가 다르므로 보통 시위하고 하면 평균시위를 뜻한다. 그리고 날개 전체의 공기역학적 중심점에 위치한 시위를 공력평균시위(MAC)라 한다. 이 경우 날개끝에서의 시위를 날개끝 시위라 하고 C_t로 나타내며 날개뿌리에서의 시위를 뿌리 시위라 하고 C_r로 표시한다. 날개끝 시위와 뿌리 시위와의 비를 테이퍼비라고 한다. 직사각형 날개는 테이퍼비가 1.0 이며 삼각형 날개는 테이퍼비가 0 이다. 날개면적은 동체로 가려진 부분까지를 포함한 날개의 평면면적을 말하며 S로 표시한다. 날개의 길이와 시위의 비, 또는 날개길이의 제곱을 날개면적으로 나눈 값을 가로세로비(aspect ratio)라 한다. 따라서 가로세로비가 크다고 함은 날개가 폭이 좁고 길이기 길은 날개를 말한다. 가로세로비는 공기역학적 효율을 좌우하는 중요한 인자이다. 기체를 수평으로 놓았을 때 날개가 수평을 기준으로 위로 올라갔거나 아래로 내려간 각도를 쳐든각(상반각)과 처진각(하반각)이라 한다. 기체의 세로축과 날개의 시위선이 이루는 각도를 붙임각(취부각)이라 한다. 날개 끝의 붙임각을 날개 뿌리의 붙임각보다 작게 한 것을 기하학적 비틀림이라 한다. 항공기가 순항 비행할 때는 양력의 크기와 중량이 같으므로 항공기의 중량을 날개면적으로 나누어 날개하중이라 부른다. 날개하중은 힘을 면적으로 나눈 값이므로 압력의 단위가 되며 날개 표면에 작용하는 평균압력의 의미를 가진다. 이는 공기역학적인 특성을 판단하는 중요한 지표가 되며 구조설계에서 구조강도를 결정짓는 요소가 된다. 날개하중이 작으면 단위면적에 작용하는 힘이 작으므로 구조가 약하더라도 견디지만 날개하중이 커지면 구조가 더욱 단단해야 하며 구조의 중량도 증가한다. 후퇴각은 직사각형 날개에서 뒤로 제쳐진 각도를 말하는데 날개골 시위선의 25% 위치를 연결한 기준선에 대한 각도이다. 만약 날개가 앞으로 젖혀 있으면 전진각이라 부른다. 따라서 날개의 평면모양은 스팬, 시위, 날개면적, 가로세로비, 테이퍼비 및 후퇴각 등으로 나타낼 수 있다.

나. 날개의 모양

1) 직사각형 날개

날개의 평면 형상이 직사각형 모양이다. 구조 강도적으로 테이퍼 날개에 비해 다소 무리가 있으나 제작이 용이하기 때문에 소형의 저렴한 항공기에 많이

2) 테이퍼 날개

날개 끝의 시위가 날개 뿌리의 시위보다 작은 날개이다. 날개 뿌리의 두께가 날개 끝의 두께보

다 두꺼워 구조 강도적으로 유리하다. 현재 제작되는 대부분의 비행기에 테이퍼 날개를 사용한다.

3) 타원 날개

타원 날개는 앞전과 뒷전이 곡선이고 전체적으로 타원형을 이룬다. 날개 길이 방향의 양력 계수의 분포가 일정하고 유도항력이 최소인 특징이 있다. 그러나 실속 후 회복 성능이 불량하고 제작이 어려워 최근에는 거의 사용하지 않는다.

4) 앞젖힘 날개

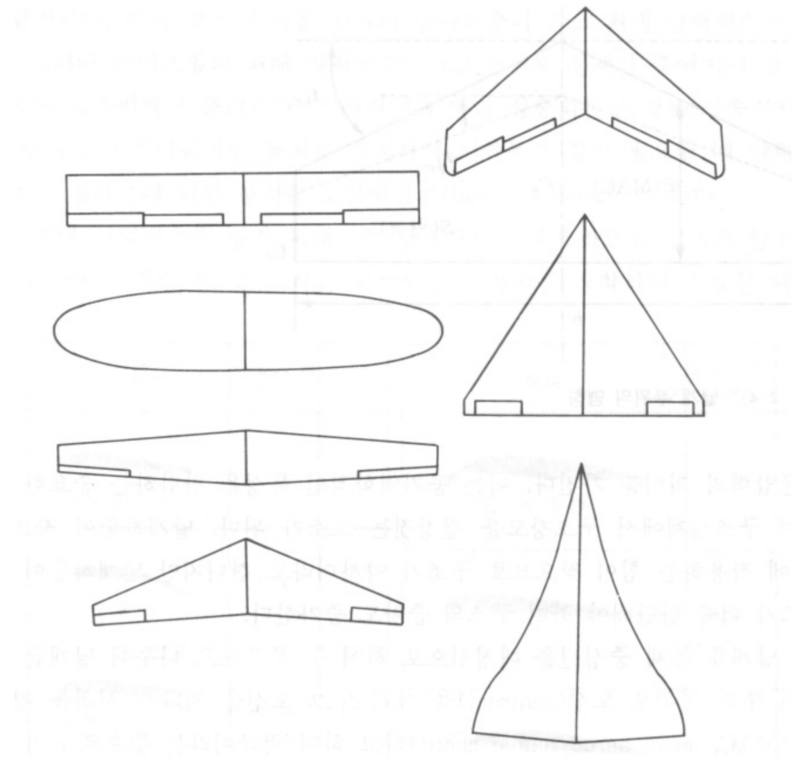
날개 전체가 날개 뿌리에서부터 날개 끝 까지 앞으로 젖혀진 날개이다. 앞젖힘 정도는 날개 시위의 25% 되는 점을 연결하는 선이 비행기 가로축에 대한 사이의 각도로 나타낸다. 앞젖힘 날개는 날개의 효율이 높고 날개 끝 실속이 발생하지 않는 장점이 있다.

5) 뒤젖힘 날개

날개 전체가 날개 뿌리에서부터 날개 끝 까지 뒤로 젖혀진 날개이다. 뒤젖힘 정도는 날개 시위의 25% 되는 점을 연결하는 선이 비행기 가로축에 대한 사이의 각도로 나타낸다. 뒤젖힘 날개는 충격파의 발생을 지연시키고, 고속 비행시의 저항을 감소시킬 수 있어 음속 가까운 속도로 비행하는 제트 여객기 등에 널리 사용된다. 실제적으로 뒤젖힘 날개에 테이퍼가 더해진 날개가 일반적으로 널리 사용되고 있다.

6) 삼각 날개

날개의 평면 모양이 삼각형인 날개이며 뒤젖힘 날개를 더 발전시킨 것이다. 뒤젖힘 날개는 뒤젖힘 각을 크게 하면 구조적으로 매우 불리하다. 이러한 단점을 해결한 것이 삼각 날개이다. 삼각 날개는 뒤젖힘 날개 비행기 보다 더욱 빠른 속도로 비행하는 초음속기에 적합한 날개 모양이다.

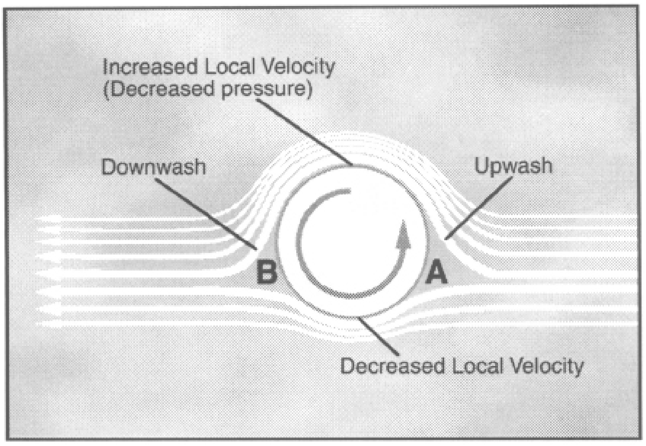


3. 날개의 공기력

가. 날개의 양력

날개에서 양력이 발생하는 이유는 날개 윗면에서는 유속이 빠르고 날개 아랫면에서는 유속이 느리기 때문이다. 이것을 표현하는 방법으로서 정상류의 유속을 V라 하고, 이것이 날개 윗면에서는 V+u, 밑면에서는 V-u가 된다고 하면 날개 주위의 흐름은 평행한 흐름과 순환 흐름이 합성된 것이라고 생각할 수 있다.

물체 주위에 와류가 생기면 그 물체에 양력이 발생하는데 이를 쿠타-쥬코브스키 양력이라 한다. 이와 같이 날개 주위에 발생하는 순환에 의해 양력이 생기는 현상을 이용하여 날개의 양력을 해석하는 것을 날개의 순환이론이라 한다.



날개가 정지상태에서 출발을 시작했을 때 날개 뒷전 부근에 와류가 발생하는데 이를 출발 와류라고 하고 움직이는 날개 주위에 출발와류와 강도는 동일하고 회전 방향이 정반대인 와류를 속박와류라 한다. 그리고 날개 끝 부분에 압력이 높은 아랫면에서 압력이 낮은 윗면 쪽으로 기류가 이동하면서 와류가 발생하는데 이를 날개 끝 와류라고 한다. 날개 끝 와류와 속박와류가 합성되어 말굽형 와류가 형성된다. 날개 끝 와류에 의해 주위의 공기가 이끌려 움직이는데 이 유속을 유도속도라 한다.

속박 와류와 날개 끝 와류에 의한 유도 속도로 인하여 수평비행시 밑으로 향하는 흐름이 발생하는데 이 흐름을 빗내리 흐름(down wash)이라 한다. 그리고 날개 앞쪽에서는 속박와류에 의해 빗올림 흐름이 발생하는데 이러한 흐름에 의해 날개 근처의 공기 흐름이 바뀌어 겉보기 받음각보다 작아진 유효 받음각이 형성된다. 감소된 받음각으로 인하여 양력의 일부가 항력으로 전환되는데 이를 유도항력(induced drag)라 한다.

나. 날개의 항력

점성 유체 속을 이동하는 물체의 표면과 점성 유체 사이에 점성 마찰력이 발생하고 흐름이 물체 표면에서 떨어져 하류 쪽으로 와류의 발생에 의하여 압력 항력이 발생한다. 마찰 항력과 압력 항력을 합쳐서 형상 항력이라 한다.

날개에는 형상 항력 외에 날개 끝 와류에 의한 빗내리 바람 때문에 발생하는 유도 항력도 작용한다. 그리고 초음속으로 비행시 발생하는 조파 항력도 작용한다.
유도 항력은 날개 끝 와류에 의해 발생하므로 날개 끝이 존재하는 모든 날개에 발생한다. 유도 항력을 구하기 위하여 유도각은 다음과 같이 정의된다.

$$\alpha_i = \frac{C_L}{\pi AR}$$

그리고 $C_{Di} = \alpha_i \ C_L$이므로

$$C_{Di} = \frac{C_L^2}{\pi AR} \text{ 이다.}$$

따라서 유도 항력 계수는 양력계수의 제곱에 비례하고 가로세로비에 반비례한다.

날개의 가로세로비가 클수록 같은 양력을 발생시키는데 필요한 받음각이 작으므로 날개의 효율이 좋아지고, 유도 항력이 감소하므로 유리하다. 그러나 지나치게 가로세로비를 크게 하면 기체 구조 강도에 무리가 가고 이를 해결하기 위하여 구조를 강하게 하면 무게가 무거워지는 문제가 발생하므로 활공기가 특수 비행기를 제외하고는 가로세로비를 크게 하지 않는다.

다. 날개의 실속성

실속(stall)이란, 비행기가 주어진 고도를 유지할 수 없는 현상을 말하며 이는 받음각이 실속각 보다 크다는 것을 의미한다. 받음각이 실속각보다 크게 되면 날개 윗면에서 공기 흐름이 표면을 따라 흐리지 못하고 떨어져 나가는 현상이 발생한다. 그러면 양력이 급격히 감소하고 항력이 급격히 증가하게 된다. 이와 같은 현상이 발생하는 받음각 영역을 실속 영역이라 한다. 실속각 부근에서 양력 계수 곡선을 보면 날개의 종류에 따라서 받음각이 증가함에 따라 최대 양력 계수가 급격히 감소하거나 서서히 감소하는 것이 있다. 양력 곡선의 이 같은 특징은 비행기기 실속했을 때의 운동 특성, 즉 실속 특성을 결정 짓는다.

통상적으로 두께가 얇고 앞전 반지름이 작은 고속기용 날개골일수록, 또는 가로세로비가 큰 날개일수록 실속특성이 불량하다. 그리고 실속은 날개의 평면 모양에 따라서 발생되는 특성이 다르다.

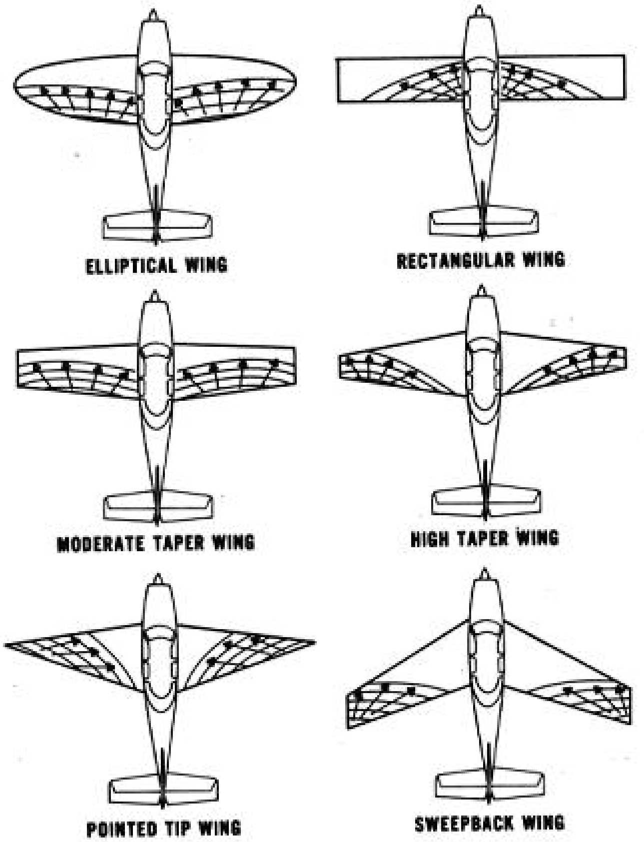


Figure 17-13 Wing Planforms (Exaggerated)

1) 직사각형 날개의 실속 특성

직사각형 날개는 날개 아랫면과 윗면에 생기는 압력 차이를 보상하는 내리흐름의 효과가 날개 끝부분에 집중되므로 날개 끝과 날개 뿌리의 붙임각이 같을 때에는 날개 끝부분에 작용하는 양력계수는 날개 뿌리 부근에 비해 작아진다. 이러한 이유 때문에 날개 끝 부분의 실속각이 날개 뿌리 부분의 실속각 보다 커진다. 따라서 직사각형 날개는 받음각이 클 때 날개 뿌리에서 먼저 실속이 발생하고 점차 날개 전체로 발전하는 특성이 있다.

2) 테이퍼형 날개의 실속 특성

테이퍼비가 작아질수록 날개 끝으로부터의 내리흐름은 압력 차이가 가장 심한 날개 뿌리 부근에 집중적으로 발생되므로, 직사각형 날개와 반대로 날개 끝의 실속각이 작아진다. 따라서 직사각형 날개는 받음각이 클 때 날개 끝에서 먼전 실속이 발생하고 점차 날개 뿌리 쪽으로 발전하는 특성이 있다. 테이퍼비가 0.5인 경우에는 타원형 날개와 비슷하게 날개 끝과 뿌리에서 거의 동시에 실속이 발생한다.

3) 타원형 날개

타원형 날개는 직사각형 날개와 테이퍼형 날개의 중간 형태이므로 내리흐름 분포고 날개 길이 전체에 걸쳐 거의 변화가 없어 실속도 균일하게 발생한다. 타원형 날개는 실속에 이를 때까지 국부적인 실속이 생기지 않는 장점이 있다. 그러나 일단 실속에 들어가면 날개 전체에 실속 영역이 확장되어 실속에서 회복되기가 어렵다.

라. 날개 끝 실속 방지법

비행기 날개에 날개 끝 실속이 발생하면 비행기 중심에서부터 거리가 먼 지역에서 실속에 의한 공기력의 변화가 발생하여 비행기의 가로 안정성이 좋지 않다. 또한 날개의 도움날개가 떨어진 흐름 속에 위치하게 되어 가로 조종을 어렵게 한다. 따라서 비행기를 설계할 때 날개 끝 실속이 발생하지 않도록 해야 한다. 날개 끝 실속을 방지하는 방법에는 다음과 같은 것들이 있다.

1) 날개의 테이퍼비를 너무 작게 하지 않는다.
2) 날개 끝으로 갈수록 받음각이 작아지도록 날개에 앞내림(wash out)을 주어서 날개 뿌리에서 먼저 실속이 발생되도록 한다. 이와 같은 방법을 기하학적 비틀림이라 한다.
3) 날개 끝부분에 두께비, 앞전반지름, 캠버 등이 큰 날개골을 사용하여 날개 뿌리보다 실속각을 크게 한다. 이것을 공력적 비틀림이라 한다.
4) 날개 뿌리의 앞전에 스트립(strip)을 붙여서 받음각이 클 때 강제로 날개 뿌리에서 먼저 실속이 발행하도록 한다.
5) 날개 끝부분의 날개 앞전 안쪽에 슬롯(slot)을 설치하여 날개 밑면을 통과하는 흐름을 강제로 윗면으로 흐르도록 유도하여 흐름의 떨어짐을 방지한다. 따라서 날개 끝에서 먼저 실속이 발생되는 것을 방지할 수 있다.

4. 날개의 공력 보조 장치

양력이나 항력을 필요에 따라 변화시키기 위해서 날개면이나 동체에 부착하는 장치를 일반적으로 공력 보조 장치라 한다. 이 중에서 양력을 증가시키는 장치를 고양력 장치라하고 항력을 증가시키는 장치를 고항력 장치라 한다.

가. 고양력 장치

비행기의 고속 성능을 향상시키기 위하여 날개와 기체에 작용하는 항력을 최소로 하기 위해 날개의 두께와 캠버가 작고, 날개 하중이 큰 날개를 많이 사용한다. 그러나 이러한 날개는 최대 양력계수가 작아서 실속 속도가 커진다. 즉, 저속 성능이나 감속성을 나쁘게 하는 결과를 초래하였다.

고속 성능과 저속 성능을 동시에 만족시키기 위하여 정상 비행시에는 항력이 작은 날개를 사용하고, 저속 비행시에는 특별한 방법을 사용하여 실속 속도를 감소시킬 필요가 있다. 비행기의 실속속도를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$V_S = \sqrt{\frac{2W}{\rho S C_{Lmax}}}$$

실속속도는 착륙 속도와 거의 비슷하므로 이 속도가 작을수록 이착륙 거리를 단축시킬 수 있다.

실속 속도를 작게 하려면 최대 양력 계수를 가능한 크게 할 필요가 있다. 이러한 용도로 사용하는 장치가 고양력 장치이다.

1) 뒷전 플랩

최대 양력 계수를 크게 하기 위하여 날개 뒷전을 아래로 구부려 캠버를 증가시키는 장치가 뒷전 플랩이다.

형태	C_{LMAX}의 증가%	각도
기본형	—	15°
평면 플랩	50%	12°
스플릿 플랩	60%	14°
잽플랩	90%	13°
슬롯 플랩	65%	16°
이중 슬롯 플랩	70%	18°
파울러 플랩	90%	15°

형태	C_{LMAX}의 증가%	각도
크뤼거 플랩	50%	25°
슬롯 날개	40%	20°
고정 슬랫	50%	20°
가동 슬랫	60%	22°
슬랫과 슬롯 플랩	75%	25°
슬랫과 이중 슬롯 파울러 플랩	120%	28°

가) 단순 플랩(plane flap) : 날개 뒷전을 단순히 밑으로 구부리는 것으로 소형 저속기에 많이 사용된다. 캠버를 증가시켜 고양력을 발생시키는 장치이며 큰 각도로 굽히면 흐름의 떨어짐이 발생하므로 각도가 제한된다.

나) 분할 플랩(split flap) : 날개 뒷전 밑면의 일부를 내림으로써 날개 윗면의 흐름을 강제로 빨아들여 흐름의 떨어짐을 지연시킨다. 구조는 간단하며, 날개의 일부가 나누어지는 형태이다. 단순 플랩보다 작동시 항력의 증가가 큰 특징이 있다.

다) 간격 플랩(slot flap) : 플랩을 내렸을 때 플랩의 앞에 공기 통로가 형성되어 이 통로를 통하여 날개 밑면의 공기 흐름이 윗면으로 공급되어 흐름의 떨어짐을 방지하여 큰 각도로 플랩을 작동시킬 수 있어 최대 양력 계수도 더 커진다. 간격 플랩은 캠버 증가, 경계층 제어 효과에 의해 최대 양력 계수를 더 증가시킬 수 있는 고양력 장치이다.

라) 파울러 플랩(fowler flap) : 플랩을 내리면 날개 뒷전 밑면에 위치한 플랩이 뒤쪽으로 밀려 나가면서 날개 뒷전과 플랩 앞전 사이에 공기 통로를 형성하고 플랩이 아래로 구부러져 고양력을 발생시킨다. 파울러 플랩은 캠버 증가와 경계층 제어 효과 및 날개 면적 증가의 효과로 가장 성능이 우수한 뒷전 플랩이다.

2) 앞전 플랩

제트기 등에 사용되는 고속용 날개골은 두께도 얇고 앞전 반지름도 작으므로 큰 받음각을 취할 수 없어 최대 양력 계수도 상당히 작다. 이러한 날개골은 뒷전 플랩 만으로 실속속도를 충분히 작게 할 수 없으므로 강력한 고양력 장치가 필요하게 된다. 이러한 요구에 의해 뒷전플랩과 함께 추가로 사용할 수 있는 장치가 앞전 플랩이다.

가) 슬롯과 슬랫 : 슬롯과 슬랫은 날개 앞전의 약간 안쪽 밑면에서 윗면으로 틈을 만들어 주어 큰 받음각일 때 밑면의 공기 흐름을 윗면으로 유도하여 흐름의 떨어짐을 지연시키는 것이다. 슬롯과 슬랫은 고정식과 가동식이 있고 가동식에는 수동식과 자동식이 있다. 슬롯과 슬랫은 실속각을 증가시키고 최대 양력 계수를 증가시키는 효과를 가지고 있다.

나) 크루거 플랩 : 앞전 플랩으로 많이 사용되는 형태이다. 날개 밑면에 접혀서 날개 일부를 구성하고 있다가 가동시키면 앞쪽으로 꺽여 구부러져 앞전반지름을 증가시키는 효과를 발생시켜 고양력을 발생시킨다. 이 형식은 공기 역학적으로는 슬랫 등과 같은 효과를 가지지만, 기구적으로 복잡하고, 작동장치가 커서 소형 항공기에는 별로 사용하지 않고 대형 제트게에서도 날개 두께가 두꺼운 날개 뿌리 부분에 사용되는 경우가 많다.

다) 드루프 앞전 : 날개 앞전 부분이 밑으로 꺽여져 굽혀지기 때문에 붙여진 이름이다. 앞전 반지름과 캠버 증가의 효과로 고양력을 발생시키는 장치이다.

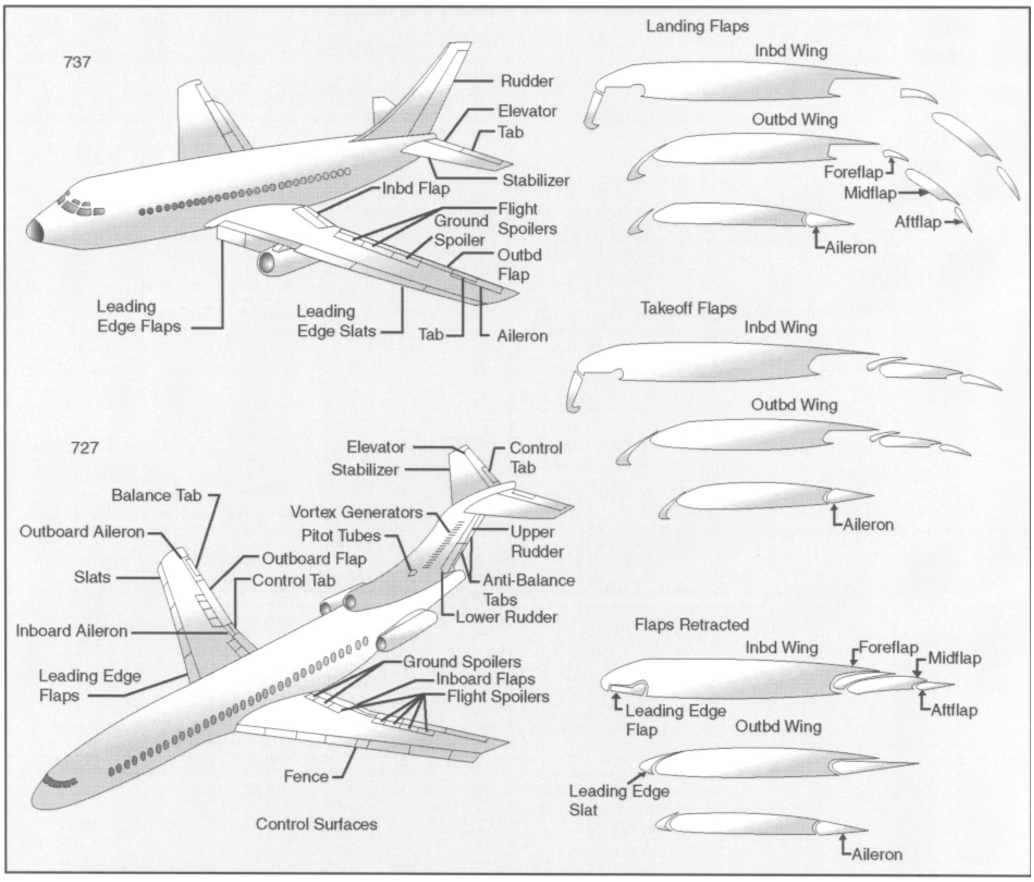
이와 같은 앞전 플랩은 받음각이 커도 실속을 지연시키는 효과를 가져오지만 단독으로 사용하면 실속각이 지나치게 커져서 이 착륙시 조종사의 시야가 불량하고 착륙장치의 길이가 길어지기 때문에 단독으로 사용하지 않고 뒷전 플랩과 함께 사용한다.

3) 경계층 제어장치

최대 양력 계수를 증가시키는 방법으로서 기본 날개골을 변형시킬 뿐만 아니라 받음각이 클 때 흐름의 떨어짐을 방지하여 고양력을 발생시키는 장치이다. 경계층 제어 장치에는 날개 윗면의 공기 흐름을 강제적으로 빨아들여 흐름의 가속을 촉진시키고 흐름의 떨어짐을 방지하여 고양력을 발생시키는 빨아들임 방식과 고압의 공기를 날개면 뒤쪽으로 분사하여 경계층을 불어 날리는 방식인

불어 날림 방식이 있다.

일반적으로 불어 날림 방식이 제트엔진의 압축기에서 블리드된 공기를 사용할 수 있어 실용적이다. 특히 플랩을 내렸을 때 플랩 윗면에 이 고속의 공기를 불어 주면 효과가 현저하게 커진다. 보통의 고양력 장치가 최대 양력 계수를 2~3정도 발생시킬 수 있는데 비하여 경계층 제어장치는 최대 양력 계수를 5~6정도 까지 증가시킬 수 있다. 그리고 경계층 제어 장치는 양력의 증가는 물론이고, 항력을 감소시키는 효과를 가지고 있어 성능은 매우 우수하나 장치가 복잡하여 기존의 고양력 장치로 충분한 실속 속도를 구할 수 없는 전투기 등에만 사용된다.

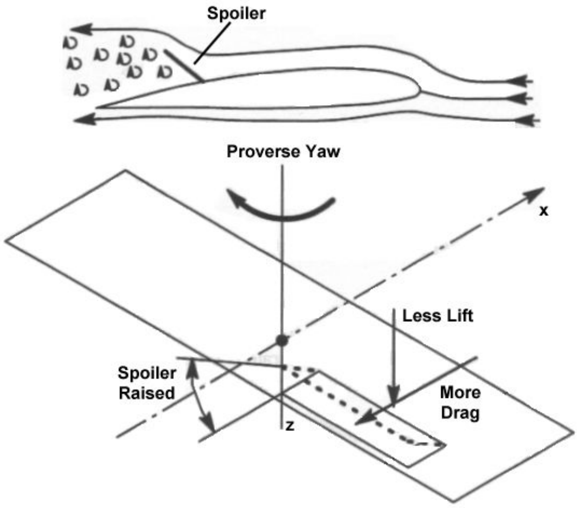


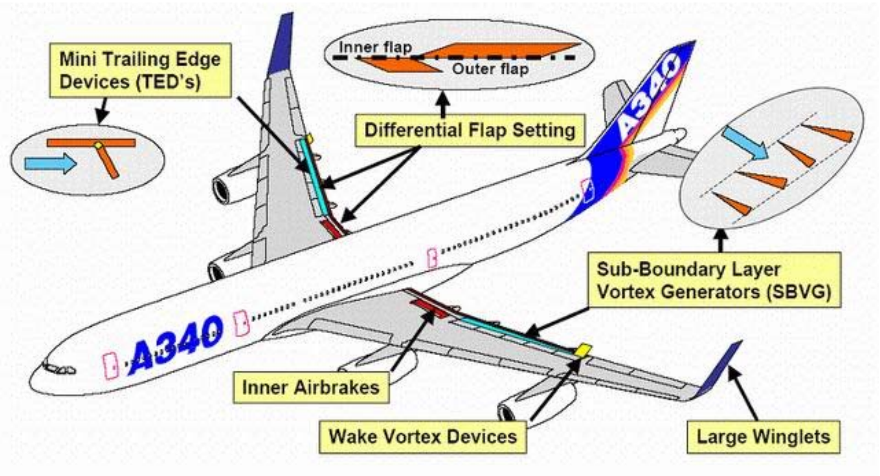
나. 고항력 장치

플랩을 사용하면 항력을 증가시킬 수 있지만, 고속 비행시에 이를 사용하면 기체 강도면에 무리가 생긴다. 특히 제트기의 경우에는 항력을 아주 작게 설계하였기 때문에 단시간에 감속시키거나 하강 또는 급강하시에 가속하지 않도록 할 경우에 플랩을 사용하는 것은 적합하지 않다. 이 같은 단점을 보완하기 위하여 항력을 증가시킬 목적으로 사용되는 장치가 고항력 장치이다.

1) 에어 브레이크(air brake)

에어 브레이크는 날개의 중앙에 부착한 일종의 평판이다. 이를 작동시키면 날개 윗면이나 아랫면에서 펼쳐져서 흐름의 떨어짐을 강제로 발생시키고 따라서 양력이 감소하고 항력이 증가한다. 기체에 따라서 동체 뒤쪽에 붙여 사용하기도 한다.



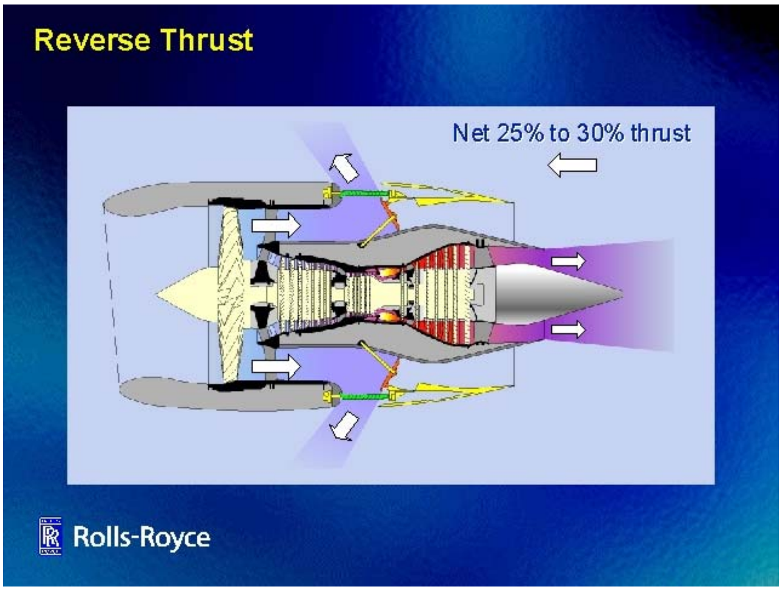


대형 제트기에 있어서 고속 비행 중에 좌우 날개에 대칭적으로 스포일러를 펼치면 에어 브레이크의 기능을 가지게 되고, 보조 날개와 연동하여 좌우 비대칭적인 작동을 시키면 보조 날개의 역할을 보조하는 기능이 된다. 이를 공중 스포일러라고 한다. 그리고 착륙 접지 후에 작동시켜 양력을 감소시킴으로써 바퀴의 제동력을 향상시키고 항력을 증가시키기 위하여 사용하는 스포일러를 지상스포일러라고 한다.

2) 역추진 장치

제트 기관에서 기관의 배기가스를 막아 역류시켜 추력의 방향을 반대로 바꾸는 장치를 역추진 장치라고 한다. 역추진 장치를 사용하면 착륙활주거리를 줄일 수 있다.

프로펠러기에서는 프로펠러의 피치를 역으로 바꾸어 역추력을 발생시키는 것도 있다.



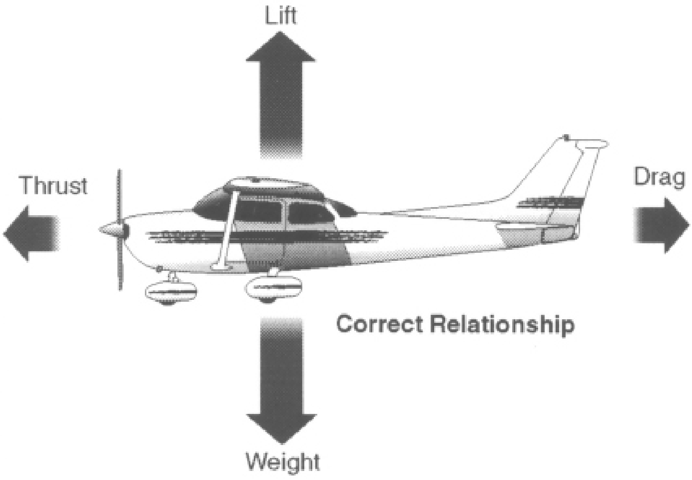
3) 드래그 슈트

이것은 일종의 낙하산과 같은 것으로 기체 뒷부분에서 이것을 펼쳐서 속도를 감소시키는 장치이다. 주로 착륙거리를 단축시킬 때 사용하며 비행 중 스핀 발생시 탈출하기 위해서 사용하기도 한다. 그러나 측풍이 강할 때 드래그 슈트를 사용하면 비행 방향이 급격히 변화시키는 위험성이 있으니 주의해야 한다.

제9장 비행성능

1. 등속수평비행 성능

항공기의 가장 간단한 비행 형태는 일정한 고도와 속도로 비행하는 등속수평비행이다. 이 때는 항공기에 작용하는 힘들이 서로 평형을 이루어 추력 T 와 항력 D가 서로 같고 무게 W와 양력 L 이 서로 같다.



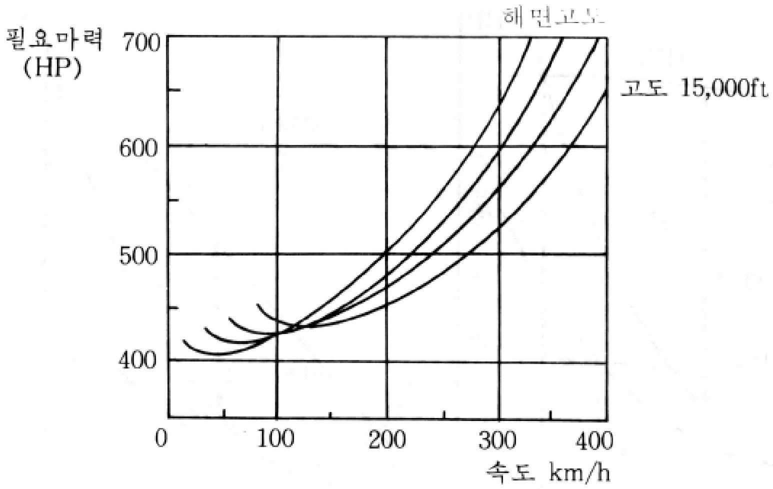
등속수평비행에서 정적성능을 해석하려면 필요마력과 이용마력을 이해해야 한다. 마력은 힘이 작용하여 시간당 하는 일의 양을 나타내는데, 힘에 의한 일의 양은 힘에 거리를 곱하면 얻어진다. 한편 마력은 일률이므로 힘에 속도를 곱하고 단위 환산하면 계산된다.

항공기가 일정한 속도를 유지하며 공중을 날기 위해서는 항력을 이겨내기 위한 추력이 필요하다. 이와 같이 어떤 속도를 유지하기 위해 필요한 추력을 그 속도에서의 필요추력이라 한다. 필요추력 이상의 힘이 작용하지 않으면 그 비행 상태를 지속적으로 유지할 수 없다. 필요추력은 속도에 따라 달라지는데 만약 어떤 비행속도를 유지하기 원하더라도 엔진에서 필요추력 만큼의 추력이 이루어지지 않는다면 그 속도를 유지할 수 없다. 따라서 필요추력과 엔진에서 낼 수 있는 추력을 서로 비교함으로써 성능을 결정지을 수 있다.

분사기관을 장착한 항공기에서는 엔진의 추력이 속도에 따라 거의 일정하게 유지되므로 필요추력과 비교하기 쉽다. 그러나 왕복기관이나 터보축과 같이 출력이 추력으로 직접 나오지 않는 엔진을 장착한 항공기의 경우는 속도에 따라 마력이 일정하므로 필요추력을 필요마력으로 환산하여 비교하는 것이 편리하다. 필요마력은 필요추력에 전진속도를 곱하고 단위환산을 하여 얻어진다.

$$P_r = \frac{DV}{75}$$

필요마력은 실속속도 이상에서 속도의 3승에 비례하며 밀도에 따라서도 변하므로 고도에 따라 달라진다. 특정 고도에서도 필요마력이 최소가 되는 속도가 존재하는데 이 속도 보다 더 작을 때는 양력이 커야하고 양력에 대한 항력의 비율, 즉 양항비가 작아지는 속도가 되기 때문에 속도는 감소하지만 오히려 필요마력이 증가하는 현상이 생긴다. 필요마력이 최소가 되는 속도는 $C_L^{3/2}/C_d$가 최대일 때이다. 즉 필요마력을 최소로 줄이려면 $\sqrt{\frac{C_D^2}{C_L^3}}$이 최소인 받음각으로 비행하면 된다.



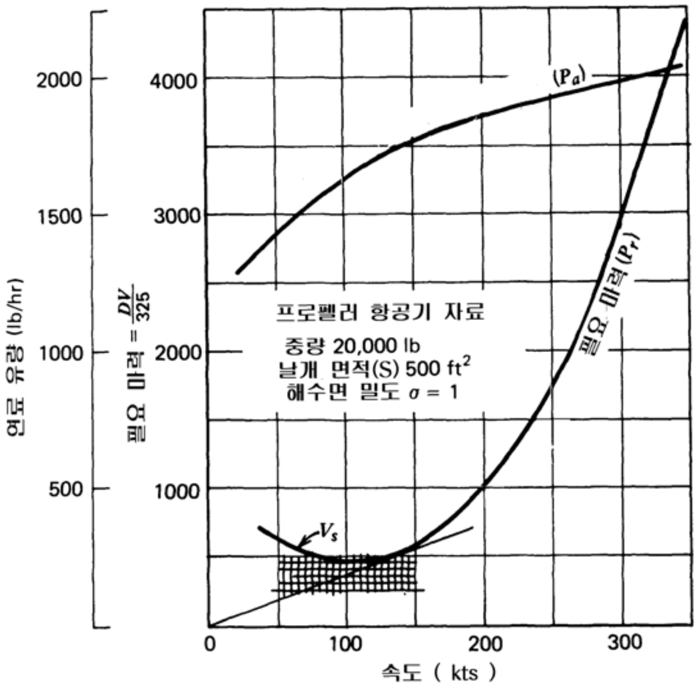
항공기에 장착된 동력장치의 출력이 전부 추진력으로 사용되지는 않는다. 제트 항공기의 경우에는 흡입구나 덕트를 지나면서 생기는 손실도 있으며 프로펠러 항공기는 프로펠러 효율도 있다. 또한 동력축에 같이 연결된 발전기나 압축기 등에서 소모되는 동력도 있기 때문이다. 따라서, 추진력으로서 비행에 이용될 수 있는 기관의 동력을 이용마력이라고 하며 기관에 따라 달라진다.

프로펠러 비행기의 이용마력 : $P_a = \eta_p \times bHP$

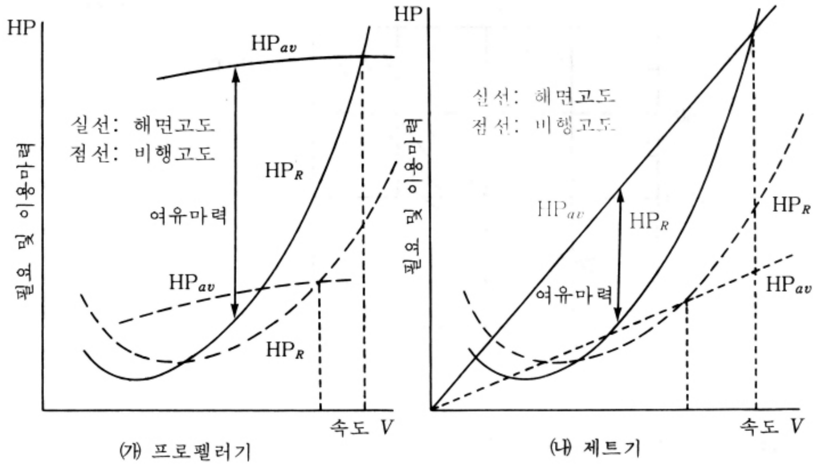
제트비행기의 이용마력 : $P_a = \frac{TV}{75}$ 이다.

왕복기관의 특성은 축의 마력이 거의 일정한 반면 제트 엔진은 추력이 거의 일정하다. 따라서 왕복기관을 장착한 항공기의 이용마력은 속도에 따라 거의 일정한 그래프로 나타난다. 제트 엔진을 장착한 항공기는 추력이 속도에 따라 일정하므로 이용마력으로 환산하면 속도가 곱해져 속도에 따라 직선으로 증가하는 그래프로 나타난다. 왕복기관이건 제트 엔진이건 고도가 증가하면 밀도가 떨어지고 흡입구의 공기량이 줄어들기 때문에 모두 출력이 저하한다.

비행 속도에서 필요마력과 이용마력의 차를 잉여마력 또는 여유마력이라 한다. 여유마력이 있으면 현재의 비행 상태에서 더 가속할 수도 있고, 고도를 더 높일 수 있으므로 그래프에서 최대 비행성능을 구할 수 있다.



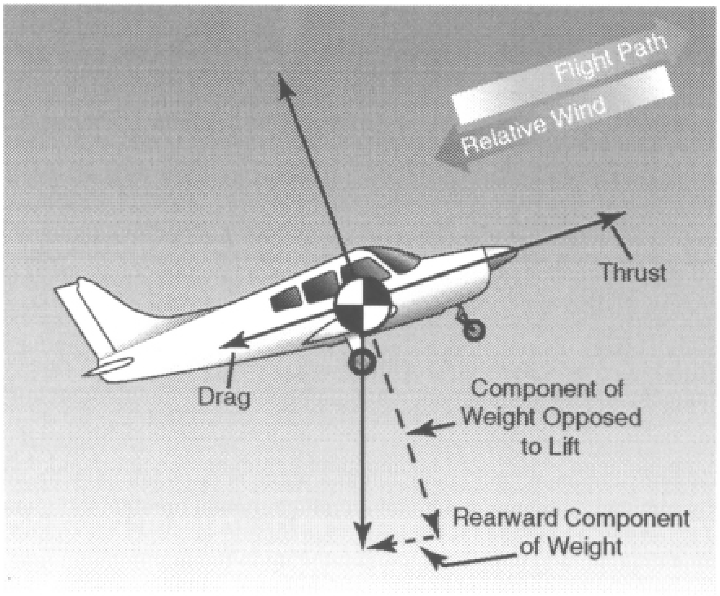
등속수평비행에서의 최대속도는 이용마력 곡선과 필요마력 곡선의 교점을 이루는 속도가 된다. 이 속도보다 빠른 속도에서는 여유마력이 없으므로 더 이상의 가속을 할 수 없어 최대속도가 이루어진다. 고도가 높아짐에 따라 최대속도는 감소한다.

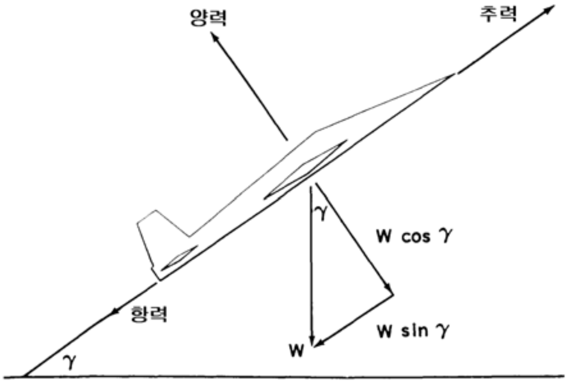


2. 상승비행

상승비행을 할 때 항공기는 위치 에너지를 얻게 되는데 이 위치 에너지는 여유마력에 의해 얻는다. 상승비행에서의 비행성능은 최대 상승률, 상승각, 상승한도 등이 있다.

상승비행을 할 때는 추력은 항력뿐만 아니라 상승각에 따른 중력 성분도 함께 극복해야 한다. 그림에서 γ는 항공기의 비행 경로각으로 속도 벡터와 수평면이 이루는 각도다. 상승률(R/C, rate of climb)은 속도의 수직성분을 말한다. 관습상 상승률은 분당 상승거리로 나타내어 ft/min 의 단위를 사용한다.





상승시 힘의 평형식은

$$T = D + W\sin\gamma$$

이므로 상승시에는 수평 비행시 보다 기관의 출력을 증가시켜야 한다.

한편 수평 가속을 하지 않을 때의 상승률은 여유마력을 항공기 중량으로 나눈 값과 같아진다. 여유마력과 필요마력의 차이가 있으면 언제나 그 비행 고도보다 더 높은 고도로 상승할 수 있다. 고도에 따라 여유마력은 차이가 나므로 해면고도에서 여유마력이 가장 큰 속도에서 항공기의 상승률은 최대가 되며 이 때의 비행속도를 최대 상승속도라 한다.

$$RC = \frac{75(P_a - P_r)}{W}$$

상승비행에서 상승각은 θ인데 수평속도 성분과 수직속도, 즉 상승속도와의 사이각과, 항공기의 상승각은 여유마력이 클수록 커진다.

비행 고도가 증가하면 공기 밀도가 감소하고 기관의 출력이 저하되어 상승 성능이 현저히 영향을 받는다. 고도가 증가하면 속도와 필요마력이 영향을 받는데 그 관계식은 다음과 같다.

$$V = V_0\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$$

$$P_r = P_{ro}\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}}$$

따라서 비행 고도가 증가하면 비행속도와 필요마력이 증가한다.

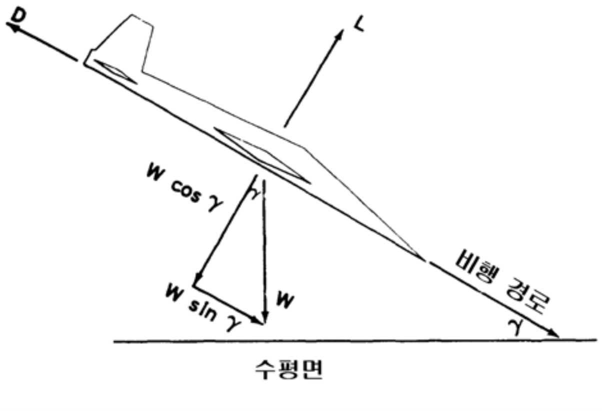
비행고도가 높아지면 공기 밀도가 떨어지면서 이용마력이 감소하고 필요마력이 증가하여 여유마력도 감소한다. 여유마력이 점차 감소하여 결국 0이 되면 상승률도 0 이 되는데 이 고도를 절대 상승한도라고 부른다. 그러나 절대상승한도에 도달하려면 이론적으로 무한대의 시간이 걸리므로 항공기의 성능을 절대상승한도로 표시하면 실제로 측정할 수 없으므로 확인하는 방법이 없다. 실제로는 측정 가능한 상승 한도를 정하여 사용하는데 상승률이 0.5 m/s(100ft/min)가 되는 고도를 실용상승한도라 하며 상승률이 2.5m/s(500ft/min)가 되는 고도를 운용상승한도라 한다.

상승한도를 필요마력과 이용마력 곡선으로 구하려면 여러 가지 고도에 대한 항공기의 여유마력을 구하고 이 여유마력을 중량으로 나누면 고도에 따른 상승률이 되는데 이 상승률을 그래프로 그리고 이 곡선에서 상승한도의 정의와 같아지는 고도를 찾으면 실용상승한도와 운용 상승 한도를 구할 수 있다.

3. 활공 비행

항공기가 활주로에 착륙하거나 불시착하기 위해 고도를 낮추되 기관을 작동하지 않고 비행하는 상태를 무동력 하강비행 또는 활공(gliding)이라고 하고 기관을 작동 하는 경우를 동력 하강비행이라 한다. 일반적으로 활공할 때는 하강속도가 작은 것이 바람직하다.

활공할 때 항공기에 작용하는 힘을 나타낼 수 있는데 θ는 비행 경로각을 나타내는데 하강하는 경우에는 음의 값이 된다. 비행경로각과 부호를 반대로 붙여 활공각이라고 부르기도 한다. 하강하고 있으므로 양력이 수직에서 앞으로 기울어지며 비행경로 방향의 힘이 평형을 이루므로 하강속도가 커진다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 하강속도는 양항비에 반비례한다. 따라서 양항비가 클수록 하강속도가 느려진다.



활공시 힘의 평형식을 나타내면

$$D = W\sin\gamma$$
$$L = W\sin\gamma$$

이다. 이 식을 정리하면 $\tan\gamma = \dfrac{C_D}{C_L}$이 된다. 따라서 양항비가 크면 활공각이 작아져서 활공성능이 좋아진다는 것을 알 수 있다.

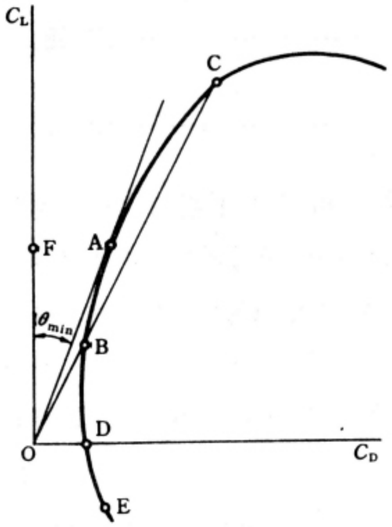
그런데 활공거리와 활공고도의 관계를 삼각함수로 표현하면

$$\tan\gamma = \frac{h}{l}$$ 이므로

활공비= $\dfrac{l}{h} = \dfrac{C_L}{C_D}$ = 양항비가 된다. 따라서 양항비가 크면 활공성능이 좋아짐을 알 수 있다.

같은 에어포일이라도 날개를 만들 때 가로세로비가 크면 유도항력의 증가율이 작으므로 양항비가 커진다. 특히 무동력 활공을 주로 하도록 설계된 활공기(glider)는 가로세로비가 20이 넘는 경우가 많다. 그 때문에 활공기의 하강속도는 아주 느려 상승기류가 있을 때는 고도가 높아지므로 무동력인데도 불구하고 몇 시간씩 공중에 머물 수 있다. 반면에 고성능 전투기는 가로세로비가 작기 때문에 무동력 활공의 하강속도가 너무 빨라 동력 장치가 고장 나면 안전한 무동력 활공이 어렵다.

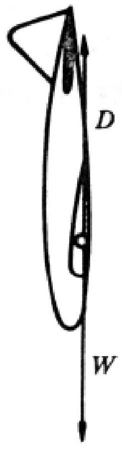
양항극 곡선에서 비행기의 받음각에 따라 활공자세가 어떻게 변화는지를 살펴보면 원점 O로부터 극곡선에 접선을 그어서 만나는 접점 A가 그 비행기의 양항비를 나타내고 수직축과 직선 OA가 이루는 각도 θ는 최소 활공각이 된다.



활공각이 증가하여 90°인 상태를 급강하라 한다. 급강하시에는 양력이 0이 되고 무게와 항력이 평형을 이룰 때까지 가속한 후 등속으로 강하한다. 이 때의 강하속도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_T = \sqrt{\frac{2W}{\rho C_D S}}$$

이 강하속도를 종극속도(terminal velocity)라 한다.



4. 항속성능

적재한 연료를 사용하여 비행할 수 있는 거리를 항속거리(range)라고 하며, 한번의 연료로 비행할 수 있는 시간을 항속시간이라 한다. 항공기가 연료를 가득 싣고 출발하여 비행속도, 엔진 출력, 자세 및 고도 등을 가장 적절하게 취하여 비행할 수 있는 최대의 비행거리를 최대항속거리라 하며, 최대의 비행시간을 최대 항속시간이라 한다.

항공기가 연료를 가득 싣고 이륙할 때 중량이 가장 무거우며 비행하면서 연료를 소모하기 때문에 시간이 경과함에 따라 가벼워진다. 중량이 변화하면 항공기의 양력이 변화하고 양력이 변화하면 아울러 항력도 변화한다. 또한 양력의 변화율은 중력의 변화에 가장 적합한 기관출력으로 비행하여

엔진의 연료소모율을 최소로 하는 고도로 비행하여 하며 연료 소모량에 비해서 가장 멀리, 가장 오래 비행할 수 있는 속도와 비행자세로 비행해야 한다. 그렇기 때문에 항공기의 형태, 기관의 연료소모율 및 비행 방법 등을 계획하여 최적의 방법을 선택해서 비행해야 한다.

최소 연료 소모율이 이루어지는 조건이 추진 기관에 따라 달라지므로 최대 항속거리를 비행하는 조건은 프로펠러기와 제트기가 서로 다르다.

프로펠러기의 연료소모율은 기관의 출력에 따라 달라진다. 비연료소모율(specific fuel consumption)은 단위 동력이 단위 시간당 소모하는 연료의 무게로 정의한다. 이렇게 정의한 비연료소모율에 그 때 그 때의 기관동력을 곱하면 단위시간에 대한 중량감소율, 즉 연료소모율이 된다. 연료소모율의 역수를 무게에 대하여 적분하면 항속시간이 구해진다. 또한 연료소모율의 역수에 속도를 곱하여 무게에 대해 적분하면 항속거리가 구해진다.

프로펠러기는 기관동력이 마력으로 표시되므로 비연료소모율은 마력에 대한 양으로 표시된다. 또한 프로펠러기의 필요마력은 항력과 속도의 곱으로 나타난다. 따라서 프로펠러기가 최대 항속거리를 갖기 위해서는 최대 양항비로 비행하며 연료소모율을 최소로 해야 하고 비행중의 추진효율을 크게 유지해야 한다. 당연한 사실이지만 연료가 비어 있을 때의 무게와 연료를 가득 채운 무게비가 커야 항속거리가 길어진다.

프로펠러기의 항속거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = \frac{540\eta}{C}\frac{C_L}{C_D}\frac{1-\frac{W_2}{W_1}}{1+\frac{W_2}{W_1}} \quad \text{(km)}$$

따라서 프로펠러기의 항속거리를 최대로 하려면 양항비가 최대인 받음각으로 비행하면 된다.

제트기에서의 연료소모율은 추력, 비행속도, 밀도 및 대기온도 등에 따라 달라진다. 제트기의 비연료소모율은 단위 추력이 단위 시간당 소모하는 연료의 무게로 정의한다. 프로펠러기와 마찬가지로 비연료소모율에 추력을 곱하면 연료소모율이 구해지고 적분을 통하여 항속거리와 항속시간을 구한다. 이렇게 계산한 결과는 프로펠러기와 약간 다르게 나타난다.

제트기가 항속거리를 최대로 하는 조건은 양항비가 아니고 양력의 제곱근을 항력으로 나눈 비율이 최대가 되도록 비행해야 하며 연료소모율이 최소라야 한다. 또한 프로펠러기의 경우는 밀도와 항속거리가 무관하겠지만 제트기의 경우는 밀도가 작아야 즉 높은 고도로 비행해야 항속거리가 길어진다.

프로펠러기는 무게비가 커야 항속거리가 길어지는데 제트기의 경우는 연료가 가득 차 있을 때의 무게와 연료가 비어있을 때의 무게 차이가 커야 항속거리가 길어진다.

제트기의 항속거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = 3.6\frac{C_L^{1/2}}{C_D}\sqrt{\frac{2W}{\rho S}\frac{B}{C_t W}}\ (\text{km})$$

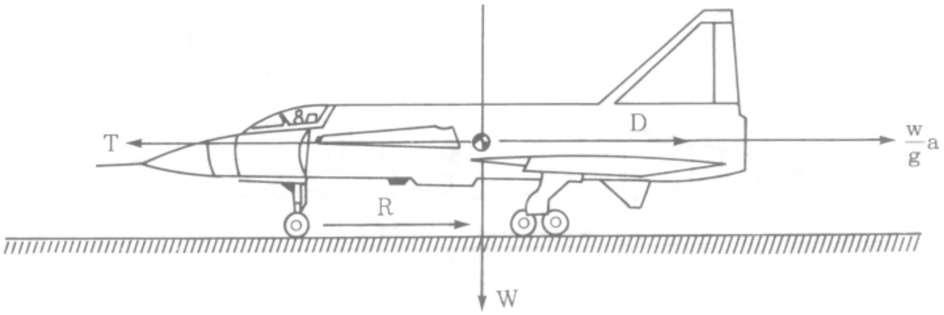
따라서 제트기의 항속거리를 최대로 하려면 $\frac{\sqrt{C_L}}{C_D}$이 최대인 받음각으로 비행하면 된다.

5. 이착륙비행

이착륙비행은 순항이나 정상선회와 달리 힘이 평형상태에 있지 않고 가속도가 작용하는 비행 상태이다. 따라서 이착륙 성능을 특수 성능으로 분류한다.

항공기가 이륙하기 위해서는 정지상태에서 가속하여 점점 속도가 빨라져 이륙할 수 있는 속도 이상으로 가속되면 지상 활주를 마치고 공중에 뜨기 시작한다. 그러나 항공기 바퀴가 완전히 땅에서 떨어졌다 해도 안전한 상승비행을 시작하기 전까지 필요한 고도를 취해야 한다. 그래서 이륙거리는 지상활주 거리와 상승 비행할 수 있는 고도를 취하기까지 비행한 지상거리인 상승거리를 합하여 정의한다.

이륙거리 = 지상 활주 거리 + 상승거리



안전비행고도를 취하기까지의 지상거리는 장착된 동력장치의 종류에 따라 서로 다르게 정하고 있는데 제트기의 경우 10.7m(35ft)이며 프로펠러기의 경우는 15m(50ft)이다. 이는 동력장치의 종류에 따라 여유마력이 다르기 때문이다.

이륙시 항공기에 작용하는 수평력은 추력, 항력, 및 항공기의 타이어와 활주로 사이에 작용하는 마찰력 등이다. 추력과 항력은 속도에 따라 달라지며 마찰력은 수직력에 따라 달라진다. 수직력은 중력에 의한 자중에서 양력을 뺀 값인데 속도가 증가하여 양력이 증가하면 수직력이 줄어 마찰력도 점점 작아진다.

이륙 활주 중에 속도가 증가하는 비율이 가속도인데 수평력과 질량에 따라 달라진다.

만일, 이륙할 때 받음각이 일정하고 무게가 일정하다면 양력계수와 항력계수가 변하지 않으므로 양력과 항력의 속도의 제곱에 비례한다. 따라서 활주하면서 속도가 빨라질수록 양력이 커지므로 마찰력은 줄어드는 대신에 공기역학적 항력이 증가한다. 항공기에 작용하는 힘을 질량으로 나누면 항

공기에 작용하는 가속도가 된다. 이 가속도를 적분하면 지상 활주거리를 구할 수 있다.

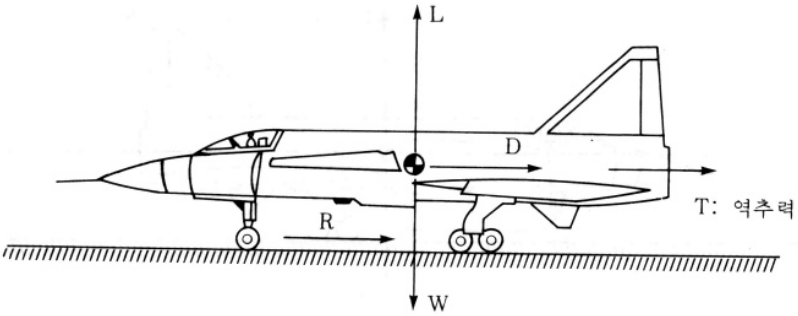
$$S = \frac{W}{2g}\frac{V^2}{T-D-F}$$

이륙지상 활주거리는 중량과 지상 활주 최종속도의 자승에 비례하여 길어지며 평균 가속력에 반비례한다. 중량이 같은 항공기에서 활주거리를 짧게 하기 위해서는 지상 활주 최종속도를 작게 하고 가속력을 크게 해야 한다. 일반적으로 지상 활주에서의 최종속도는 실속속도의 1.2배 정도이므로 실속속도를 작게 해야 한다. 한편 실속 속도를 작게 하려면 최대 양력계수가 커야 하므로 중량이 무거운 대형 항공기의 경우에는 활주로 길이가 짧아 이착륙을 하지 못하는 수가 많아지므로 복잡하더라도 효율적인 플랩을 장착해야 한다.

군용 수송기는 이륙거리를 특별히 짧게 만들 필요가 있으므로 이륙할 때만 사용하는 제트 엔진을 장착한 항공기가 있는데 이런 장치를 JATO(jet assisted take off) 라 한다. 때로는 로켓 엔진을 통하여 활주거리를 짧게 하는 수도 있는데 이런 장치를 RATO(rocket assisted take off)라 한다. 두 가지 모두 이륙에서 가속력을 크게 하려는 장치들이다.

항공기가 이륙할 때 정풍을 받으면 이륙거리와 이륙시간이 짧아지고, 배풍을 받으면 반대로 이륙거리와 이륙시간이 길어진다. 왜냐하면 이륙되는 최소 속도는 바람과의 상대속도이기 때문에 마주 바람이 불어오면 지상 활주거리가 짧아도 이륙할 수 있는 속도에 이르게 된다.

항공기가 착륙 진입하여 정해진 최소 고도를 지나는 위치에서부터 착지하고 정지할 때까지 지나간 전체 거리를 착륙거리라 한다. 여기서 정해진 최소고도는 이륙거리를 정의할 때와 마찬가지로 제트기의 경우에는 10.7m이며 프로펠러기는 15m이다.



착륙에서 항공기에 작용하는 힘은 브레이크를 사용하므로 마찰력이 커지고 추력은 작용하지 않거나 역방향으로 작용한다. 착륙할 때의 지상 활주거리를 구하는 방법은 이륙할 때와 마찬가지로 가속도를 구하고 적분한다.

$$S = \frac{W}{2g}\frac{V^2}{D+\mu W}$$

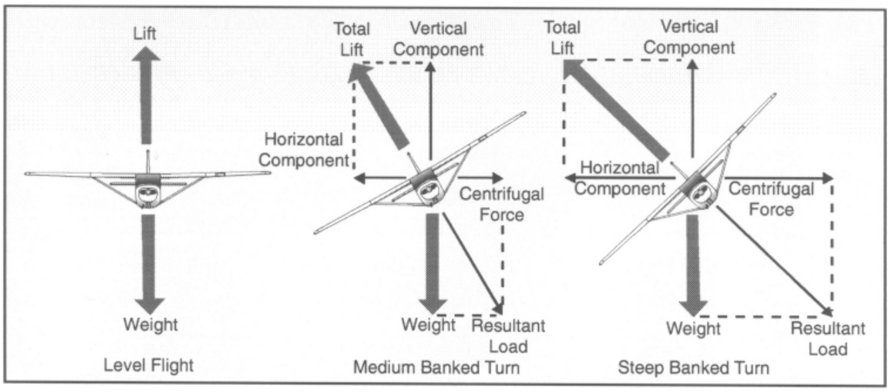
활주로에 접지할 때의 접지 속도는 실속속도의 1.3배 정도이다.

착륙에서의 활주거리를 짧게 하기 위해서는 접지속도를 작게 하고 역추진 장치나 에어 브레이크를 사용하며 접지 속도를 작게 하기 위하여 고양력 장치를 사용한다.

항공기가 착륙할 때 정풍을 받으면 활주거리와 활주시간이 짧아지고 배풍을 받으면 활주거리와 시간이 길어진다.

6. 선회비행

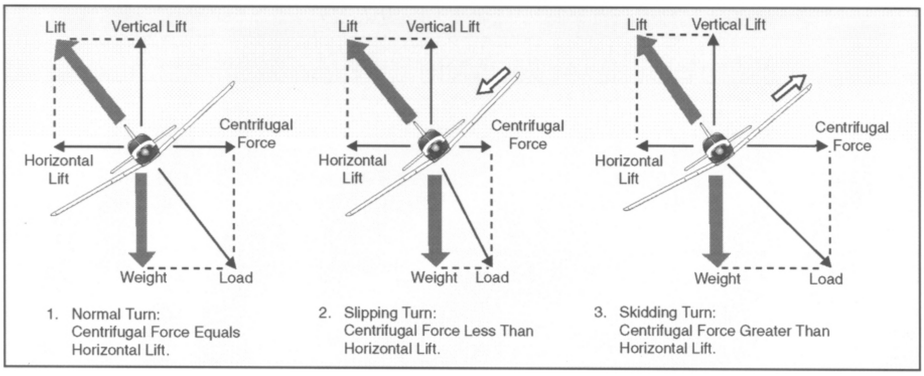
항공기가 지속적으로 비행방향을 바꾸는 선회비행에 있어서 고도를 일정하게 유지하고 비행하는 수평선회(level turn)가 기본형태이며 옆으로 미끄러지지 않고 무게 중심에 작용하는 힘이 평형을 이루고 비행속도의 변화가 없는 상태를 정상 선회라고 부른다.



항공기가 선회하면 방향이 계속 바뀌므로 그 경로는 원이 된다. 경로가 오른 쪽으로 돌아가면 우선회라고 하고 왼쪽으로 돌아가면 좌선회라 한다. 한편 경로가 그리는 원의 반경을 선회반경이라 하는데 일정한 선회반경을 유지하기 위해서는 원심력과 구심력이 서로 평형을 이루어야 하며 고도를 유지하기 위해서 구심력과 중력의 합과 같은 양의 양력이 있어야 한다.

항공기가 경사각(bank angle) ϕ을 가지고 선회하고 있는 상태에서 CF는 원심력을 나타내며 원심력과 반대 방향으로 구심력이 작용해야 하는데 그 힘은 양력의 수평성분으로 얻어진다.

정상선회를 하려면 원심력과 양력의 수평성분이 같아야 하는데 만약 경사각과 양력의 관계가 평형에 이르지 못하면 원심력이 양력의 수평성분인 구심력보다 더 크면 스키드(skid)가 일어난다. 스키드가 일어나면 항공기는 선회반경 바깥으로 밀려난다. 반대로 구심력이 원심력보다 더 크면 슬립(slip)이 일어난다. 항공기는 수직면에 대하여 대칭이기 때문에 바람이 항공기의 정면에서 불어오는 것이 바람직하다. 스키드나 슬립이 일어나면 항공기의 정면으로 바람이 불어오지 않고 한쪽으로 쏠리기 때문에 탑승감이나 공기역학적으로 좋지 않다. 따라서 조종사의 입장에서는 슬립이나 스키드가 일어나지 않는 선회를 정상선회라 한다. 슬립은 경사각이 너무 크거나 러더의 조작량이 부족할 경우에 일어나기 쉽고 스키드는 경사각이 부족하거나 러더의 조작량이 너무 클 때 일어나기 쉽다.



항공기의 선회 경사각, 비행속도 및 선회반경 사이에는 서로 연관성이 있다. 따라서 항공기의 종류에 상관없이 속도와 경사각이 같으면 선회반경도 같게 나타난다.

정상 선회시 선회반경 R은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = \frac{V^2}{g\tan\phi}$$

선회반경을 최소로 하기 위해서는 비행속도를 최소로 하고 경사각을 최대로 하면 좋으나 최소 속도는 실속속도로 제한을 받으며 경사각을 크게 하면 중량에 대한 양력의 비율이 커져 구조에 무리를 준다. 여기서 중력에 대한 양력의 비율을 하중 계수(load factor)라 한다. 따라서 보통 항공기 N류나 실용 항공기 U류의 항공기에서 경사각은 최대 60°로 제한하고 있다.

선회비행시의 비행속도는 수평 비행시의 비행속도보다 커야 한다. 그 관계는 다음과 같다.

$$V_t = \frac{V}{\sqrt{\cos\phi}}$$

그리고 선회 비행시에 항공기에 가해지는 하중배수는 다음과 같이 구할 수 있다,

$$n = \frac{1}{\cos\phi}$$

7. 실속 비행

비행기가 비행 중에 받음각을 증가시키면 날개 윗면에서 흐름의 떨어짐이 발생하여 양력이 급격히 감소하여 실속하게 된다. 일반적으로 실속에 접근하게 되면 버핏(buffet) 현상이 생긴다. 버핏이란, 흐름의 떨어짐에 의해 발생한 후류가 날개나 꼬리날개를 진동시켜 생기는 현상으로 이러한 버핏이 발생하면 실속이 일어나는 징조임을 나타낸다.

양력 곡선의 직선 부분 뒤의 곡선 모양이 완만하지 않고 급격히 감소하는 비행기에는 실속 경고장치를 설치하도록 법규로 규정하고 있다. 실속이 발생하면 버핏 현상 이외에 승강키 효율 감소, 기수 내림 등의 현상이 발생한다.

실속에는 부분 실속, 정상 실속, 완전 실속의 3 종류가 있다.

부분 실속은 실속의 징조를 느끼거나 실속 경고 장치가 울리면 바로 회복시키기 위하여 승강키를 풀어 주어 기수를 내려서 회복시키는 것을 말한다.

정상 실속은 확실한 실속의 징조가 있은 다음 조종간을 풀어 주어 회복하는 것을 말한다.

완전 실속은 비행기가 완전히 실속할 때 까지 조종간을 당기고 기수가 강하게 내려간 후에 조종간을 풀어서 회복하는 것을 말한다.

비행기가 실속에서 회복하여 수평 비행으로 돌아 올 때까지 고도가 크게 떨어진다. 따라서 낮은 고도에서 실속이 일어나는 것은 매우 위험하다.

8. 스핀 현상

스핀은 자전과 수직 강하가 조합된 비행을 말한다.

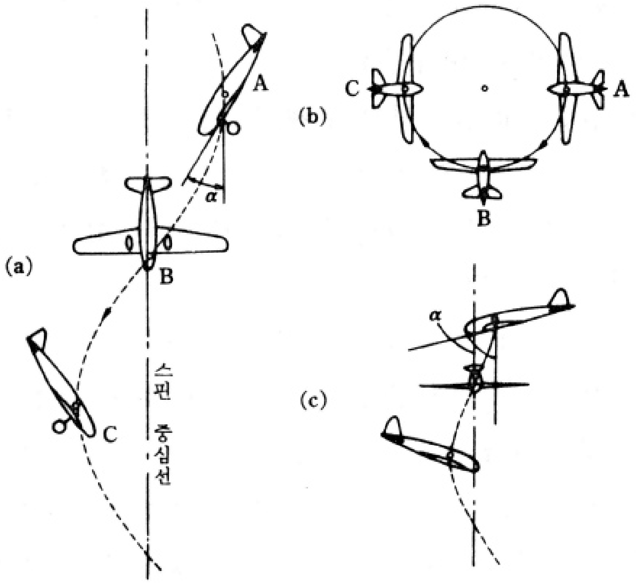
자전은 받음각이 실속각 보다 클 때 교란에 의해서 날개가 회전하면 계속적으로 회전시키려는 힘이 발생하는 것을 말한다.

스핀의 종류에는 정상 스핀, 수직 스핀, 수평 스핀이 있다.

정상 스핀은 비행기가 수직으로 자전하면서 하강할 때 강하 속도와 옆놀이 각속도가 일정하게 유지하면서 강하하는 것을 말한다.

수직 스핀은 비행기의 중심은 연직 방향의 축을 향해 나선을 그리며 원을 그리며 하강하는데 받음각이 20~40° 정도이고 낙하 속도는 비교적 작은 40~80m/s 정도인 것을 말한다.

수평 스핀은 스핀 성능이 나쁜 비행기나 조종사의 실수 및 돌풍 등의 원인에 의해 수직 스핀의 상태보다 점점 빨라지고, 회전 반지름이 작은 나선을 그리면서 낙하하는 것을 말하는데 탈출하기 극히 곤란한 위험한 비행 상태이다.



스핀 운동에 들어가려면 조종간을 잡아 당겨서 실속 시킨 후 방향키 페달을 한 쪽만 밟아 준다. 이 때 비행기는 방향키에서 생긴 빗놀이 모멘트 때문에 기수가 틀어지며, 바깥쪽으로 도는 날개는 안쪽 날개보다 속도가 커지기 때문에 양력이 증가하여 뱅크가 시작하고, 이 과정을 거치면 비행기는 회전을 시작하여 수직 스핀에 들어간다.

스핀에서 탈출하려면, 자칫 조종간을 당겨서 비행기를 일으키면 좋을 것 같으나, 이렇게 하면 받음각이 더 커져서 스핀은 더욱더 심하게 되어 결국은 수평스핀으로 들어가게 된다. 그러므로 조종간을 반대로 밀어서 받음각을 감소시켜 보통의 급강하로 들어간 후 탈출해야 한다.

그러나 이 때 비행기는 실속 상태에 있고, 또 회전 운동하고 있기 때문에 승강키는 거의 효과를 발휘하지 못한다. 그러므로 스핀의 원에서 비행기를 탈출시키기 위해서는 방향키를 스핀과 반대 방향으로 밀고, 동시에 승강키를 앞으로 밀면 비행기는 급강하로 들어간다. 이 때 도움날개는 실속 상태에 들어 있기 때문에 전혀 도움이 되지 못한다.

스핀 탈출 조작 중에 고도가 떨어지기 때문에, 300m 이하의 고도에서 스핀 운동에 들어가는 것은 매우 위험하다.

제10장 항공기의 안정성 및 조종성

1. 일반

가. 트림 상태

자동차와 같이 땅 위에서 운동하는 물체는 애쓰지 않아도 지면의 바닥의 반력에 의하여 저절로 평형을 유지하지만 항공기는 공기 중에 떠 있어야 하므로 무게 중심에 걸리는 힘의 모멘트가 0이 되지 않으면 운동이 일어나므로 같은 평형상태를 유지하기가 불가능하다. 따라서 항공기는 평형을 유지하기 위한 적절한 안정성과 조종성을 확보해야한다. 여기서 안정성은 평형이 깨져 무게중심에 대한 힘과 모멘트가 0에서 벗어 낫을 때 비행기 스스로가 다시 평형이 되는 방향으로 운동이 일어나는 경향성을 말한다.

안정성과 조종성을 이해하려면 먼저 평형상태의 개념을 알고 있어야 한다. 물체가 평형상태에 있다고 하면 정지해 있거나 속도와 각속도의 변화가 없는 상태로 운동을 하고 있는 것을 말한다. 평형상태에 있는 물체의 예로 정지한 물체나 가속도가 없는 상태에 있는 물체를 들 수 있다. 날고 있는 항공기에서 평형상태라고 한다면 비행경로 사이의 각도에 의하여 결정되는데 이 공기력 중의 수직 성분은 항공기에 작용하는 중력과 같고 수평성분은 추진력과 같아야 일정한 고도와 속도를 유지한다. 역학적인 평형 상태를 항공기에 대해서는 트림 상태라고 한다. 항공기가 일정한 고도와 속도를 유지하며 각운동 없이 날고 있는 상태가 트림상태이다.

조종사의 입장에서는 조종간에 걸리는 힘으로 비행 상태를 느끼므로 이러한 설명은 타당치 않다. 비행 중에 조종사는 평형 여부를 항공기에 작용하는 힘의 크기보다는 조종간에 걸리는 힘인 조정력으로 판단하게 된다. 조종간을 자유로이 놓아두었을 때, 즉 조종간에 힘이 걸리지 않은 상태에서 어떤 속도가 유지되었으면 조종간에 힘을 주어 약간 뒤로 당긴 상태로 있으면 그 전의 속도보다 다소 느린 속도가 유지된다. 조종사는 두 가지 속도에 대한 트림상태를 조종간에 걸리는 힘으로 느끼는 것이다. 조종간에 힘을 준채로 계속해서 비행하자면 조종간을 놓을 때마다 비행 상태가 바뀌므로 조종사가 큰 불편을 느낄 것이다. 그래서 조종사가 원하는 어떤 속도에서는 항공기가 평형상태에 있으면 조종간에 힘이 걸리지 않게 만들어 주는 장치가 필요하게 되는데 이를 트림 조절장치라고 부른다.

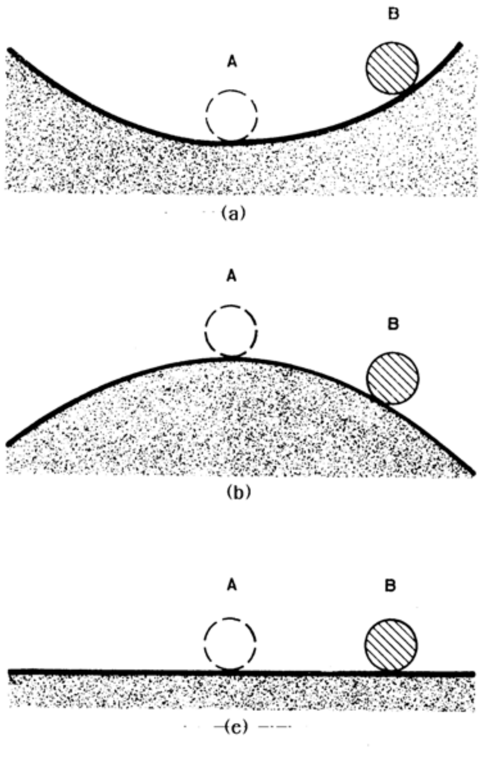
트림조절장치는 항공기마다 다른 형태로 되어 있는데 유압조종계통을 채용한 항공기는 조종간 꼭대기에 엄지손가락으로 조작하는 스위치가 설치되어 있어 이를 누르면 서보 모터가 작동되면서 조종간에 걸리는 힘이 0이 되는 상태로 만들어준다.

유압조종계통 없이 인력으로 작동되는 경비행기에서는 조종면에 트림탭이라는 장치가 설치되어 공기력에 의한 트림조절을 한다. 조종사는 트림 탭과 선으로 연결되어 있는 탭 핸들을 돌려 트림을 맞춘다. 이 경우에는 트림이라는 말이 조종간에 걸리는 힘을 0으로 만든다는 뜻으로 사용된다.

가속도 없이 평형상태를 이루고 있거나 조종간에 작용하는 힘이 0이 되도록 맞추었거나 항공기에 작용하는 힘과 모멘트가 0이 되어 트림 상태를 이루기는 마찬가지이며 특히 조종사 입장에서의 트림은 조종간에 작용하는 힘이 0이라는 조건이 더 추가된 것이다.

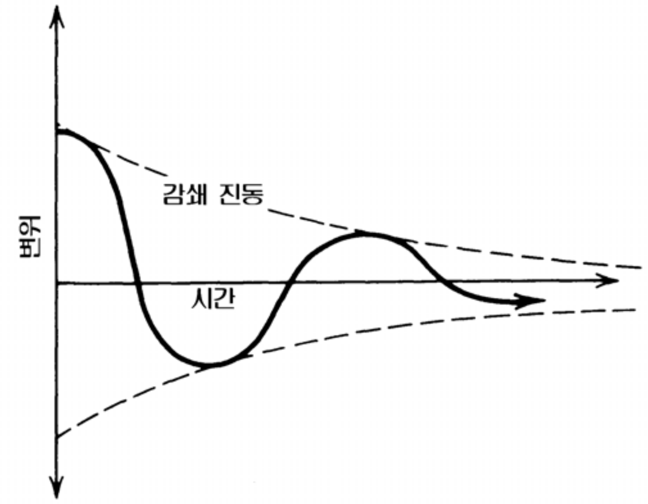
나. 정적 안정과 동적 안정

안정성이란 항공기가 평형상태를 유지하고 있다가 어떤 교란을 받아 평형상태에서 약간 벗어난 경우에 원래의 평형된 비행 상태로 되돌아가려는 경향성을 가지면 안정하다고 하며, 원래의 평형상태에서 더 벗어나는 상태로 가려는 경향성을 가지면 불안정하다고 한다. 안정성에 대한 이와 같은 설명은 개념적으로 두 가지 의미를 갖는다. 시간의 개념을 포함시키지 않고 단지 평형 상태에서 벗어난 정안정성과 시간의 개념을 포함하여 얼마나 빨리 원래의 평형상태에 도달하는지도 함께 고려하는 동안정성 이다.

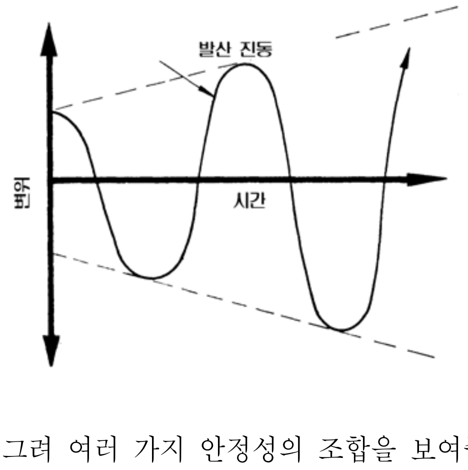


안으로 오목한 그릇에 구슬이 담겨 있다면 평형상태는 구슬이 밑바닥에서 정지하고 있는 상태이다. 만약 외부의 힘이 주어져서 구슬의 위치가 바뀐다면 외부 힘이 없어졌을 때 원래의 바닥으로 돌아가려는 경향을 가지고 있다. 이는 정적으로 안정함을 나타낸다. 시간이 경과하면서 구슬이 굴러 바닥으로 가지만 바닥에서 바로 정지하지 않고 조금 높이 갔다가 다시 정지하여 바닥으로 향하

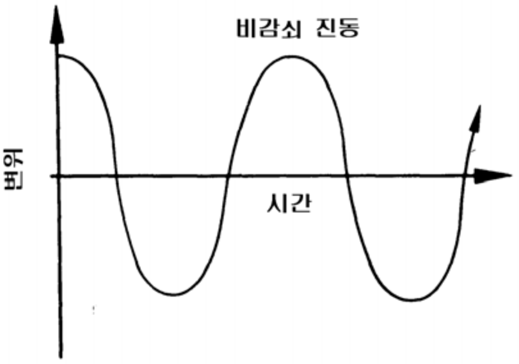
는 운동을 반복하면서 올라가는 높이가 점점 줄어들며 결국은 바닥에 정지할 것이다. 이와 같이 시간에 따라 진폭이 달라지며 원래의 상태로 돌아가는 전체의 과정에 초점을 맞추면 동안정이 된다. 이 경우 정적으로도 안정하고 동적으로도 안정하다.



반면에 (b)와 같이 위로 볼록한 그릇에 구슬이 얹혀 있다가 약간의 교란에 의해 그 위치에서 벗어나면 구슬은 바로 굴러 떨어질 것이다. 즉 원래의 평형 상태에서 더욱 멀어지는 방향으로 운동이 일어나려는 경향과 함께 시간이 경과하면서 점점 더 크게 벗어난다. 이는 정적으로 불안정하며 동적으로도 불안정한 상태이다.

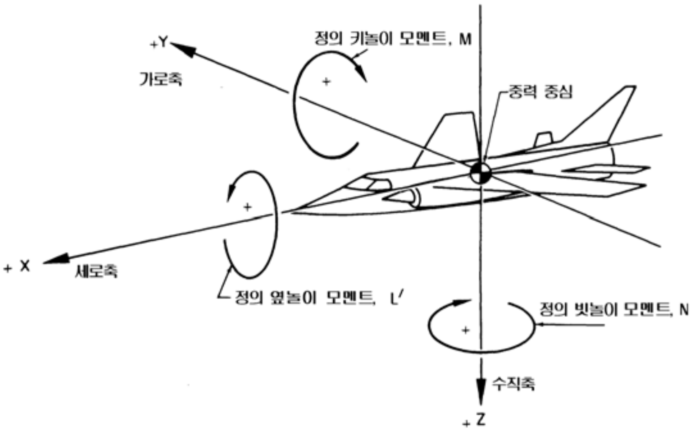


시간에 따른 운동을 그래프로 그려 여러 가지 안정성의 조합을 보여줄 수 있다. 그리고 시간에 따른 진폭이 변화하지 않는 상태를 중립으로 표현하였지만 이런 상태는 불안정으로 분류한다.

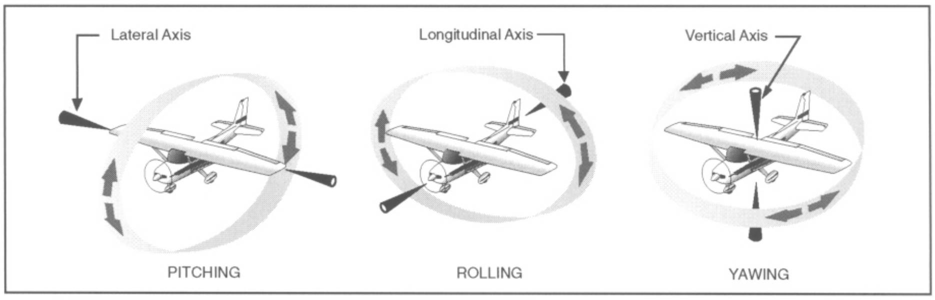


다. 항공기의 기준축

항공기의 안정성을 설명하기 전에 항공기 운동을 나타내는 좌표계를 정의해야 한다. 항공기의 좌표계는 동체 중심선을 기준으로 기수 방향을 x축이라고 하며 오른쪽 날개 방향을 y축 이라 한다. 오른손 법칙에 따라 z 방향은 자동적으로 아래 방향이 된다.



항공기는 병진운동과 함께 기체축에 대하여 회전운동을 한다. 각각의 좌표축에 대한 회전운동은 롤, 피치, 요 운동으로 구분할 수 있다. 좌표계와 오른손 엄지를 일치시키고 나머지 손가락으로 그 좌표축을 감아쥔다고 생각하면 감아쥐는 방향이 양의 회전운동을 나타낸다.



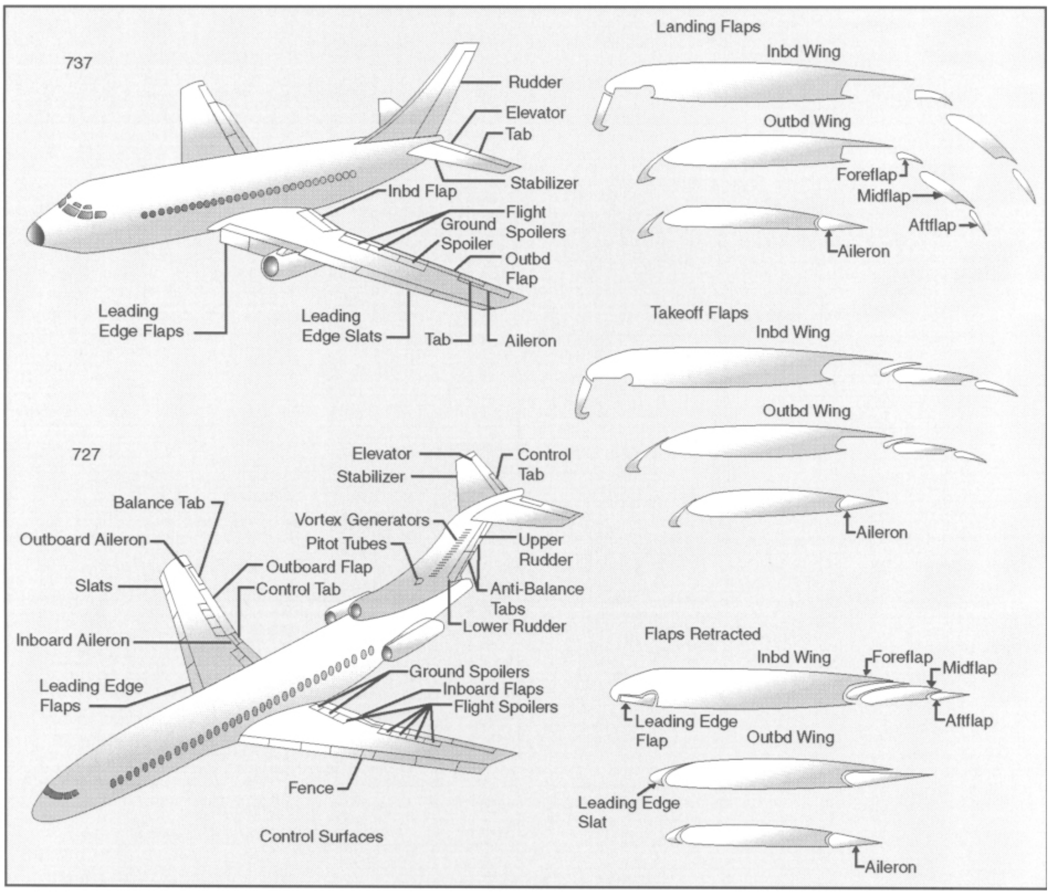
대부분의 항공기는 수직면에 대하여 대칭을 이루고 있다. 형상의 대칭성 때문에 운동이 일어나더라도 다른 축에 영향을 거의 미치지 않은 특성이 생긴다. 예를 들어 피치 운동이 일어날 때는 롤이나 요에 영향을 거의 미치지 않는다. 그리고 롤이나 요 운동을 할 때도 피치운동에는 거의 영향을

미치지 않는다. 이와 같은 특성에 의해 항공기의 운동을 세로 운동 또는 종운동과 가로운동 또는 횡운동의 두 가지로 나누어 해석한다. 가로운동에는 전진방향과 수직방향의 속도, 피치 운동이 관련되며 가로운동에는 옆미끄럼 운동, 롤 및 요 운동이 관련된다. 따라서 안정성이나 조정성 해석에서는 세로운동에서의 안정성, 가로 운동에서의 안정성과 같이 분리하여 취급한다.

라. 조종 계통

조종 계통은 비행기에 있어서 가장 기본적인 계통이며, 조종면을 작동시켜서 비행기의 자세를 제어하고, 정적 안정과 동적 안정을 향상시키기 위한 장치이다. 조종사가 조종간 또는 페달을 조작하여 조종 계통이 작동되지만, 대형기에 적용되는 자동 조종 계통에서는 입력된 신호에 의해 작동되기도 한다.

비행기의 조종면의 종류에는 도움 날개, 승강키, 그리고 방향키가 있으며, 이것들을 작동시키는 기구를 주조종 계통이라 부르고, 고양력 장치와 스포일러 등은 부조종 계통이라 한다.



1) 도움 날개

도움 날개는 좌우의 도움 날개의 올림과 내림으로 서로 정반대로 작동되게 하여 비행기의 가로조종에 사용되며, 올림과 내림의 작동 범위가 서로 다른 차등조종 도움 날개를 사용한다. 이렇게 하는 이유는 동일한 범위로 도움 날개가 올라간 경우와 내려간 경우 각 날개에 발생하는 유도 항

력의 차이가 발생하여 방향 안정성에 영향을 주기 때문에 이를 방지하기 위해서 차동 도움 날개를 사용하는 것이다.

고속으로 비행하는 비행기에서는, 저속에서 사용하는 저속용 도움 날개와 고속 비행시 사용하는 고속용 도움 날개가 별도로 설치되어 있다.

2) 승강키

승강키는 비행기의 세로 조종에 사용되며 비행 조건에 따라서 수평 안정판을 움직여 평형을 잡는 승강키도 있고, 수평 꼬리날개 전체를 승강키로 사용하는 전가동식 수평 꼬리날개도 있다.

3) 방향키

방향키는 좌우 방향 전환에 사용될 뿐만 아니라 측풍이나 도움 날개의 조종에 따른 빗놀이 모멘트를 상쇄할 때에도 사용된다.

2. 조종면 이론

비행기의 큰 날개에는 도움 날개, 수평 꼬리 날개에는 승강키가 그리고 수직 꼬리 날개에는 방향키가 부착되어 있는데 이들 조종면을 주조종면이라 한다. 그리고 조종석에는 손으로 조작하는 조종간 또는 조종휠이 있고 발로 조작하는 페달이 있다. 조종사는 조종석에서 조종간이나 페달을 작동하여 주조종면을 가동시켜서 비행기를 조종한다.

이 밖에 플랩, 탭 등이 있는데 이것은 조종면에 부착되어 있고 부조종면이라 한다.

가. 조종면의 효율

조종면의 날개골의 캠버를 변화시켜 공기력을 발생시켜서 그 효과를 얻는다. 대부분이 경우 수평 및 수직 꼬리날개에는 대칭익이 많이 사용된다.

나. 힌지 모멘트와 조종력

조종면은 힌지축을 중심으로 위와 아래로 또는 좌우로 변위되도록 설치되어 있다. 조종면이 변위하게 되면 캠버가 변화하여 조종면 주위의 유속의 변화가 발생하고 이 속도의 변화에 의해 압력분포에 변화가 생겨서 비행기의 자세를 바꿔주는 공기력이 발생한다. 이렇게 조종면 주위에 압력의 변화가 발생하면 힌지축에 힌지 모멘트가 발생한다. 조종면을 회전시키거나 원하는 위치에 고정하려면 이 힌지 모멘트를 상쇄할 만한 조종력을 가해야 한다.

조종력은 조종사에 의해 조종간이나 페달에 가해져서 조종계통을 통하여 힌지축에 전달된다.

조종면에 발생되는 힌지 모멘트를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$H = C_h q b c^2$$

조종면을 조작하기 위한 조종력은 힌지 모멘트 크기와 비례하며, 힌지 모멘트는 힌지 모멘트 계수, 동압, 그리고 조종면의 크기에 비례한다.

따라서 비행속도가 빠르고, 조종면의 크기가 큰 대형 고속 항공기의 조종면을 조작하려면 큰 조종력이 필요하므로 사람의 힘으로 조종하기 어렵기 때문에 조종 계통에 특별한 장치가 설치된다.

그리고 조종력의 크기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

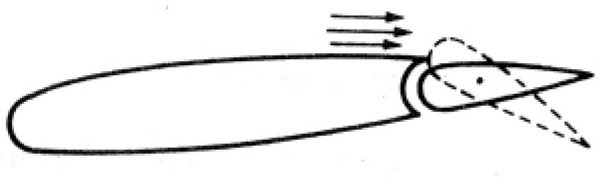
$$F_e = K \times H_e$$

여기서 K는 조종 계통의 기계적 장치에 의한 이득이다.

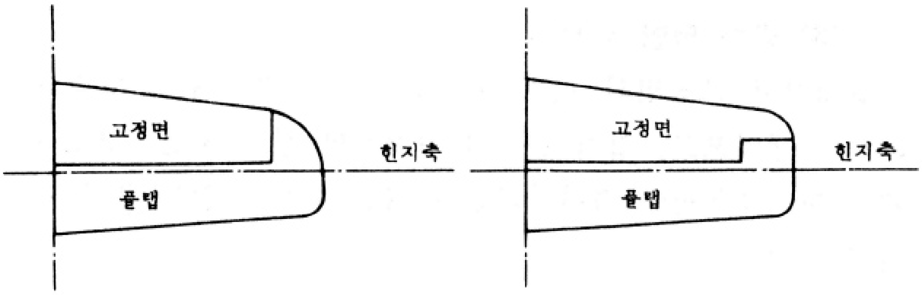
이 식에서 비행 속도가 2배가 되면 조종력은 4배가 되고 조종면의 폭과 시위의 크기를 2배하면 조종력은 8배가 된다. 따라서 고속, 대형 항공기에서는 조종력이 매우 크기 때문에 조종력을 경감시켜줄 장치가 필요하다. 이러한 장치를 공력 평형 장치라 한다.

다. 공력 평형 장치

1) 앞전 밸런스 : 단순 플랩의 대부분은 힌지축 뒤쪽에 위치하므로 힌지축 앞쪽의 면적을 증가시켜서 압력 분포에 따른 모멘트의 변화를 가져올 수 있다. 조종면의 힌지 중심에서 앞쪽을 길게 하면, 그 부분에 작용하는 공기력이 힌지 모멘트를 감소시키는 방향으로 작용하여 조종력을 경감시킨다.



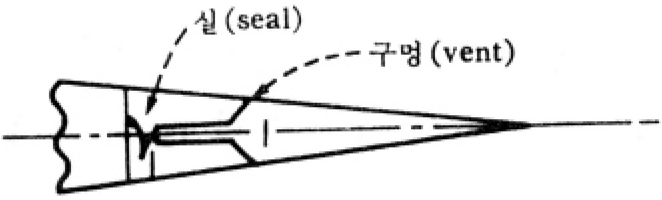
2) 혼 밸런스 : 혼 밸런스는 밸런스 역할을 하는 조종면을 플랩의 일부분에 집중시킨 것이다. 혼 밸런스에는 밸런스 부분이 앞전까지 뻗쳐 나온 비보호 혼과 앞부분에 고정면을 가지고 있는 보호 혼이 있다. 혼 밸런스는 조종력 경감장치이다.



(a) 비보호 혼　　　　(b) 보호 혼

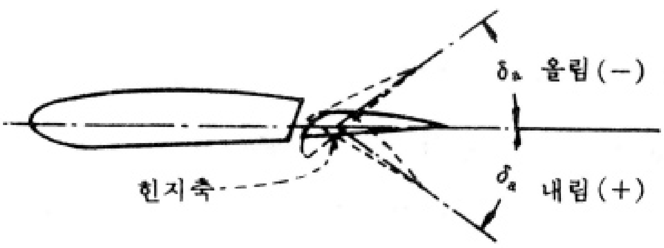
3) 내부 밸런스

플랩의 앞전이 밀폐되어 있어서 플랩의 상하면 압력차에 의해 앞전 밸런스와 동일한 효과를 발휘하는 새로운 형태의 밸런스이다.



4) 프리즈 밸런스

도움 날개에 주로 사용하는 밸런스로 연동되는 도움 날개에서 발생하는 힌지 모멘트를 서로 상쇄시켜 조종력을 경감시키는 장치이다.



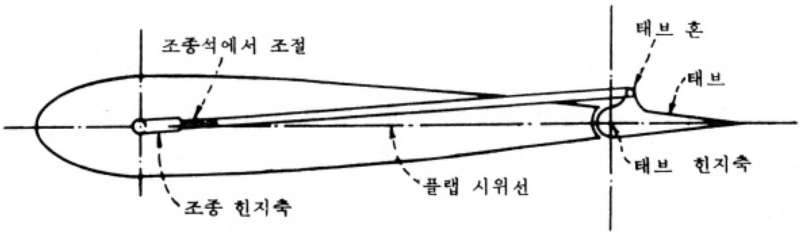
라. 탭(Tab)

혼 밸런스는 밸런스 역할을 하는 조종면을 플랩의 일부분에 집중시킨 것이다. 혼 밸런스에는 밸런스 부분이 앞전까지 뻗쳐 나온 비보호 혼과 앞부분에 고정면을 가지고 있는 보호 혼이 있다. 혼 밸런스는 조종력 경감장치이다.

탭은 조종면의 뒷전에 장착하는 작은 플랩의 일종이다. 탭을 장착하게 되면 조종면 뒤 부분에 압력 변화가 발생하여 항공기 무게 중심에 힌지 모멘트를 발생시킬 수 있다.

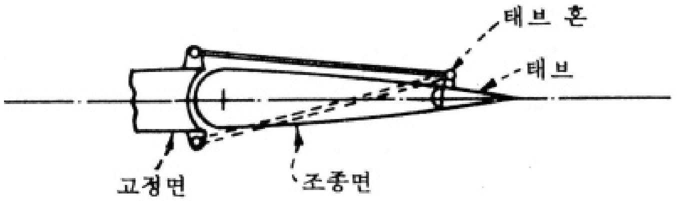
1) 트림 탭(Trim Tab)

트림 탭은 조종면의 힌지 모멘트를 감소시켜 조종사의 조종력을 0으로 환원시키는 역할을 하며, 조종사가 조종석에서 트림 휠 등으로 탭의 위치를 조정할 수 있다. 트림 탭은 비행 중 불균형에 의해 자세가 유지되지 못할 때 항공기의 균형을 잡기 위해서 주로 사용된다.



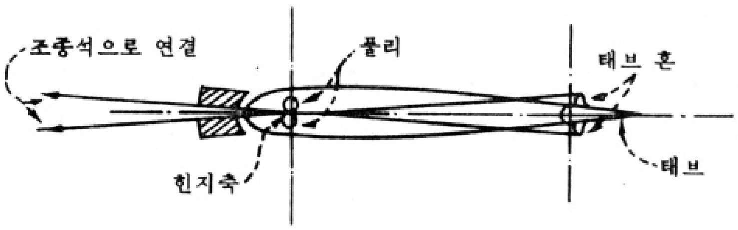
2) 평형 탭(Balance Tab)

평형 탭은 조종면이 움직이는 방향과 반대 방향으로 움직이도록 기계적 장치로 연결되어 있어서 탭이 조종면이 위쪽으로 올라가면 평형 탭은 아래로 구부러져 탭에 작용하는 공기력에 의해 조종면을 위쪽으로 밀어주는 힘이 발생하므로 조종력이 경감된다.



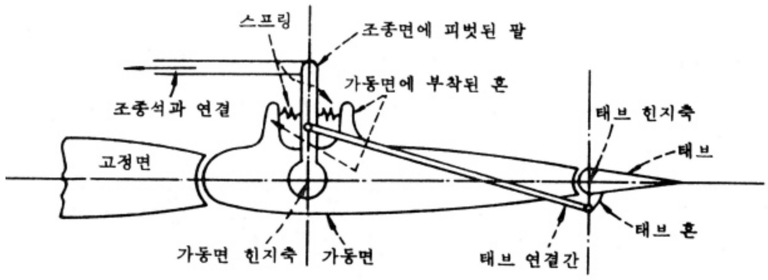
3) 서보 탭(Servo Tab)

서보 탭은 조종석의 조종장치와 직접 연결되어서 조종사가 탭만을 작동시키고 이 탭에 작용하는 공기력으로 조종면을 움직여서 항공기를 조종하게 하는 조종력 경감 장치이다.



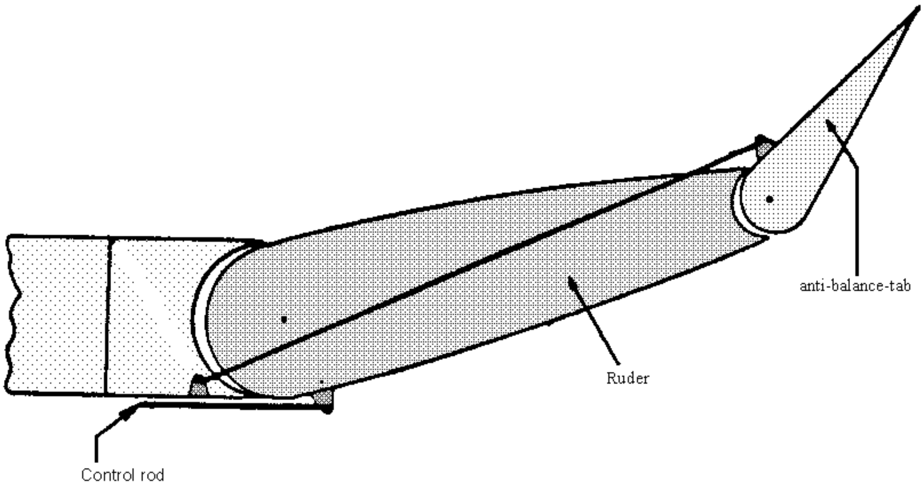
4) 스프링 탭(Spring Tab)

스프링 탭은 혼과 조종면 사이에 스프링이 설치되어 탭의 기능을 배가시킨 장치이다. 저속 비행시에는 조종사가 직접 조종면을 작동시키고 조종력이 크게 요구되는 고속 비행시에는 서보 탭의 기능을 수행한다.



5) 앤티 밸런스 탭(Anti-balance Tab)

밸런스 탭과 정반대로 작동되어 조종면의 효과를 증가시킨 탭이다.

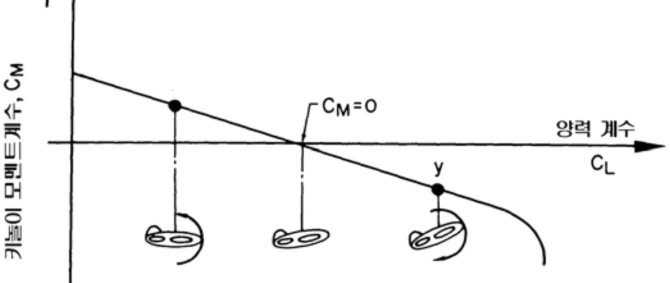


3. 세로 안정 및 조종

가. 정적 세로 안정성

정적 세로 안정성에서 가장 중요한 요소가 받음각 안정성이다. 돌풍을 만났을 때와 같이 의도하지 않던 받음각 증가에 의해서 전체 항공기에 기수내림 피칭 모멘트가 발생되면 안정하다고 말한다. 왜냐하면 항공기는 피치가 감소하여 받음각이 줄어들면서 원래의 트림 자세에 접근하려는 경향성을 갖기 때문이다. 항공기의 받음각이 증가하면 수평꼬리날개의 받음각도 같이 증가함으로써 기수내림 모멘트를 만들므로 수평꼬리날개는 안정성을 위해서 사용된다.

받음각 안정성에서 중요한 역할을 하는 또 다른 요소가 무게중심의 위치다. 만약 짐을 뒤쪽에 치우치게 실어 무게 중심이 뒤에 가면 수평꼬리날개의 역할이 줄어들어 안정성이 떨어지며 반대로 무게 중심이 앞으로 이동하면 너무 안정성이 커져서 조종간을 최대로 움직여도 원하는 자세를 유지하지 못할 때가 생긴다. 이 때문에 무게 중심이동의 전방한계와 후방한계가 조작설명서에 명시되어 있다. 정적 세로 안정성은 항공기 무게중심에 대한 피칭 모멘트에 의해 결정된다.



받음각의 변화에 따른 피칭 모멘트 계수를 그래프로 그릴 수 있다. 트림 받음각으로 비행하고 있다가 외부 영향에 의해 받음각이 커졌다면 그 받음각에서 피칭 모멘트 계수가 음으로 나타나면 다시 원래 상태로 돌아가려는 경향이 생기므로 받음각에 따른 피칭 모멘트 계수의 기울기가 음으로 나타나는 항공기라야 안정하다. 따라서 정적 세로안정성은 받음각에 따른 피칭모멘트 계수의 기울기로 결정된다.

정적 세로 안정성을 좋게 하기 위한 방법은 아래와 같다.

1) 무게 중심이 날개의 공기력 중심보다 앞에 위치할수록 안정성이 좋아진다.
2) 무게 중심이 공기력 중심보다 아래에 위치할수록 안정성이 좋아진다.
3) 꼬리 날개 부피가 클수록, 즉 꼬리 날개 면적이 크거나 무게 중심부터 꼬리 날개까지의 거리가 클수록 안정성이 좋아진다.
4) 꼬리 날개 효율이 클수록 안정성이 좋아진다.

나. 세로 조종

1) 기동 조종 조건

비행기는 비행 중에 최대 양력 계수와 제한 하중 계수의 크기 까지 비행 할 수 있도록 충분한 세로 조종력이 있어야 한다. 비행기의 무게 중심이 전방으로 이동함에 따라 비행기의 세로 안정성이 증가하므로, 균형된 양력 계수를 유지하기 위해서는 큰 조종면의 변위가 필요하다.

이와 같은 특별한 조종 요구는 초음속 비행하는 비행기의 경우 특히 중요하다. 초음속 비행시에는 대부분 정적 세로 안정성이 증가되어, 조종면의 효력이 감소된다. 이런 특성 때문에 초음속 비행기는 임계 하중 계수와 최대 양력 계수를 얻기 위하여 강력한 조종면이 사용되어야 한다.

2) 이륙 조종 조건

비행기가 이륙할 때 이륙 속도에 도달하기 전에 이륙 자세를 취할 수 있는 충분한 조종력이 있어야 한다. 일반적으로 프로펠러기는 실속 속도의 80%, 제트기는 실속속도의 90%에서 이륙 자세를 취할 수 있는 충분한 조종력을 가져야 한다.

3) 착륙 조종 조건

비행기가 착륙할 때 착륙 속도에서 적절한 조종을 할 수 있도록 조종력이 발생해야 한다. 즉, 비행기가 활주로 바로 위에서 105%의 실속 속도를 유지할 수 있도록 승강키가 작동되어야 한다. 비행기가 지면 가까이 비행하면 지면효과에 의해서 날개 끝 와류와 빗내리 바람이 감소되어 정적 안정성을 향상시키고, 수평 꼬리날개의 양력 증가로 인해 기수내림 모멘트가 발생한다. 따라서 지면 가까이에서 착륙 자세를 취하기 위해서는 더욱 강력한 승강키의 조종력이 필요하게 된다.

다. 동적 세로 안정

동적 세로 안정성은 돌풍에 의해 항공기의 자세가 교란 받은 후의 운동 상태를 말하며 동적 안정성은 시간이 경과함에 따라 진폭의 크기가 감소하는 경우를 말하고 동적 불안정성은 시간이 경과함에 따라 진폭의 크기가 증가하는 경유를 말한다.

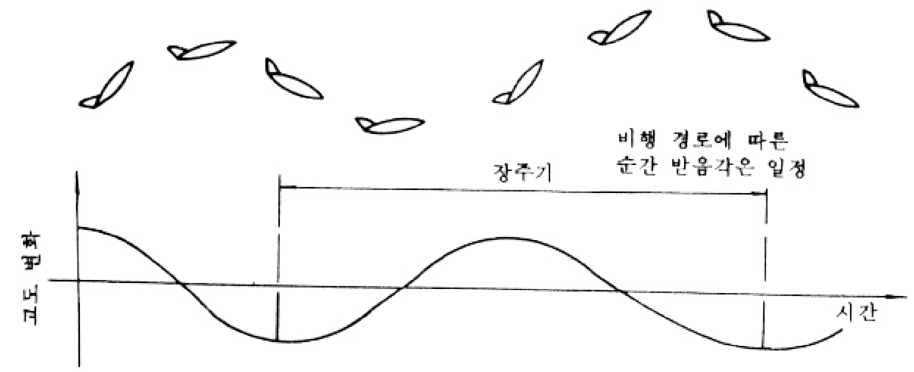
비행 중의 동적 세로 안정성은 일반적으로 장주기 운동, 단주기 운동, 승강키 자유 운동으로 구분한다.

1) 장주기 운동

장주기 운동은 주기가 매우 긴 진동 운동이다. 장주기 운동은 키놀이 자세, 고도 및 비행 속도에 상당한 변화가 있지만 받음각은 거의 일정하다.

장주기 운동은 진동 주기가 매우 길며 대개 20초에서 100초 사이의 값을 가진다.

장주기 운동은 감쇠가 약하거나 발산을 하더라도 진동 주기가 대단히 길기 때문에 아주 작은 조종면의 변위로도 비행기의 진동 경향을 쉽게 없앨 수 있어서 큰 문제를 초래하지 않는다. 그리고 장주기 운동은 진동이 아주 미약하므로 조종사도 완전히 알아차릴 수 없는 경우가 대부분이며, 진동을 없애기 위해서 특별한 장치가 필요하지 않다.

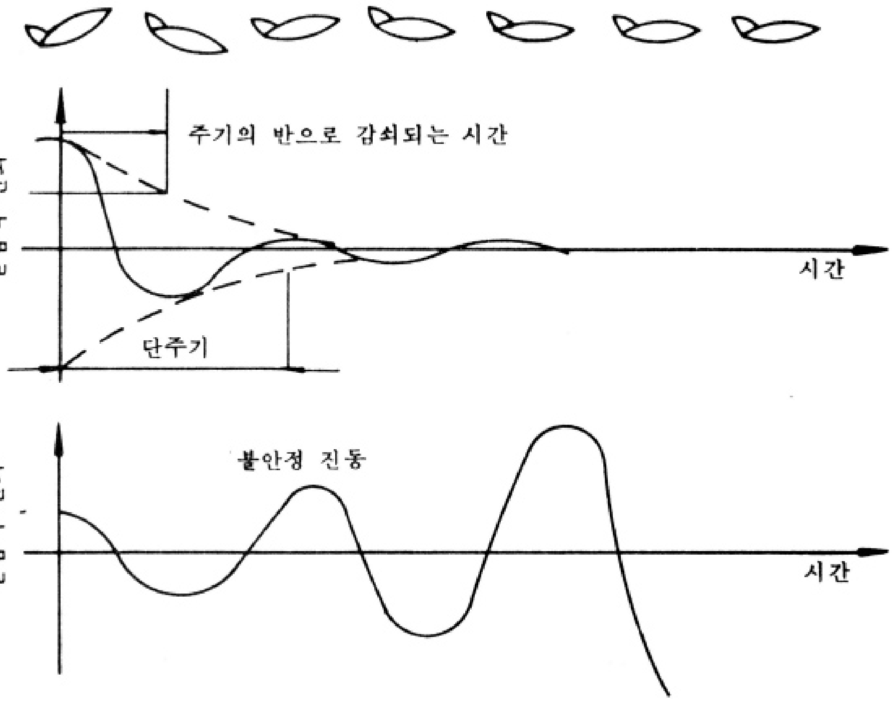


2) 단주기 운동

단주기 운동은 상대적으로 짧은 주기 운동으로서 속도 변화에 거의 무관하다.

단주기 운동은 키놀이 진동이며, 교란을 받으면 정적 안정성과 키놀이 감쇠에 의해 진동 진폭이 감소되어 평형 상태로 되돌아온다. 전형적인 단주기 운동의 진동 주기는 0.5초에서 5초 사이이다.

단주기 운동은 조종사의 정상적인 반응 지연시간인 1초나 2초 이하에 해당하는 짧은 주기를 가지므로, 강제로 진동을 감쇠시키기 위해서 조종간을 작동시키면 진동의 크기를 더 증가시킬 수 있어 위험할 수 있다. 따라서 이 때에는 조종간을 자유로이 하여 필요한 감쇠를 하도록 하는 것이다.



3) 승강키 자유 운동

승강키 자유 운동은 승강키를 자유로이 했을 때 발생되는 아주 짧은 주기의 진동이다. 이 운동은 힌지선에 대한 승강키 플래핑 운동이며 진동의 주기가 0.3초에서 1.5초 사이이다.

4. 방향 안정 및 조종

가. 방향 안정

비행기의 방향 안정(directional stability)은 수직축에 관한 모멘트와 빗놀이 및 옆미끄럼각(sideslip angle)과의 관계를 포함한다. 정적 방향 안정을 가지는 비행기는 평형 상태로부터 외부의 영향을 받으면 평형 상태로 되돌아오려는 성질을 가진다. 정적 방향 안정(static directional stability)은 비행기를 평형 상태로 되돌리는 경향을 가지는 빗놀이 모멘트를 발생시킨다.

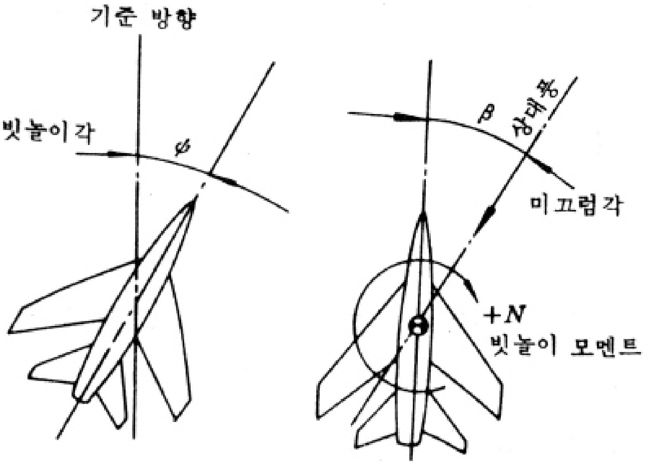
1) 정 의

비행기의 좌표축계에서 양(+)의 빗놀이 모멘트(N)는 수직축에 대하여 기수를 오른쪽으로 회전시키는 모멘트이다. 공기 역학적인 면에서 정적 안정 비행기의 무게, 고도, 속도 등에 무관하게 평가될 수 있는 것처럼, 빗놀이 모멘트도 계수형으로 나타내는 것이 편리하다.

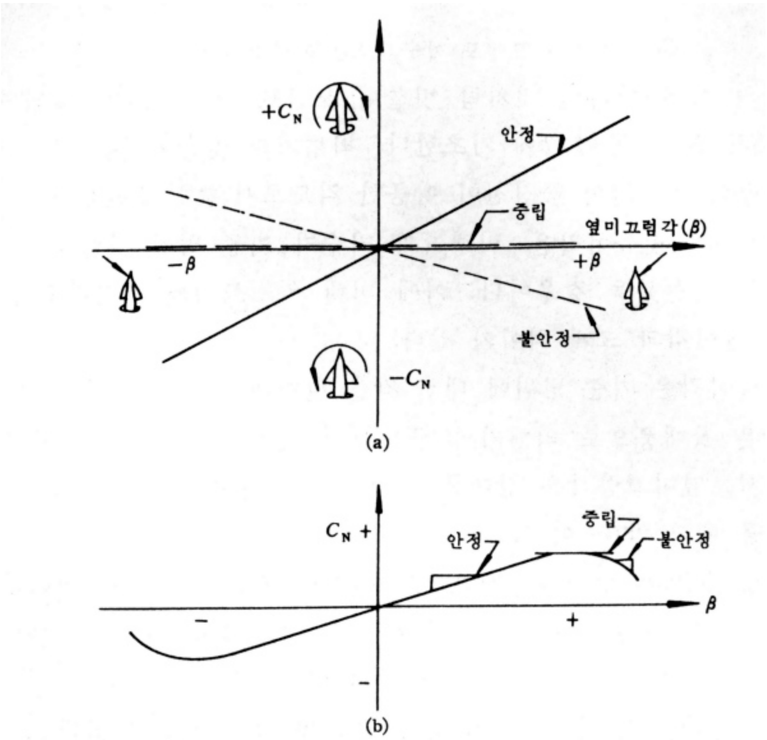
양(+)의 빗놀이각은 비행기의 기수가 기준 방위 방향의 오른쪽으로 이동했을 경우이다. 이에 비해 β로 표시되는 옆미끄럼각은 빗놀이각과 크게 차이가 난다.

빗놀이각은 기준 방위에 대한 각을 나타내는 데 반하여 옆미끄럼각은 상대풍으로 비행기의 중심선이 이동한 각도를 나타낸다. 따라서, 옆미끄럼각은 상대풍이 비행기 중심선의 오른쪽우로 이동했을 때가 양(+)이다.

빗놀이각(ψ)은 옆미끄럼각(β)과 크기가 같고 부호가 반대인 각도이다. 특히, 비행기는 방향 감각이 없기 때문에, 비행기의 정적 방향 안정은 옆미끄럼에 대한 반응에 의해 나타내진다.



비행기의 정적 방향 안정은 옆미끄럼각 에 대한 빗놀이 모멘트 계수의 그래프에 의해 나타내진다. 그래프에서 비행기가 양의 옆미끄럼각이고, 빗놀이 모멘트 계수의 값이 양이면 정적 방향 안정이 나타난다. 따라서, 상대풍이 오른쪽에 위치하면 오른 회전의 빗놀이 모멘트가 발생되고, 기수를 바람 방향으로 향하게 한다.



정적 방향 안정은 β에 대한 CN의 곡선이 양의 기울기를 가질 때이고, 안정도는 곡선의 기울기로써 나타내진다. 만일, 곡선의 기울기가 0이면 평형 상태로 돌아가려는 경향이 없고, 이 때가 정적 방향 중립인 경우이다. β에 대한 CN의 곡선이 음의 기울기를 가지면 옆미끄럼에 의한 빗놀이 모멘트는 발산되고, 정적 방향 불안정이 나타난다.

(b)는 β에 대한 추 곡선의 기울기로서, 전형적인 비행기의 정적 방향안정을 나타내는 것을 보여준다.

옆 미끄럼 각이 작은 경우 곡선은 강한 방향 안정을 나타내고, 옆미끄럼각이 큰 경우 기울기가 0이 되어 정적 중립이 됨을 보여준다.

매우 큰 옆 미끄럼 각에는 기울기가 움의 값이 되고, 정적 방향 불안정이 된다.

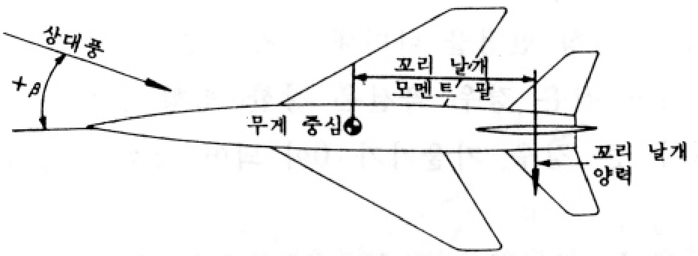
이와 같이 옆 미끄럼 각 증가에 의해서도 정적 불안정이 되기도 한다. 그러나 이와 같은 방향 불안정이 정상 비행 상태의 옆 미끄럼 각에서는 발생되어서는 안 된다. 일반적으로, 좋은 방향 안정은 조종사가 비행기를 조종하는데 직접적인 영향을 주는 요소가 된다.

2) 비행기 구성 요소들의 방향 안정에 대한 영향

비행기의 정적 방향 안정은 비행기의 여러 가지 구성 요소들의 영향에 의한 결과이다. 각 구성 요소들에 의한 영향은 다른 것들에 의존하거나 서로 관련되어 있는데, 여기서는 각각의 구성 요소들을 분리해서 생각하도록 한다.

가) 수직 꼬리 날개 수직 꼬리 날개는 비행기의 방향 안정에 일차적으로 영향을 준다. 그림 4-26에 나타낸 것처럼 비행기가 옆미끄럼 상태에 들어가면 수직 꼬리 날개의 받음각이 변화된다. 따라서 양력, 즉 옆미끄럼 힘(side force)이 수직 꼬리 날개에 발생되어 무게 중심에 관한 빗놀이 모멘트가 발생되고, 비행기의 기수를 상대풍의 방향으로 이동시킨다.

정적 방향 안정에 대한 수직 꼬리 날개의 영향의 크기는 꼬리 날개 양력의 변화와 꼬리 날개 모멘트의 팔 길이에 의존하므로 수직 꼬리 날개의 위치가 가장 중요한 요소가 된다.



수직 꼬리 날개의 위치가 정해지게 되면 옆미끄럼 변화에 따른 옆미끄럼 힘을 발생시키는 능력에 따라서 방향 안정성을 가져올 수 있다.

필요한 안정은 꼬리 날개 면적만을 증가시켜서 구할 수 있으나 면적의 증가는 항력의 증가를 가져온다는 점을 반드시 고려해야 한다.

수직 꼬리 날개의 양력 곡선 기울기는 수직 꼬리 날개의 면적이 받음각의 변화에 대해 얼마나 민감한가를 나타내는 것이다. 수직 꼬리 날개의 양력 곡선 기울기는 큰 것이 바람직하지만, 큰 가로세로비(aspect ratio)가 반드시 실용적이거나 바람직한 것은 아니다. 수직 꼬리 날개의 실속각을 충분히 크게 하여 정상 옆 미끄럼 각에서의 실속과, 이로 인한 효율의 손실을 방지할 수 있어야 한다.

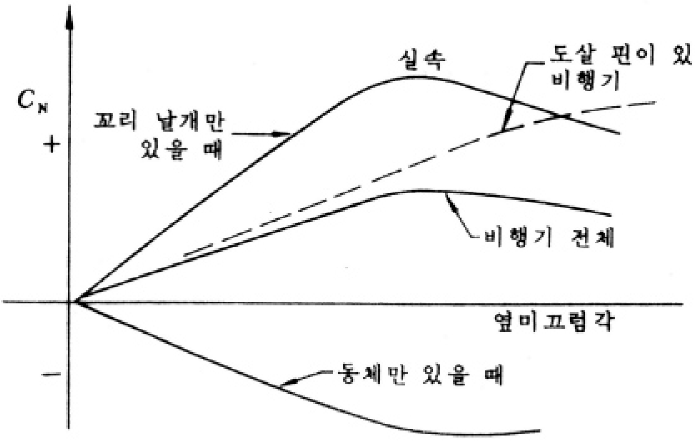
마하수가 큰 초음속 비행기에서는 양력 곡선의 기울기가 감소하므로 꼬리 날개에 의한 안정성이 감소된다. 따라서 큰 마하수에서 충분한 방향 안정성을 가지기 위해서는 초음속기의 경우 상대적으로 큰 수직 꼬리 날개를 가진다. 수직 꼬리 날개에서의 동압은 프로펠러의 후류나 동체의 경계층에 의해 영향을 받는다.

또, 수직 꼬리 날개 부근에서의 흐름의 방향은 날개 후류, 동체에서의 흐름, 그리고 수평 꼬리 날개에서의 유도 흐름, 또는 프로펠러 후류의 방향에 의해 영향을 받는다. 따라서, 방향 안정성을 결정하는 수직 꼬리 날개의 설계시 이러한 요소들이 고려되어야 한다.

정적 방향 안정에 대한 날개의 영향은 대개 작다. 특히 뒤젖힘 날개(sweep back)는 뒤젖힘 정도에 따라 안정에 영향을 끼치지만, 다른 구성 요소들에 의한 것보다는 상대적으로 약하다.

나) 동체, 기관 등에 의한 영향 　동체와 기관은 불안정한 영향을 끼치는 가징 큰 요소들이다. 동체의 아음속 풍압 중심은 동체 길이의 1/4이나 그 앞에 위치하고, 비행기의 무게 중심은 대개 풍압 중심보다 상당히 후방에 위치하므로 동체는 불안정한 영향을 끼친다. 그러나 큰 옆 미끄럼 각에서는 동체의 불안정한 영향이 감소되므로 큰 범위에 대한 방향 안정성을 유지하는 데에는 도움이 된다.

동체에 대한 초음속 풍압 분포는 상대적으로 큰 공력 힘을 발생시켜 계속적인 불안정한 영향을 준다.

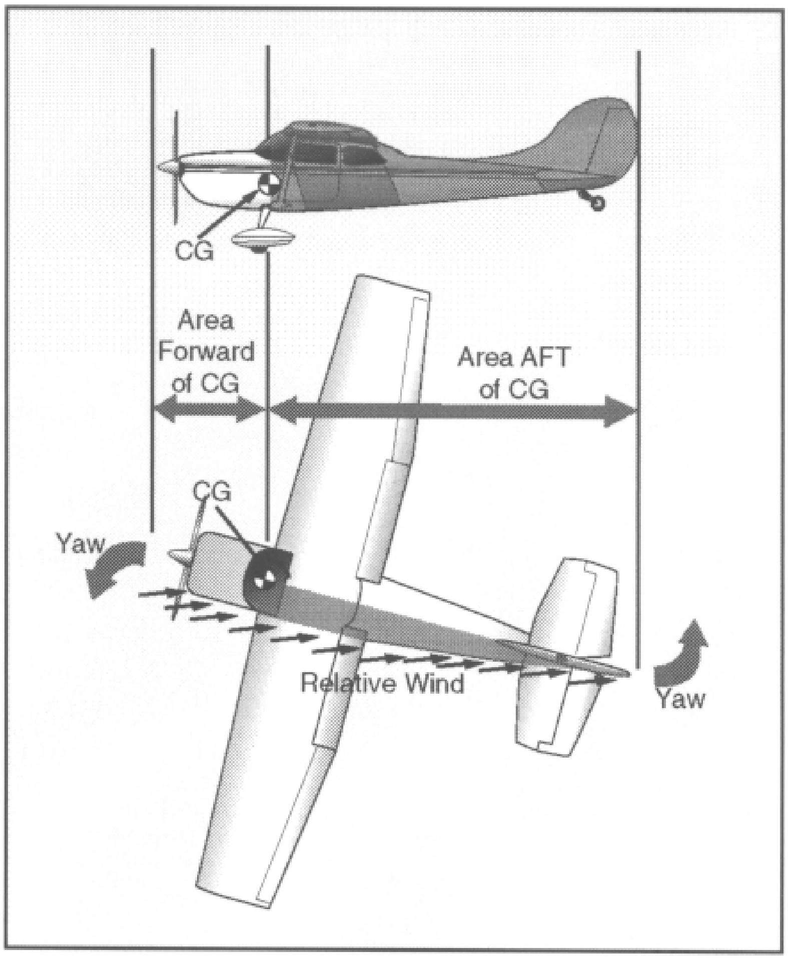


그림에서 동체는 불안정한 영향을 주지만 큰 옆미끄럼각에서는 불안정이 감소하는 것을 나타낸다. 수직 꼬리 날개만의 영향을 보면, 소직 꼬리 날개가 실속하는 지점까지도 큰 안정을 가지는 것을 나타낸다. 즉, 수직 꼬리 날개의 기여는 전체 비행기가 요구하는 안정을 나타낼 수 잇을 만큼 충분히 커야 한다.

그림과 같이 도살 핀(dorsal fin)을 장착하여 수직 꼬리 날개가 실속하는 큰 옆미끄럼각에서도 방향 안정을 유지하는 강력한 효과를 얻기도 한다. 비행기에 도살 핀을 장착하면 다음의 두 가지 방법으로 큰 옆 미끄럼 각에서의 동체의 안정성의 증가이고, 또 하나는 수직 꼬리 날개의 유효 가로 세로비를 감소시켜 실속각을 증가시키는 것이다. 이러한 두 가지의 효과 때문에 도살 핀의 추가는 매우 유효하다.

다) 추력 효과 : 정적 방향 안정성에 대한 직접적인 추력 효과는 프로펠러 회전면이나 제트 입구에서의 수직력에 한정되며, 프로펠러의 회전면이나 제트 입구가 무게 중심의 앞에 위치했을 때 불안정을 유발한다.

수직 꼬리 날개에서 추력에 의한 유도 속도나 흐름 방향의 변경에 의한 간섭 효과는 프로펠러 비행기에서 더 심각하며, 이것 때문에 방향 균형을 잃기도 한다.



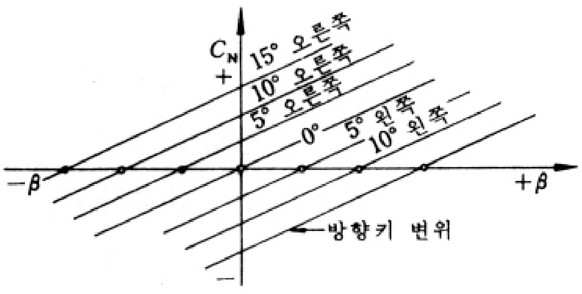
제트 비행기는 프로펠러 비행기보다 추력 효과에 의한 간섭 효과가 대개 약하지만, 두 경우 모두 추력 효과의 일반적인 영향은 불안정하며, 영향이 가장 클 때에는 추력이 크고 동압이 작을 때이다.

나. 방향 조종

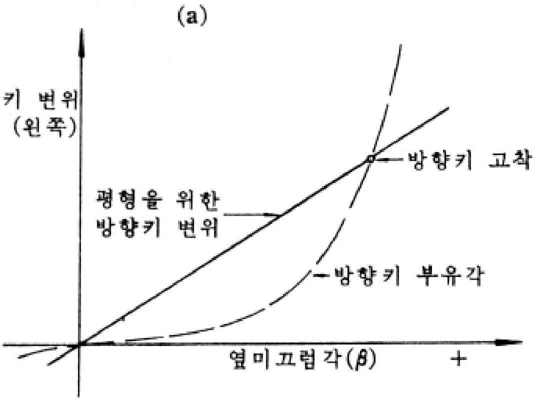
비행기는 방향 안정뿐 아니라 적절한 방향 조종을 가져야 균형 선회, 추력 효과의 평형, 옆미끄럼, 그리고 비대칭 추력의 균형 등을 할 수 있다. 방향 조종은 방향키에 의해 수행되며, 방향키는 위급한 경우에도 충분히 빗놀이 모멘트를 발생시킬 수 있어야 한다.

방향키를 움직임으로써 조종 변위에 따라 빗놀이 모멘트 계수에 변화를 줄 수 있어야 하고, 옆미끄럼 각에 대해 평형 시킬 수 있어야 한다. 방향키를 조금만 변위시키면 안정성은 변화하지 않고 평형만 변화된다.

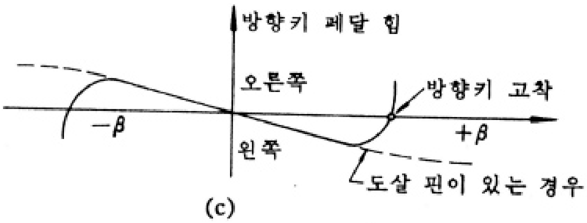
그림은 옆 미끄럼 각 β에 대한 빗놀이 모멘트 계수 CN 곡선에서 방향키 변위의 효과를 나타낸 것이다.



(a)



(b)



(c)

만일, 비행기가 방향키를 고정시킨 상태에서 안정을 나타내면 평형을 위해서 옆미끄럼각은 그림의 (a)에서처럼 방향키의 변위에 대해 일정한 값을 필요로 한다.

그림의 (b)는 옆 미끄럼 각과 방향키 부유각(rudder float angle)에 대한 그래프이다. 방향키 부유각이라 함은 방향키를 자유로 하였을 때 공기력에 의하여 방향키가 자유로이 변위되는 각을 말한다.

그림의 (b)에서와 같이 방향키의 부유각이 평형을 위해 필요로 하는 방향키 변위보다 작을 경우 방향키 자유 방향 안정이 존재한다. 그러나 큰 옆미끄럼각에서는 방향키의 부유각의 범위가 증가한다.

큰 옆미끄럼각에서 방향키 부유각은 급격히 증가한다. 만일, 방향키의 부유각이 평형을 이루는 방향키 각도에 이르게 되면 방향키 페달 힘은 0으로 감소하고, 방향키 고착(rudder lock)이 발생된다. 이 점을 넘어 서면 옆 미끄럼 각은 평형을 위한 방향키 변위보다 더 큰 부유각을 발생시키고, 방향키는 제한점까지 변화된다. 방향키 고착으로 페달 힘의 반전이 일어나고, 방향키 자유 불안정이 존재하게 된다.

도살 핀은 큰 옆 미끄럼 각에 대해 방향 안정성을 증가시키므로 이 경우에 유용한 방법이다. 도살핀에 의한 안정성의 증가로 인하여 큰 옆 미끄럼 각에서 평형을 이루기 위해 더 큰 방향키 변위

가 필요하게 되지만, 방향키 고착에 대한 경향은 감소된다.

방향키를 자유로 했을 때의 방향 안정성은 주어진 옆미끄럼각을 유지하기 위한 방향키 페달 힘으로써 평가되며, 만일 방향키 페달 힘의 구배가 0의 옆미끄럼각 가까이에서 너무 작으며, 여러 가지 기동 비행에서 0의 옆미끄럼각을 유지하기가 어렵다. 비행기는 가능한 옆미끄럼 영역에서 안정한 방향키 페달 느낌을 가져야 한다.

5. 가로 안정 및 조종

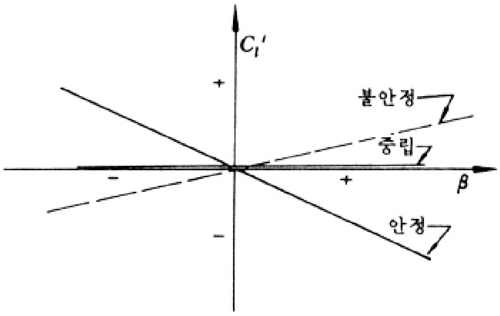
가. 정적 가로 안정

옆미끄럼에 의한 옆놀이 모멘트는 비행기의 정적 가로 안정(static lateral stability)에 대단히 중요하다. 비행기가 옆 미끄럼에 의한 적절한 옆놀이 모멘트를 가진다면 수평 비행 상태로부터 가로 방향의 공기력은 옆 미끄럼을 유발하고, 이 옆미끄럼은 비행기를 수평 비행 상태로 복귀시키는 옆놀이 모멘트를 발생시킨다.

이와 같은 작용에 의 정적 가로 안정이 얻어진다. 물론, 옆미끄럼각은 정적 방향 안정의 설질에 따라 빗놀이 모멘트를 발생시키지만, 정적 가로 안정은 옆놀이 모멘트와 옆미끄럼의 관계만을 포함한다.

비행기 기준축에 따름 양(+)의 옆놀이 모멘트(L')는 비행기의 오른쪽 날개를 아래로 향하게 하는 세로축에 관한 모멘트이다.

비행기의 정적 가로 안정은 옆미끄럼각 β에 대한 옆놀이 모멘트 계수의 그래프로서 그림처럼 나타낼 수 있다.



비행기가 양의 옆 미끄럼 각을 가지게 될 경우 옆놀이 모멘트 계수가 음의 값을 가진다면 가로 안정이 된다.

따라서, 상대풍이 오른쪽에서 불어오는 경우 음의 옆놀이 모멘트가 발생되어야만 비행기를 옆놀이시켜서 안정하게 된다.

가로 안정은 옆 미끄럼 각에 대한 옆놀이 모멘트 계수 곡선이 음의 기울기 값을 가질 때 존재하고, 안정의 정도는 이 곡선의 기울기의 함수가 된다.

만일, 곡선의 기울기가 0이 되면 정적 가로 중립이며, 기울기가 양의 값을 가지면 정적 가로 불안정이 나타난다.

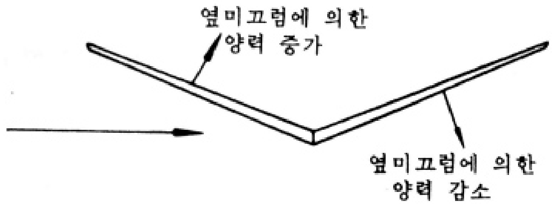
일반적으로, 비행기는 옆미끄럼에 의한 가로 안정을 가지는 것이 바람직하지만, 필요한가로 안정의 크기는 여러 가지 요소들에 의해 결정된다. 예로써, 옆미끄럼에 의한 과도한 옆놀이는 측풍이 불 때의 착륙이나 이륙을 어렵게 하며, 비행기의 방향 운동과 결합되어 원하지 않는 진동을 유발한다.

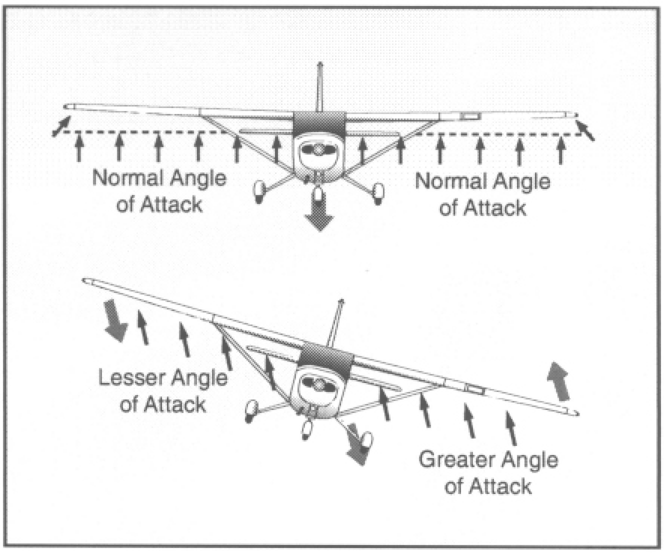
일반적으로, 바람직한 가로 조종 특성은 역한 정적 가로 안정일 때 얻어진다. 비행기의 가로 안정을 구성하는 몇 가지 중요한 요소들을 살펴보면 다음과 같다.

1) 날 개

날개는 비행기의 가로 안정에서 가장 중요한 요소이다. 특히, 기하학적으로 날개의 쳐든각의 효과는 가로 안정에 있어 가장 중요한 요소이다.

그림에 나타낸 것처럼 쳐든각을 가지는 날개는 옆미끄럼에 대해 안정한 옆놀이 모멘트를 발생시킨다. 그림에서처럼 왼쪽으로 옆미끄럼을 하게 되면 상대풍이 왼쪽에서 불어오는 것처럼 되어 상대풍 쪽의 날개는 받음각이 증가하여 양력이 증가되며, 반대쪽의 날개는 받음각이 감소하여 양력이 감소된다.





이러한 양력의 변화는 상대풍 쪽의 날개를 위로 올리는 옆놀이 모멘트를 발생시키며, 따라서 쳐든각은 옆미끄럼에 의한 옆놀이에 정적인 안정을 주게된다. 그러므로 날개의 쳐든각은 가로 안정에서 가장 유리한 요소이다.

2) 동 체

동체만에 의한 가로 안정에 대한 영향은 일반적으로 상당히 작다. 그러나 날개의 동체에 대한 위치가 안정성에 영향을 끼치기 때문에 날개와 동체, 그리고 꼬리 날개의 조합에 의한 효과는 중요하다. 동체의 중심부에 위치한 날개는 쳐든각 효과를 나타내므로 날개만에 의한 쳐든각 효과와 거의 같은 효과를 낸다.

동체 아래에 위치한 날개(low wing)는 -3°나 -4° 정도의 쳐든각 효과를 내고, 동체 위에 부착된 날개(high wing)는 2°나 3°의 쳐든각 효과를 나타낸다. 따라서, 날개의 위치에 의한 쳐든각 효과의 크기가 중요하므로 동체 아래에 위치한 날개는 상당한 크기의 쳐든각을 필요로 한다.

3) 수직 꼬리 날게

수직 꼬리 날개도 가로 안정에 대해 중요한 영향을 끼친다. 수직 꼬리 날개가 클 경우 옆미끄럼에 의한 힘은 옆놀이 모멘트를 발생시킨다.

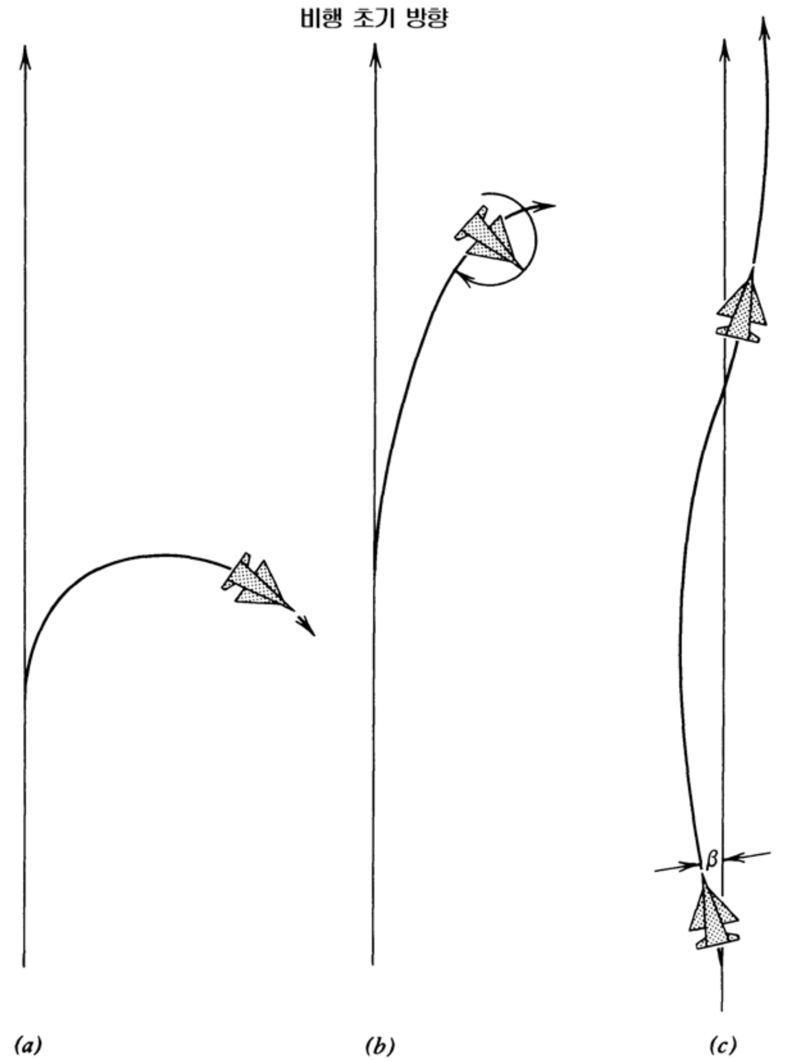
이러한 효과는 수직 꼬리 날개가 작았던 과거의 비행기에서는 작았지만 최신의 고속 비행기에서는 이 효과가 크다.

나. 동적 가로 안정

이제까지 옆미끄럼에 대한 비행기의 가로 안정과 방향 안정을 분리하여 생각하였다. 비행기의 가로 안정과 방향 안정을 자세히 살펴보기 위해서는 분리하여 생각하는 것이 편리하다. 그러나 비행기가 자유 비행 상태에 놓이게 되면 가로 안정과 방향 안정은 결합되어서 나타난다.

즉, 옆미끄럼에 의해 옆놀이 모멘트와 빗놀이 모멘트가 동시에 발생된다. 그러므로 자유 비행시 비행기의 동적 가로 운동은 가로 운동과 방향 운동의 효과를 결합한 상호 작용을 고려하여야 한다.

비행기의 동적 가로 안정의 특성을 결정하는 여러 가지 요소들의 복잡한 상호 작용은 그림에 나타낸 것과 마찬가지로, 다음의 세 가지의 비행기의 운동을 만든다.



1) 방향 불안정

방향 불안정(directional divergence)은 일반적으로 허용될 수 없으며, 초기의 작은 옆미끄럼에 대한 반응이 작은 옆미끄럼을 증가시키는 경향을 가진다면 방향 불안정이 생기게 된다. 옆미끄럼은 비행기가 바람 방향으로 기수를 돌리거나 구조적으로 파괴가 일어날 때가지 증가된다. 물론 정적 방향 안정성을 증가시키면 방향 불안정이 감소된다.

2) 나선 불안정

나선 불안정(spiral divergence)은 정적 방향 안정성이 쳐든각 효과보다 훨씬 클 때 나타난다. 나선 불안정은 결코 격심하지는 않다. 비행기가 수평 비행의 평형 상태로부터 외부의 영향을 받으면 느린 나선형 운동이 시작되어 점차적으로 나선 하강이 된다. 작은 옆미끄럼이 시작되면 상대적으로 약한 쳐든각 효과는 비행기를 가로 방향으로 복귀시키는 것을 지연시키는데 비해, 강한 방향 안정은 기수를 바람 방향으로 복귀시킨다. 대개의 경우 나선 운동에서의 발산율은 아주 작기 때문에 조종사가 어려움 없이 조종할 수 있다.

3) 가로 방향 불안정

가로 방향 볼안정은 더치 롤(dutch roll)이라고도 하며, 가로 진동과 방향 진동이 결합된 것으로서, 대개 동적으로는 안정하지만 진동하는 성질 때문에 문제가 된다.

평형 상태로부터 영향을 받은 비행기의 반응은 옆놀이와 빗놀이 운동이 결합된 것으로, 옆놀이 운동이 빗놀이 운동보다 앞서 발생된다. 이러한 운동은 바람직하지 않으며, 이것은 정적 방향 안정보다 쳐든각 효과가 클 때 일어난다.

6. 고속기의 비행 불안정

음속에 가까운 속도로 비행하는 비행기에서는 저속으로 비행하는 비행기에서는 나타나지 않는 특이한 비행 특성이 생기게 된다, 이러한 비행 특성 중에서 세로 방향과 가로 방향에 나타나는 비행기의 불안정성에 대해 살펴보기로 한다.

가. 세로 불안정

느린 속도로 비행을 하거나 하강 비행을 하는 비행기에서 나타나지 않던 현상들이, 비행기의 속도가 음속 가가이로 증가하게 되면 조종력에 역작용을 일으키는 턱 언더(tuck under)라는 현상이 발생되고, 하강 비행에서 조종간을 당기게 되면 기수가 올라가서 회복될 수 없는 피치 업(pitch up) 현상이 발생한다. 또, 수평 꼬리 날개의 위치에 따라 비행기가 실속에 들어갔을 때 실속에서 회복되기가 어려운 디프 실속(deep stall) 현상도 세로 불안정의 현상으로 발생된다.

여기서는 현재 민간 비행기들이 음속에 가까운 속도로 비행을 하면서 만나게 되는 세로 불안정 현상에 대해 좀더 자세히 살펴보기로 한다.

1) 턱 언더

속도가 느린 저속 비행에서는, 수평 비행이나 하강 비행에서 속도를 증가시킬수록 비행기의 기수가 올라가려는 경향이 커져서 조종간을 점점 세게 밀어야 한다. 그러나 음속에 가까운 속도로 비행을 하게 되면 속도를 증가시킬수록 기수가 오히려 내려가는 경향이 생겨 조종간을 당겨야 하는 형상이 생긴다.

이와 같이 기수가 내려가는 경향과 조종력의 역작용 현상을 턱 언더라 한다.

턱언더가 생기는 이유는, 비행기의 속도가 임계 마하수를 넘게 되면 날개면에 작용하는 압력 분포가 변화하게 되어 풍압 중심의 위치가 뒤쪽으로 이동하게 된다. 또, 속도가 증가하면 날개의 양력 계수가 작아지게 되고, 수평 꼬리 날개에 작용하는 내리흐름(down wash)도 작아지게 되어 꼬리 날개의 받음각은 증가하게 된다.

따라서, 기수내림 모멘트의 크기는 더욱 커지게 된다. 턱 언더에 의한 조종력의 역작용은 조종사에 의해서 수정하기가 어렵기 때문에 제트 수송기에서는 조종 계통에 마하 트리머(Mach trimmer) 또는 피치 트림 보상기(pitch trim compensator)를 설치하여 자동적으로 턱 언더 현상을 수정할 수 있게 한다.

천음속으로 수평 비행하는 비행기는 버핏(buffet) 경계 속도를 넘어서 비행을 계속하면 안 된다. 만일, 비행 속도를 증가하게 되면 천음속 영역에서 최대 양력 계수가 공기의 압축성 성질 때문에 제한을 받게 될 뿐만 아니라, 하중 계수가 커지면 압축성 실속 내지 날개가 이상 진동을 하는 버피팅(buffeting) 현상이 일어나게 된다.

수평 비행 속도를 증가하게 되면 버핏 경계 내에서는 받음각이 점차로 감소하게 되고, 버핏 경계를 넘어 충격파에 의한 실속이 생기게 되면 양력이 감소하게 되며, 이에 따라 수평 꼬리 날개의 내리 흐름도 감소하세 되어 비행기의 기수는 급격하게 내려가게 된다. 이 때, 비행기의 속도를 줄이기 위해 승강키를 올려서 기수를 들게 되면 받음각이 증가하게 된다. 따라서, 충격 실속이 더 커져서 양력이 더욱 감소하게 되어 비행기는 급격하게 하강하게 된다.

반대로 기수를 내리도록 조종을 하게 되면 속도가 더욱 증가하게 되고, 충격 실속이 더 크게 된다. 따라서, 충격 실속에서 벗어나기 위해서는 저속 실속에서와 같이 받음각을 감소시켜서는 안 되며, 단지 속도를 줄이는 방법밖에 없다. 속도를 줄이는 방법도 받음각을 변화시켜서는 오히려 역효과가 나타나기 때문에 속도브레이크(speed brake), 추력 브레이크(thrust brake) 또는 드레그 슈트(drag chute) 등의 장치를 사용하여 속도를 줄여야 한다.

2) 피 치 업

비행기가 하강 비행을 하는 동안 조종간을 당겨 기수를 올리려 할 때, 받음각과 각속도가 특정 값을 넘게 되면 예상한 정도 이상으로 기수가 올라가고, 이를 회복할 수 없는 현상이 생기게 된다. 이를 피치 업이라 하며, 그 원인을 다음의 네 가지로 생각할 수 있다.

가) 뒤 젖힘 날개의 날개 끝 실속 뒤 젖힘 날개의 표면에 충격파가 생기게 되면 아주 작은 받음

각에서도 경계층의 흐름이 날개 끝 쪽으로 향하게 되어 날개 끝의 경계층이 두꺼워지고, 결과적으로 날개 끝에 실속이 생기게 된다. 날개 끝에 실속이 생기게 되면 날개 끝부분의 양력이 감소하게 되고, 날개 뿌리 부분에서의 양력 때문에 풍압 중심이 앞으로 이동하게 되어 기수를 올리는 모멘트가 생기게 된다.

나) 뒤젖힘 날개의 비틀림 뒤젖힘 날개에 하중이 작용하게 되면 그림 4-33과 같이 날개의 붙임각이 감소하는 방향으로 비틀리게 된다. 조종간을 당겨서 날개에 큰 하중이 작용하게 되면 날개가 비틀리게 되고, 결과적으로 날개 끝에서의 양력은 감소하게 되며, 날개 뿌리 부분에서는 양력이 커지므로 기수를 올리는 모멘트가 생긴다.

다) 날개의 풍압 중심이 앞으로 이동 고속으로 하강 비행을 할 때 날개의 뒤쪽으로 후퇴하였던 풍압 중심의 위치가 조종간을 당기게 되면 속도가 줄어들고, 풍압 중심이 앞으로 이동하게 되어 기수를 올리는 모멘트가 생기게 된다.

라) 승강키 효율의 감소 하강 비행을 하는 비행기의 수평 꼬리 날개에 충격파가발생하게 되면 승강키의 효율이 떨어지므로 승강키 각을 크게 하여야 한다.

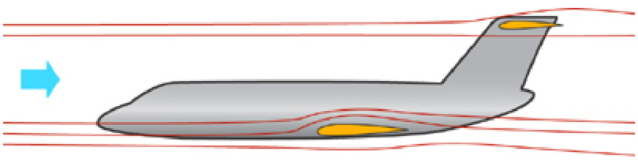
조종간을 당기면 속도가 점점 감소하고, 수평 꼬리 날개의 충격파도 없어지므로 승강키의 효율은 급격하게 증가되어 기수를 올리는 모멘트가 생기게 된다. 승강키에 트림 태(trim tab)를 사용할 경우에도 마찬가지의 이유로 기수 올림이 된다.

따라서, 고속으로 비행하는 비행기에서는 트림 태브를 사용하지 않고 수평 안정판의 각도를 변화시켜 트림을 주든지, 수평 안정판과 승강키가 같이 작동하는 안정판(stabilator)으로 하든지, 또는 꼬리 날개 전체가 움직이는 전동식 꼬리 날개(all movable tail)를 사용해야 한다.

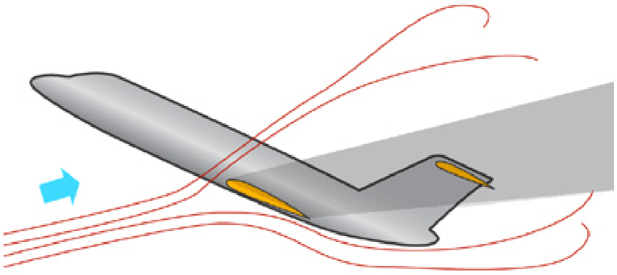
3) 디프 실속

수평 꼬리 날개가 높은 위치에 있거나 또는 T형 꼬리 날개를 가지는 비행기가 실속할 때에 생기는 문제로서 디프 실속 또는 슈퍼 실속(super stall)이 있다. 날개나 뒤쪽에 장착된 엔진 포트(port)가 실속 상태가 되면 수평 꼬리 날개는 동압이 작은 후류 속으로 들어가기 때문에 안정을 잃어버리게 되고, 또 안정성을 회복하려고 승강키에 큰 받음각을 주게 되더라도 효율이 떨어져 실속을 회복하기가 어렵게 된다.

수평 꼬리 날개가 낮은 위치에 있을 때에는 받음각(a)에 대한 키놀이 모멘트 계수의 관계를 나타내는 곡선은 실속 상태에서도 기울기가 음(-)의 값을 가져 정적 안정성을 가지지만, T형 꼬리 날개의 경우에서는 수평 꼬리 날개가 후류 안으로 들어가게 되면 기울기가 양(+)의 값을 가져 기수를 위로 올리는 모멘트가 작용하고, 받음각이 증가하는 정적 불안정을 나타낸다.



Normal flight



Deep Stall condition - T-tail in "shadow" of wing

수평 꼬리 날개가 후류에서 벗어나게 되면 비행기는 받음각이 큰 상태에서 안정이 될 때까지 받음각이 증가하게 된다. 실속 후의 운동은 복잡하게 되고, 이러한 상태에서는 승강키의 효율이 떨어지게 된다.

따라서, T형 꼬리 날개를 가지는 비행기에서는 디프 실속에 들어가는 것을 방지하기 위하여 동체 뒤쪽에 기관을 부착하는 경우에는 실속 트리거(stall trigger)의 역할을 위해 날개 윗면에 펜스(fence)를 붙이거나 날개 밑에 보틸론(vortilon)이라 부르는 일종의 펜스를 붙이는 것이 좋다.

실속 트리거 장치는 동체 가까이에 있는 날개의 앞전에 그림 4-35의 (b)와 같은 장치를 부착하여 받음각이 커서 실속하게 될 때, 동체 부근의 날개 쪽으로부터 흐름의 떨어짐이 생기도록 하는 장치로서, 날개 끝부분의 실속이 늦어지게 하여 도움 날개가 충분한 기능을 발휘할 수 있게 한다.

그림과 같은 장치를 특히 실속 스트립(stall strip) 또는 스핀 스트립(spin strip)이라 부른다.

나. 가로 불안정

비행기가 천음속 영역에서 비행할 때 발생되는 가로 불안정의 특별한 현상인 날개 드롭(wing drop)과 비행기의 한 축의 주위에 대해 살펴보도록 하자.

1) 날개 드롭

날개 드롭은 수평 비행이나 급강하로 속도를 증가하여 천음속 영역에 도달하게 되면 한 쪽 날개가 충격 실속을 일으켜서 갑자기 양력을 상실하여 급격한 옆놀이를 일으키는 현상을 말한다.

이 현상은, 비행기가 좌우 완전 대칭이 아니고, 또 날개의 표면이나 흐름의 조건이 좌우가 조금 다르기 때문에, 비행기가 수평 비행이나 급강하와 같이 받음각이 작을 때에 강하게 나타나서 한쪽 날개에만 충격 실속이 생기기 때문이다. 이러한 현상이 생기면 도움 날개의 효율이 떨어지므로 이를 회복하기가 어렵다. 물론 비행기의 운용 한계 안에서는 이와 같은 현상이 생기지 않도록 설계를 하여야 한다.

날개 드롭은 비교적 두꺼운 날개를 사용한 비행기가 천음속으로 비행할 때 나타나며, 얇은 날개를 가지는 초음속 비행기가 천음속으로 비행 할 때에는 발생하지 않는다.

2) 옆놀이 커플링

비행기의 좌표축에서 어떤 한 축 주위에 교란을 줄 때에 다른 축 주위에도 교란이 생기는 것을 커플링 또는 상호 효과(cross effect)라 한다. 예를 들면, 방향키만을 조작하거나 옆미끄럼 운동을 하였을 때 빗놀이와 동시에 옆놀이 운동이 생긴다. 이러한 현상은 커플링의 일종으로 이를 공력 커플링(aerodynamic coupling)이라 한다. 그러나 비행기의 승강키를 변위시킨 경우에는 키놀이 운동만 생기고 빗놀이나 옆놀이 운동은 생기지 않는다. 이 경우는 커플링이라 하지 않는다.

커플링에는 공력 커플링 외에 관성 커플링(inertia coupling)이 있다. 비행기가 고속으로 비행할 때 공기 역학적인 힘과 관성력이 상호 영향을 준 결과로 만들어진 형상이 관선 커플링이다.

비행기의 실제 운동에서는 공력 및 관성 커플링이 복잡하게 조합된 결과로 나타나지만, 그 정도에는 비행기에 따라 차이가 있다. 관성 커플링으로부터 생긴 모멘트가 공력적 복원 모멘트에 의해서 상쇄되는 경우에는 옆놀이 커플링은 문제가 되자 않는다. 이러한 현상은 보통 아음속기에서 나타난다.

초음속기에서와 같이 날개 길이가 짧고, 동체가 가늘고 긴 경우에는 기체축 주위의 관성 능률은 다른 축 주위보다 대단히 적어지므로 큰 옆놀이 각속도를 가지게 된다. 이 같은 큰 각속도가 받음각을 가지게 되면 큰 관성 커플링을 일으켜 받음각과 옆미끄럼각을 계속 증가시켜서 발산하게 된다. 이러한 현상을 옆놀이 커플링(roll coupling)이라 하며, 이와 같은 발산 경향은 비행기의 세로 안정과 방향 안정이 충분히 크다면 극복될 수가 있다.

세로 안정은 초음속기에서 크게 변화하지는 않지만 방향 안정은 음속을 넘게 되면 크게 감소한다. 이 때문에 옆놀이에 따라 생기는 옆미끄럼각 발산을 막는다는 것은 대단히 어렵다.

옆놀이 커플링을 줄이는 방법에는 여러 가지가 있는데, 그 중에서 몇 가지만 예를 들면, 방향 안정성을 증가시키고, 쳐든각 효과를 감소시키고, 정상 비행 상태에서 바람축과의 경사를 최대한 줄

이며, 불필요한 공력커플링을 감소시키고 , 옆놀이 운동에서의 옆놀이율이나 기간, 그리고 받음각 등을 제한하는 것이다.

최근의 초음속기에서는 수직 꼬리 날개의 면적을 크게 하거나 벤트럴 핀(ventral fin)을 붙여서 고속 비행시에 도움 날개나 방향키의 변위각을 자동적으로 제한하여 옆놀이 커플링 현상을 막도록 한다.

제11장 항공 기상

1. 대기의 기온과 습도

가. 대기의 열운동

1) 전도(Conduction)

분자운동을 통한 에너지 전달 방법으로서, 물질의 이동 없이 열이 물체의 고온부에서 저온부로 이동하는 현상을 가리킨다.

2) 대류(Convection)

유체의 운동에 의한 에너지 전달 방법으로서, 자유대류와 강제대류로 나눌 수 있다.

자유대류는 유체의 부력에 의해 발생되는 대류이다. 즉. 유체 일부분의 가열 또는 냉각으로 인하여 수평방향의 밀도 차가 생기게 되면 밀도가 작은 부분은 상승하고 밀도가 큰 부분은 하강하게 되는데, 이러한 현상이 자유대류이며 이 자유대류에 의한 이동현상을 통해 에너지가 전달되게 된다.

강제대류는 유체에 기계적인 힘이 작용하여 발생하는 대류를 가리킨다. 전선면 상의 따뜻한 공기 상승, 산의 사면을 따라 올라가는 상승류 등이강제대류에 해당한다.

3) 이류(Advection)

연직방향으로의 유체 운동에 의한 수송이 우세한 경우를 대류라 하고, 수평방향으로의 유체 운동에 의한 수송이 우세한 경우를 이류라고 한다.

공간적으로 널리 퍼져 있는 대기는 가지고 있는 온도, 운동량, 미량성분 등의 물리량 분포가 일정하지 않다. 어떤 지점에서의 특정 물리량의 시간적 변화에는 다른 장소로부터 유체가 이동되어 오는 데 따른 변화가 포함되어 있다. 이와 같은 수평적 이동 현상을 이류라고 한다.

4) 복사(Radiation)

물체로부터 방출되는 전자파를 총칭하여 복사라고 한다. 전자기파에 의한 에너지 전달 방법으로써, 전도, 대류 및 이류와는 달리 에너지가 이동하는데 매체를 필요로 하지 않는다. 때문에 우주공간을 지나오는 태양에너지 이동은 주로 복사 형태로 이루어진다.

나. 기온

온도는 물체의 차고 더운 정도를 수량적으로 표시한 것이다.
즉, 공기의 차고 더운 정도를 수량으로 나타낸 것이 기온이다.

1) 섭씨온도(Celsius, ℃)

1기압에서 물의 어는점을 0℃, 끓는점을 100℃로 하여 그 사이를 100등분한 온도이며, 단위 기호는 ℃이다.

2) 화씨온도(Fahrenheit, ℉)

있는 가장 낮은 온도를 0°F(≒-18℃)로 정의하고, 물의 어는점을 32°F,끓는점을 212°F로 하여 그 사이를 180등분 한 것이다.

3) 절대온도(Kelvin, K)

열역학 제 2법칙에 따라 정해진 온도로서, 이론상 생각할 수 있는 최저 온도를 기준으로 하는 온도단위이다. 즉, 그 기준점인 0K는 이상기체의 부피가 0이 되는 극한온도 -273.15℃와 일치한다.

<참고> 환산법

○ 섭씨온도와 화씨온도의 관계

℉ = 1.8℃ + 32　　　　℃ = $\frac{5}{9}$

○ 절대온도와 섭씨온도의 관계

K = ℃ + 273.15　　　　℃ = K - 273.15

다. 기온의 일변화

기온은 일출 일몰 현상과 함께 주기적인 변화를 한다.

지면이 태양으로부터 받는 일사량은 일출과 더불어 차츰 증가되다가 일몰 때는 0이 된다. 지면은 태양열을 받아 가열되며, 한편으로는 열을 공중으로 복사 방출한다. 대기가 데워지는 것은 지면에서의 복사열에 의하므로, 일출과 더불어 지면의 온도가 상승함에 따라 기온도 상승한다. 일사량은 정오에 최대가 되나 지구 복사량은 이보다 약간 늦은 정오를 넘는 시간에 최대가 되므로, 일

최고 기온은 오후 1~3시 사이에 나타난다. 일몰 후 일사량은 없어지지만 이후에도 지면 복사의 방출은 계속되기 때문에 최저 기온은 일출 전에 나타난다.

해안 지역에서 낮과 밤에 풍향이 변하는 현상도 기온의 일변화 영향이다. 육지와 바다의 비열 차이로 밤낮의 해상과 육상의 기온경도가 바뀌게 되어, 밤에는 육풍, 낮에는 해풍이 부는 해륙풍이 불게 되는 것이다.

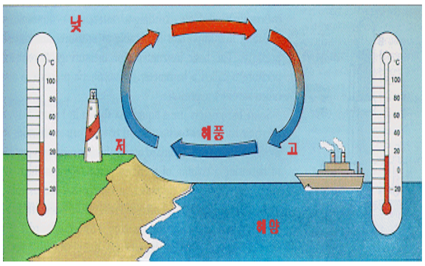


그림 1.1 해풍(낮)

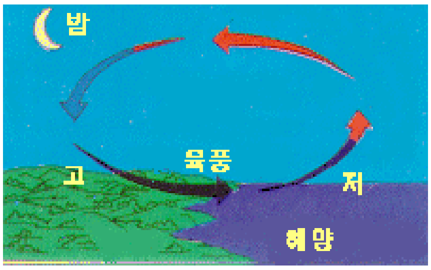


그림 1.2육풍(밤)

비열이 작은 육지는 조그마한 열 차이로 쉽게 뜨거워지고, 쉽게 식는다. 이러한 특징 때문에 고도에 따라 온도가 상승하는 역전층이 지표 가까이에 생성되게 된다. 일 최고 기온에 도달한 후, 일사량이 감소하기 시작하면지상기온도 감소하기 시작하는데, 비열이 작은 지표는 대기보다 더 빨리온도가 떨어지게 된다. 따라서 지표 가까이에 있는 곳의 기온이 지표에서 어느 정도 떨어져 있는 상층보다 더 낮아지게 된다. 결과적으로 상층으로 올라갈수록 기온이 높아지는 역전층이 발생되는데, 이런 날은 안개가 발생 할 확률이 높다. 역전층은 구름이나 기타 에어로졸이 없는 맑은 날 더 잘 발생된다.

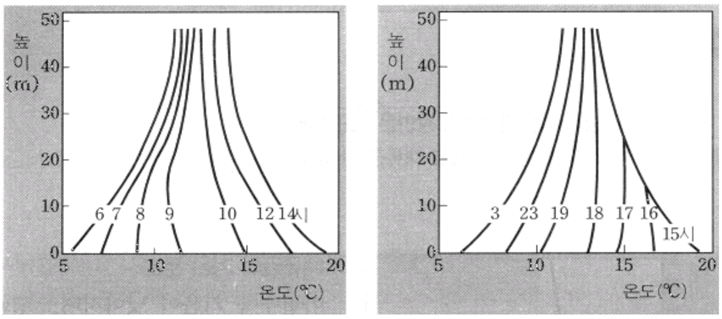
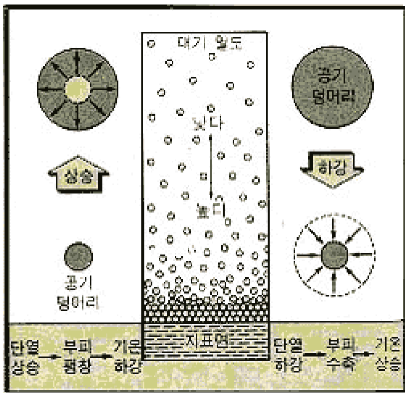


그림1.3역전층 생성 원리

라. 단열과정

기체가 외부로부터 열을 얻거나 빼앗기지 않고 온도가 변하는 현상을 단열변화라고 한다. 대기의 덩어리는 상당히 큰 반면 열의 출입은 표면에서만 일어나므로 공기덩어리의 온도 변화는 단열

변화라고 가정할 수 있다.



단열변화

·단열압축 : 공기의 하강으로 인해 주위의 기압이 높아지면 공기 덩어리가 점점 압축하게 되는데, 이것을 단열압축이라 함.

1) 포화공기

공기 중에 포함된 수증기량은 공기 온도에 따라 공기 중에 포함될 수 있 는 한계가 있는데, 최대 한도의 수증기를 포함한 공기를 포화공기라 한다. 공기의 온도가 상승하면 포화압력도 상승하여 공기는 보다 많은 수증기를 함유할 수 있게 되며, 온도가 내려가면 공기가 함유할 수 있는 수증기의 한도는 작아져 포화압력은 내려간다. 즉, 포화공기를 가열하면 불포화공기로 되고, 냉각하면 과포화 공기가 된다.

2) 불포화공기

포화상태에 도달하지 못한 습윤공기로서 실제 공기는 대부분의 경우 불포화공기이다.

3) 건조단열변화

포화되지 않은 공기가 상승 또는 하강하면서 주위의 기압 변화에 따라 온도가 단열적으로 변화하는 것으로서, 1km 상승할 때마다 약 10℃ 정도의 온도가 감소하는데, 이를 건조단열감률(10℃/km)이라 한다.

4) 습윤단열변화

수증기로 포화된 공기가 상승 또는 하강하면서 주위의 기압 변화에 따라 온도가 단열적으로 변화

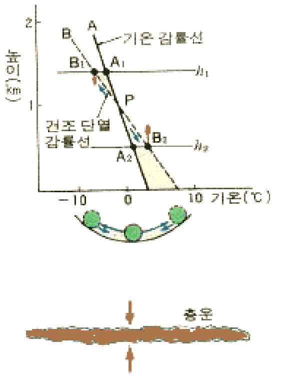
하는 것으로서, 공기 덩어리가 1㎞ 상승할 때마다 약 5℃정도의 온도가 감소하게 된다. 이를 습윤 단열감률(5℃/㎞)이라 한다.

마. 대기의 안정도

단열적으로 상승 또는 하강하는 공기와 주위 공기의 온도 사이에는 차이가 있다. 이러한 온도의 차이는 공기 덩어리의 연직 운동을 결정하는 중요한 척도가 된다.

1) 안정

- 기온감률 < 건조 단열 감률
- 어떤 원인에 의해 상승 또는 하강하게 된 공기가 원래의 위치로 돌아간다.
- 수평 방향으로 넓게 퍼진 층운형 구름이 생긴다.



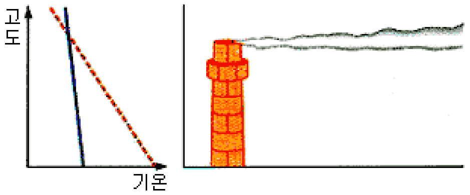
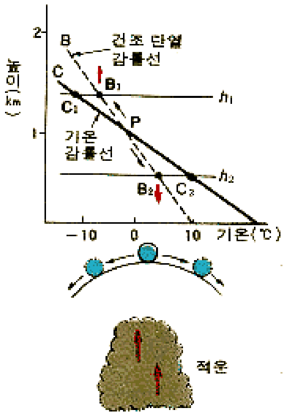


그림 1.4 안 정

2) 불안정

- 기온감률 > 건조 단열 감률
- 어떤 원인에 의해 상승 또는 하강하게 된 공기가 계속 상승하거나 계속 하강한다.
- 수직으로 발달한 적운형의 구름이 생긴다.



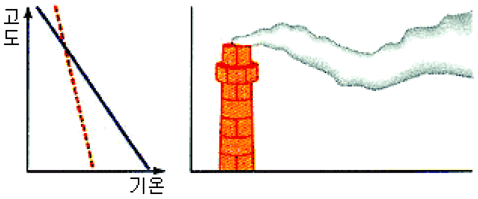


그림 1.5불안정

3) 중립

- 기온감률 = 건조 단열 감률
- 공기 덩어리가 그 위치에 머문다.

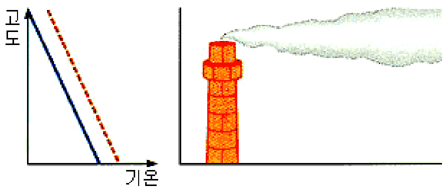


그림 1.6중립

4) 절대 안정

- 기온감률 < 습윤단열감률 < 건조단열감률
- 어떤 원인에 의해 상승 또는 하강하게 된 공기가 원래의 위치로 돌 아 간다.

바. 습도

습도는 공기 중에 수증기(물이 증발하여 생긴 기체, 또는 기체 상태로 되어 있는 물)가 포함되어 있는 정도 또는 그 양을 나타내는 것이다.

1) 수증기량

공기 중에 포함된 수증기의 절대량을 표현하는 방법은 다음과 같다.

▶ 혼합비 : 건조공기 1Kg에 대응하는 수증기의 g수. 즉, 습윤공기를 수증기가 전혀 포함되지 않은 건조공기와 수증기와의 혼합물이라고 가정했을 때, 건조공기 1Kg에 대응하는 수증기의 양을 g으로 나타낸 것이다.(g/kg)

▶ 비습 : 혼합비와 비슷한데, 습윤공기 1Kg 속에 포함되어 있는 수증기량을 g으로 나타낸 것이다(g/kg)

2) 수증기압

혼합기체중 한 기체에 관련된 압력을 부분압력이라 하며, 이 중 수증기의 부분압력을 수증기압이라 한다.

단위는 hPa 또는 mb 이고, 기호 e(Evaporation)로 표시한다. 자유수면을 통하여 출입하는 수증기의 수가 같을 때를 포화라고 하며, 이때의 수증기압을 포화수증기압이라 한다. 포화 수증기압은 온도가 증가할수록 커진다.

등온변화일 때 수증기압은 일정하다.

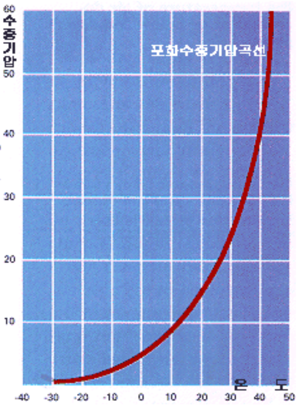


그림 1.7
포화수증기압곡선

3) 절대 습도

1㎥ 공기 중에 포함되어 있는 수증기의 g수. 공기덩이에 수증기량의 변화가 없어도 기온이 변하면 공기가 팽창 또는 수축하여 절대습도가 변한다. 단위는 kg/m^3 이다.

4) 이슬점 온도

공기가 포화되었을 때의 온도인데, 이 온도에 도달하면 공기가 포화되고 이슬이 맺히기 시작한다.

5) 상대습도

현재 공기 속에 있는 수증기의 양과 그 온도에서의 포화 수증기량과의 비를 백분율로 표현한 것이다. 또는 포화 수증기압에 대한 현재 수증기압의 비를 나타내기도 한다. 보통 습도라고 하면 이 상대 습도를 가리키며, 상대 습도는 건습구 습도계나 모발 습도계 등으로 측정한다.

$$RH = \frac{(\text{단위체적내수증기의양})}{(\text{포화수증기밀도})} \times 100(\%) \quad \text{또는}$$

$$RH = \frac{e}{E} \times 100(\%)$$

상대습도는 수증기량 외에도 온도의 영향을 받는다. 상대습도의 일변화는 기온의 일변화에 따라 달라지며 일반적으로 기온이 높을 때 습도가 낮고 기온이 낮으면 습도가 높다

2. 기 압

대기의 압력을 기압이라 한다. 유체 내의 어떤 점의 압력은 모든 방향으로 균일하게 작용하지만, 어떤 점의 기압이란 그 점을 중심으로 한 단위면적 위에서 연직으로 취한 공기 기둥 안의 공기 무게를 말한다.

가. 기압의 측정단위

1) 공식적인 기압의 단위는 hPa이며, 소수 첫째자리까지 측정한다.
2) 수은주 760㎜의 높이에 해당하는 기압을 표준기압이라 하고, 이것을 1기압(atm)이라고 하며 큰 압력을 측정하는 단위로 사용한다.
3) 환산

국제단위계(SI)의 압력단위 1파스칼(Pa)은 $1m^3$당 1N의 힘으로 정의되어 있다. 1mb=1hPa, 1표준기압(atm)=760mmHg=1,013.25hPa의 정의식으로 환산한다.

1hPa = 1mb = 10^{-3}bar = 103baryes = 103dyne/㎠ = 0.750062mmHg = 0.0295300inHg 1기압 = 1,013.25hPa = 1,013.25mb = 760mmHg = 29.92inHg

나. 해면기압

평균해수면 높이에서의 기압이다. 높이가 다른 여러 관측소의 기압을 해면에서 측정한 값으로 환산한 값이며, 일기도에는 해면기압을 기록한다.

다. height, altitude, 비행고도

1) 높이(Height) : 특정한 기준으로부터 측정한 고도. 한 점 또는 한 점으로 간주되는 물체까지의 연직거리
2) 고도(Altitude) : 평균 해수면 높이로부터 측정된 높이. 한점 또는 한 점으로 간주되는 어느 층까지의 연직거리
3) 비행고도 : 특정 기압 1013.2hPa을 기준으로 하여 특정한 기압간격으로 분리된 일정한 기압면

라. QNH, QNE, QFF, QFE

1) QNH : 표준대기의 기준에 따라 기압 1013.25mb를 고도 0으로 지정한 기압이다. QNH로 기압을 나타낼 때에는 활주로 상에 있는 항공기의 고도계는 그 활주로의 정확한 표고를 가리킨다. 착륙 전에 그 공항의 QNH로 고도계 수정을 할 필요가 있다. 이를 고도설정이라고도 한다.

2) QNE : 기압고도계의 영점을 표준대기의 해면기압 1013.25mb에 맞추는 기압측정방식이다. QNE로 공항의 착륙지점까지의 고도를 알 수 있다. 넓은 의미로 이것은 기압고도라 할 수 있다. 대양 상공을 비행하거나 특정 고도 이상의 고공을 비행할 때에는 QNE를 사용한다.

3) QFE : 항공기가 활주로 상에 착륙했을 때, 즉 공항 공식 표고점 상에 있을 때 고도계가 영점을 가리키도록 규정한 기압을 말하며, 활주로 위 3m의 기압값과 같다.

4) QFF : 공항으로부터 해수면까지를 등온대기로 가정하여 해면 경정한 기압으로, 현재온도를 사용한다. 대기의 현재 상태가 국제표준대기와 현저히 다를 때 QFF와 QNH는 확연히 구별된다.

마. 지상일기도

지상일기도는 해면기압의 분포, 지상기온, 풍향 및 풍속, 날씨, 구름의 종류와 높이 등의 기상상태를 분석하는 일기도를 말한다.

지상일기도는 날씨분석을 위한 기본 일기도로 사용되고 있으며 일정한 시간 간격으로 작성하여 날씨의 분포를 파악하고 앞으로의 변화를 예측하는데 사용하고 있다. 지상 일기도는 등압선, 등온선, 구름 자료를 분석하고 등압선은 1000hPa을 기준으로 하여 4hPa간격으로 그린다.

1) 등압선

기압이 같은 지점을 연결해 놓은 선이다. 지표면의 여러 관측소에서 측정한 기압 값을 해면기압값으로 보정하여 지도상의 각 관측소의 위치에 기입하고, 기압이 같은 지점을 연결하여 작성한다. 1000hPa을 기준으로 하여 4hPa 간격으로 그리며, 선 간격이 넓은 곳에서는 2hPa의 점선을 표시하기도 한다. 등압선은 도중에 없어지거나 서로 교차하지 않으며, 등압선의 간격이 좁을수록 기압의 차가 크므로 바람의 세기가 강함을 알 수 있다.

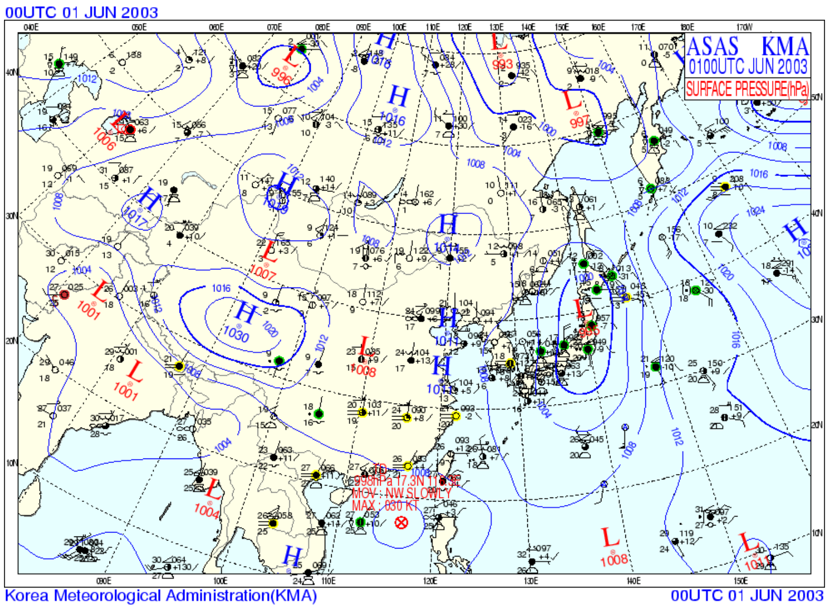


그림 2.1 지상일기도

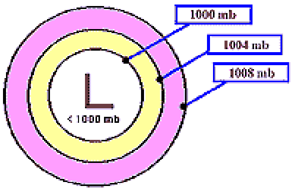
2) 기압패턴

가) 고기압 : 주위보다 기압이 높은 곳

- 고기압권 내의 바람은 북반구에서는 고기압 중심 주위를 시계방향으로 회전하고 남반구에서는 반시계 방향으로 회전하면서 불어 나간다. 이로 인해 고기압권 내에서는 전선이 형성되기 어렵다.
- 기압경도는 중심일수록 작으므로 풍속도 중심일수록 약하다.
- 고기압권 내의 일기는 상공에서 수렴된 공기가 하강기류가 되어 지표 부근으로 내려오기 때문에 구름이 있어도 소멸되어 일반적으로 날씨가 좋다. 그러나 쇠약단계의 고기압 또는 고기압 후면에서 하층가열이 있을 때에는 대기가 불안정하여 대류성 구름이 발생할 수 있고 심하면 소나기, 뇌우를 동반하기도 한다.

나) 저기압 : 주위보다 기압이 상대적으로 낮은 곳

- 저기압 내에서는 주위보다 기압이 낮으므로 사방으로부터 바람이 불어 들어오는데, 지구의 자전으로 지상에서의 저기압의 바람은 북반구에서는 저기압 중심을 향하여 반시계 방향으로, 남반구에서는 시계방향으로 분다.
- 저기압 중심부근의 상승기류에서는 단열냉각에 의해 구름이 만들어지고 비가 내리므로 일반적으로 저기압 내에서는 날씨가 나쁘고 비바람이 강하다.



고기압 저
기압

그림 2.2고기압 / 저기압

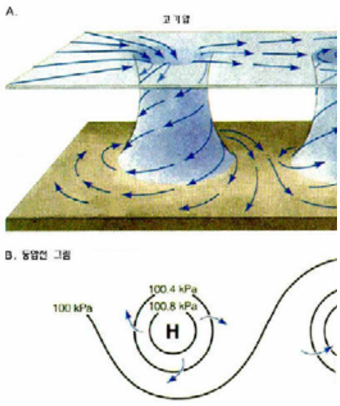


그림 2.3 고기압과 저기

다) 기압골 : 기압이 띠 모양으로 낮게 되어 있는 부분.

고기압과 고기압 사이에 생기며, 일기도에서는 등압선이 가늘고 길게 뻗어 있다. 일반적으로 기압골이 서쪽으로부터 다가오며 날씨는 나빠진다.

라) 기압능 : 대기 중의 같은 고도면에서 주위보다 기압이 상대적으로 높은 영역이며, 일기도에서 고기압의 중심으로부터 길게 「V」 자 또는 「∩」 자 모양으로 뻗어 있다. 날씨가 맑다.

3) 기압경도

기압의 거리에 대한 변화비율을 말한다. 즉, 기압의 기울기이다. 벡터이므로 방향과 크기를 가진다. 기압경도는 편의상 경도선 1도에 대한 기압의 변화 비로 나타낸다. 그러나 이론적으로는 100㎞에 대한 기압의 비로 표현하고 있다.

바람은 기압경도에 직각에 가까운 각도로 불고, 그 속도는 기압경도의 크기에 비례한다. 따라서, 일기도 상에서 등압선 또는 등고선이 밀집되어 있는 곳은 기압경도가 큰 곳으로서 바람이 강하다.

바. 등압면 일기도

1) 표준등압면 고도와 그 표준 고도

등압면(hPa)	표준고도(gpm)	기준고도(gpm)	등고선 간격(gpm)

2) 등고선

등압면 일기도에서 지오포텐셜 고도가 같은 곳을 연결한 선을 말한다. 고층일기도의 등고선은 지상일기도의 등압선과 유사한 의미를 갖는다. 등고선이 조밀한 부분은 기압경도 즉, 바람이 센 곳이다. 각 고도에 따라 일정한 등고선 간격으로 그리며, 중간에 끊기거나 교차할 수 없다.

상층일기도에서는 지상일기도와 달리 등압면에서의 등고선 분석을 실시하는 이유

- 고층관측에서 일정고도의 기압값을 얻기보다는 일정 기압면의 고도값산출이 용이하다
- 등압면도 거의 수평을 이루고 있어서 등고도면과 큰 차가 없다.
- 등압면에서의 등온선은 단열변화를 가정할 때 등온위선으로 간주할 수있어서 등압면으로부터 등층후선을 쉽게 구할 수 있다.
- 등노점온도선은 등혼합비선으로 간주할 수 있다.
- 같은 위도에서는 지균풍이 고도차에만 비례하고 대기의 밀도는 무관하므로 지균풍 계산이 용이하다.
- 등압면상을 비행하는 항공기에서 사용하기 편리하다.

3) 등압면 일기도 구성

상층일기도 종류	등고선	등온선	등포차선	전선	기압능 기압골	등풍속선 (Jet)

△: 분석할 경우도 있음.

사. 항공기 이륙 시 기압의 영향

항공기는 공기의 부력을 크게 받아야 쉽게 이륙할 수 있다. 따라서, 공기의 밀도가 큰 고기압일 때 이륙이 훨씬 용이하다. 저기압일 때에는 공기 자체의 상승류가 있어서 항공기를 받쳐줄 공기의 부력이 약하게 되고, 자칫 잘못하면 사고로 연결될 수도 있다.

3. 바 람

가. 개요

공기의 지표면에 대한 상대적 운동, 즉 일사에 의한 지표의 부등가열로 지역 간의 수평 기압경도력 차가 생기게 되고, 이에 의해 공기가 수평으로 이동함으로써 발생하는 것으로, 온도와 습도의 변화를 가져온다. 풍속의 수평성분이 수직성분보다 매우 크므로 일반적인 기상관측에서는 수평성분만을 대상으로 한다. 실제의 바람은 지표 부근에서는 등압선과 25~35°의 각도를 이루면서 불고, 상공에서는 지균풍·경도풍에 가까운 바람이 분다.

1) 풍향

풍향은 바람이 불어오는 방향을 말하며, 보통 일정 시간 내의 평균풍향을 뜻한다. 16방위 또는 8방위나 32방위, 36방위로 나타내며, 그 어느 것이나 지리학상의 진북을 기준으로 한다. 풍속이 0.2m/sec 이하일 때에는 "무풍 "이라 하여 풍향을 취하지 않는다.

2) 풍속

풍속은 공기가 이동한 거리와 이에 소요된 시간의 비로써, 일정 시간을 취한 경우를 평균풍속이라 한다. 순간적인 값을 순간풍속이라고 표현하기도 하지만, 단지 풍속이라고 할 때에는 평균풍속을 의미한다.

풍속의 단위는 일반적으로 m/s를 이용하나, km/hr, mile/hr, knot를 이용할 때도 있다. 기상전

보에서는 노트(knot)가 주로 이용되는데 m/s의 2배를 하면 대략 노트 값과 일치한다.

풍속이 0.5m/s(1knot) 이하일 때를 정온(calm)이라 하며, 바람이 약해서 풍향을 확실하게 결정할 수 없는 경우이다. 따라서 풍향이 없는 것으로 하여 기록할 때에는 '00'으로 표기한다.

3) Wind Velocity

Wind Velocity는 바람의 벡터 성분을 표현하는 것으로서, 스칼라 양인 풍속(Wind Speed)과는 다르다. Wind Velocity의 크기가 Wind Speed이며, Wind Speed에 바람 방향 성분이 포함된 것이 Wind Velocity이다.

4) Wind Shear

바람 진행방향에 대해 수직 또는 수평 방향의 풍속 변화로서, 풍속, 풍향이 갑자기 바뀌는 돌풍 현상을 가리킨다. 수평으로 윈드시어가 발생하면 순압불안정이 생겨서 소용돌이가 형성되고, 연직으로 윈드시어가 발생되면 기류가 흩어져서 청천난류 등이 발생한다.

5) 순전(順轉)과 반전(反轉)

저기압이나 불연속면이 통과할 때 어느 장소의 풍향이 남동→남→남서와 같이 시계방향으로 변하는 것을 풍향의 순전이라 하고, 그 반대방향의 변화를 풍향의 역전 또는 반전이라고 한다.

나. 수평풍을 일으키는 힘

1) 기압경도력

두 지점 사이에 압력이 다르면 압력이 큰 쪽에서 작은 쪽으로 힘이 작용하게 되는데, 이를 기압경도력이라 한다.

기압경도력은 두 지점간의 기압차에 비례하고 거리에 반비례한다.

기압경도력(f) $\propto$ $\triangle P/L$

⇒ 바람은 기압이 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 힘이 작용하고 등압선의 간격이 좁으면 좁을수록 바람이 더욱 세다.

2) 전향력(코리올리 힘)

지구 자전에 의해 지구 표면을 따라 운동하는 질량을 가진 물체는 각운동량 보존을 위해 힘을 받게 되는데 이를 전향력이라 한다. 전향력은 매우 작은 힘이므로 큰 규모의 운동에서만 그 효과

를 볼 수 있으며, 실제 존재하는 힘이 아니고 지구의 자전 때문에 작용하는 것처럼 보이는 것에 불과하다.

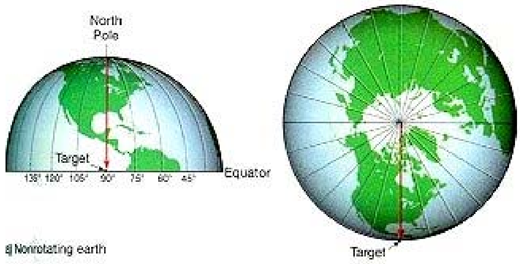


그림 3.1 지구가 자전하지 않을 때 물체의 진행 (→)

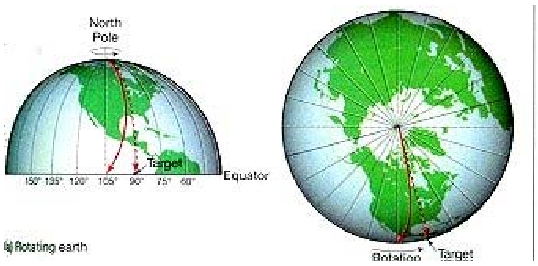
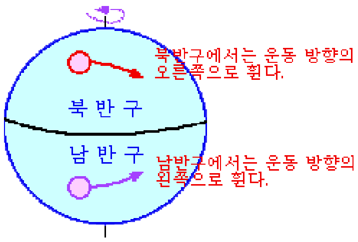


그림3.2 지구가 자전할 때 물체의 진행 (→)



- 지구상에서 운동하는 모든 물체는 북반구에서는 오른쪽으로 편향되고, 남반구에서는 왼쪽으로 편향되며 고위도로 갈수록 크게 작용한다.
- $F = 2mvw\sin\phi$(질량, 운동하는 물체의 속도, 자전각속도, 위도에 비례)

  ∴ 극에서 가장 크고 적도에서는 0이다.

3) 구심력

원 운동을 하는 물체에서 원심력의 반대방향인 원의 중심을 향하는 힘이며, 대기의 운동에서 등압선이 곡선일 때 나타나는 힘이다.

4) 지표마찰력

대기의 분자는 서로 충돌하면서 마찰을 일으키고 지면과도 마찰을 일으키는데, 이때 발생하는 마찰열은 대개 열에너지로 전환되며 대기의 운동을 복잡하게 만드는 원인이 된다. 지표의 영향이

아니어도 바람의 층 밀리기를 약하게 만드는 내부 마찰이 있다.

다. 지상마찰에 의한 바람

1) 지상풍 : 1km 이하의 지상에서 부는 바람으로 마찰의 영향을 받는다.

가) 등압선이 직선인 경우 : 전향력과 마찰력의 합력이 기압경도력과 평형을 이루어 등압선과 각(θ)을 이루며 저기압 쪽으로 분다.

- 등압선과 이루는 각(θ)은 마찰력에 비례하고 고도에 반비례한다.
- 해양은 대륙보다 마찰력이 작아 등압선과 이루는 각(θ)이 작다.
  :등압선과 이루는 각이 대륙은 15°, 해양은 45°이다.
- 전향력의 영향으로 북반구는 오른쪽(남반구는 왼쪽)으로 치우쳐 분다.

나) 등압선이 원형인 경우 : 바람에 작용하는 모든 힘 즉 기압경도력, 전향력, 원심력, 마찰력의 합력이 균형을 이루어 분다.

- 중심이 고기압인 경우 : 북반구(남반구)에서 시계 방향(반시계 방향)으로 불어 나간다.
- 중심이 저기압인 경우 : 북반구(남반구)에서 반시계 방향(시계 방향)으로 불어 들어간다.
- 일상 생활에 쓰이는 지상 일기도에 적용된다.

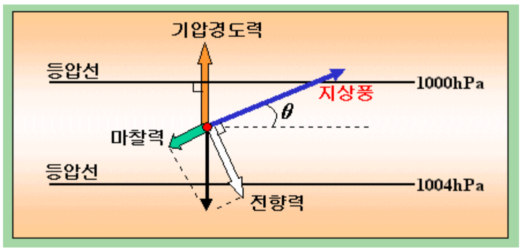


그림 3.3 지상풍(등압선이 직선인 경우)

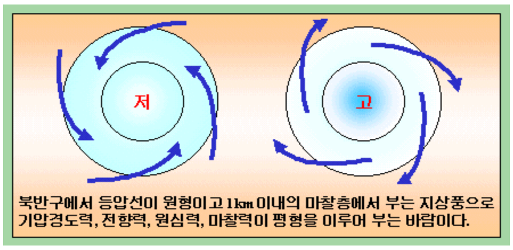


그림 3.4 지상풍(등압선이 원형인 경우)

다) 이·착륙할 때의 지상풍 영향

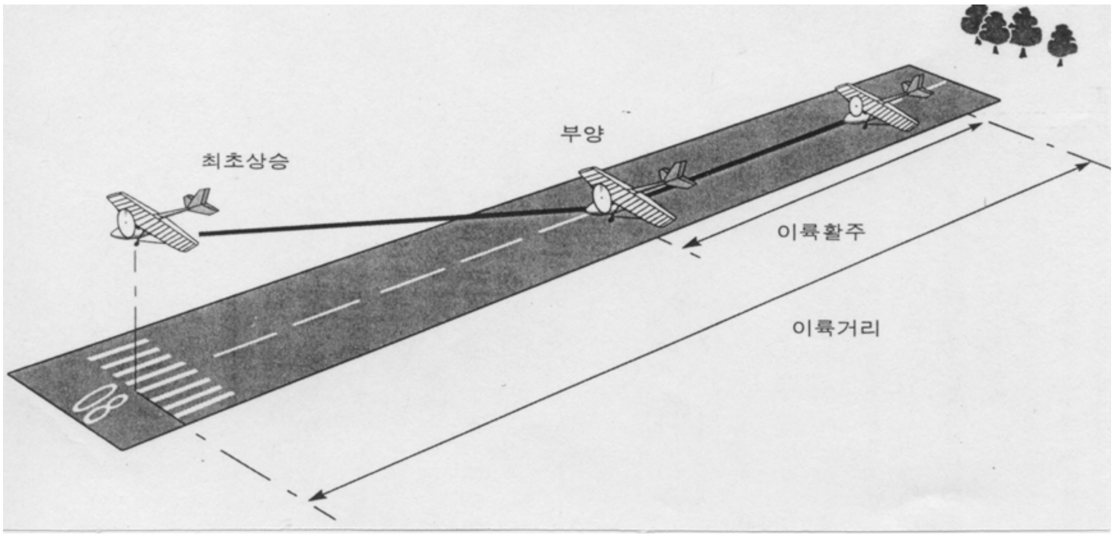


그림 3.5이 · 착륙시 지상풍의 영향

- 일반적으로 바람은 불어오는 방향에 따라 이름이 붙는다. 그러나 항공기에서는 항공기를 중심으로 방향을 구분한다.

정풍(Head Wind) : 항공기 전면에서 뒤쪽으로 부는 바람
배풍(Tail Wind) : 항공기 뒤쪽에서 앞으로 부는 바람
측풍(Cross Wind) : 측면에서 부는 바람
상승기류(Up-Draft) : 지상에서 하늘 쪽으로 부는 상승풍
하강기류(Down-Draft) : 하늘에서 지상 쪽으로 부는 하강풍

- 항공기는 특별한 상황이 아닌 한 항상 바람을 안고(맞바람) 이착륙해야 한다(이륙 시에는 가급적 빨리 부양력을 얻고, 착륙시에는 조종사의 의도대로 항공기를 원하는 활주로 부분에 정확하게 착지시킬 수 있도록 하기 위함)

2) 거스트(gust, 돌풍) : 일정 시간 내(보통 10분간)에 평균 풍속보다 10knot 이상의 차이가 있으며, 순간 최대 풍속이 17knot이상의 강풍일 경우 지속시간이 초 단위 일 때를 말한다.돌풍이 불 때는 풍향도 급변한다. 때로는 천둥을 동반하기도 하며 수분에서 1시간 정도 계속되기도 한다. 일기도상으로는 보통 발달하기 시작한 저기압에 따르는 한랭전선에 동반되며, 돌풍이 커지느냐의 여부는 기온의 수직방향의 체감률과 풍속의 차이에 의해서 정해진다.

3) 스콜(squall)

갑자기 불기 시작하여 몇 분 동안 계속된 후 갑자기 멈추는 바람을 말한다.

- 풍향이 급변할 때가 많다. 흔히 강수와 뇌우 등의 변화도 가리키는데, 이 경우에도 바람의 돌연한 변화를 동반하는 경우에 한 한다. 세계기상기구에서 채택한 스콜의 기상학적 정의는 '풍속의 증가가 매초8m 이상, 풍속이 매초11m 이상에 달하고 적어도 1분 이상 그 상태가 지속되는 경우' 라고 한다.

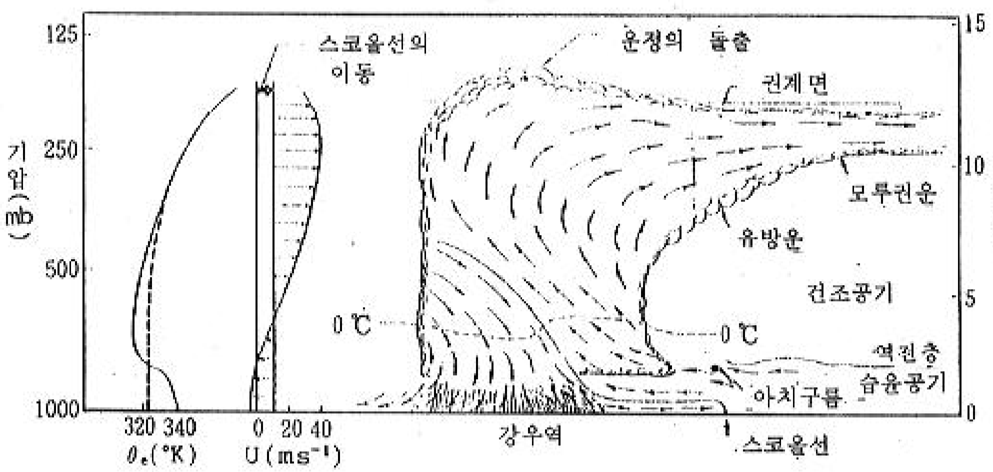


그림 3.6스콜의 발생과 스콜선

- 스콜은 특징 있는 모양의 구름이 나타나지만, 구름이 전혀 나타나지 않을 때도 있다

그림 3.7적도부근의 스콜현상

- 스콜선이란 광범위하게 이동하는 선에 따라 나타나는 가상의 선을 말한다. 한랭전선 부근이나 적도무역풍대에서 발생하기 쉬우며, 우리나라 한여름에 내리는 소나기도 스콜이다. 일반적으로는 한낮에 강한 일사로 인한 대류활동이 왕성하여 증발량이 많은 열대지방에서 자주 내린다.

4) 바람의 일변화 : 해륙풍, 산곡풍

5) 지형상의 영향 : 국지풍(높새바람)

라. 국지풍

1) 태풍(열대성 저기압)

열대성 저기압 중심부의 최대 풍속이 32㎧이상일 때를 말한다.

그림 3.8 풍의 발생장소와 이동경로

가) 태풍의 종류 : 북태평양 남서부인 필리핀 부근 해역에서 발생하여 동북아시아를 내습하는 태풍(typhoon), 서인도 제도에서 발생하여 플로리다를 포함한 미국 동남부를 피해를 주는 허리케인(hurricane), 인도양에서 발생하여 그 주변을 습격하는 사이클론(cyclone) 등은 열대성 저기압의 대표적인 것으로 폭풍우를 동반한다.

나) 태풍의 눈 : 태풍의 중심부를 말하며 중심 부근에서는 기압경도력과 원심력이 커지므로 전향력과 마찰력도 따라서 커지게 되어 5㎧이하의 미풍이 불게 되고 비도 내리지 않고 날씨도 부분적으로 맑은 날씨를 보이게 된다.

다) 태풍의 발생장소는 태풍의 에너지원인 따뜻한 수분(잠열)과 회전력을 뒷받침할 수 있는 기압경도력이 존재하는 북위 5°~25°와 동경 120°~170°사이의 범위 내에서 발생한다.

2) 해륙풍과 산곡풍

가)해륙풍 : 낮에 육지가 바다보다 빨리 가열되어 육지에 상승 기류와 함께 저기압 발생 (밤에 육지가 바다보다 빨리 냉각되어 육지에 하강기류와 함께 고기압 발생)

낮 : 바다 → 육지로 공기 이동(해풍)

밤 : 육지 → 바다로 공기 이동(육풍)

나) 산곡풍 : 낮에 산 정상이 계곡보다 가열이 많이 되어 정상에서 공기가 발산됨

(밤에 산 정상이 주변보다 냉각이 심하여 주변에서 공기가 수렴하여 침강함)

낮 : 골짜기 → 산 정상으로 공기 이동(곡풍)

밤 : 산 정상 → 산 아래로 공기 이동(산풍)

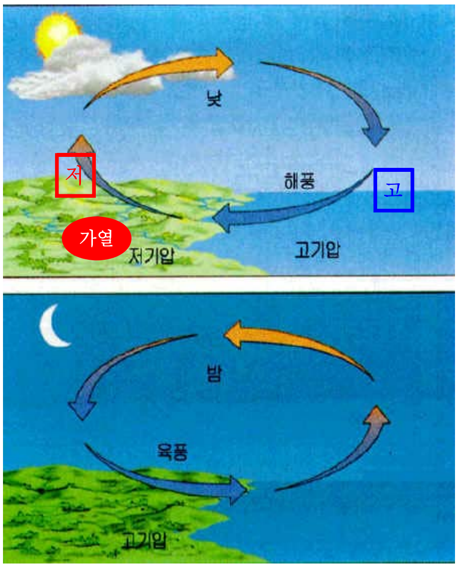


그림 3.9해륙풍

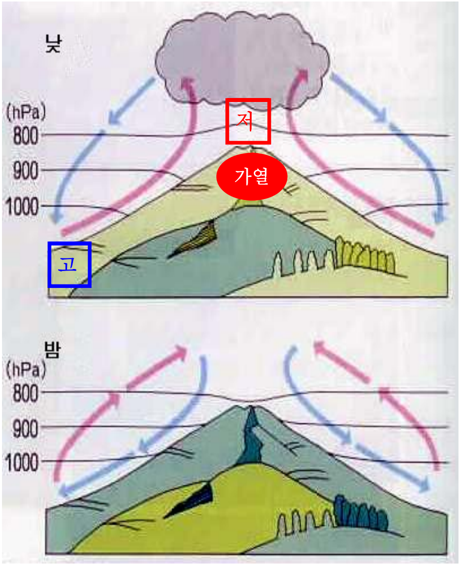


그림3.10 산곡풍

3) 치누크(chinook, foehn)

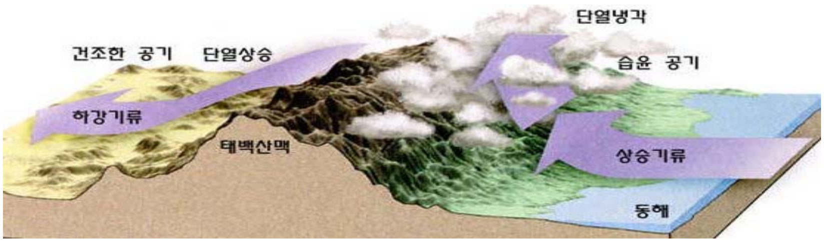


그림 3.11 높새바람(푄현상)

활강 바람에 관련된 육지의 경사면을 따라 하강하는 또 다른 분류의 바람으로서 다양한 지역 이름들로 불리어 록키산맥의 동쪽 경사면을 따라 흐르는 것을 치누크(chinooks), 독일에서는 푄(fohn), 캘리포니아 남부에서는 Santa Ana라 한다. 현재는 간단히 치누크라 한다. 치누크는 따뜻하며 건조하다. 따뜻하고 건조하기 때문에 공기밀도가 낮아서 자연적으로 가라앉지 않으며 치누크는 대규모 바람과 기압분포에 의해 아래 방향으로 힘을 받는다. 이러한 강제는 고기압과 관련된 강한 지역 바람이 산맥을 넘을 때 공기가 상승하여 상층의 공기를 압축하며 그 다음 상층 공기의 압력에 의해 바람의 아래쪽으로 불려 나갈 때 생긴다. 이러한 결과로 아래 방향으로 흐르는 공기는 단열적으로 가열되어 건조해지는데, 이를 간단히 치누크라 한다.

4) 상층에서의 바람 형태

가) 지균풍

기압차에 의한 기압경도력이 작용하면 공기가 움직이기 시작한다. → 움직이기 시작하면 자전에 의한 전향력이 작용하여 북반구(남반구)에서 오른쪽(왼쪽)으로 휘게 된다. → 풍속이 증가하면 전향력도 커지므로 기압경도력과 전향력이 평형을 이루면 바람은 일정한 속도로 등압선과 나란하게 바람이 불게 되는데 이를 지균풍이라 한다.

지균풍은 등압선이 직선일 때 지상으로부터 1㎞이상에서 마찰력이 작용하지 않는 경우의 바람이다.

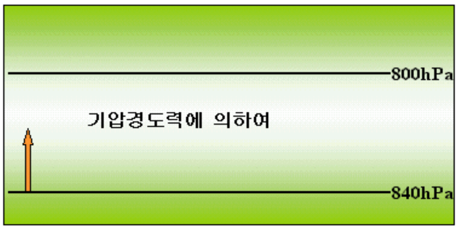


그림 3.12지균풍

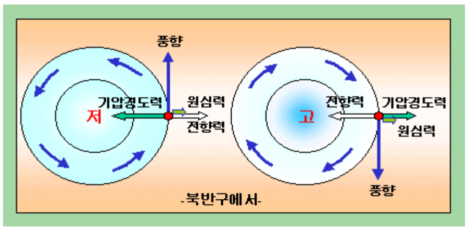


그림 3.13 경도풍

나) 경도풍

등압선이 원형일 때 지상으로부터 1㎞이상에서 기압경도력,전향력, 원심력의 세 힘이 균형을 이루어 부는 바람이다.

- 북반구(남반구) 저기압 주변 : 전향력과 원심력의 합력이 기압경도력과 평형을 이루어 반시계(시계)방향으로 등압선과 나란하게 분다.

- 북반구(남반구) 고기압 주변 : 기압경도력과 원심력의 합력이 전향력과 평형을 이루어 시계(반시계)방향으로 등압선과 나란하게 분다.

다) 온도풍

기온의 수평분포에 의해서 생기는 바람으로 지균풍이 불고 있는 두 개의 등압면이 있을 때, 그 사이에 낀 기층의 평균기온의 수평경도와 비례하는 두 면의 지균풍 차이를 말한다. 풍향은 두 기층간의 등온선 방향에 평행이 되며, 풍속은 등온선의 간격에 반비례한다.

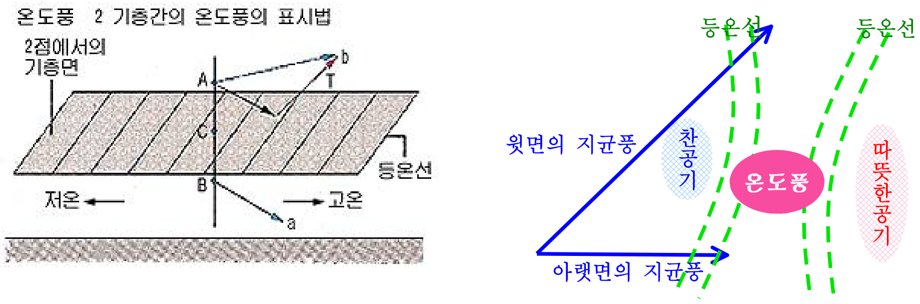


그림 3.14두 기층간의 온도풍 표시법

라) 제트기류

대류권 상층의 편서풍 파동 내에서 최대 속도를 나타내는 부분. 세계 기상 기구(WMO)에서는 '제트류는 상부 대류권 또는 성층권에서 거의 수평축에 따라 집중적으로 부는 좁은 강한 기류이며, 연직 또는 양측 방향으로 강한 바람의 풍속차(shear)를 가지고, 하나 또는 둘 이상의 풍속 극대가 있는 것' 이라고 정의한다.

(1) 발생원인

30°지역 상공은 온도차에 의해 같은 높이의 60°지역보다 기압이 높다. 따라서 30°지역 상공 대류권계면 부근에서 60°지역과 기압 차가 크게 발생하여 빠른 흐름이 발생한다. 이를 제트류라 하며 남북간의 온도차가 큰 겨울철에 특히 빠르며 에너지 수송을 담당한다.

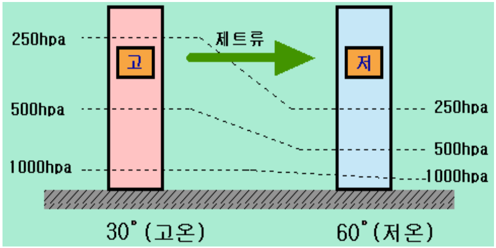


그림 3.15 제트기류의 발생

(2) 제트기류의 특징

길이가 2000~3000Km, 폭은 수백 Km, 두께는 수Km의 강한 바람이다. 풍속차는 수직방향으로 1Km마다 5~10 m/s 정도, 수평방향으로 100Km에 5~10m/s 정도로 겨울에는 최대풍속이 100m/s에 달하기도 한다. 북반구에서는 겨울이 여름보다 강하고 남북의 기온 경도가 여름과 겨울이 크게 다르기 때문에 위치가 남으로 내려간다.

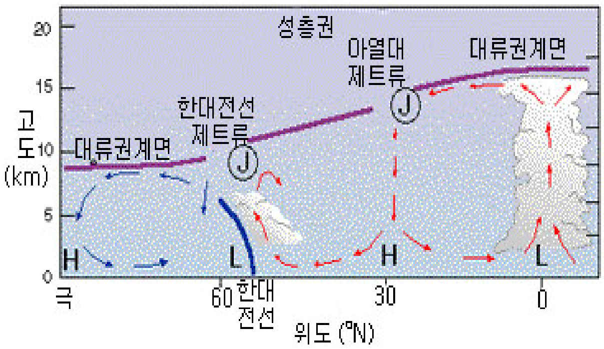


그림3.16 제트류의 위치

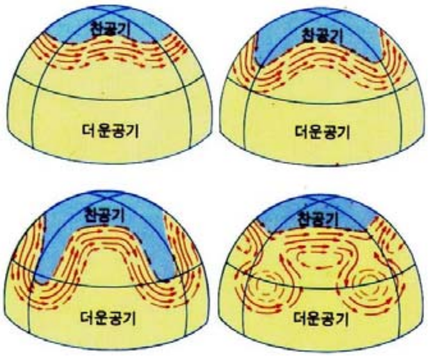


그림 3.17제트류의 변화하는 모습

- 한대 전선 제트기류 : 중위도 지방, 고도 8~9Km, 평균 풍속이 40 m/s
- 아열대 제트기류 : 위도 약 30° 부근의 고도 12~13Km

권계면은 적도에서 극까지 연속된 하나의 면으로 나타나지 않고 대개 세개의 층으로 분리되어 불연속적으로 출현하여 위도에 따라 열대 권계면, 중위도 권계면, 극 권계면으로 분류된다. 한편, 이 불연속적인 고도에서 풍속의 극대인 제트 기류가 출현한다.

(3)제트기류의 영향

제트기류 내의 거대한 저기압성 굴곡은 순환과 에너지를 공급함으로서, 거대한 중위도 저기압을 일으킨다. 고도 1~4km에서의 불규칙한 하층 제트기류는 헬기의 운항에 위험 요소가 되기도 한다. 고도 약 9 km의 상층제트는 대략 여객기의 순항고도에 해당하며 시속 1백km 전후의 크기로 불기 때문에 순항 속도가 시속 약 9백 km인 여객기의 운항에도 많은 영향을 주어서 한국에서 미국으로 갈 때와 미국에서 한국으로 올 때의 비행시간에도 많은 차이를 준다.

그림 3.18 제트류

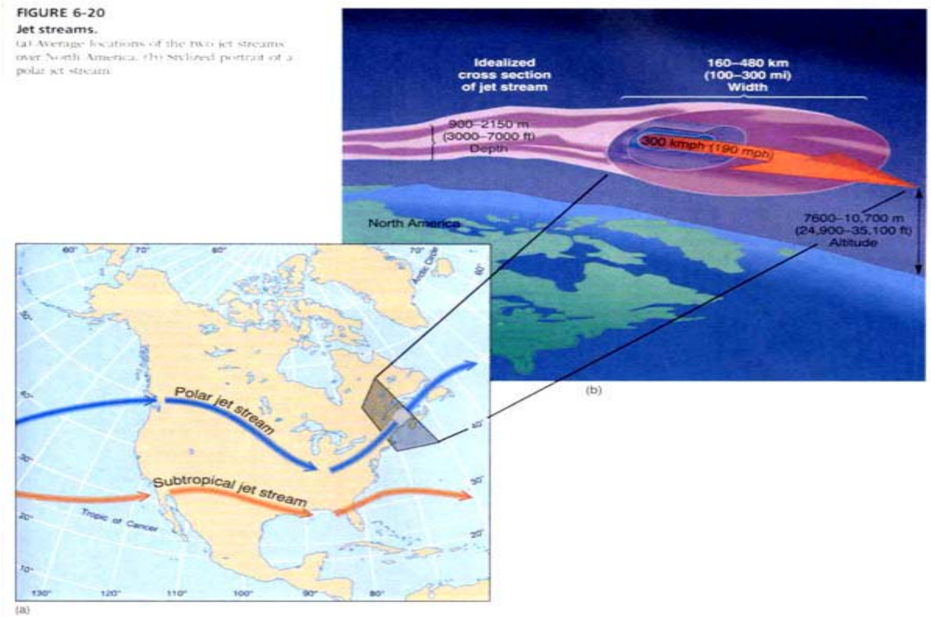


그림 3.19제트류의 단면도

마) 관성풍(inertial wind)

(1) 마찰이 없는 상태에서 기압장이 수평적으로 균일하여 기압경도력이 없는 경우에 일어나는 바람을 관성풍이라 한다.

(2) 해양에서는 내부의 수압 경도력보다도 해면을 가로질러 부는 바람으로 인하여 해류의 흐름이 종종 형성되기 때문에 관성풍이 형성되는 경우가 있지만, 대기에서는 어느 정도의 가압 경도력이 항상 존재하여 기압분포가 균일한 형태를 갖추기가 어려워서 발생하기 어렵다.

4. 중규모 대류계

가. 기 단

주어진 고도에서, 온도와 습도 등 수평적으로 그 성질이 비슷한 큰 공기덩어리를 기단이라 한다.

1) 기단의 분류

기단은 발원지의 위도에 따른 온도분포로 크게 열대(T), 한대(P), 극(A)으로 분류한다. 또 습도조건에 따라, 대륙에서 발생한 건조한 것을 c, 해상에서 발생한 습한 것은 m으로 세분한다. 기단이 발생된 때 기온의 변질을 고려하여, 지표보다 그 상층의 기단이 저온일 경우에는 k, 온난한 경우에는 w라는 기호를 붙이기도 하며, 이것에 대기의 성층이 안정할 경우에는 s, 불안정할 경우에는 u의 기호를 붙여 한층 더 세분하기도 한다. 또한, 기단을 개략적으로 분류하는 방법 외에, 적도기단은 E, 계절풍기단은 M, 상층기단은 S로 더 세부적으로 분류하는 방법도 있다.

2) 기단 성질의 분류

- 열대해양성(mT, maritime Tropical)
- 열대대륙성(cT, continental Tropical)
- 한대해양성(mP, maritime Polar)
- 한대대륙성(cP, continental Polar)
- 극해양성(mA, maritime Arctic)
- 극대륙성(cA, continental Arctic)

표4.1기단의 분류 및 특성

발원지	열 대 (T)	한 대(P)	극 (A)

3) 기단의 특성

우리나라 부근에 위치하며 영향을 미치는 기단은 그림 4.1과 같으며, 기단의 특성은 표 4.2와 같다.

한편, 초여름 장마기에는 해양성 한대기단(mP)인 오호츠크해 기단의 영향을 받는데, 이 기단은 그 자체로 영향을 미치기보다 북태평양기단과 만나 불연속선의장마전선을 이루어 영향을 준다. 장마가 지나면서 북태평양에서 발달한 고온다습한 해양성 열대기단(mT),즉 북태평양 기단의 영향으

로, 본격적으로 더운 날씨가 시작된다. 이 시기에는 남풍 내지 남서풍이 주로 분다.

표 4.2우리나라에 영향을 미치는 기단의 특성

명칭	기호	발 원 지	발달시기	특성

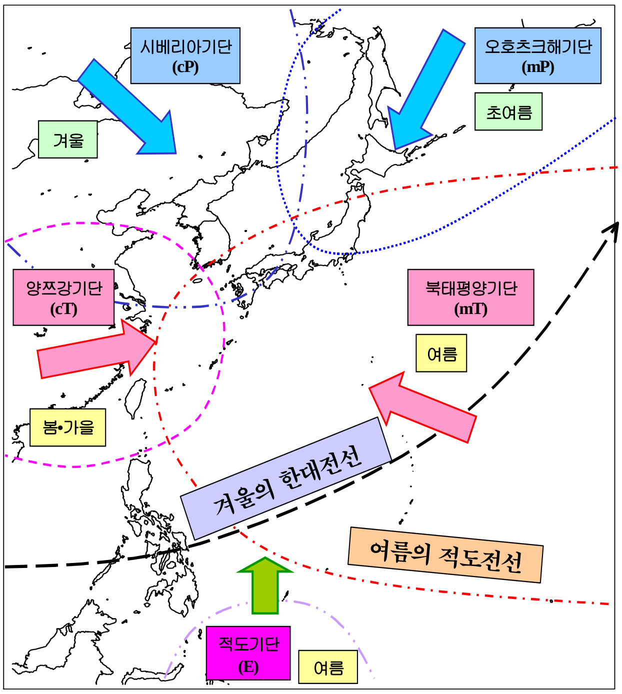


그림 4.1 우리나라에 영향을 미치는 기단

나. 고기압과 저기압

1) 고기압

기압이 주변보다 높은 곳을 말한다.

가) 고기압의 특성

고기압권 내의 바람은 북반구에서는 고기압 중심 주위를 시계방향으로 회전하고, 남반구에서는 반시계방향으로 회전하면서 불어나간다. 이로 인해 고기압권에서는 전선이 형성되기 어렵다. 등압선과 풍향이 이루는 각은 해상에서는 약 15°이고, 육상에서는 지형이나 풍속에 의해 약 25~35°로 해상보다 크게 나타난다. 닫힌 등압선의 가장 바깥쪽 직경이 1000km보다 작은 것은 드물며, 기압경도가 중심으로 갈수록 작아지므로 풍속도 중심으로 갈수록 약하다.

나) 고기압의 분류

(1) 온난고기압

온난고기압은 대기대순환에 의해 역학적으로 생기는 고기압으로 키가 크며 중심이 주위보다 온난하여 상공으로 갈수록 더욱 고기압이 현저하며 거의 이동하지 않는다. 상층에서 기압능이 발달하면 저지 현상을 일으키기도 한다. 공기의 침강으로 온난 건조하여 날씨가 좋은 특징이 있다. 북태평양 고기압, 아조레스 고기압 등 아열대 고기압들이 이에 속한다.

(2) 한랭고기압

겨울철 고위도 지방의 대륙에서 지표의 복사냉각에 의해 공기의 밀도가 커짐으로써 발생하는 고기압으로, 매우 한랭하여 한랭 고기압이라고 한다. 3km 정도의 상공에서는 고기압 성질이 없어질 정도로 키가 작아서 키 작은 고기압이라고도 한다.

이 고기압은 온난 고기압과 달리 상층에 저기압이 있기 때문에 일기가 좋지 않다. 시베리아 고기압, 이동성 고기압, 오호츠크해 고기압 등이 이에 속한다.

표 4.3온난고기압과 한랭고기압의 특성

성질	온난고기압	한랭고기압

(3)기압능 (Ridge)

대기 중의 같은 고도면에서 주위보다 기압이 상대적으로 높은 영역을 말한다. 일기도 상에서는 고기압의 중심을 향해 열린 대체로 U자형의 거의 평행한 등압선이나 등고선으로 나타내어진다.

(4)안장부 (col)

2개의 저기압을 연결하는 골 선과 2개의 고기압을 연결하는 기압능이 十자형으로 서로 교차하면서 기압이 일정한 안장부가 된다. 그 부분을 기압골 또는 중립점이라고 한다.

2) 저기압

일기도 상에서 폐곡선으로 둘러싸인, 주위보다 기압이 낮은 곳을 말한다.

가) 저기압의 특성

지상에서의 바람은 북반구에서 저기압 중심을 향하여 반시계 방향으로 불며, 저기압에 동반된 한랭전선은 저기압 중심에서 남서쪽으로, 온난전선은 저기압 중심에서 남동쪽으로 뻗어 있다. 대부분 저기압에서는 한랭전선이 동반되지만, 온난전선은 가끔 동반되지 않는 경우도 있다.(저기압의 동쪽 지역과 남동쪽 지역 사이에서 온도와 습도 차이가 미약하게 나타나 전선을 넣기 어렵기 때문) 강수는 공기의 상승과 관련되어 나타나는데 공기가 수렴하는 저기압 중심 부근과 따뜻한 공기가 차고 밀도가 큰 공기를 타고 상승하는 전선을 따라 발생한다.

나) 저기압의 분류

저기압은 전선의 유무에 따라 전선 저기압과, 비전선성 저기압, 구조에 따라 한랭저기압과 온난저기압으로 분류된다. 또한, 발생 지역에 따라 온대저기압과 열대저기압으로 분류할 수 있다.
전선 저기압은 전선을 동반한 저기압을 말하는데, 기압경도가 큰 온대와 한대의 경계에서 주로 발생하며 온대저기압의 대부분은 전선저기압이다. 반면, 비전선성 저기압은 전선을 동반하지 않으며, 열대저기압, 지형저기압, 열저기압 등이 있다.

(1) 한랭저기압 (Cold Low)

동일한 고도에서 저기압 중심 부근의 기온이 주위보다 한랭하고 기온감률이 급하여 상층으로 갈수록 저기압성 순환이 증가하고 서서히 이동하는 저기압이다. 온난저기압에 비해 키가 크고 저기압 주변의 대기안정도는 일반적으로 불안정하다. 극지방에서 발생한 저기압, 폐색 저기압, 분리 저기압 등이 이에 속한다.

(2)온난저기압 (Warm Low)

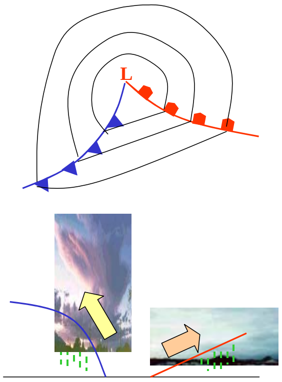
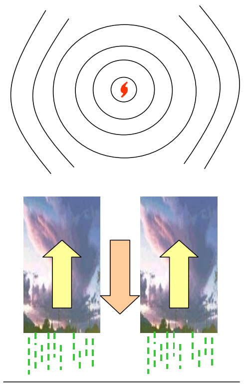
동일한 고도에서 저기압 중심 부근의 기온이 주위보다 온난하다. 기온감률이 완만하여 상층으로 갈수록 저기압성 순환이 약화·소멸되어 오히려 고기압성 순환이 생기며, 키가 작고 이동 속도도 빠

르다. 초기의 온대 저기압, 열 저기압 등이 이에 속한다.

표 4.4온난저기압과 한랭저기압의 특성

성질	온난저기압	한랭저기압

표 4.5온대저기압과 열대저기압의 특성

성질	온대저기압	열대저기압 (태풍)
발생장소	온대지방 (편서풍대)	열대해상 (적도부근에서는 발생하지 않음)
발생원인	찬 공기와 더운 공기가 만나 파동으로 발생	열대수렴대의 더운 공기 수렴, 파동으로 발생
전선	있다	없다
등압선	타원형 (킹크 있다)	동심원
등압선간격	넓다	좁다
이동방향	서 → 동	북상하다 동쪽으로 편향 (포물선 경로)
에너지원	기층의 위치에너지	수증기의 잠열 (숨은열)
형태		

다) 저기압의 바람 구조

저기압에서의 기류는 저기압 주변의 공기가 저기압 중심을 향해 반시계 방향으로 회전하면서 수렴하여 생기는 상승기류이다. 공기의 수평수렴은 지표면 근처에서 일어나고, 상층대기에서는 수평

발산에 의한 공기의 유출이 일어난다. 이와 같은 저기압 구조는 지표면에서의 수평수렴, 상층에서의 수평발산, 상승기류로 이루어진다.

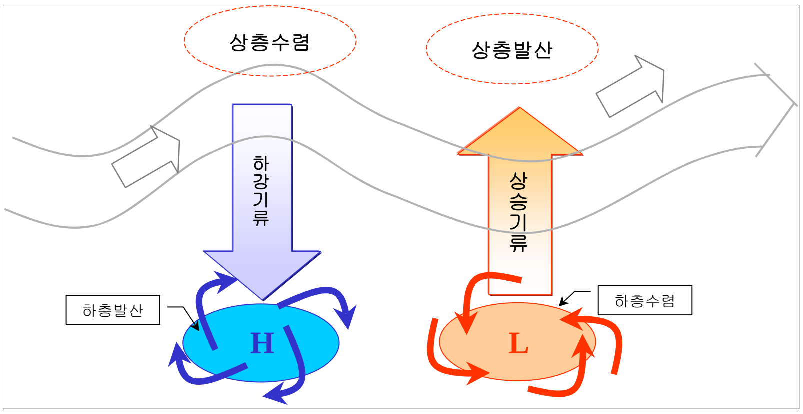


그림 4.2고기압과 저기압의 바람구조

다. 전 선

찬기단과 더운 기단은 밀도 차이 때문에, 찬 기단은 더운 기단 아래로 쐐기 모양으로 파고 들어가게 되고, 더운 기단은 찬 기단 위로 올라가게 되어 안정한 상태로 몰고 가게 된다. 이러한 상태에서는 위치에너지가 최소가 되기 때문에 처음보다 위치에너지가 감소된다. 이 위치에너지의 감소부분은 운동에너지로 바뀌어 바람이 불게 된다. 또 더운 기단의 상승에 의한 단열냉각으로 수증기가 응결되어 강수현상이 나타나며, 이때 방출된 잠열로 상승한 공기는 부력을 얻어 상승이 촉진되고 방출된 열의 일부는 운동에너지, 즉 바람으로 변환된다. 이와 같이 기상 요소가 어떠한 면을 경계로 하여 급격히 변화하고 있을 때, 이러한 면을 불연속면 또는 전선면이라고 한다. 그리고 이 면이 지면과 만나는 선을 불연속선 혹은 전선이라고 한다. 또 경계층이 지면과 만나는 대역을 전선대라고 한다.

보통 전선을 형성하는 두 기단은 기온차로 구분한다.

1) 전선의 종류와 특성

가)온난전선 (Warm front)

온대 저기압의 남동쪽에 있으며, 온난한 공기가 한랭한 공기 쪽으로 이동해 가는 전선을 말한다. 더운 공기가 찬 공기 위를 타고 오르기 때문에, 이동속도가 느리고 기울기가 작다. 또 넓은 지역에 걸쳐 강수가 나타나며 강수강도가 약하다. 전선면의 경사는 1/100 ~1/200 정도이며, 전선면이 도달하는 높이는 한·난 양 기단의 높이에 따라 다른데, 고위도 지방으로 갈수록 낮아진다.보통 6km정도의 상공에서는 쉽게 판별되며, 이동속도는 약25km/h이다.

(1) 온난전선의 구조

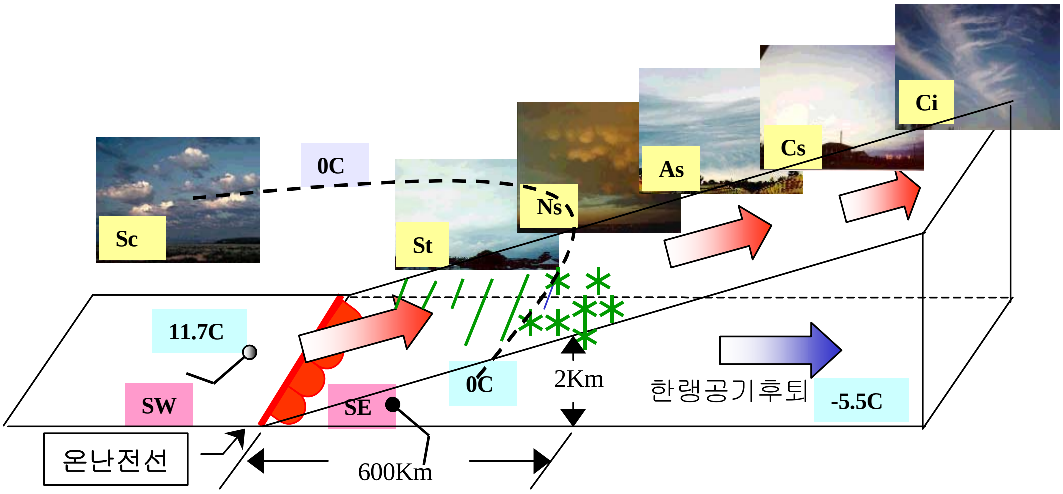


그림 4.3온난전선 모식도

(2) 온난전선 이동에 따른 지상 일기의 변화 (surface weather changes)

표 4.6온난전선에 동반되는 전형적인 기상상태

요 소	통과전	통과시	통과후

(3) 온난전선에서 나타나는 항공기 운항에 위험한 기상

온난전선 전면의 광범위한 강수대는 자주 하층에 층운이나 안개를 발생시킨다. 이 경우, 강수는 한랭공기에 수증기를 공급하여 포화상태에 이르게 하므로, 수천 ㎢의 넓은 지역에 걸쳐 낮은 실링과 악시정을 일으키기도 한다. 만일 한랭공기의 온도가 어는 점 이하일 때, 강수는 어는 비(freezing rain)나 얼음싸라기(ice pellets)의 형태로 나타난다. 온난전선이 통과할 때, 하절기에는 뇌우가, 동절기에는 심한 착빙 등 매우 위험한 기상을 초래하기도 한다. 하층 바람쉬어는 온난전선의 전방에서 6시간 이상 지속되기도 하므로 매우 심각한 문제를 일으킬 수도 있다.

나) 한랭전선 (Cold front)

인접한 두 기단 중 한랭기단의 찬 공기가 온난기단의 따뜻한 공기 쪽으로 파고들 때 형성되는 전선을 말한다. 찬 공기가 따뜻한 공기 속을 쐐기모양으로 파고들기 때문에 따뜻한 공기는 찬 공기 위를 차고 오르게 된다. 이때 전선 부근에서는 소나기나 뇌우·우박 등 궂은 날씨를 동반하는 경우가 많다. 찬 공기가 따뜻한 공기 속으로 파고들기 때문에 이동 속도가 35km/h정도로 빠르고 경사가 1/50~1/100정도로 온난전선보다 기울기도 크다(이는, 마찰의 영향으로 지면 부근의 풍속이 작아져서 전선은 지면부근보다 자유대기 중에서 빨리 진행하는 경향 때문이다). 또한 좁은 지역에

서 강수가 나타나며 강수강도가 세다.

(1) 한랭전선의 구조

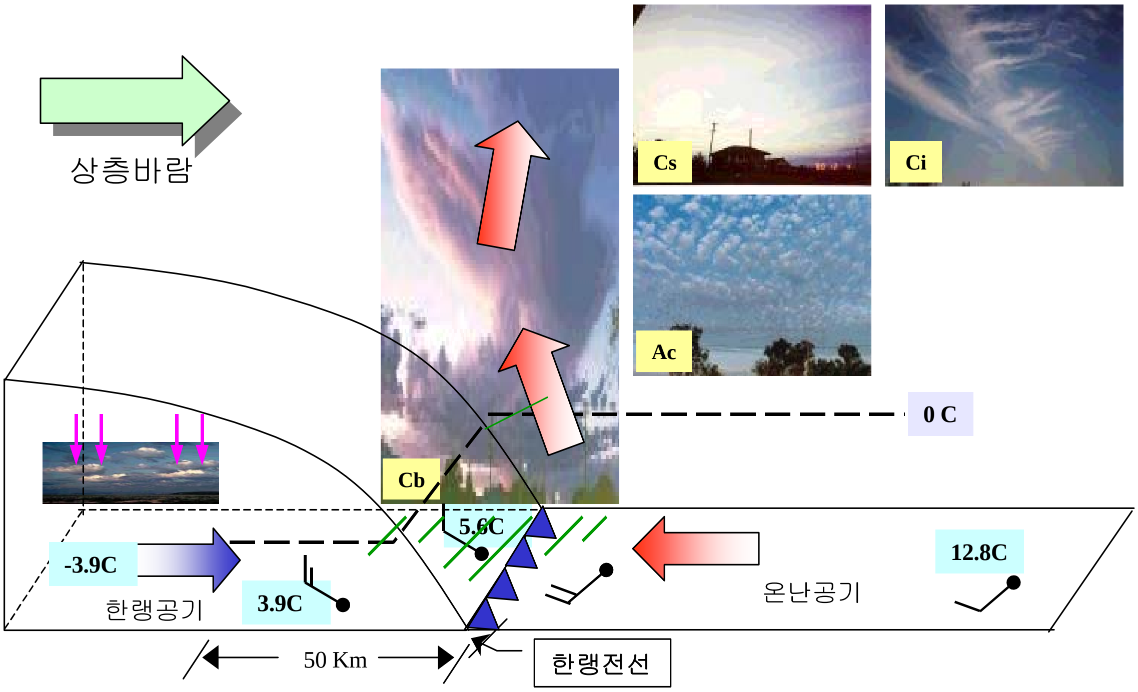


그림 4.4한랭전선 모식도

(2) 한랭전선 이동에 따른 지상 일기의 변화

표 4.7 한랭전선에 동반되는 전형적인 기상상태

요 소	통과전	통과시	통과후
기 압	서서히 하강	갑자기 상승	서서히 계속 상승
풍 향	남풍 또는 남서풍	돌풍	서풍 또는 북서풍
풍 속	증가, 돌풍화	돌풍화	돌풍 후 일정
온 도	온난 (일정)	갑자기 하강	낮은 상태로 거의 일정
노점온도	거의 일정	갑자기 하강	낮은 상태로 거의 일정
구 름	권운, 권층운 증가 후 층적운, 고적운, 고층운 →적란운	적란운또는 낮은 Ns	소나기 강도 약화 후 곧 개임
날 씨	단기간 소나기 (가끔 뇌우)	호우 (가끔 뇌우, 우박)	단기간 호우 후 개임
시 정	중~악화 (안개)	일시 나빠지나 곧 회복	좋음

(3) 한랭전선에서 나타나는 항공기 운항에 위험한 기상

조종사가 한랭전선 부근을 비행할 때, 만나는 위험한 기상현상은 전선 앞 스콜선(Squall Line)이나 전선을 따라 나타나는 적운형 구름이다. 이러한 위험 기상현상은 심한 요란, 바람쉬어, 뇌우, 번개, 심한 소나기, 우박, 착빙, 토네이도 등을 동반한다. 또 다른 위험 기상현상은 뇌우 주

위나 뇌우 하부와 지표면 부근에서 나타나는 강하고 변화가 심한 돌풍이다.

다) 폐색전선 (Occluded front)

온대성 저기압이 발달하는 과정의 마지막 단계로 저기압에 동반된 한랭전선과 온난전선이 합쳐져 폐색상태가 된 전선을 말한다. 이때 한랭전선 후면의 찬 공기가 온난전선 전면의 찬 공기보다 찰 때에는 한랭형 폐색전선이, 반대일 경우에는 온난형 폐색전선이 발생한다. 우리나라 부근(대륙의 동안과 해양)에서는 겨울철에는 한랭형이, 여름철에는 중립형이나 온난형 폐색전선이 많이 발생한다.

(1) 폐색전선의 종류

- 한랭형 폐색전선 : 한랭전선의 이동 속도가 온난전선의 이동속도보다 빨라 온난전선을 따라 붙으면서 찬 공기는 위로 올라가고 한랭전선 후면의 더 찬 공기가 온난전선 전면의 찬 공기와 만나서 형성되는 전선을 말한다. 주로 대륙 동안에서 발생하며, 폐색 초기에는 구름·강수 및 폭풍우의 범위가 넓다.
- 온난형 폐색전선 : 한랭형 폐색전선과 반대로, 한랭전선 후면의 찬 공기보다 온난전선의 찬 공기가 더 찰 때 발생한다

(2) 폐색전선 이동에 따른 지상 일기 변화

표 4.8폐색전선에 동반되는 전형적인 기상상태

요 소	통과전	통과시	통과후

(3) 폐색전선의 구조

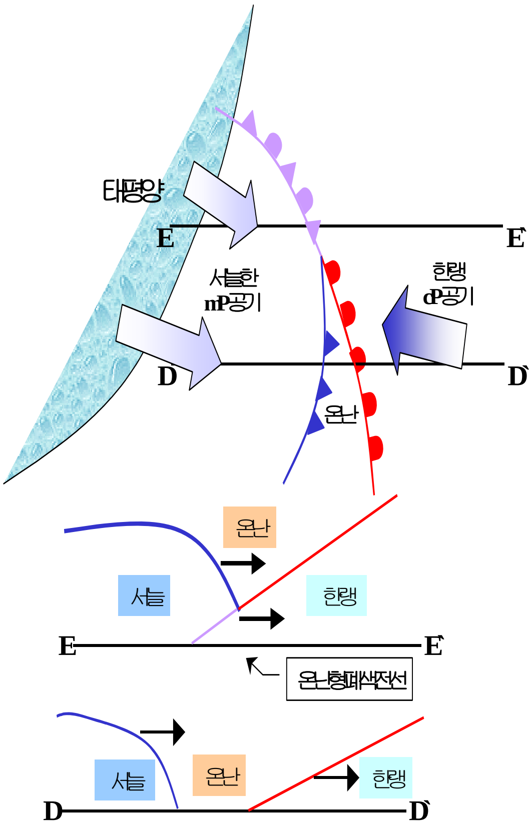


그림 4.5 온난형 폐색전선 모식도

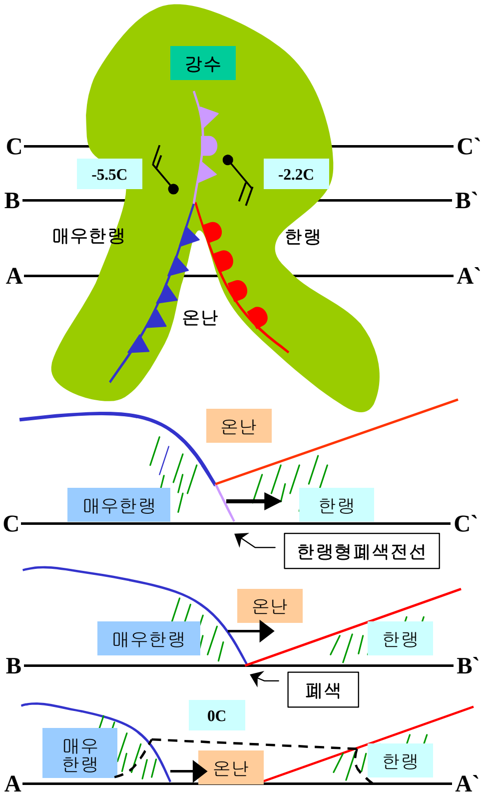


그림 4.6한랭형 폐색전선 모식도

(4) 폐색 전선의 형성

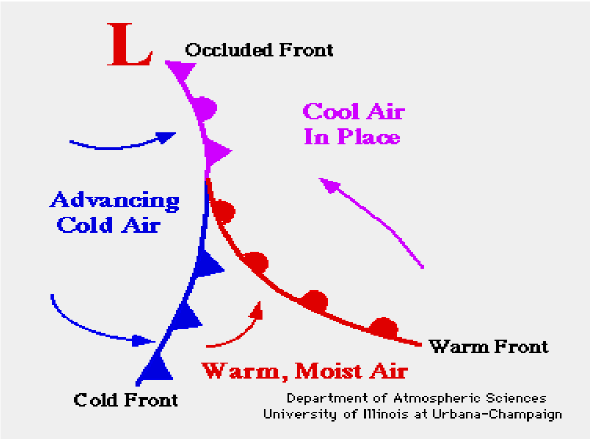


그림 4.7 폐색전선 형성과정

(5) 폐색전선에서 나타나는 항공기 운항에 위험한 기상

광범위하게 한랭전선과 온난전선의 기상현상이 혼합되어 나타난다. 한랭전선의 특징인 스콜선, 뇌우와 온난전선의 특징인 낮은 실링이 겹쳐서 나타난다. 게다가, 폐색전선의 북쪽 끝에 있는 강한 저기압 주위에서 강한 바람이 나타난다. 따라서 조종사는 폐색전선에서 기상상태가 급격히 변하고, 폐색전선의 발달 초기에 가장 악화된다는 사실에 유의해야 한다.

라) 정체전선 (Stationary front)

움직이지 않거나 움직여도 매우 느리게(10km/hr 미만) 움직이는 전선을 말한다. 상공의 풍향과 전선이 뻗쳐 있는 방향이 평행을 이루고 있을 때 형성된다.

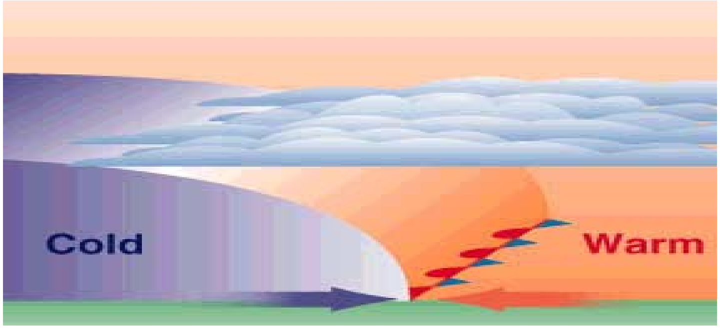


그림 4.8 정체전선 모식도

(1) 정체전선에서 나타나는 항공기 운항에 위험한 기상

일반적으로 정체전선에 동반된 날씨는 온난전선과 비슷하여 한랭기단 쪽이 나쁘고 대체로 그 강도는 약하다. 정체전선에 동반된 기상현상 중 가장 뚜렷한 점은 그 기상이 지속적이므로 비행에 위험한 기상조건이 한 지역 내에서 여러 날 동안 계속된다는 것이다. 정체전선 상에는 약한 저기압이 여러개 연결되어 있는 일이 많다.

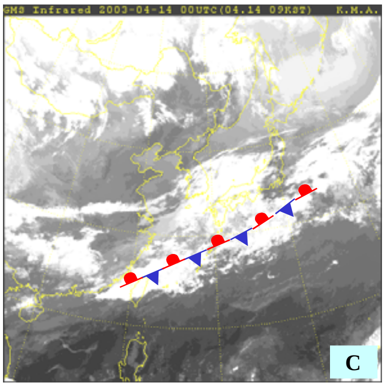


그림 4.9 전선의 적외영상
(A:폐색되지 않은 저기압,
B:폐색된 저기압, C:정체전선)

라. 전선대 (Frontal Zone)

밀도가 다른 두 개의 기단 경계층이 지표면과 교차되어 생긴 대상의 영역을 말한다. 이 구역에서 밀도는 한쪽으로부터 다른 쪽으로 급히 변하고 있다. 실제 현상에서는 100km 전후의 폭 안에 등온선이 밀집상태가 되는 일이 많은데, 이러한 경우 전선은 전선대의 따뜻한 공기 쪽의 경계점으

로 한다. 혹은, 기후학적으로 전선이 존재하여 저기압의 통로가 되기 쉬운 지대를 말하기도 한다.

여름과 겨울의 주요 전선대의 위치는 다음과 같다.

먼저 아시아주변에는 태평양 연안을 따라 우세하게 나타나는 태평양 한대전선대(North Pacific Polar Front)가 있다.

다음으로, 대서양에서 겨울에 가장 현저히 나타나는 전대다로 북미의 대륙성 한대기단과 대서양의 해양성 열대기단과의 온도차로 인한 대서양 한대전선대(Atlantic Polar Front)이다. 이외에도 대서양 북극전선대(Atlantic Arctic Front),지중해 전선대(Mediterranean Front)가 있다. 또한, 양반구의 아열대 고압대 사이에 있는 적도저압대는 동서로 길게 뻗어 있는 기압골로 되어 있어 양반구의 무역풍이 수렴하고 있다. 이를 열대전선 또는 적도 전선이라고 하지만, 양쪽 기단의 온도차가 없으므로 열대수렴대(ITCZ, InterTropical Convergence Zone)이라고 부르는 경우가 더 많다

5. 구름 형성과 강수

가. 대기중의 물

- 물은 상온에서 쉽게 기체, 액체, 고체의 상태로 변화할 수 있으며, 상태가 변할 때는 열을 흡수하거나 방출하게 된다.

- 숨은 열(잠열)과 상태변화

  물의 상태 변화에는 항상 에너지의 출입이 있는데, 이 과정에서 온도는 변화시키지 않고 상태만 변화시키는데 사용된 열을 숨은열이라고 한다.

나. 구름의 형성과 분류

하늘에 떠 있는 구름은 대기 중의 수증기가 응결하거나 빙결해서 형성되는 수적 또는 빙정의 집합체라고 할 수 있다.

1) 구름의 구성 요소

구름은 어는점보다 높은 온도를 가진 물방울, 어는점보다 낮은 온도를 가진 물방울(과냉각 물방울), 빙정들로 이루어져 있다. 과냉각 물방울은 어는점보다 높은 온도에서 수증기에서 물방울로 응결된 후, 구름 속의 더 차가운 구역으로 운반될 경우 만들어진다. 빙정은 기온이 어는점보다 낮을 때 수증기의 승화과정을 통해 형성된다. 대류권 상층에서 형성된 구름은 대기가 거의 어는점

아래에 있으므로, 대부분 빙정으로 구성되어 있다.

2) 구름의 형성

대기 중에서는 공기가 냉각되면 쉽게 포화에 이르게 된다.

비교적 따뜻한 공기가 차가운 지면 또는 수면 위에 머무르게 되면, 접촉에 의하여 접촉면 위의 공기가 냉각된다. 이 때 포화상태에 이르게 되면 안개 또는 층운이 발생되기도 한다. 따뜻한 공기와 찬 공기가 혼합하여 이슬점이하로 되면 포화상태에 이르게 되어 응결이 일어나게 된다. 한편 주위와 열 교환 없이 공기가 상승하게 되면 단열팽창 되어 외부에 일을 하게 됨에 따라 상승공기는 냉각되게 된다.

공기가 냉각되는 세 가지 방법 중 대기 중에서 쉽게, 흔하게 일어나는 것은 상승에 의한 냉각이라고 할 수 있다. 구름은 공기가 상승하여 단열냉각에 의해 포화에 이르러 수증기가 응결 또는 빙결됨에 따라 형성된다.

공기를 상승시키는 원인은 다음의 네 가지로 볼 수 있다.

가) 대류상승

지표면이 국지적으로 가열되면 대류가 일어나 공기가 상승하게 된다. 대류에 의하여 지표면에서 상승한 공기가 상승응결고도에 이르게 되면 응결이 시작되어 구름이 발생한다. 상승응결고도 아래에서 상승 중인 공기덩이를 열기포(thermal)라고 하는데, 열기포가 부력을 받아 계속 상승하게 되어 응결고도에 도달되면 비로소 구름의 모습이 나타나기 시작한다. 이렇게 해서 형성된 구름을 대류운 이라고 한다.

나) 지형적인 상승

풍상측(wind side)에서 온난 다습한 공기가 산의 경사면을 따라 상승하게 되면 단열팽창 냉각되어 응결고도에 이르게 되면 구름이 나타나기 시작하여 산의 정상부에 비를 뿌리고 계속 상승하여 산의 정상을 지나 풍하측(lee side)으로 이동하면 비는 거의 내리지 않게 되어 풍하측에 강수량이 적은 비그늘(rain shadow)이 형성된다.

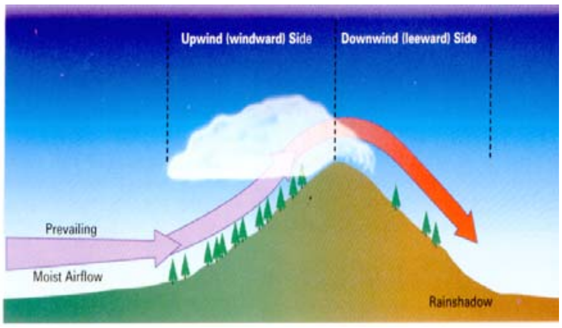


그림 5.1 Rainshadow(비그늘)

다) 전선에 의한 상승

밀도가 서로 다른 두 개의 공기덩이(기단)가 만나게 되면 경계면이 생기게 된다. 이 경계면을 전선이라고 부르며, 따뜻하고 습윤한 공기가 상대적으로 찬 공기 위를 올라갈 때 생기는 전선을 온난전선, 상대적으로 찬 공기가 따뜻한 공기 밑으로 쐐기모양으로 파고들어 따뜻한 공기가 상승하게 되어 형성되는 전선을 한랭전선이라고 부른다. 온난전선 상에서의 공기의 상승이 자발적이라면 한랭전선 상에서의 상승은 강제상승이라고 볼 수 있다. 이렇게 상승한 공기가 응결고도에 이르게 되면 응결이 시작되어 구름이 발생하게 된다.

라) 공기의 수렴에 의한 상승

지표면 부근에서 공기가 수렴하게 됨에 따라 공기가 상승하여 구름이 형성된다.

3) 구름의 분류

구름입자의 상(phase)과 수직 발달 정도에 따라 여러 가지 형태로 나타난다. 수적으로 된 구름과 빙정으로 된 구름은 형성고도도 다르고 모양이나 색깔도 다르다. 구름의 수직 발달 정도는 기층의 안정도에 따라 다른데, 불안정한 기층에서는 구름의 두께가 수직으로 두꺼운 적운형, 안정한 기층에서는 수직발달이 제한되어 비교적 얇은 층운형의 구름이 발달한다.

그림 5.3 권운

그림5.4 권층운

그림 5.5 권적운

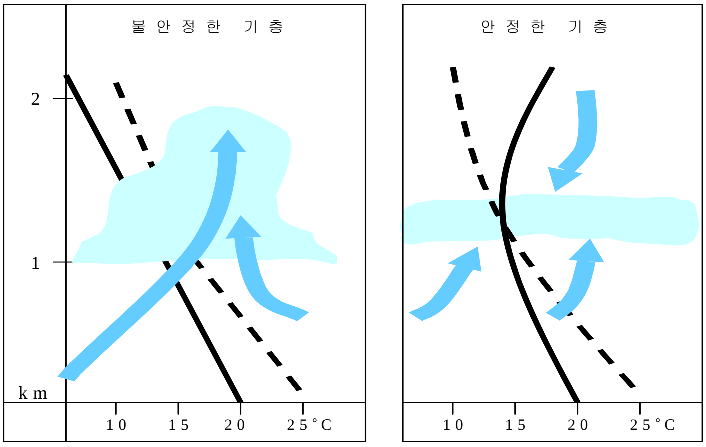


그림 5.2 안정, 불안정에 따른 구름의 수직발달

가) 상층운(high-level clouds)

상층운은 운저고도가 보통 6 km 이상이어서 주위의 온도가 매우 낮고 건조하다. 이 때문에 상층운은 거의 빙정으로 이루어져 있으며, 그 두께도 아주 얇다. 상층운에는 권운(Cirrus), 권적운(Cirrocumulus),권층운 (Cirrostratus)이 있다.

나) 중층운(medium-level clouds)

중층운은 중위도지방에서는 구름 저면의 높이가 2~6 km이어서 수적으로 되어있는 경우가 많지만 기온이 충분히 낮아지면 그 일부는 빙정이 되기도 한다. 중층운에는 고적운(Altocumulus), 고층운(Altostratus)이 있다.

다) 하층운(low-level clouds)

하층운은 중위도 지방에서는 운저고도가 2 km이하이며, 거의 수적으로 되어 있으나 추운 날씨에는 빙편과 눈을 포함하기도 한다. 하층운에는 층운(Stratus), 난층운(Nimbostratus), 층적운(Stratocumulus)이 있다.

그림 5.12 적란운

라) 수직운(convective clouds)

수직운은 보통 하 층운의 고도로부터 상층운의 고도에까지 확장하는 수직으로 발달하는 구름이며, 불안정한 공기와 아주 밀접하게 관련되어 있다. 수직운에는 적운(Cumulus), 적란운(Cumulusonimbus)이 있다.

그림 5.6고적운

그림 5.7 고층운

그림 5.11 적운

그림 5.10 층운

그림 5.9층적운

그림 5.8 난층운

표 5.1기본 운형 10종

운저고도	명칭	국제명	기호	특징

다. 강수(Precipitation)

대기 중의 수증기가 물이나 얼음으로 변하여 지상에 떨어지는 현상을 강수라고 한다.

1) 강수의 형성

대기중에서 수증기의 응결과정으로만 구름입자에서 강수입자로 성장하는 것은 구름의 지속시간 이내에 거의 불가능하며, 수적간의 충돌에 의해 성장한다는 것이 알려졌다. 구름입자 사이의 충돌은 입자의 크기에 따른 낙하속도의 차이에 의한 것으로, 이는 강수입자의 형성과정에서 아주 중요한 물리과정이다. 강수입자의 형성에는 충돌·병합과정과 빙정과정이 있다.

가) 충돌·병합과정

열대 지방이나 여름철 중위도 지방에서 형성되는 구름은 구름의 최상부의 온도가 0℃이상이다. 이러한 구름을 따뜻한 구름(warm cloud)이라고 하며, 구름전체가 수적으로만 되어 있다. 따라서 강수 입자는 구름 내부의 수적간의 충돌·병합에 의해 형성된다. 이런 과정을 통해 형성된 비를 따뜻한 비(warm rain)라고 하며, 따뜻한 비의 발달과정에 관한 이론이 병합설이다.

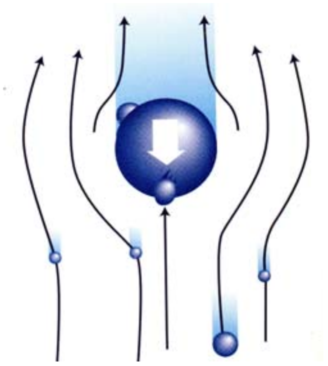


그림 5.13 병합과정

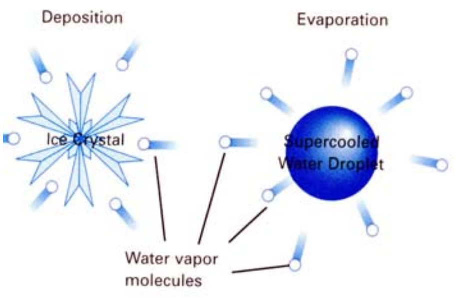


그림 5.14빙정과정

나) 빙정과정

이 과정은 0℃ 이하의 구름 속에 수적과 빙적이 함께 공존해야 하기 때문에중위도와 고위도 지방에서의 강수를 설명하는데 아주 중요하다. 중위도와 고위도 지방에서 형성되는 적란운은 상부에는 빙정, 하부에는 수적, 중앙에는 빙정과 수적이 함께 존재한다. 구름의 밑면의 온도가 0℃보다 높거나 낮지만 그 최상부의 온도가 0℃보다 낮은 구름을 찬 구름(cold cloud)이라고 하며, 찬 구름에서의 강수발달과정은 구름내부에서의 빙정의 성장과정에 따라 좌우된다.

찬 구름에서의 빙정의 성장은 빙정 주위의 수증기가 빙정면에 침적되는 것이며 이 단계에서 빙정은 아름다운 눈의 결정이 된다. 침적에 의하여 어느 정도 커지면 다른 빙정 또는 과냉각 수적과

충돌하여 빨리 성장하게 되는데 이를 부착이라고 한다. 찬 구름에서 빙정의 성장 기구는 침적, 부착 이외에도 과냉각 수적과 빙정이 공존하면서 수적과 빙적에 작용하는 포화수증기압의 차이에 의해 빙정이 성장한다는 빙정설이 있다.

2) 강수의 형태

강수과정은 따뜻한 구름에서 응결핵으로 시작되어 용질효과에 의해 성장하고, 다음으로 병합과정에 의해 더욱 커진 물방울은 여러 개의 작은 물방울들로 쪼개진다. 쪼개진 작은 물방울들은 병합과정에 의해 계속 성장한다. 찬 구름에서는 빙정이 성장할 때 빙정핵이 이용된다. 이것은 하층의 따뜻한 대기에서 녹아 더 큰 빗방울로 성장할 수 있고, 지표에 도달할 때는 다양한 강수형태를 가진다.

충돌·병합과정에 의한 강수는 항상 비의 형태로 나타나지만, 빙정과정에 의한 강수는 그때의 기상상태에 따라 달라진다. 예를 들면 겨울철에 지표근처의 기온은 영하이지만 역전층이 있을 경우 역전층 상부는 영상일 때가 있다. 이런 경우 찬 구름에서 눈의 형태로 내리던 강수입자는 낙하 도중 역전층 상부에서 눈이 녹아 비로 되었다가 지표 근처에서 다시 얼어 진눈깨비나 얼음입자로 된다. 기상관측에 의하면 지표 부근의 기온이 4℃인 경우에 지상에서 눈이 관측된 경우도 있다. 강수유형은 지표 부근의 기온과 상대습도에 따라 결정된다고 밝혀져 있다.

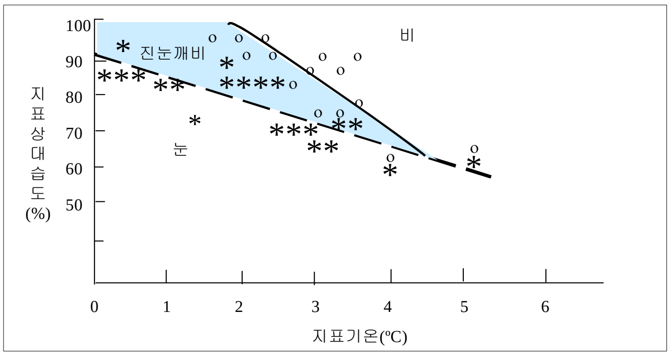


그림 5.15 기온, 상대습도에 따른 강수의 유형

2) 강수의 강도(항공기 운항용)

강도	약어	전문표시	적용

4) 항공기 운항에 미치는 영향

가) 최저기상조건

공항 또는 공항 주변의 구름상태는 항공기 이착륙 최저기상조건을 결정하는 중요한 기상요소이다. 각 공항에는 이착륙 유도시설의 기능에 따라 구름 높이에 관한 최저기상조건이 규정되어 있다. 항공기상관측에서 구름높이의 결정은 관측시각 현재의 구름의 분포가 항공기운항에 필요한 최저기상조건 값에 해당하고 있는지를 확인하는 절차이다.

나) 운항계획

착륙공항의 구름 상태가 최저기상조건에 미달하는 경우에는 착륙이 불가능하므로 교체공항을 이용하여야 한다. 따라서 기장 또는 운항관리자가 운항계획을 작성할 때에는 출발공항과 목적지공항 그리고 교체공항뿐만 아니라 경로상의 구름상태에 대해서도 실황과 예보를 통해 수시로 확인해야 한다.

다) 활주로 표면의 강수의 영향

비,어는 강수,눈(질퍽눈 포함)등은 항공기 착빙의 발생 가능성이 있다.

라) 활주로 표면상태에 대한 정보

(1) SNOWTAM - 항공기의 이동지역이 눈, 얼음, 쌀알눈이 녹아 질퍽질퍽한 상태 등으로 위험이 있을 경우, 이의 제거를 일정 양식에 의하여 통보하는 특정의 노탐이다.

(2) 활주로 상태 군을 METAR/SPECI를 통해 보고한다.

라. 안개(Fog)

대기 중의 수증기가 응결핵을 중심으로 응결해서 성장하게 되면 구름이나 안개가 된다. 구름과 안개의 차이는 그것이 지면에 접해 있는지 아니면 하늘에 떠 있는지에 따라 결정되며 지형에 따라 관측자의 위치가 변함에 따라 구름이 되기도 하고 안개가 되기도 한다. 일반적으로 구성입자가 수적으로 되어 있으면서 시정이 1km 이하일 때를 안개라고 한다.

1) 냉각에 의해 형성된 안개

지면과 접해 있는 공기층의 온도가 이슬점 이하가 되면 안개가 발생한다. 이렇게 형성된 안개에는 복사안개, 이류안개, 활승안개가 있다.

가) 복사안개(radiation fog)

육상에서 관측되는 안개의 대부분은 야간의 지표면 복사냉각으로 인하여 발생한다. 맑은 날 밤 바람이 약한 경우 공기의 복사냉각은 지표면 근처에서 가장 심하며 때로는 기온 역전층이 형성된다. 따라서 지면에 접한 공기가 이슬점에 달하여 수증기가 지상의 물체 위에 응결하여 이슬이나 서리가 되고 지면 근처 엷은 기층에 안개가 형성된다. 이렇게 형성된 안개를 복사안개라고 하며

또는 땅안개(ground fog)라고도 한다.

나) 이류안개(advection fog)

온난 다습한 공기가 찬 지면으로 이류하여 발생한 안개를 말하며, 해상에서 형성된 안개는 대부분 이류안개이다. 이를 해무라고 부른다. 해무는 복사안개보다 두께가 두꺼우며 발생하는 범위가 아주 넓다. 또한 지속성이 커서 한번 발생되면 수일 또는 한 달 동안 지속되기도 한다.

다) 활승안개(upslope fog)

습윤한 공기가 완만한 경사면을 따라 올라갈 때 단열팽창 냉각됨에 따라 형성된다. 산안개(Mountain fog)는 대부분이 활승안개이며 바람이 강해도 형성된다.

2) 증발에 의해 형성된 안개

증발은 수면이나 낙하하는 우적에서 일어난다. 온난한 수면에서 찬 공기로 수증기가 증발할 때 안개가 발생하며, 이때 발생한 안개를 증발안개라고 한다. 그리고 우적에서 증발된 수증기가 찬 공기 내에서 안개를 발생시키고 온난전선 전방의 찬 공기가 안정하고 바람이 약할 경우 형성되는 전선 앞 안개와 한랭전선상과 그 후면에 놓이게 되는 강수지역에서 중발로 인해 형성되는 전선 뒤 안개, 전선이 통과하면서 일시적으로 발생하는 전선통과안개가 있다. 즉, 증발에 의해 생성되는 안개에는 증기안개와 전선안개가 있다.

그림 5.16복사안개

6. 비행에 주의해야 할 기상현상

가. 난 류

난류(turbulence)는 지표면의 부등가열과 기복, 수목, 건물 등에 의하여 생긴 회전기류와 바람 급변의 결과로 불규칙한 변동을 하는 대기의 흐름을 뜻한다. 난류는 시·공간적으로 여러 규모의 것이 있는데, 바람이 강한 날 운동장에서 맴도는 조그만 소용돌이부터 대기 상층의 수십 ㎞에 달하는 난류가 있으며, 시간적으로도 수초에서 수 시간까지 분포한다. 지상에는 난류가 스콜(squall)이나 돌풍(gust)등에서 나타난다. 난류를 만나면 비행중인 항공기는 동요하게 된다.

난류발생의 역학적 요인으로는 수평기류가 시간적으로 변하거나 공간적인 분포가 다를 경우, 바람시어(wind shear)가 유도되고 소용돌이가 발생하며, 지형이 복잡한 하층에서부터 바람시어가 큰 상층까지 발생가능성이 크다.열역학적 요인으로는 공기의 열적인 성질의 변질 및 이동으로 현저한 상

승·하강 기류가 존재할 때 난류가 발생하며, 열적인 변동이 큰 대류권 하층에서 빈번하다. 즉, 열과 수증기를 상층으로 이동시키는 역할을 하며 난류가 강하면 공기층 내에서 상하의 혼합이 잘 된다.

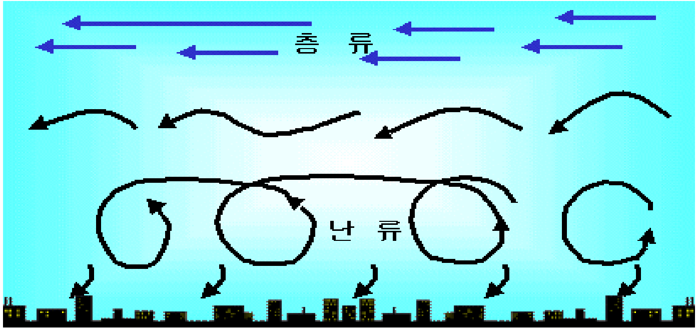


그림 6.1난류와 층류

※ 층류 : 상공에서 비교적 규칙적인 공기의 흐름

1) 난류의 강도

난류의 강도는 객관적으로 결정하기는 곤란하나, 수직방향의 가속도의 정도를 중력가속도 g를 사용하여 표시한다. 비행기가 받는 충격은 비행기의 속도와 크기, 중량, 안정도 등의 특성에 좌우된다.

표 6.1난류의 강도

항목 / 강도	가속도 (g)	체감정도	풍속의 변동폭	연직풍속 (ft/sec)

2) 난류의 분류

가) 대류에 의한 난류(convective turbulence)

대류권 하층의 기온상승으로 대류가 일어나면, 더운 공기가 상승하고, 상층의 찬 공기는 보상류로서 하강하는 대기의 연직 흐름이 생겨 난류가 발생된다. 대류활동에 의한 난류는 다음과 같이 두가지가 있다.

첫째, 주로 고기압 지배하에 있거나 바람이 약하고 일사가 많은 여름날 오후, 지표면 부근이 대기가 가열됨으로써 불안정한 대기가 조성되어, 연직기류가 발생하고 적운형의 구름이 만들어질 경우이다. 지표면은 수면, 산림, 경작지, 포장도로, 암석, 인공물 등으로 열적조건이 상이하기 때문에 대류의 정도가 달라, 그 상공에 불균등한 온도분포를 갖게 되고 대류에 의한 흐름(convection current)이 생겨 상·하 요동을 하므로, 착륙하는 항공기에 어려움을 준다.

둘째, 저기압이나 전선에 관련한 뇌우에 기인하는 것으로 가장 위험한 형태이다. 구름의 어느

지역에서도 생길 수 있으며 구름의 내부, 10,000~15,000ft 고도, 5000ft의 빙결고도에서 심한 난류의 가능성이 있다. 뇌우를 동반하는 발달한 스콜선이나 저기압계에서는 강한 상승기류가 있은 후 하강기류가 발생하는 지역이 생긴다. 또한 전선면에서도 물리적 성질이 다른 두 기단이 만나기 때문에 난류가 생기는데, 한랭기단이 온난한 지면상으로 이류 하거나 상층의 찬 공기의 이류가 있을 때에도 온도차로 인한 수직기류가 생기며, 이러한 난류는 상당한 고도까지 도달하기도 한다.

나) 기계적 난류(mechanical turbulence)

대기와 불규칙한 지형·장애물의 마찰 때문에, 풍향이나 풍속의 급변이 이루어져 생긴다. 바람이 산, 언덕, 절벽, 건물 등을 넘어서 부는 경우 생기는 일련의 소용돌이(eddy)이다. 난류의 강도는 풍속, 지표면 상태, 대기안정도 등에 따라 결정된다. 즉, 지표면이 거칠수록 풍속이 강할수록 난류는 강해진다. 또한 불안정한 대기일수록 더욱 규모가 큰 난류가 생긴다. 항공기는 건물에 의해 생기는 난류를 만나기도 한다. 풍속이 어느 정도 강할 때, 장애물의 풍하측에 난류가 생기고 있다. 산악지역에서는 풍하측에 나타나는 하강기류(downdraft)가 위험을 초래할 수 있다. 기계적 난류 중 특히 산맥에서는 안정한 대기에서 바람이 강할 때 산악파가 생기는데 앞에서 설명한 하층 난류보다 높은 고도까지도 발생한다.

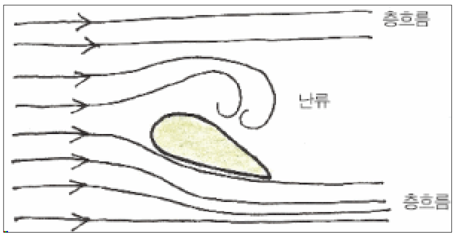


그림 6.2기계적 난류

다) 바람시어(wind shear)에 의한 난류

모든 난류가 사실상 바람시어와 관계가 있지만, 직접적인 원인으로 발생하는 것으로 대표적인 것이 제트기류 주위의 바람 차이, 즉 바람경도로 인한 시어인 청천난류(CAT)가 있다. CAT가 대류권계면 고도에서 생기는 상층 바람시어(high-level wind shear)인 반면, 보다 낮은 고도에서의 난류로서 하층 바람시어(low-level wind shear)가 있다. 전선면에서도 풍향이 다르기 때문에 난류가 생긴다. 또, 지표면에 기온역전층이 생겼을 때 상층은 역전층 하층의 안정층에 비해 비교적 풍속이 크기 때문에 풍속차로 난류가 발생할 수 있다. 항공기가 역전층을 통과하는 경우는 이·착륙 시이므로, 비행속도가 크지 않은 상태에서 요란에 의해 항속의 요동이 생기면 실속(失速)이 발생할 수 있다.

라) 항적에 의한 난류(vortex wake turbulence)

비행중인 여러 비행체의 후면에서 발생하는 소용돌이를 말하며, 인공 난류(man-made turbulence)라고도 한다. 대형 항공기의 이·착륙 직후의 활주로에는 많은 소용돌이가 남아 있게 되며, 만일 이런 상태가 존속할 경우 이·착륙하는 소형 항공기는 그 영향을 받게 된다. 이 난류는 소홀히 취급되기 쉬우나 큰 위험을 지닌다. 항적에 의한 난류는 바람이 적은 날 생기기 쉽고 대체로 5분 정도 지속되나, 기온이 역전되고 대기가 안정할 때는 더욱 오래 지속되는 것으로 알려졌다. 이러한 난류는 보통 큰 건물에 의한 것과 같은 정도의 영향을 준다고 한다.

마) 청천난류(CAT, Clear Air Turbulence)

CAT는 맑은 하늘에서 수평 또는 수직 바람시어로 인해 발생하는 난류이다. 즉, 대류성 구름이나 열적인 요인과 무관하다. 과거에는 비행기의 운항고도가 낮아서 저층 지물의 영향, 산악파, 뇌운 등이 난류의 주원인이었다. 그러므로 사람들은 고공을 비행하게 되면 난류는 없는 것으로 생각하였다. 그런데 항공기의 순항고도가 높아짐에 따라 고공을 비행하게 되면서 구름 한점 없는 고공에서도 난류가 있는 것을 알고 이를 청천난류라고 하였다.

(1)청천난류의 발생

상하의 바람속도가 클 때 발생한다. 강한 기류가 산맥을 넘을 때 그 산맥의 바람이 아랫쪽에 강한 회오리바람이 생기기 때문에 발생하고, 권계면 고도에서 관측되는 것은 강한 제트기류(Jet Stream)에 생기는 캘빈-헬름홀츠파(Kelvin-Helmholtzwave)의 불안정 때문에 그 주변 공기가 교란되면서 발생한다.

수직적으로 본 CAT의 강도는 차가운 쪽인 북쪽으로 갈수록 강하며, 제트축 북쪽의 상·하층이 가장 강한 난류가 일어나는 곳이다. 평균적으로 CAT는 15000ft 이상에서 발견된다. 제트기류와 관련한 CAT는 두께가 얇다는 것이 특징이다. 또한, 한대 제트기류와 아열대 제트류가 매우 근접할 때 발생빈도가 높아진다. CAT는 반드시 제트기류와 관련되어 있지는 않다. 연직 혹은 수평 바람시어가 존재할 때, 또는 연직적으로 기온감률이 크게 변해 상하층간의 공기의 온도나 밀도차가 존재할 때 발생할 수 있다.

(2) 청천난류의 영향

추풍령상공 부근에 청천난류가 자주 발생한다. 갑작스런 난기류는 순간적으로 항공기가 요동하나, 약 3초 이내로 난기류를 통과하면 별 문제 없으나 4초 정도 또는 그 이상으로 계속되면 불쾌감을 느낀다. 난기류에서 항공기는 가속도를 받는다. 항공기가 견딜 수 있는 가속도는 -1.5g~+2.5g로 설계되어 있으며, 4g~5g 이상의 가속도를 받으면 항공기는 파괴될 수 있다. 또, 항공기에 탑승한 승객이나 승무원에게 아주 위험한 존재며, 이로 인해서 항공기는 중력을 잃거나 거대한 힘에 의해 전복될 수 있다.

3) 기상조건에 따른 난류의 정도

가) 약정도(light) 난류조건

- 구름이나 산악지역에서 바람이 약할 때
- 소규모 적운 내부와 그 부근
- 국지 가열된 지면 위의 청천대류 지역

◦ 상층 기압골, 상층 저기압, 제트기류, 권계면 지역 부근에 약한 바람시어가 있을 때
◦ 대기 하층 5,000ft 범위 내에 15kt 정도의 바람이 불거나, 지표보다 공기가 한랭할 때

나) 중정도(moderate) 난류조건

산의 능선에 수직방향의 풍속성분이 25~50kt에 달하는 산악지역에서는 풍하측 150mile 까지, 50kt 이상이면 300mile 까지 중정도 난류구역이다. 고도 5000ft 이내, 권계면, 권계면 아래의 상대적 안정층의 구역이다.

◦ 탑상적운 내부 혹은 소멸기의 뇌운 내부나 부근
◦ 5000ft 아래의 하층에서 지상풍속이 25kt를 넘거나, 지표의 가열이 심 할 때
◦ 상층의 한랭 기압골
◦ 연직 바람시어가 6kt/1000ft, 또는 수평 바람시어가 18kt/150mile을 초과 할 때

다) 심한 정도(severe) 난류조건

◦ 산의 능선에 수직방향의 풍속성분이 50kt를 초과하는 산악지역에서 풍하측 150mile 까지, 25~50kt 일 때는 풍하측 50mile 까지 심한정도 난류구역이다. 능선고도에서나 그 이하 층의 말린 구름이나 회전기류 내부, 권계면, 권계면 아래의 안정층 하부에서도 종종 발생한다.
◦ 발달기나 성숙기의 뇌운 내부나 부근 및 탑상적운 내부
◦ 제트기류, 상층전선, 상층 저기압의 중심으로부터 한역쪽으로 80~160km 지역에서 연직 바람시어가 10ktv/1000ft, 또는 수평 바람시어가 50kt/90mile을 초과할 때

4) 항공기 운항에 난류가 미치는 영향 및 주의사항

항공기가 받게 되는 난류의 강도는 일반적으로 항공기 속도에 비례하며 항공기 무게에 반비례한다. 또한, 고정익 항공기는 항공기 날개의 넓이에 정비례하며, 회전익 항공기는 회전익의 회전 반경에 비례하며 상승속도에 반비례한다.

제트기류에 동반되는 CAT는 산맥의 풍하측에서 가장 강하다. 이 때문에 비행코스가 산을 횡단하는 제트축에 가까운 경우에는 주의를 요한다.

300, 200 hPa 면 일기도 상에서 매 20kt 등풍속선의 간격이 120km이내인 경우에는 난류가 발생할

확률이 높다. 이 지역은 일반적으로 제트축의 북쪽에 해당하나 드물게는 남쪽에 있는 경우도 있다.

바람의 연직시어는 수평 기온경도에 관계되므로, 상층일기도 상에서 등온선의 간격이 조밀한 곳에서는 주의를 요한다.

강한 난류가 보고되거나 예보되고 있는 지역을 비행할 경우, 조종사는 난류에 조우한 초기 단계에서 속도를 조절해야 한다. 이 같은 난류는 급속히 강도가 증가하는 경우가 있기 때문이다.

제트기류에 동반되는 난류에 조우한 경우 비행속도나 비행코스를 우선 변경하여야 한다. 그 이유는 난류는 바람에 연해서 뻗어 있으며, 그 수평범위가 작고 그 위에 고도폭이 좁기 때문이다.

깊은 기압골에 동반되는 현저한 바람변화 구역에서 난류에 조우할 때, 기압골에 평행하게 비행하는 것 보다는 기압골을 횡단하는 코스를 채택하는 것이 좋다.

나. 산악파 (Mountain waves, rotors)

- 기계적 난류 중 가장 위험한 것으로 바람이 산맥을 넘을 때 산맥의 영향으로 풍하측에 파동이 생기고, 파동에서 상승·하강기류에 의해 난류가 생긴다. 산맥을 향해 바람이 분다고 모두 산악파가 생기거나 난류가 수반되는 것은 아니다. 불규칙한 지형 위를 부는 약한 바람은 심한 산악파를 발생시키지 못한다.

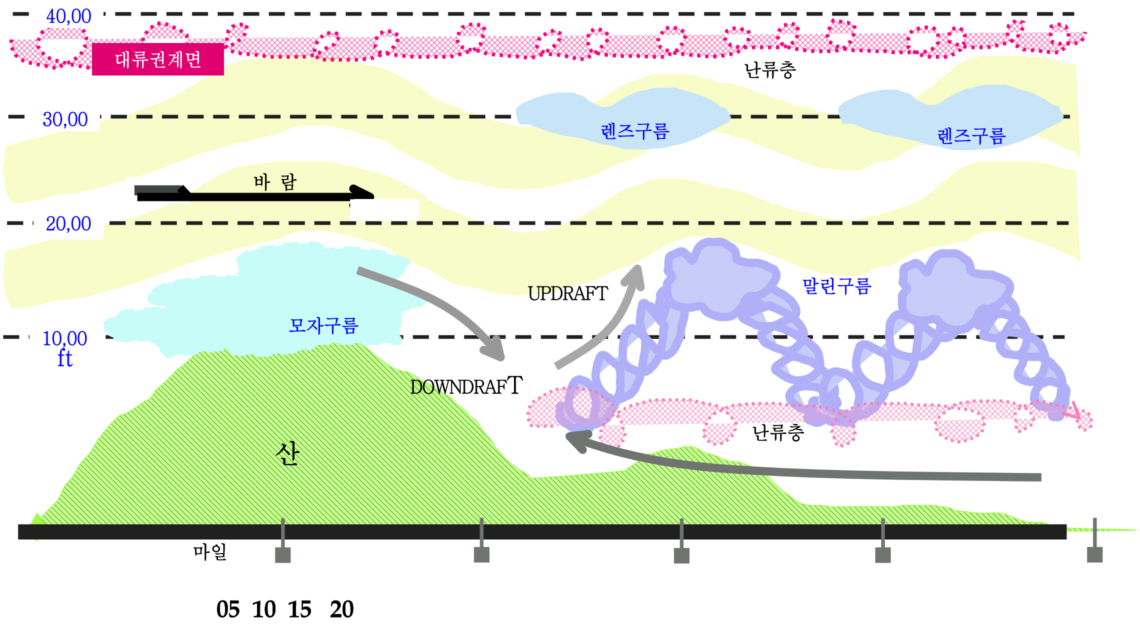


그림 6.3산악파

- 대기안정도로 볼 때, 성층이 잘 이루어진 안정하거나 중립인 대기에서만 일어나는 특징을 지닌다. 또, 바람이 산맥에 직각에 가까울수록, 산맥이 클수록, 풍속이 강할수록 산악파의 형성이 더 잘 이루어진다.
- 풍속이 25kt 이상은 되어야 발생할 가능성이 있으며, 일정한 조건 하에서 연직방향으로 전파되어 대류권계면까지 도달되기도 한다. 때론 70,000ft까지 상승하기도 함.
- 수평거리는 산마루에서 풍속이 50kt 이상일 때, 30~150mile까지 이른다.
- 난류는 산맥의 풍하측에 생성되며 상승·하강기류가 있는 곳에 출현하는데, 산맥과 가까운 쪽의 파동일수록 난류의 강도는 심하다. 이 지역에는 여러 구름들이 나타나기 때문에, 산악파를 감지할 수 있는 좋은 척도가 된다. 악파는 정상파이기 때문에 구름이 생기면 정체한 것처럼 보인다.

1) 산악파의 발생 조건

- 산정을 지나는 풍속의 수직 성분이 25kt 이상이어야 함
- 풍향은 산맥의 축에 수직으로 45° 이내로 불 것
- 산정의 상부에 안정층이 존재할 것

2) 산악파와 관련된 운형

표 6.2산악파에서 출현하는 구름

모자구름 (cap cloud)	산맥 바로 정상에서 형성되는 구름으로 대부분 풍상측에 몰려있다. 이는 기류가 상승하면서 응결되어 생긴다. 모자구름은 산마루를 차폐하기 때문에 비행중 항상 피해야 하며 산맥의 풍하면은 매우 위험한 지역이다.

3) 산악파가 항공기 운항에 미치는 영향

- 산악파 발생구역 인근 200hPa 고도의 기온이 -70℃ 이하일 때
- 산맥의 풍하측의 기압이 급격히 하강할 때
- 풍하측 최대 지상풍이 산맥과 직각 방향으로 나타날 때
- 날린 먼지가 20,000ft 이상의 고도까지 운반될 때
- 산맥 풍하측의 강한 기류와 말린구름이 존재할 때
- 높은 고도의 렌즈구름, 특히 끝이 거칠 때

다. 뇌 우

뇌우는 천둥과 번개를 동반하는 적란운 또는 적란운의 집합체이다. 강한 대류 활동을 가진 뇌우는 폭우, 우박, 돌풍, 번개 등을 동반함으로써 짧은 시간 동안에 큰 항공 재해를 가져올 수 있는 중규모 기상 현상이다.

열대지방에서는 연중 뇌우가 발생하며, 우리나라와 같은 중위도 지방에서는 봄과 여름을 거쳐 가을까지 뇌우의 가능성이 존재한다. 한랭전선이 빠르게 통과하는 경우, 겨울에도 드물게 뇌우가 발생할 수 있다. 극지방에서는 여름에 매우 드물게 뇌우가 발생하기도 한다.

1) 뇌우의 형성조건

뇌우가 형성되기 위한 기본적인 조건은 아래의 3가지 조건을 모두 만족할 때 뇌우는 그 일생을 시작할 것이다.

가) 불안정 대기

잠재 불안정한 공기가 주위보다 따뜻해지는 고도까지 상승되면, 그때부터 자유롭게 상승하게 된다. 이러한 고도까지 공기를 상승시켜 주기 위해서는 대기가 불안정한 상태, 즉 조건부 불안정이나 대류 불안정이 요구된다.

나) 상승운동

상승작용이 일어나야 지표 부근의 따뜻한 공기가 자유롭게 상승하는 고도(자유대류고도 : LFC)에 도달할 수 있다. 상승작용은 대류에 의한 일사, 지형에 의한 강제상승, 전선상에서의 온난공기의 상승, 저기압성 수렴, 상층냉각에 의한 대기 불안정으로 상승, 이류 등의 여러 요인이 있다.

다) 높은 습도

따뜻한 공기가 상승한다고 해서 자유로운 대류가 일어나는 것은 아니다. 공기가 상승해 수증기가 응결하면서 구름이 형성되는데, 자유대류고도까지 도달하지 못하면 구름이 크게 성장하지 못한다. 공기덩이는 대기 중의 수증기량이 많을수록 더 쉽게 자유대류고도에 도달할 수 있다. 왜냐하면 많

은 수증기의 존재는 열역학적인 불안정을 유발하기 때문이다. 즉, 수증기가 물방울이 되어 구름이 형성되면 잠열이 방출되기 때문에, 공기는 더욱 불안정해져 상승작용이 촉진된다.

2) 뇌우의 발달 조건

뇌우가 발달하기 위해서는 기본적인 조건으로는 대기의 불안정과 초기 상승 작용이다. 뇌우가 발달하기 위해서는 하층 대기가 고온 다습하여 대류에 의해 상당한 높이로 상승하면, 동일한 고도의 주위 대기보다 기온이 높아 상향 부력을 받고 가속되어 대류권계면까지 강하게 상승할 수 있어야 한다. 이러한 하층 대기 조건은 조건부 불안정 대기에서 충분히 제공한다.

다음으로 초기 상승 작용은 불안정한 공기가 자유 상승을 시작하고 수증기 응결에 의한 숨은열을 방출할 수 있도록 최소한으로 상승시킬 수 있는 과정이 필요하다. 이러한 초기 상승 작용은 지표 가열, 산악 지형, 전선, 저고도 수렴 등에 의해서 발생한다.

거대 세포 뇌우와 같은 악성 뇌우는 위의 두 가지 조건 이외에 연직 바람 시어라는 대기 조건을 필요로 한다.

라. 하강 돌풍(downburst)

뇌우 발달 과정은 세포 내에 오직 상승 기류만 있는 적운 단계, 상승기류와 하강 기류가 공존하는 성숙 단계, 그리고 하강 기류가 우세하고 결국에는 약해져서 사라지는 소멸 단계로 구성되어 있다. 성숙 단계의 하강 기류는 지표면에 도달하자마자 빠르게 퍼져 유출 기류를 만들며, 유출 기류의 직경은 유출된 후에 경과된 시간에 따라 거의 선형적으로 증가하여 10 - 15분안에 최대로 유출되고 발산된다.

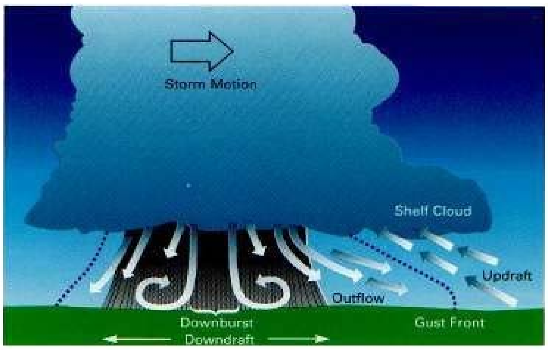


그림 6.4 뇌우 아래의 하강 기류.

뇌우에서 발생한 하강 기류는 항공기의 안전 운항에 큰 영향을 준다. 하강 기류 중에서 위험을 초래할 수 있는 하강 기류를 명확하게 경고하기 위하여 Fujita (1976)와 Fujita and Byers(1977)에 의해 하강 돌풍(下降 突風; downburst)이라는 용어가 제시되었다.

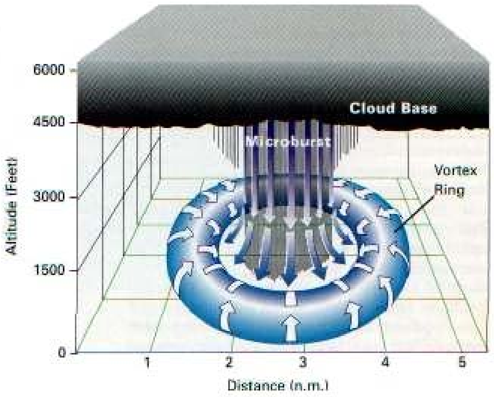


그림 6.5소규모 돌풍
(화살표는 기류, 연직 방향의 실선은 강수)

하강 돌풍과 같은 하강 속도를 가지며 수평 규모가 2.2 mile 이하인 하강 돌풍을 소규모 돌풍(microburst)으로 정의하였다. 소규모 돌풍은 기단성 뇌우나 단세포, 다세포 및 거대세포 뇌우에서 발생하여 대류운의 아래에서 차고 밀도가 큰 하강 기류를 가지며, 하강 기류가 지상에 도달하면 바깥으로 퍼져 위쪽으로 감싸는 소용돌이 고리(vortex ring)가 형성된다.

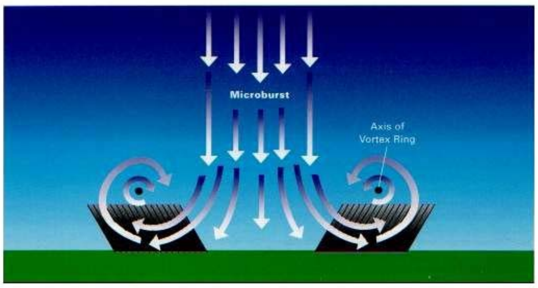


그림 6.6소규모 돌풍의 단면

전형적으로 소규모 돌풍은 대류운 아래에서 지상까지 곧바로 하강하여 지상에 도달한다. 지상 부근에서는 소규모 돌풍을 가로지르는 수평 바람 시어가 나타나며, 풍속은 강하고 풍향은 소규모 돌풍의 중심선을 횡단하면서 180°급변한다. 강력한 하강 기류에 의한 하강 돌풍 중심의 폭우는 상승력을 감소시킨다. 이러한 현상은 지상 근처에서 매우 짧은 시간 동안에 발생하고 자주 낮은 실링과 낮은 시정을 동반하다. 일단 소규모 돌풍이 지상에 도달하면 5분에서 30분 정도 지속되며, 대부분의 소규모 돌풍은 단지 수 분내에 약화된다.

마. 우박

적운과 적란운 속에 강한 상승 운동에 의해 빙정 입자가 직경 2 cm 이상의 강수 입자로 성장하여 떨어지는 얼음 덩어리가 우박이다.

- 우박의 형성

빙정 과정으로 형성된 작은 빙정 입자는 적란운 속의 강한 상승 기류에 의해 더 높은 고도로 수송된다. 수동되는 과정에서 얼음 입자가 과냉각 수적과 충돌하면서 얼게 되는데 이러한 흡착 과정으로 빙정 입자는 성장한다. 이 때 적란운 속의 상승 기류가 구름 속에 떠있는 빙정 입자를 지탱하기에 충분히 강하면 이 빙정 입자는 상당한 크기로 성장하여 우박이 된다. 만약 상승 기류가 충분히 강하다면 우박은 다시 적란운을 통하여 위쪽으로 옮겨지며, 지상으로 떨어질 정도로 충분히 커질 때까지 계속해서 성장한다. 우박은 맹렬한 상승 기류가 있는 적란운의 정상 부근에서 적란운 밖으로 떨어질 수 있다.

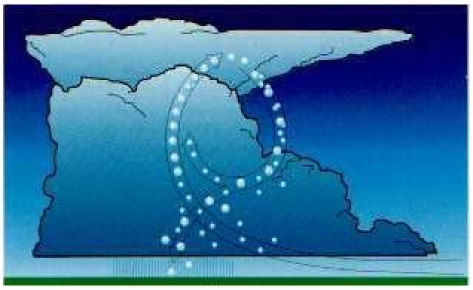


그림 6.7뇌운 속에서 우박의 성장.

바. 번개와 천둥

뇌우는 천둥(thunder)이 동반된 폭풍우 현상이다. 천둥은 번개(lightning)에 의해 만들어지기 때문에 두 개의 현상은 같이 발생한다.

1) 번개

번개는 적란운이 발달하면서 구름 내부에 축적된 음 전하와 양 전하 사이에서 또는 구름 하부의 음 전하와 지면의 양 전하사이에서 발생하는 불꽃 방전이다. 번개는 구름 내부, 구름과 구름 사이, 구름과 주위 공기 사이, 구름과 지면 사이의 방전을 포함하여 다양한 형태로 발생한다.

그림 6.8번개 현상

가) 번개의 발생

번개는 여러 가지 과정으로 일정한 공간 내에서 전하가 분리되고 큰 전하차가 있을 때 발생한다. 관측에 의하면 적란운 상부에는 양 전하가, 하부에는 음 전하가 축적되며, 지면에는 양 전하가 유도된다.

적란운 속의 전하 분리에 의해 구름 하부에 음 전하가 모이면 이 음전하의 척력과 인력에 의해 지면에 양 전하가 모이게 된다. 지면의 양 전하와 구름 하부의 음 전하 사이에 전하차가 증가하면 구름 하부와 지면 사이에서 전기 방전, 즉 낙뢰 또는 벼락이 발생한다.

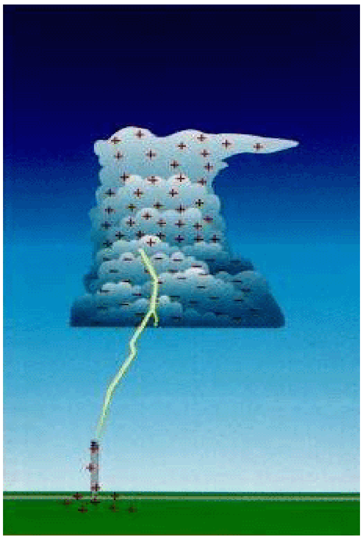


그림 6.9
적란운 속의 전하 분리

나)번개의 방전

구름 하부에서 방출된 음 전하는 전기력이 가장 큰 경로를 따라 조금씩 이동하면서 이온화된 통로 즉, 계단 선도를 만든다. 계단 선도가 지표의 돌출부에 있는 양 전하와 만나 불꽃 방전을 발생시킨다. 계단 선도에 의해 만들어진 구불구불한 도전로를 따라 지면의 양 전하가 위로 올라가면서 방전이 일어나고 이로 인하여 밝은 빛과 격렬한 소리가 발생한다.

번개 방전은 지표면까지 최소 저항의 통로를 선호하기 때문에 산 정상, 높은 빌딩, 나무꼭대기, 안테나 및 뾰족탑 등과 같이 높은 지점이 특히 번개에 맞기가 쉽다. 또한 양으로 전리된 물체에 가까우면 가까울수록 구름으로부터 벼락을 맞기가 더욱 쉬우며, 물체가 양 전하의 구름에 가까우면 가까울수록 벼락은 맞기가 쉬워진다.

일반적인 뇌우는 분당 3~4회의 번개 섬광을 일으킨다. 낙뢰에서 구름과 지표 사이의 낙뢰 회수는 다를 수 있지만 모든 낙뢰의 10~25%만이 구름과 지표사이에서 발생한다는 것을 유의해야 한다.

2) 천둥

번개가 지나가는 경로를 따라 발생된 방전은 수 cm에 해당하는 방전 통로의 공기를 순식간에 15,000 ~ 20,000℃까지 가열시킨다. 이러한 갑작스러운 가열로 공기는 폭발적으로 팽창되고, 이 팽창에 의해 만들어진 충격파가 그 중심에서 멀리 퍼져 나가면서 도중에 음파로 바뀌어 우리에게 천둥으로 들려온다. 번개는 발생순간 우리가 보게 되나 음파의 속도는 빛의 속도보다 느리기 때문에 번개가 친 후 얼마 지나서 듣게 된다. 번개 치는 곳의 위치는 번개를 관측한 후 천둥소리가 들릴 때까지의 시간을 잼으로써 대략적으로 알아낼 수 있다.

사. 윈드쉬어(windshear)

바람 시어는 항공기의 이·착륙 과정에서 매우 큰 영향을 준다. 일반적으로 조종사는 비행경로를 따라 정풍 또는 배풍이 얼마나 변할 것인가와 바람 경도로 바람이 얼마나 변할 것인가에 관심을

갖는다. 항공기가 이·착륙할 때에 활주로 근처에서 바람 시어는 정풍이나 배풍의 급격한 증가 또는 감소를 초래하여 항공기의 실속이나 비정상적인 고도 상승을 초래하며, 측풍에 의해 활주로 이탈을 초래한다. 이와 같이 최종 접근로나 이륙로 또는 초기 이륙 직후의 고도 급상승로를 따라 발생하는 지상 2,000ft이하의 바람 시어를 저층 바람 시어(low level wind shear)라고 한다. 보통 저층 바람 시어의 강도는 연직 바람 시어의 강도로 나타낸다.

표 6.3저층 바람 시어의 강도

저층 바람 시어 강도	연직 바람 시어 강도(kt/100ft)

아. 마이크로버스트(microburst)

마이크로버스트는 대류활동에 연관되어 나타나는 특수한 바람쉬어이다. 이것은 비교적 단순한 형태의 요란으로 뇌우뿐만 아니라, 여름철에 천둥과 번개를 동반하지 않는 소규모의 대류운과 관련되어 나타나는 강한 하강기류(downdraft)이다. 이 하강기류는 일반적으로 가시적인 강수를 동반하지만, 때로는 지표에 도달하기 전에 강수가 증발되어 하강기류가 눈에 보이지 않게 되는 경우가 있기 때문에, 위험이 없어 보이는 지역에서 큰 항공기 사고를 유발하기도 한다. 하강기류는 지표에 도달하면서 수평적으로 바깥쪽으로 퍼지게 된다. 마이크로버스트는 하강기류가 지상에 처음 도달한 후 5분 내외의 시간에 강화된다. 그 수평적 규모는 1~3km 정도이고 지속시간은 5~15분 정도인데, 2~4분 정도에 강한 바람쉬어가 나타난다. 항공기가 마이크로버스트를 통화할 때 맞바람과 뒷바람의 풍속 차는 약 50KTS 정도이고, 도플러 레이더에서 관측된 최대 풍속 차는 93KTS에 달했다. 마이크로버스트를 탐지하고 경보하는 데에는 도플러 레이더가 가장 효과적인 것으로 알려져 있다.

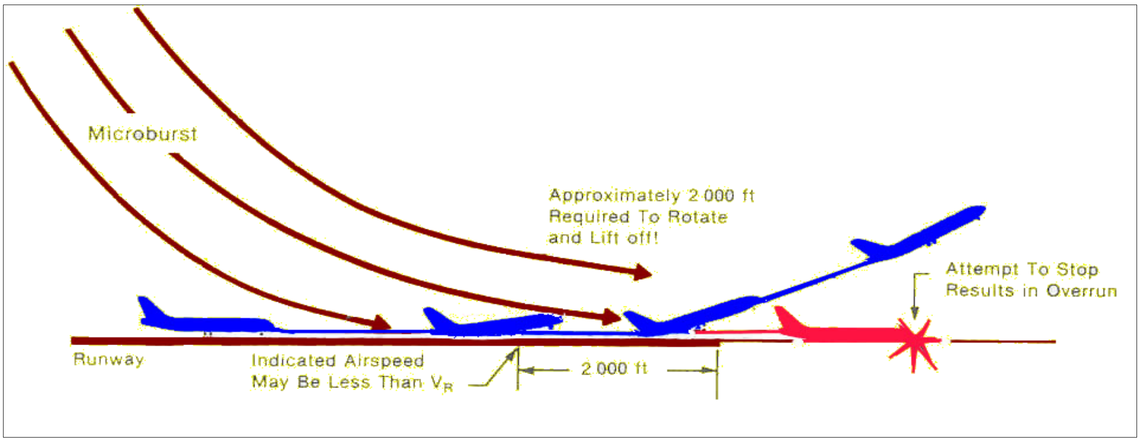


그림 6.10microburst가 이륙하는 항공기에 미치는 영향

자. 착빙(icing)

빙결온도 이하의 상태에서 대기에 노출된 물체에 과냉각 물방울(과냉각 수적) 혹은 구름 입자가 충돌하여 얼음의 피막을 형성하는 것을 착빙현상 이라고 하며, 항공기에 발생하는 착빙은 비행안전에 있어서의 중요한 장애요소 중의 하나이다.

착빙 형성의 조건으로 첫째, 항공기가 비 또는 구름 속을 비행해야 하는데 대기 중에 과냉각 물방울이 존재해야 하며, 두 번째 조건은 항공기 표면의 자유대기온도가 0℃ 미만이어야 발생한다. 청명한 대기 속에서는 심한 착빙이 생기지 않으나, 상대습도가 높고 영하의 기온일 때는 프로펠러나 날개 위를 통과하는 공기의 팽창으로 약간의 수분이 응결하여 착빙이 생기기도 한다. 과냉각 물방울은 0~-20℃에서 가장 자주 관측되므로, 이 온도 범위 내에 있는 구름은 착빙의 가능성이 있다고 보아야 하며, 심한 착빙은 보통 0~-10℃에서 발생한다. 드물게 -40℃인 저온에서도 착빙이 나타날 수 있다. 그러나 운중 온도가 -20℃ 미만이 되면 실제로 착빙은 잘 일어나지 않는다. 왜냐하면 물방울은 이미 결정형태로 빙결되어 있기 때문이다.

착빙 강도는 물체의 단위면적에 부착된 얼음의 실제량과 물체가 대기 중에 노출되었던 시간과의 비로 표시하기도 한다.

1) 착빙의 형태와 원인

얼음이 형성되기 위해서는 물이나 습한 공기가 있어야하며 대기가 찬 표면과 접촉, 단열 팽창, 증발 등으로 영하 이하로 냉각되어야 한다. 이러한 조건에서 만들어지는 착빙은 구조 착빙(structural icing)과 흡입 착빙(induction icing)의 형태로 나누어진다.

일정한 대기 환경에서 착빙 가능성은 항공기의 형태와 속도에 영향을 받는다. 보통 제트 항공기에서 착빙 형성이 가장 적다. 이것은 제트 항공기가 강한 추력으로 착빙의 임계 온도 영역을 벗어나는 높은 고도를 빠르게 비행하기 때문이다. 반면에, 작은 왕복 기관의 항공기에서 착빙 형성이 가장 많다. 이것은 착빙 방지 장치가 없거나 주로 습하고 낮은 고도를 비행하기 때문이다. 헬리콥터에서는 추력과 양력을 동시에 발생시키는 회전 날개에서 착빙 가능성이 가장 높다.

가)구조 착빙

구조 착빙 또는 기체 착빙은 항공기의 날개 끝, 프로펠러, 무선 안테나, 앞 유리, 피토관 및 방향타(static port) 등과 같은 기체 표면에 얼음이 쌓이거나 덮이는 착빙이다. 이 착빙은 주로 항공기의 공기 역학적인 흐름에 영향을 주어 운항 효율을 감소시키거나 항공기 실속을 유발한다.

구조 착빙의 주요 원인은 항공기가 구름을 통과할 때 기체 표면에 수적이 결빙되는 것이다. 이러한 결빙은 항공기 표면이 0℃ 이하로 냉각되어 있는 항공기가 과냉각 수적을 포함한 구름 속을 비

행하여 수적과 충돌할 때 발생한다.

구조 착빙은 구름 속의 수적 크기, 개수 및 온도에 따라 세 가지 유형의 착빙, 맑은 착빙(clear icing), 거친 착빙(rime icing), 혼합 착빙(mixed icing)이 형성된다.

그림 6.12 (위)항공기날개에 형성된 맑은 착빙, (아래)엔진실과 동체사이의 날개위에 형성된 거친 착빙

나) 맑은 착빙(clear icing)

수적이 크고 주위 기온이 0 ~ 10℃인 경우에 항공기 표면을 따라 고르게 흩어지면서 천천히 결빙된다. 맑은 착빙에 의한 얼음은 그 표면에서 윤이 나며 투명 또는 반투명하다. 맑은 착빙은 무겁고 단단하며 항공기 표면에 단단하게 붙어 있어 항공기 날개의 형태를 크게 변형시키므로 구조 착빙 중에서 가장 위험한 형태이다.

다) 거친 착빙(rime icing)

수적이 작고 주위 기온이 -10 ~ -20℃인 경우에 작은 수적이 공기를 포함한 상태로 신속히 결빙하여 부서지기 쉬운 거친 착빙이 형성된다. 거친 착빙은 항공기의 주 날개 가장자리나 버팀목 부분에서 발생하며, 구멍이 많고 불투명하고 우유빛 색을 띤다. 거친 착빙도 항공기 날개의 공기 역학에 심각한 영향을 줄 수 있으나, 맑은 착빙보다 덜 위험하고 제빙 장치로 쉽게 제거할 수 있다.

라) 혼합 착빙(mixed icing)

맑은 착빙과 거친 착빙의 결합으로서, 눈 또는 얼음입자가 맑은 착빙 속에 묻혀서 울퉁불퉁하게 쌓여 형성된다.

마) 서리 착빙(frost icing)

서리는 일반적으로 빙정 구조를 나타내는 백색의 깃털모양이다. 포화 공기가 이슬점 온도까지 냉각되고 그 이슬점 온도가 0℃ 이하일 때 수증기가 직접 빙결·축적되어 서리가 발생한다. 서리는 다른 물체에 형성될 때와 같은 방법으로 항공기에 형성된다. 일반적으로 맑은 날 저녁에 지표 복사냉각으로 세워 둔 항공기 표면의 온도는 영하의 이슬점온도 이하로 떨어진다.

항공기 표면에 부착된 서리는 항공기 표면을 거칠게 하고 항력을 증가시켜 양력을 약화시킨다. 따라서 단단한 서리는 실속을 5~10% 증가시킬 수 있으며, 항공기가 이륙할 때 횡전(roll)을 크게 하여 이륙을 어렵게 하거나 불가능하게 할 수도 있다. 서리가 부착된 항공기는 저고도에서 난류나 바람 시어를 만날 때, 특히 저속 운항이나 방향 회전을 할 때 위험하다. 따라서 이륙 전에 모든 서리는 항공기로부터 제거되어야 한다.

항공기 운항 중에도 서리는 형성될 수가 있다. 이러한 서리는 주로 외부 기온에 의해 냉각된 항공기가 구름은 없고 상대 습도가 높은 온난한 지역으로 상승 또는 하강할 때 발생한다. 이 서리는 항공기의 표면이 따뜻해지면 금방 사라지기도 하지만 서리가 있는 경우에는 실속의 증가로 인한 문제는 계속된다.

구조 착빙의 강도는 얼음 침적율, 제빙 또는 방빙 장치의 효율, 조종사의 대처에 따라 표 6.4과 같이 분류된다. 제빙 장치는 착빙이 형성된 후에 제거하는 반면에, 방빙 장치는 얼음의 형성을 미리 방지한다.

표 6.4 착빙의 강도, 얼음 침적율, 조종사의 대처

강도	얼음의 침적 정도	조종사의 대처

나) 흡입 착빙

흡입 착빙은 항공기 엔진으로 공기가 유입되는 흡기구와 기화기에서 생기는 착빙으로서, 흡기구 착빙과 기화기 착빙으로 나누어진다. 흡기구 착빙은 주로 엔진으로 들어가는 공기를 차단시켜 동력을 감소시키며, 구조 착빙의 발생 조건과 같은 조건에서 흡기구에서 얼음이 누적되어 발생한다. 기화기 착빙은 외부 온도에 관계없이 기화기 안으로 유입된 습윤 공기가 단열 팽창과 연료의 기화로 인하여 영하의 온도로 냉각되어 발생한다. 이 착빙은 22℃ ~ -10℃의 넓은 기온 영역에서 관측된다. 기화기 안의 얼음은 공기와 연료 혼합의 흐름을 부분적으로 또는 완전히 차단하여 엔진을 완전히 정지시킬 수도 있다.

제트 항공기가 활주로에서 이동하고 이륙·상승하는 동안 압축 흡기구의 압력은 낮아지며 흡기구를 통과하는 공기는 단열 팽창되어 냉각된다. 이런 경우에 착빙은 엔진 유형에 따라 외부 공기의 상대 습도가 높고 기온이 0℃ 이상일 때 발생할 수 있으며, 구름이나 강수 입자가 존재하지 않으며 외부 기온인 0℃ 이상일 때에도 발생할 수 있다.

2) 착빙의 예측

착빙의 발생 가능성과 유형은 다음의 기상 유형에 따라 예측할 수 있다.

가) 언 강수

보통 겨울철 온난 전선에서 자주 발생한다. 그림 10.2와 같이 지표 부근에 0℃ 이하의 찬 대기층이, 그 위에 0℃ 이상의 따뜻한 층이, 그리고 따뜻한 층위에 다시 찬 대기층이 형성되어 있을 때 발생한다.

찬 대기층의 구름에서 만들어진 눈은 낙하하면서 따뜻한 대기층을 통과할 때액체 상태로 변한다. 따뜻한 층에서 액체 상태로 내려온 강수는 지표 부근의 찬 대기층이 충분히 두꺼운 경우에는 다시 얼어서 얼음싸라기(ice pellet)로 떨어지며, 지표 부근의 찬 대기층이 얇은 경우에는 충분히 얼지 못하고 영하의 지표면에 떨어져 언 비 또는 어는 이슬비를 만든다.

착빙은 영하인 항공기 표면에 언 비가 떨어져 발생한다. 언 비에 의한 착빙은 빠르게 진행된다. 따라서 언 비에 의한 착빙을 만났을 경우에는 신속하게 고도를 상승시켜야 한다.

상승 중에 항공기 속도가 느리면 항공기 날개의 높은 상승각으로 날개의 아래 부분에 많은 착빙을 발생시키고, 이로 인하여 항력의 증가하여 항공기의 실속을 초래할 수 있다.

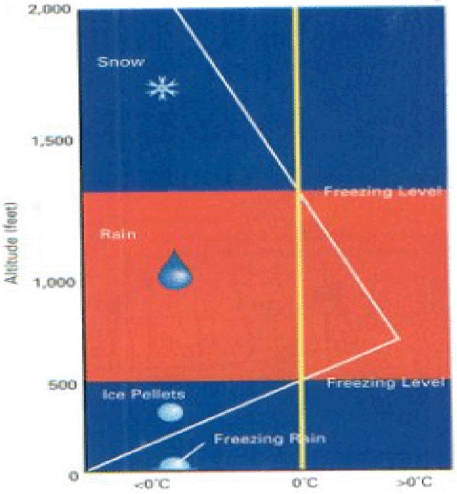


그림 6.13어는 강수가 발생할 수 있는 연직 기온 분포.

나) 전선

전선 부근에는 강한 연직 운동으로 강한 구름과 강수가 발생하며, 겨울철 온난 전선에서는 강한 언 비가 내릴 수 있다. 따라서 거의 모든 전선에서는 착빙이 발생할 수 있으며, 보고된 착빙의 85%가 전선 부근에서 발생하였다.

그림 6.14는 온난 전선과 한랭 전선에서 발생하는 착빙의 유형과 고도이다. 한랭 전선에서는 수평으로 후방 100 mile까지 착빙이 발생하며, 고도에 따라 맑은 착빙, 혼합 착빙, 거친 착빙으로 나타난다. 온난전선에서는 수평으로 전방 300 mile까지 착빙이 발생하며, 고도에 따라 혼합 착빙, 거친 착빙으로 나타난다.

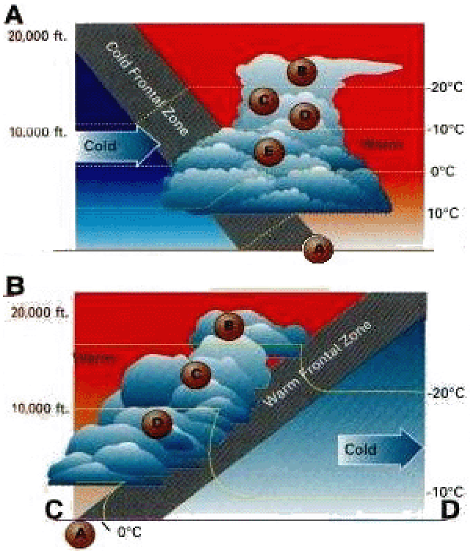


그림 6.14 한랭 전선(위)과 온난 전선(아래)에서 발생하는 착빙 구간

전선에 의해 상승된 공기가 불안정한 경우에는 적운형 구름의 경우와 같이 수평보다는 수직적으로 확장된 착빙 분포를 보인다. 반면에 전선에 의해 상승된 대기가 안정한 경우에는 층운형 구름의 경우와 같이 수직적으로 제한되나 수평적으로는 넓게 확장된 착빙 분포를 보인다.

보통 아래에 차갑고 얇은 공기층을 가지고 있는 전선대 또는 전선은 심한 착빙을 발생시킬 수 있는 언 비와 보통 정도의 착빙을 발생시킬 수 있는 언 이슬비가 내릴 수 있다. 따라서 겨울철 한랭 전선이나 한랭 전선의 하부를 통과할 때는 보통 이상의 착빙을 예상해야 한다.

다) 산악 지역

착빙은 다른 지형보다 산악지역에서 더욱 심하다. 산악은 풍상측에 상승기류를 유발해서 큰 물방울을 만들어준다. 전선이 산악지역을 지나 이동할 경우 전선에서의 상승과 지형적 상승효과가 어우러지면 매우 위험한 착빙지역을 만든다. 심한 착빙은 산의 풍상측과 산정에서 발생한다. 착빙 구역은 산정에서 5000ft 이상까지 뻗어 있으며, 적운이 발달하는 경우에는 더 높이 확장된다.

그림 6.15산악 지역의 착빙

7. 항공기상관측 및 보고

가. 항공기상관측 및 보고 - METAR·SPECI

1) 관측·보고의 종류

가) 정시관측·보고(METAR)

- 정시 10분전에 1시간 간격으로 실시하는 관측
  (지역항공항행협정에 의거 30분 간격으로 수행하기도 함 : 예 인천)
- 당해 비행장 밖으로 전파

나) 특별관측보고(SPECI)

- 정시관측외 기상현상의 변화가 커서 일정한 기준에 해당할 때 실시하는 관측·보고
- 당해비행장 밖으로 전파

다) 사고관측·보고(Accident observation & report)

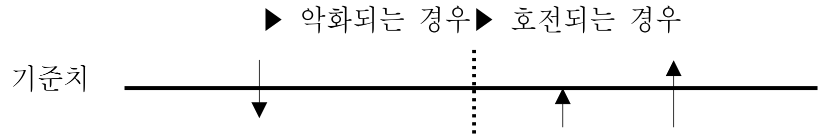
- 항공기의 사고를 목격하거나 사고발생을 통지 받았을 때 정시 관측의 모든 기상요소에 대하여 행하는 관측으로 모든 계기기록에 시간을 표시해야 함

2) 관측종류·보고별 관측요소

요소 / 종류	바람	시정	RVR	일기 현상	하늘 상태	기온	이슬점 온도	기압	보충 정보

3) 특별관측의 실시기준

악화되면서 다음 기준치중 하나이상의 값으로 변화하거나 경과 할 때 또는 호전되면서 기준치중 하나이상의 값을 경과 할 때



나. 항공기상관측과 전문

1) METAR/SPECI

IDENTIFICATION GROUPS(식별군)	바람(KT)	시정(m)

활주로가시거리(m)	현재일기	구름(100ft)
RDRDR/VRVRVRVRi 또는 RDRDR/VRVRVRVRVVRVRVRVRi	W'W'	NSNSNShshshs VVhshshs SKC
R24/0350	FG	FEW020 BKN 040
R33/1200	VCFG	SCT008 SCT015 BKN040
R15/P2000	MIFG	SCT010CB BKN020 OVC050
R15/1300D	+ DR FG	OVC030
R33/0800U	SN BLSN	SCT/// BKN008
R33/1100N	+SHSNGS	VV002
R33/0700VP2000	+DU	SKC

기온/ 이슬점온도	기압	보충정보			
T'T'/T'dT'd	QPHPHPHPH	REw'w'	WS RWYDRDR WS ALL RWY	WTsTs/SS'	RRRRERCReReRBRBR
10/08	Q1012	RERA	WS RWY15	W19/S4	15451293
M08/M09	Q0999	RETS	WS ALL RWY		33699294
02/M03	A2997	RESHSN			

2) TREND FORECAST(Landing Forecast)

지시자	시각	바람(KT)	시정(m)	현재일기	구름(100ft)

SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350 3000 1400N R24/P2000 +SHRA FEW005 FEW010CB SCT018 BKN025 10/03 Q0995 RETS WS RWY24 24451293

3) 식별군 (METAR, SPECI, 장소, 시간)

o (전문형식) METAR 또는 SPECI CCCC YYGGggZ (AUTO)

(작성 예)SPECI RKSS 211025

o 이 군은 3부분으로 구성된다.

. METAR 또는 SPECI : 항공기상관측보고 전문지시자

METAR(METeorological Aerodrome Report) : 정시관측보고

SPECI(SPECIal report) : 특별관측보고

. CCCC : 보고지점의 ICAO 지역 지시부

* ICAO Location Indicator Doc 7910/77참조

. YYGGggZ :관측을 수행한 시간 :그 달의 날짜/시각/분으로 구성(UTC 단위)

예) SPECI RKSS 211025Z

※ 지시자(AUTO) : 모든 기상관측요소가 사람의 관여없이 완전 자동관측 될 때 표시

4) 지상풍

┌─ KMH 또는

o (전문형식) dddffGfmfm| KT또는 dndndnVdxdxdx

└─MPS

(작성 예)SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350

o 풍향·풍속은 항공기 이·착륙에 영향을 주는 중요기상요소

- 활주로상의 풍향·풍속에 따라 항공기부양력, 활주거리의 장단, 조종방법, 사용 활주로의 방향선택 및 승객과 화물적재량이 결정됨.

o 풍향풍속관측

- 활주로 대표값을 나타낼 수 있는 곳 또는 착륙접지대의 10m 높이에서 풍향은 10°단위, 풍속은 kt(kmh, mps)단위로 관측

예) 32013KT

o 당해 공항 밖으로 분배(장거리송신) : 진북기준 10분 평균값

- 당해 공항 내 항공기 이·착륙용 : 진북(자북)기준 2분 평균값

o 관측하기 바로전 10분 동안에 최대 순간풍속이 평균평속 보다 10kt(20kmh, 5mps)이상 변화하고 있으면 이 gust는 평균풍속바로 뒤에 G라는 문자와 gust 풍속을 포함하여 보고.

예) 31015G27KT

o 관측하기 바로 전 10분 동안에 풍향이 60°이상 180°미만 변화하고 평균 평속이 3kt(6kmh, 2mps)보다 클 때는 양 극단의 풍향을 양방향 사이에 “V”자를 넣어서 시계방향 순서로 표시.

예) 31015G27KT 280V350

o 가변(Variable) 풍향은 다음의 경우일 때만 "VRB"를 사용하여 보함.

- 풍속이 3kt(6kmh, 2mps) 이하 일 때
- 풍속이 3kt(6kmh, 2mps)를 넘지만 풍향이 180°이상 다양하게 변화하여 단일 풍향을 결정하기 불가능할 때(공항 상공에 뇌전 현상이 있을 때)

예) VRB02KT

o 정온(Calm)의 경우에는 “00000”로 보하고 “KT”를 붙임

예) “00000KT”

o 풍속이 100kt 이상일 때는 지시자 "P"를 사용하여 풍속을 보함.

예) 240P99KT

o 관측하기 바로전 10분 동안에 현저한 불연속이 있을 불연속이후의 값만 가지고 풍속을 보함

※ 현저한 불연속 : 변화 전 또는 후의 풍속 10KT 이상인 바람의 풍향이30°이상 급변하거나 풍속변화가 10kt 이상 변화하여 적어도 2분 이상 지속될 때

5) 시정

o 전문 형식 VVVVDv VxVxVxVxDv

작성 예 SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350 3000 1400N

o 관측방법에 따라 수평시정, 수직시정, 활주로시정으로 구분

- 수평시정(Horizontal Visibility) : 관측지점에서 특정목표물을 확인할 수 있는 수평거리 (시정목표도 참조하여 관측)
- 수직시정(Vertical Visibility) : 관측지점에서 수직방향으로 특정목표물을 확인할 수 있는 거리
- 활주로시정(Runway Visibility : RVV) : 활주로에서 활주로방향으로 볼 때 특정목표물을 확인할 수 수평거리로 투과율계로 관측

o보고방법에 따라 최단시정, 우시정

- 최단시정(Shortest Visibility) : 방위별로 수평시정이 동일하지 않을 때 각 방위별 시정 중 가장 짧은거리
- 우시정(Prevailing Visibility) : 방위별로 수평시정을 관측하며 수평원이 180。이상 차지하는 최대시정

o 수평시정

- 우세시정을 보함
- 시정이 방향에 따라 현저한 차이가 없을 때 우세시정을 4개의 숫자를 사용하여 미터 단위로 보함.
  예) 4000 (4000m) ---- VVVV
- 최단 시정이 1500m미만이거나 또는 우세시정의 50% 미만일 때는 우세시정과 최단시정을 모두 보고하며 최단시정의 방향을 나타내는 8 방위의 방향표시를 함.
  예) 4000 1200NE(우세시정 4000m 북동방향 최단시정 1200m ----VVVV VVVVDx : 최단시정이 1500m 미만)
  5000 2000SW (우세시정 5000m 남서방향 최단시정 2000m : 최단시정이 우세시정의 50%미만)

6) 활주로 가시거리(RVR : Runway Visual Range)

o 전문 형식RDRDR/VRVRVRVRi 또는 RDRDR/VRVRVRVRVVRVRVRVRi

작성 예 SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350 3000 1400N R14/P2000

o 활주로가시거리(RVR : Runway Visual Range) : 항공기가 접지하는 지점에서 조종사의 평균

눈높이(지상 약 5m 위)에서 이륙방향 또는 착륙방향을 봤을 때 활주로 또는 활주로를 나타내는 특정등화(활주로등, 또는 활주로 중심등) 또는 표식을 확인할 수 있는 최대 거리

- 목시관측과 계기관측방법이 있으나 현대화된 대부분의 공항에서는 계기관측을 실시함

※ Baseline(Double Baseline)방식, Forward scattering 방식

- 활주로가시거리(RVR)가 결정되어 보고될 때에는 R문자로 시작되는 군에 활주로 지시자가 붙고 그리고 / 다음에 m 단위의 RVR값이 붙는다. 최대 4개 군까지 보고 될 수 있음

  예) R24/1100 (24방향의 활주로 가시거리 1100m)

- 활주로가시거리(RVR)가 2000m 이상으로 평가될 때는 활주로가시거리를 P2000으로 보고

  예) R24/P2000 (24방향의 활주로 가시거리, 2000m 이상)

- 활주로가시거리(RVR)가 평가할 수 있는 최소값 이하일 때는 평가할 수 있는 적절한 값을 M 다음에 붙여보고.

  예) R24/M0150 (24방향 활주로 가시거리, 150m미만)

- 관측하기 바로 직전의 10분 동안 중 전반 5분 동안의 평균RVR값과 후반 5분 동안의 평균 RVR값이 100m 이상 차이가 날 때 RVR의 변화경향을 보고

RVR

A B C

-10 R1 -5R2 (관측시간)

o 경향: $|R_1 - R_2| < 100m$ N (NO tendency)

$|R_1 - R_2| \geq 100m$ U (Upward) , D(Downward)

· U(Upward tendency) : 호전경향

· D(Downward tendency) : 악화경향

· N(No change) : 변화없음

· 생략 : 결정하기 어려울 때

  예) R14/1000U, R14/1000D, R14/1000N, R14/1000

- 관측하기 바로 직전 10분 동안 중 1분 평균 최소RVR과 평균 최대RVR의 차가 평균 RVR보다 50m 또는 20%이상 차이가 날 경우

  · 10분 평균RVR 대신 1분간 평균최소, 최대RVR값을 보고

  ·Variation : 변동 (VRVRVRVRVVRVRVRVRi : 1분평균최저V1분평균최대)

  ☆ $|R_{1분} - R_{10분}| > MAX(50m또는20\% \times R_{10분})$

  예) R14/0700VP1500

7) 현재 일기

o 전문 형식W'W'

작성 예 SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350 3000 1400N R24/P2000 +SHRA

o 관측시각 현재 공항 또는 그 주변(반경8㎞ 이내)의 시계 내에 있는 일기현상

o 대기중의 물 현상, 먼지현상, 전기현상, 빛 현상을 관측

o WMO CODE TABLE 4678(WMO No.306)의 수식어(강도, 상태)와 기상현상부호를 결합하여 표시

- 강도, 상태 기상현상순서로 최대 3개까지 보고할 수 있음

  예) -DZ, +SHRA, VCSH, MIFG, BLSN, FZFG, SNRA

- 강도(+: 강함, - : 약함)는 강수 현상(소낙성 및 강수를 동반한 뇌우 포함), 높이 날린 먼지, 모래 또는 눈, 먼지보라 모래보라에만 적용.

  · 현상의 강도는 관측당시의 상태

  · 발달한 깔대기구름(토네이도 또는 용오름)의 경우 강도 "+" 를 사용

    예) +FC

- 수식어VC(vicinity) : TS, DS, SS, FG, FC, SH, PO, BLDU, BLSA, BLSN에만 사용

  · 강도 및 형태는 분류하지 않음

    ※ VC(vicinity)개념 : 공항자체는 아니나 공항주변으로부터 8㎞ 이내

- 상태표시 수식어는 하나의 w'w'군에 두 가지를 동시에 사용할 수 없음

- 수식어 중 MI, BC, PR : FG(안개)에만 사용

  예) MIFG

  · FG: 물방울 또는 얼음결정체에 의해 시정이 1,000m 미만으로 감소할 때 보고

  · MIFG : 지상 2m 높이에서의 시정은 1,000m 이상이지만 안개층을 통해서 볼 수 있는 시정이 1,000 미만일 때 보고

  · VCFG : 관측 장소에는 없으나 공항인근지역의 안개를 관측했을 때

  · BCFG : 산재한 안개덩어리를 보고할 때

  · PRFG : 안개가 공항의 일부지역에 끼어있음을 보고할 때

- 수식어 SH, TS :RA, SN, PE, GS, GR에만 사용

- 수식어 FZ:FG, DZ, RA 에만 사용

- 수식어 DR : 바람에 의해 지면 위 2m 미만 날릴 때
- 수식어 BL : 바람에 의해 지면 위 2m 이상 날릴 때

※ DR, BL : 먼지(DU), 모래(SA), 눈(SN)에만 사용

- 두 종류 이상의 기상현상이 동시에 관측되었을 때는 해당 기상현상부호사이에 공백을 두고 따로 표시 예) +RA FG

· 두 가지 이상의 강수현상이 동시에 관측되었을 때는 동일군에 결합하여 부호화 하되 탁월한 강수현상을 앞에 표기하며 수식어를 나타내는 부호는 1개군에 1개만사용

예) +SHSNRAGS

· 강수현상과 다른 현상(장애, 기타)을 동시에 관측할 경우에는 각 일기현상으로 부호표 순서에 따라 사용

· 높이 날린 눈과 구름에서 내리는 눈이 동시 관측될 때는 두 가지 현상을 모두 보고

예) SN BLSN

단) 강하게 날린 눈으로 인하여 관측자가 눈이 구름에서 내리는가를 결정할 수 없을 때는 +BLSN으로 보고

· TS는 뇌전현상은 있으나 강수현상을 동반하지 않을 때

※ 강수현상을 동반할 때는 TS 다음에 공백 없이 강수일기현상을 부쳐서 보고

· 얼음 결정체(빙침 : IC), 연기, 연무, 널리 퍼진 먼지와 모래(낮게날린 모래 제외)등은 시정이 5000m 이하일 때만 보고

· 박무(BR) : 시정이 물방울이나 얼음 결정체에 의하여 1000 ~ 5000m로 감소할 때 보고

※ 상대습도 95% 보다 클 때 사용

· 우박(GR) : 관측된 우박의 직경이 5mm 이상될 때, 기타 경우에는 GS 사용

- 시정이 5000m 이하일 때는 IC, FU, HZ, DU, SA 및 BR이 METAR/SPECI에 보고되어야 함.
- 시정이 5000m 보다 클 때는 IC, FU, HZ, DU, SA, 및 BR이 정의에 의하여 존재하지도 않으며 보고되지도 않음. 가령 시정이 5000m일 때는 시정감소의 원인이 되는 IC, FU, HZ, DU, SA 및 BR의 현상과 함께 부호화 됨.
- 반면 시정이 5001 ~ 5999m 일 때는 METAR/SPECI에 5000으로 부호화되지만 IC, FU, HZ, DU, SA 및 BR은 표시되지 않음.

CODE TABLE 4678(WMO publication No.306)

수 식 어	일기현상

8) 구름 또는 수직 시정

o 전문 형식

NSNSNShshshs
또는
VVhshshs
또는
SKC

o 작성 예 SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350 3000 1400N R24/P2000 +SHRA FEW005 FEW010CB SCT018 BKN025

o 공항 또는 그 주변의 구름상태는 활주로가시거리와 함께 항공기 이·착륙 최저 기상조건을 결정하는 중요한 기상

o 공항의 항공보안 등급시설에 따라 구름높이에 관한 최저기상조건이 규정됨

o 구름군은 운량, 운고(운저고도 또는 수직시정) 및 운형으로 구성되며 보통 6자리로 보고됨.

o 운량

- 전체 하늘에 대해 구름에 의해 가려진 부분을 oktas로 표현
- 운저고도가 비슷한 운층의 구름이 산재하고 있을 때는 동일고도로간주하여 운층을 모두 합하여 운량을 결정
- 적란운과 다른 운형의 구름이 동일 고도에 있을 때 운형은 CB 운량은 동일고도에 있는 모든 운량의 합으로 보고
- 적란운과 탑상적운이 동일 고도에 있을 때 운형은 CB 운량은 동일 고도에 있는 모든 운량의 합으로 보고
- 운량의 표시방법
  · 1/8 ~ 2/8 oktas : FEW(Few)
  · 3/8 ~ 4/8 oktas : SCT(Scattered)
  · 5/8 ~ 7/8 oktas : BKN(Broken)
  · 8/8 oktas : OVC(Overcast)

o 운고(운저고도, 또는 수직시정)

- 운층의 저면높이
- 목측, 운고계(ceilometer), 조종사관측보고, Pibal 등으로 관측
- 산악지대에서 구름이 관측지점의 고도보다 낮을 경우 구름은 NSNSNS/// 로 표현
  예) SCT///, FEW///CB
- 강수 또는 시정장애현상으로 하늘이 차폐되어 있을 경우
  · 수직시정을 관측하여 100ft 단위로 보고
    예) VV002(수직시정 200ft)
    ※ 수직시정 : 완전차폐물질을 통해서 수직으로 볼 수 있는 가시거리
  · 수직시정관측이 불가능할 때 : VV///로 보고
- 운저고도는 절삭됨
  예) 운저고도 1850ft, 운량 3/8인 층적운은 SCT018로 부호화

o 운형

-중요한 대류운 이외의 구름 형태는 식별하지 않음.

-중요한 대류운 :

· 적란운은 CB

· 연직으로 크게 확장된 배추 모양의 적운은 TCU로 표시.

※ "탑상적운(Towering Cumulus)"의 약어인 TCU는 이러한 구름 형태를 묘사하기 위하여 사용되는 ICAO 약어임.

예) BKN020CB, FEW030TCU

o 보고되는 구름군

- 구름군은 운량 또는 운층별로 보고하기 위하여 반복될 수 있으나 구름군의 수는 보통 3 개군(층)을 초과하지 않음

- 보고될 구름군을 선택할 때는 다음 기준에 의함(1.3.5 법칙)

· 운량에 관계없이 최하층

· 3/8 이상 되는 그 다음층

· 5/8 이상 되는 그 다음상층

- 부가하여 상기 3개군(층)에 기보고 되지 않는 중요 대류운(CB 또는 TCU)은 반드시 보고되어야 하며 이때는 3개 층의 제한을 받지 않음

예) 운량 1/8, 운고 500ft 층운

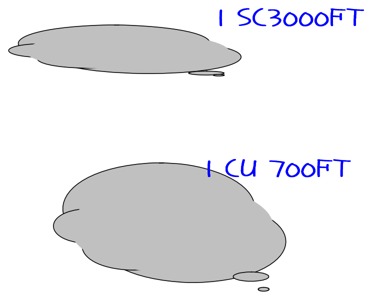
운량 2/8, 운고 1000ft 적란운

운량 3/8, 운고 1800ft 적운

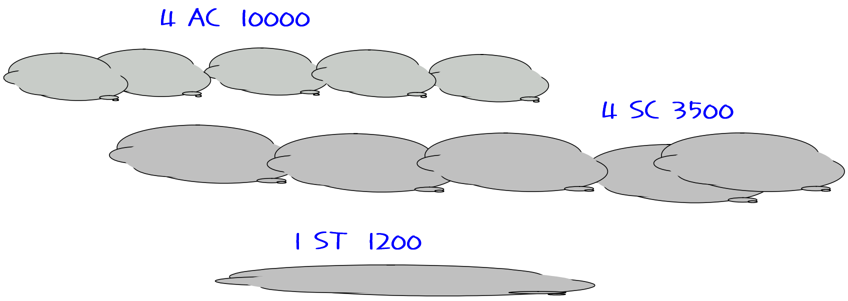
운량 5/8, 운고 2500ft 층적운은

FEW005 FEW010CB SCT018 BKN025로 보고.

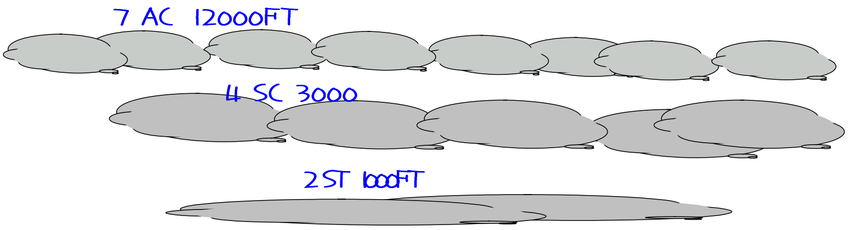
- 구름군은 고도의 오름차순으로 보고



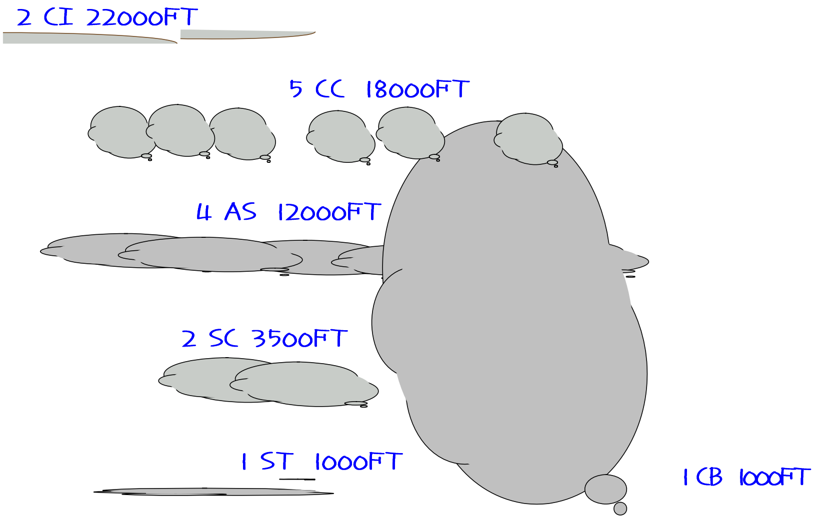
예 : FEW007



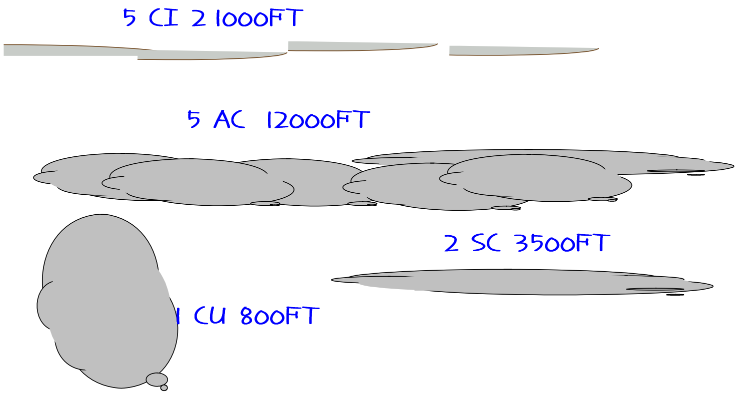
예 : FEW012SCT035



예 : FEW010 SCT030 BKN120



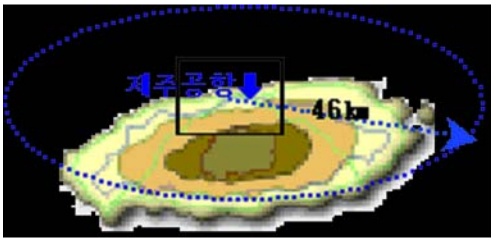
예 : FEW010CB SCT120 BKN180

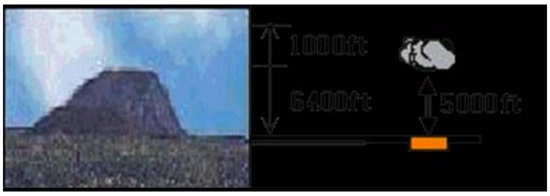


예 : FEW008 BKN120 BKN210

o CAVOK : Ceiling And Visibility OK

- 시정 10km 이상
- 5000ft(1500m) 또는 가장 높은 최저구역고도(Highest minimun sector altitude)보다 더 높은 고도 이하에 적난운이나 구름이 없을 때
- 중요기상현상이 없을 때





최저구역고도⇨ 높은쪽 ⇦ICAO규정값

※ 구름이 없고 약어 CAVOK의 사용이 부적절할 때는 약어 SKC(SKy Clear) 사용

※ 5000ft(1500m) 또는 가장 높은 최저구역고도 (Highest minimumsector altitude)보다 더 높은 고도 이하에 적난운이나 구름이 없고 수직 시정이 제한이 없으며 CAVOK 또는 SKC의 사용이 부적절할 때 NSC(Nil Significant Cloud)를 사용

※ 최저구역고도 : 무선항공보안시설을 중심으로 한 반경 46km의 원내에 위치한 모든 물체로부터 긴급상황에 대비하여 최소한 1,000ft의 여유를 두고 설정한 비행안전최저고도(ICAO PANS-OPS)

9) 온도와 이슬점 온도

o전문 형식 T'T'/T'dT'd

작성 예 SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350 3000 1400N R24/P2000+SHRA FEW005 FEW010CB SCT018 BKN025 10/03

o 항공기 이·착륙시 소요되는 활주거리와 탑재인원 및 화물중량 계산에 적용

o 관측된 기온과 이슬점 온도는 가장 가까운 섭씨온도로 절삭되어 2자리 숫자로 보고.

- 섭씨 0 도 이하의 온도는 -(영하) 를 표시하는 M이 앞에 붙임.

  예) -9.5℃는 M09로 보고.

- 0.5도의 기온 및 이슬점 온도는 높은 쪽으로 반올림

  예) 기온 : 섭씨 9.5。, 이슬점 온도 : 섭씨 3.3。 는 10/03으로 보고.

10) 기압 - QNH

o 전문 형식QPHPHPHPH

작성예 SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350 3000 1400N R24/P2000+SHRA FEW005 FEW010CB SCT018 BKN025 10/03 Q0995

o 항공기고도계의 정확한 보정치를 구하기 위함

o 착륙하는 항공기의 기압고도계 셋팅과 항공관제시 항공기가 적정 고도를 유지하도록 기압 관측을 실시

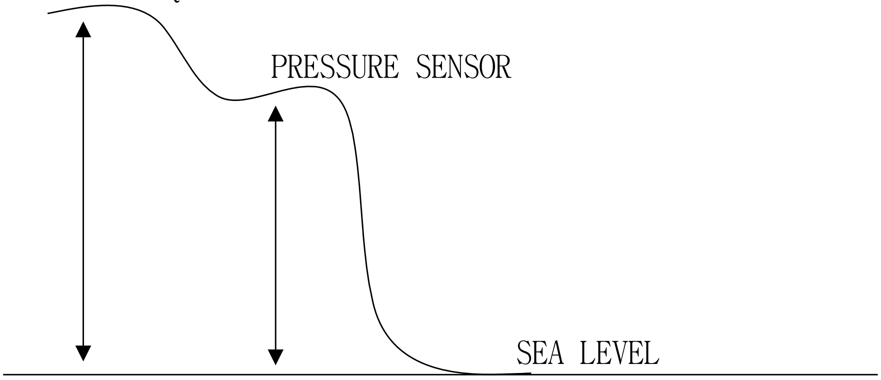
o 기압고도계 셋팅을 위한 기압 관측값

- 공항현지기압(QFE) : 공항공식표고점을 기준으로 하여 보정한 기압값

- 해면기압(QFF, QNH) : 공항현지기압(QFE)을 해면갱정한 값

  · QFF : 등온대기라는 가정하에 현재 대기(습도, 온도)를 적용하여 해면 갱정한 값

  · QNH : ICAO 표준대기값을 적용하여 해면갱정한 값



※ QFE값을 기준으로 셋팅한 항공기가 공항공식표고점 위에 있을 경우 기압고도계의 시도가 “0” 으로 나타남

※ 대기온도가 국제표준대기와 상당한 차이가 있는 대기상태에서는 QFF와 QNH와상당한 차이가 있을 수 있음

※ QNH값을 기준으로 셋팅한 항공기가 공항공식표고점 위에 있을 경우 기압 고도계의 시도가 공항의 공식 표고값을 나타냄

- 보고되는 주요 부분의 마지막 군은 가장 가까운 hPa로 절삭한 QNH로 표시
  - Q 문자 다음에 4자리 숫자로 표시.
  예) 995.6 hPa의 QNH는 Q0995로 보고.
  - QNH단위로 수은의 인치 단위를 사용하기도 함. 이 경우 Q 대신 A로 표시
  예) 30.05인치의 QNH는 A3005로 보고

11) 보충 정보

WS RWYDRDR
또는
WS ALL RWY
(WTsTs/SS')
(RRRRERCReReRBRBR)

작성 예 SPECI RKSS 211025Z 31015G27KT 280V350 3000 1400N R24/P2000+SHRA FEW005

FEW010CB SCT018 BKN025 10/03 Q0995 RETS WS RWY24

o 운항에 중요한 최근 일기 현상

o 저층윈드쉬어에 대한 정보

o 지역 항공항행협정에 따른 기타 정보
- 해수면온도 및 바다상태
- 활주로상태

o 최근 일기

만약 다음의 일기 현상이 이전 시간 또는 마지막 관측 이후로 관측되었으나 관측 당시에 관측되지 않으면 지시 문자 RE(REcent)다음에 부호표(WMO No. 306)에 있는 약어를 사용하여 최근일기정보를 보고.

· 어는 강수
· 보통 또는 강한 비, 안개비 또는 눈
· 보통 또는 강한 : 얼음 싸라기, 우박, 작은 우박/또는 눈 싸라기
· 보통 또는 강한 높이 날린눈(눈보라 포함)
· 모래 보라 또는 먼지 보라
· 뇌우
· 깔때기 구름(토네이도 또는 용오름)
· 화산재

※ 강도 또는 강수의 특징의 표시는 하지 않음.

예) 관측 시간 20 분전에 강한 비가 왔고 관측 시간에는 보통 비가 올 때는 RERA.

o 바람시어(Wind Shear)

- 500m(2000ft) 이하의 이륙 또는 접근로상의 항공기 운항에 중요한 wind shear의존재에 대한 정보는 필요에 따라 다음군를 사용하여 보고.
  · WS RWYDRDR
  · WS ALL RWY

다. 경향형 예보(Trend Forecast)

1) 개 요

o METAR 또는 SPECI에 붙는 경향형 예보는 예보자가 작성하며 국제표준실행을 준수하여 예보를 부호화

o 경향형 예보에 포함되는 정보는 관측시간 이후의 2시간 동안의 예보로 그 값이 가능한 발생에 대한 예보자의 최종 추정치

o 정시 또는 선특보고(METAR, SPECI)에 포함되는 경향형예보는 공항의 기상상태에 대해 예상되는 중대한 변화를 간략히 서술한 것으로 유효시간은 보고 후 2시간 이며 예보는 보고의 일부분임

- 예보요소 : 지상바람, 시정, 현재일기 및 구름(하나 또는 그이상의 요소에 대한 중대한 변화를 표시)

- 구름의 중대한 변화 경우 : 변화가 예상되지 않는 운층 또는운량을 포함하는 모든 구름군을 표시
- 시정의 중대한 변화 경우 : 시정감소를 야기하는 일기현상 표시

2) 변화 지시자

TTTTT

또는

NOSIG

{

(

작성예)BECMG FM1100

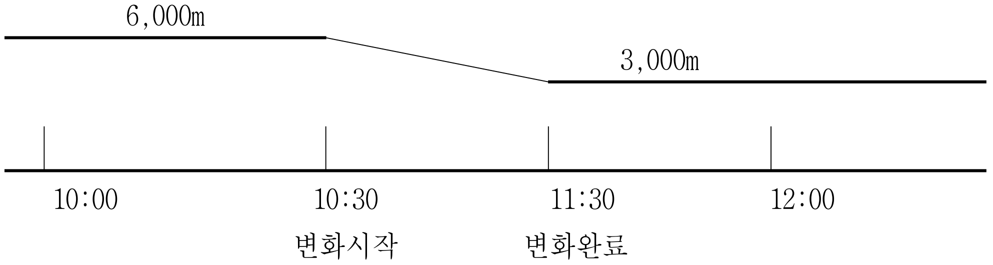
o 하나 또는 여러 가지 관측 요소(지상풍, 시정, 일기, 구름 또는 수직 시정)중 중대한 변화가 예상될 때 다음 변화지시자 중 하나를 사용
- BECMG
- TEMPO
- 시간군, GGgg : FM(from), TL(until), AT(at)중 적절한 문자 지시자 뒤에 여백 없이 시간을 붙여씀.
예) TEMPO FM1030

o BECMG

- 변화 지시자 "BECMG"은 규칙적 또는 불규칙적인 비율로 특정 값에 도달하거나 경과되는 예상 변화를 서술하기 위하여 사용
- 변화의 발생 예보 기간 또는 시간은 약어 FM, TL, AT 중 적절한 것을 사용하여 표시
- 변화가 경향형 예보기간내에 시작되어 종료될 것으로 예상될 때 변화의 시작과 종료는 관련 시간군과 함께 약어 FM과 TL을 각각 사용하여 표시.

예) 1000 ~ 1200UTC까지의 경향형 예보 기간의 표현형태

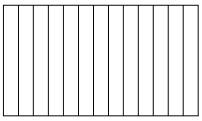
BECMG FM1030 TL11303000 BR



- 변화가 경향형 예보의 시작 시각과 같이 시작되지만 종료 시각 전에 완료될 것으로 예상될 때 약어 TL과 관련 시간 군만 사용

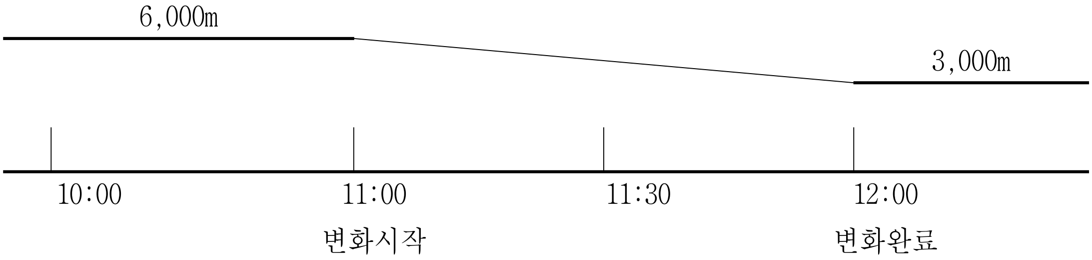
예) 관측시각에 시정이 6km이고 1100 UTC에 박무로 인하여 3000m로 감소될 것으로 예상될 때

BECMGTL11303000 BR

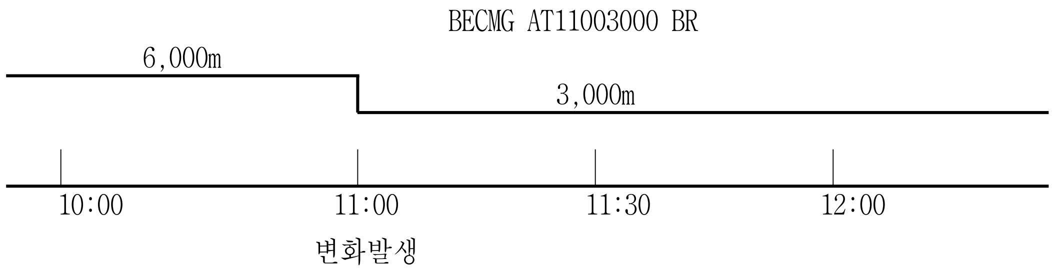


- 변화가 경향형예보기간에 시작되어 경향형 예보의 종료 시각과 함께 완료될 것으로 예상될 때 약어 FM과 관련 시간 군을 사용.

BECMG FM11003000 BR

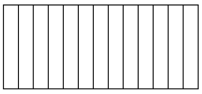


- 변화가 경향형 예보 기간 내의 특정 시각에 발생될 것으로 예상될 때 관련 시간군과 약어 AT을 사용


BECMG AT11003000 BR
6,000m
3,000m
10:00
11:00
11:30
12:00
변화발생

- 변화가 경향형 예보 기간의 시작 시각에 발생하여 종료 시각에 완료될 것으로 예상되거나 또는 변화가 경향형 예보 기간 내에 발생되지만 시각이 불확실할 때는 약어 FM,TL 또는 AT과 그들의 관련 시간군은 생략되고 변화 지시자 BECMG만 사용.

BECMG3000 BR



- 변화가 UTC 시간기준으로 일계(0900 한국표준시)에 발생할 것으로 예상될 때

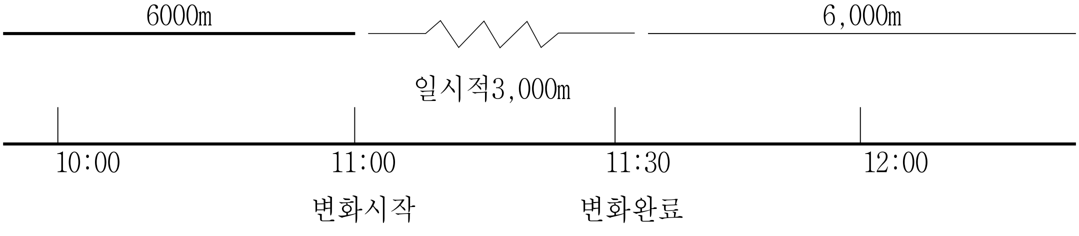
FM과 AT와 관련될 때는 0000, TL과 관련될 때는 2400으로 표시

o TEMPO

- 변화 지시자 "TEMPO"는 특정 값에 도달하거나 경과하는 기상 상태의 예상되는 일시적 변동을 서술하는데 사용
- 이때 각각의 일시적 변동은 지속시간이 1시간 미만이며 일시적 변동의 총시간은 예보 기간의 절반 미만임
- 일시적 변동의 발생이 예상되는 동안에 기간은 적절한 시간 군을 약어 FM 과/또는 TL뒤에 붙여 표시
- 일시적 변동 기간이 경향형 예보 기간 내에 시작되어 종료될 것으로 예상될 때는 약어 FM과 TL을 그들의 관련 시간군과 함께 각각 사용

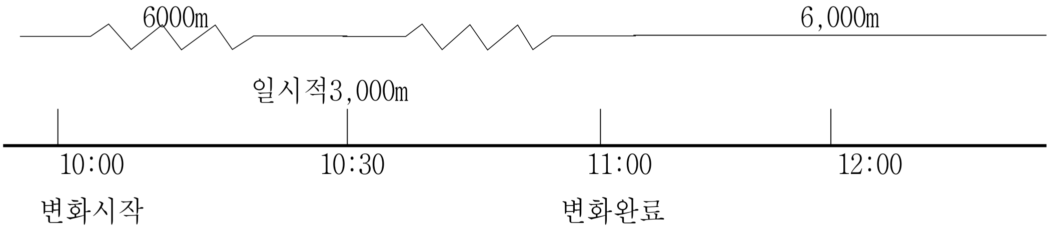
경향형 예보 기간이 1000 ~ 1200UTC일 때.

예) TEMPO FM1030 TL11303000 BR



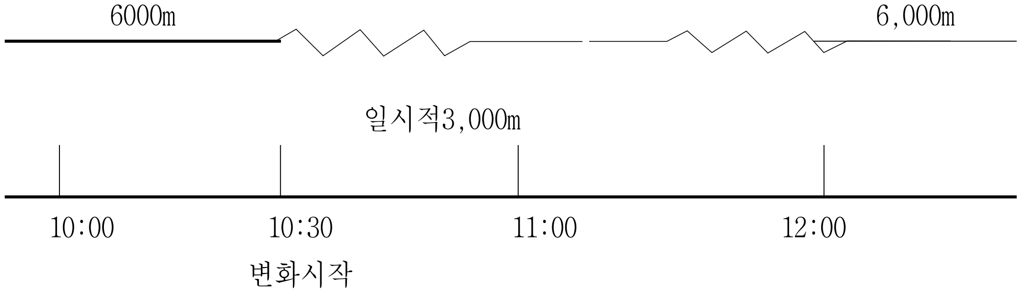
- 일시적 변동이 경향형 예보 기간의 시작 시각과 동시에 시작되지만 종료 시각 전에 끝날 것으로 예상될 때 TL만 그 시간군과 함께 변동의 종료를 표시하는데 사용.

예) TEMPO TL11003000 BR



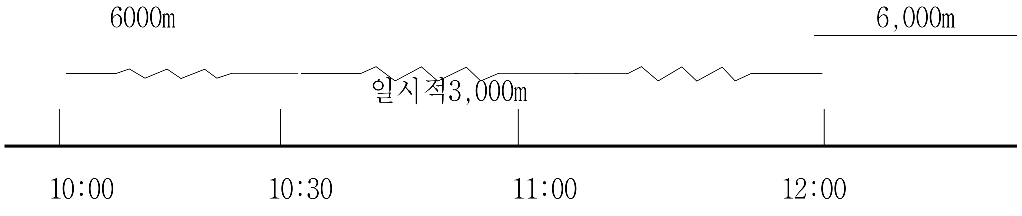
- 일시적 변동 기간이 경향형 예보 기간에 시작되어 경향형 예보 기간 내내 지속될 것으로 예상될 때는 약어 FM과 그 관련시간 군만이 변동의 시작을 표시 하는데 사용.

예)TEMPO FM10303000 BR



- 일시적 변동 기간이 경향형 예보기간의 시작시각에 시작되어경향형 예보기간 내내 지속될 것으로 예상될 때는 변화 지시자 TEMPO만 단독 사용.

예)TEMPO 3000 BR



o NOSIG

경향형 예보 기간에 어떤 중대한 변화도 발생하지 않을 것으로 예상될 때는 변화 지시자 군은 생략되고 그 대신 약어 NOSIG를 사용

3) 지상풍

o 전문 형식

KMH 또는
KT또는
MPS
{
(

예) 25035G50KT

해석) 풍향 250도, 풍속35KT, 최대 돌풍 50KT인 지상풍이 예상됨

작성 예) BECMG FM1100 25035G50KT

o 중대한 변화 기준

- 평균 풍향 60도 이상, 변화 전후의 평균 풍속 10KT(20KMH, 5MPS)이상 또는 평균 풍향 10KT(20KMH, 5MPS)의 변화 또는 운항상 중요한 값을 경과하는 변화

예) 경향형 예보기간에 지상풍이 풍속 35KT, 최대 돌풍 50KT이상으로 증가될 것이 예상될 때는 BECMG 25035G50KT로 표시

4) 수평 시정

o 전문 형식 { VVVV 또는 CAVOK

예) 6000

해석) 예상 시정 6km

작성 예) BECMG FM1100 25035G50KT 6000

o 중대한 변화기준

- 150, 350, 600, 800, 1500 및 3000m에 도달하거나 경과할 것으로 예상되는 수평 시정의 변화는 표시.

- 시계비행규정(Visual Flight Rules)시 5000m 포함

예) 경향형 예보기간에 수평 시정이 안개로 인하여 750m 까지 일시적으로 감소될 것으로 예상될 때 700m로 절삭하여 TEMPO 0700으로 표시

5) 일기현상

o 전문 형식

w'w'
또는
NSW
{
⌊

예) NSW

해석) 중요일기없음(Nil Significant Weather)

작성 예) BECMG FM1100 25035G50KT 6000 NSW

o 중대변화 기준

- 다음 일기 현상의 시작, 종료 또는 강도의 변화에 한정.
  - · 어는 강수
  - · 어는 안개
  - · 보통 또는 강한 강수(소낙성 포함)
  - · 낮게 날린 먼지, 모래 또는 눈
  - · 높이 날린 먼지, 모래 또는 눈(눈보라 포함)
  - · 먼지 보라
  - · 모래 보라
  - · 뇌우(강수 유무 무관)
  - · 스콜
  - · 깔때기 구름(토네이도 또는 용오름)
  - · 시정에 중대한 변화를 가져올 것으로 예상되는 부호표 4678에 주어진 기타 일기 현상
- 중요일기현상의 발생 종료를 표시하려면 w'w'군에 약어 NSW(Nil Significant Weather)로 표시.

  예) 0300 ~ 0500의 경향형 예보기간의 0300 ~ 0430 UTC 사이에 예상되는 비를 동반한 뇌우는 TEMPO TL0430 TSRA로 표시

  예) 1630 UTC에 중요 일기의 종료는 BECMG AT1630 NSW로 표시.

6) 구름 또는 수직 시정

o 전문 형식

NsNsNshShShS
또는
VVhShShS
또는
SKC
또는
NSC

예) SKC

해석) 구름이 청천으로 예상됨

작성 예)BECMG FM1100 25035G50KT 6000 NSW SKC

o 구름의 중대한 변화기준

- BKN 또는 OVC의 운저고도가 1500ft(450m)미만이거나 그 미만으로 떨어질 것으로 예상되고 100, 200, 300, 500, 1000 및 1500ft(30, 60, 90, 150, 300 및 450m) 중 하나로 변경되거나 경과될 것으로 예상될 때

  예) 경향형 예보의 시작시간에 운저고도가 500ft로 낮아지기 시작하여 1130UTC에 종료되는 것의 예상은 BECMG TL1130 OVC005로 표시.

- 운저고도가 1500ft(450m) 미만 또는 그 미만으로 떨어질 것으로 예상되고 운량이 SCT,FEW 또는 SKC 에서 BKN 또는 OVC로 증가되거나 BKN 또는 OVC에서 SCT, FEW, 또는 SKC 로 감소될 것으로 예상될 때

  예) 1130UTC에 층운의 운량이 SCT에서 OVC로 급격한 증가가 예상될 때는 BECMG AT1130 OVC010으로 표시.

- 하늘이 차폐되어 있거나 차폐될 것으로 예상되어 수직 시정의 관측이 가능할 때 100,200 또는 500ft(30,60 또는 150m)중 어느 한값에 도달하거나 경과되는 수직 시정의 예상 변화가 표시.

- 경향형 예보기간동안에 구름의 중대한 변화가 없을 때는 구름군은 반복되지 않으며 구름에 대한 어떤 세부정보도 제공하지 않음

- 하늘이 맑은 상태로 변하는 것을 표시하기 위해서는 약어 SKC(sky clear)가 구름 또는 수직 시정군에 대체
- 5000ft(1500m)나 또는 가장 높은 최저구역 고도 중 더 높은 쪽 아래에 어떠한 구름의 변화도 없다는 것을 표시하기 위하여 약어 NSC(Nil Significant Cloud)가 CAVOK 또는 SKC가 부적절할 때 구름 또는 수직 시정군에 대체될 수 있음.

8. 공기상 예보

가. 중요 악기상 예상도(significant weather charts)

악기상 예상도는 안전하고 효율적인 항공기 운항에 영향을 줄 수 있는 악기상에 대한 정보를 그림으로 나타낸 예보 자료로서, 해당 악기상 예상도에서 지정한 특정 고정 시간에 유효한 예상도이다. 세계 공역예보 체제(WAFS)에서는 국제 항공 항행을 위한 항공로 예보와 공역 예보로서 상층 바람, 상층 기온, 대류권계면, 최대풍, 그리고 악기상에 대한 정보를 제공하고 있다. 세계 공역예보 센터(WAFC)에서는 FL100에서 FL250까지의 중고도 악기상 예상도와 FL250에서 FL630까지의 고고도 악기상 예상도를, 지역 공역 예보 센터(RAFC)에서는 FL250에서 FL450까지의 악기상 예상도를 발표하고 있다. 대한민국 비행정보구역을 운항하는 항공기의 안전 운항을 위하여 항공기상대에서는 FL250 이하의 악기상 예상도를 작성·발표하고 있다.

1) 국제 항공 항행용 악기상 예상도

세계 공역예보 센터와 지역 공역 예보 센터에서 발표하는 FL100에서 FL630까지의 악기상의 예보 요소는 다음과 같다.

가) 뇌우

나) 열대 저기압

다) 강한 스콜선

라) 중 정도 또는 강한 난류

마) 중 정도 또는 심한 착빙

바) 광범위한 모래 보라 / 먼지 보라

사) 뇌우, 열대 저기압, 난류, 착빙, 모래 보라/먼지 보라 등과 관련된 FL100과 FL250 사이의 구름

아) 뇌우, 열대 저기압, 난류, 착빙, 모래 보라/먼지 보라 등과 관련된 FL250 이상의 구름

자) 경계가 뚜렷한 수렴 구역

차) 전선

카) 대류권계면 고도

타) 제트류

파) 화산 활동

2) 국제항공항행용 악기상 예상도에서 표현되는 기호의 해석

가)뇌우

(1) 적란운과 같은 뇌우 활동이 예상되는 구역을 CB로 표시

(2) 뇌우 구역은 항상 보통 또는 심한 정도의 난류와 착빙을 포함

(3) 뇌우 구역에서 적란운 발생 특성은 다음 기호로 표현

- ISOL: 적란운이 고립되어 발생(전체의 50% 미만 지역에서 예상)
- OCNL : 적란운이 군데군데 발생
  (전체의 50~75% 이하 지역에서 적란운 예상)
- FRQ : 적란운이 거의 분리되지 않아 빈번하게 발생
  (전체의 75% 이상 지역에서 적란운 발생 예상)
- EMBD : 여러층의 구름으로 이루어지거나 다른 구름층에 의해쌓여진

(4) 적란운의 발생 구역과 고도 구간은 다음 기호로 표현

뇌우 발생 예상 구역의 경계

370 적란운 발생 예상의 최저 및 최대 고도

xxx 적란운의 발생 예상 고도가 예보 고도보다 낮거나 높은 경우에 xxx로 표시

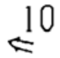
예) 뇌우 구역(고고도 악기상 예상도의 경우)

(해석) 적란운의 발생 최저 고도는 FL240 미만이고, 최대고도 FL450, 적란운은 군데군데에서 여러 층으로 발생할 것이 예상됨

나)열대 저기압

(1) 최근에 관측된 열대 저기압의 중심의 위치, 이동 방향, 이동 속도를 표시

열대 저기압



열대 저기압의 이동 방향(°) 및 이동 속도(kt)

(2) 열대 저기압 주위의 뇌우 구역은 열대 저기압에 의한 적란운 지역을 의미

다) 강한 스콜선

(1) 적란운을 동반한 강한 스콜선은 다음 기호로 표시

적란운을 동반한 강한 스콜선

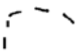
라) 중 정도 또는 강한 난류

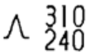
(1) 중 정도 또는 강한 난류가 예상되는 구역을 조개껍질 모양으로 표시

중 정도 난류

강한 난류

(2) 난류의 발생 구역과 고도 구간은 다음 기호로 표시


난류 발생 예상 구역의 경계



난류 발생 예상 최저 고도 및 최대 고도

난류의 발생 예상 고도가 예보 고도보다 낮거나 높은 경우에 xxx로 표시

(해석) 강한 난류의 발생 최저 고도는 FL240 미만이고, 최대 고도는FL320

마) 중 정도 또는 심한 착빙

따로 표시하지 않고 뇌우 발생 지역에 포함되어 있음

바) 광범위한 모래 보라 / 먼지 보라

광범위한 모래 보라 또는 먼지 보라의예상 구역은 다음과 같이 표시함

모래 보라 / 먼지 보라의 예상 구역의 경계

370 모래 보라 / 먼지 보라의 최저 및 최대 고도

xxx 모래 보라 / 먼지 보라의 예상고도가 예보고도보다 낮거나 높은 경우에 xxx로 표시

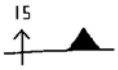
(해석) 모래 보라 / 먼지 보라의 발생 최저 고도는 FL240 미만이고, 최대 고도는 FL300

사) 수렴 구역

열대 수렴대와 관련된 적란운 발생 지역으로 뇌우 구역과 동일하게 표시

아) 전선

악기상과 관련된 전선의 지상 위치, 이동 속도 및 이동 방향 등을 표시



한랭전선의 지상 위치, 예상 이동 방향(°) 및 이동 속도(kt)

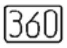
온난전선의 지상 위치, 예상 이동 방향(°) 및 이동 속도(kt)

폐색 전선의 지상 위치, 예상 이동 방향(°) 및 이동 속도(kt)

준 정체 전선의 지상 위치

자) 대류권계면 고도

대류권계면 고도는 100ft 단위의 숫자로 된 사각형을 일정 간격으로 표시



대류권계면고도

주위에 비해 낮은 대류권계면 고도

주위에 비해 높은 대류권계면 고도

차) 제트류

핵심 축이 80 kt 이상인 제트류의 높이와 최대풍을 다음과 같이 표시

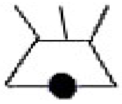
제트류의 핵심 축은 풍속이 80 kt 이상인 지점으로부터 시작

제트류의 이중 교차선은 20 kt 이상의 풍속 증가 또는 풍속 감소를 의미 제트류에서 풍속이 최대 인 곳에 다음 기호에 최대풍의 풍속과 고도

표시

최대풍의 풍속과 고도

카) 화산 활동



항공기 운항에 영향을 줄 수 있는 화산재 구름을 만드는 화산 분출 위치, 화산 명칭, 위·경도, 첫 번째 분출의 날짜와 시각, SIGMET 정보를 표시, 화산 활동은 다음 기호로 표시하며, 기호 밑의 점이 화산 위치를 표시

3) 국제 항공 항행용 악기상 예상도의 예

항공기상대에서는 런던과 워싱턴 세계 공역예보 센터에서 발표하는 악기상 예상도를 수신·편집하여 제공하고 있다. 그림 8.1은 런던 세계 공역예보 센터에서 발표된 아시아-유럽 지역의 중고도 악기상 예상도이다.

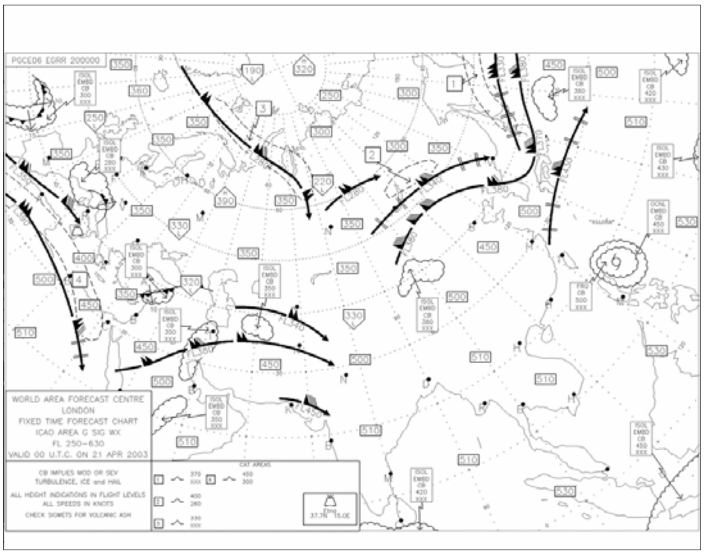


그림 8.1 국제 항공 항행용 악기상 예상도

4) 국내 항공 항행용 악기상 예상도

항공기상대에서는 대한민국 비행정보구역에 대한 FL250 이하의 악기상 예상도를 발표하며, 국내 항공 항행용 악기상 예상도의 예보 요소는 다음과 같다.

가) 열대 저기압

나) 전선

다) 고·저기압

라) 강수 현상

마) 뇌우, 우박, 강한 스콜선

바) 보통 또는 강한 난류

사) 보통 또는 강한 난류

아) 구름(운량, 운저 고도)

자) 보통 이상의 산악파

차) 지상 시정이 1 ㎞ 미만인 지역

5) 국내 항공 항행용 악기상 예상도에서 표현되는 기호의 해석

가) 열대 저기압 : 국제 항공 항행용과 동일

나) 전선 : 국제 항공 항행용과 동일

다) 고·저기압 중심의 위치, 예상 이동 방향(˚) 및 이동 속도(kt)

H 고기압

L 저기압

⇒10 고·저기압의 예상 이동 방향 및 이동 속도

라) 강수 현상

/// 강한 비

.

▽ 소낙성 비

*

▽ 소낙성 눈

마) 뇌우, 우박, 강한 스콜선

☈ 뇌우

▲ 우박

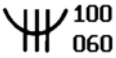
뇌우 및 우박 발생 예상 구역의 경계

바) 보통 또는 강한 난류 : 국제 항공 항행용과 동일

사) 보통 또는 강한 난류

보통 착빙

심한 착빙



착빙 발생 예상 최저 고도 및 최대 고도

착빙 발생 예상 구역의 경계

아) 구름(운량, 운저 고도)

운량 FEW, SCT,BKN,OVC

운형 CB, TCU

운저고도100 ft 단위 표시

OVC200

BKN100 구름층별 운량과 운저 고도

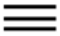
SCT030

OVC200

BKN100 구름층별 운량과 운저 고도

SCT030CB

자) 보통 이상의 산악파 :

차) 지상 시정이 1 km 미만인 지역 : 

6) 국내 항공 항행용 악기상 예상도의 예

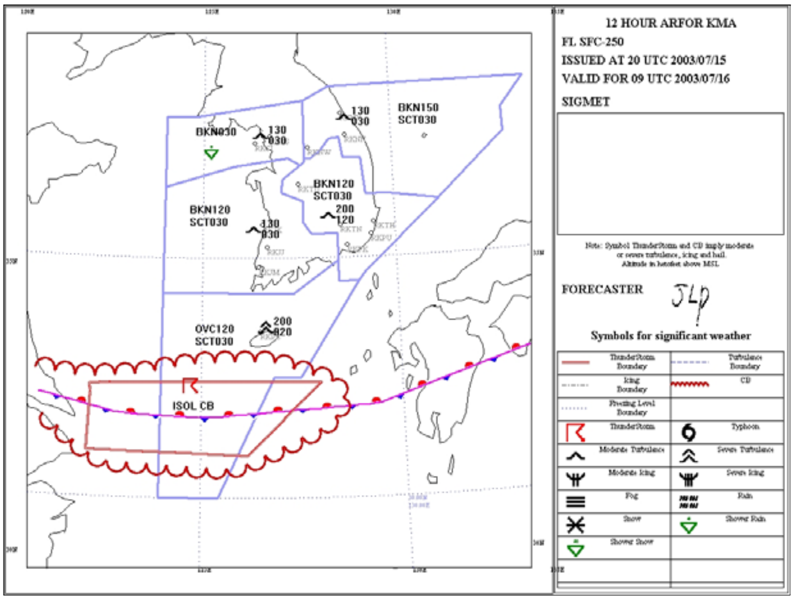


그림 8..2 국내 항공 항행용 악기상 예상도

나. 항공기상 예보

항공 기상 예보의 발표 시각과 유효 시간은 표 8.1과 같다.

표 8.1항공 기상 예보의 발표 시각과 유효 시각(UTC)

항공 기상 예보 자료	발표 시각	유효 시간	자료 형태

1) TAF(Terminal Aerodrome Forecast- 공항예보)

어떤 공항에서 일정한 기간 동안에 항공기 운항에 영향을 줄 수 있는 지상풍, 수평 시정, 일기, 구름 등의 중요 기상 상태에 대한 예보이다.

가) 공항 예보의 서술 순서

(1) 식별군

(2) 지상 바람

(3) 수평 시정

(4) 일기 현상

(5) 구름

(6) 기온

(7) 착빙

(8) 난류

(9) 예상되는 중요 변화군

나) 공항 예보의 전문 형식

TAF RKSI 130500Z 13060631015G25KT8000SHRASCT010CB 식별군지상 바람 시정 일기 구름 BECMG 1214 NSW SCT025 변화군

TAF CCCCYYGGggZYYG1G1G2G2 dddffGfmfmKT VVVV or CAVOK W'W' or NSWNsNsNshshshs or SKC or NSC (TTFTF/GFGFZ)(6IchihihitL) (5BhBhBhBtL) PROBC2C2GGGeGeTTTTTGGGeGe or TTGG

다) 공항 예보의 전문 해석

(1) 식별군

(전문형식) TAF CCCC (YYGGggZ) $YYG_1G_1G_2G_2$

(작성예) TAF RKSI 130500Z 130606

① ② ③ ④

① 공항 예보 지시자

TAF : 정시 공항 예보(routine aerodrome forecast)

TAF AMD : 수정 공항 예보(amended aerodrome forecast)

② ICAO location indicator

③ 발표 시각(UTC)

㉮ 130500Z : 13일 0500 UTC에 발표한 예보

④ 유효 시간(UTC)

㉮ 130024 : 13일 0000 UTC부터 13일 2359 UTC까지

130606 : 13일 0600 UTC부터 14일 0559 UTC까지

(2) 지상 바람

(전문형식) TAF CCCC (YYGGggZ) YYG1G1G2G2 dddffGfmfmKT

(작성예) TAF RKSI130500Z130606 31015 G25 KT

① ② ③

① 진북 기준의 10분간 평균 풍향과 평균 풍속

② gust : 순간 풍속이 평균 풍속보다 10 kt 이상 변화될 것으로 예상될 때

③ KT : 풍속 단위

㉮ 180V26006KT : 풍향이 180°에서 260°까지 변화할 때

VRB03KT: 풍속이 3 kt 이하이거나 뇌우와 같은 현상으로

지상 풍속을 예측하기 어려울 때 00000KT : 고요 상태(calm)

(3) 수평 시정

(전문형식)TAF CCCC (YYGGggZ) YYG1G1G2G2 dddffGfmfmKT VVVV

(작성예)TAF RKSI 130500Z13060631015G25KT 5000

- 예상되는 시정은 미터 단위로 표현

㉮ 8000 : 시정이8,000 m 예상되는 경우

9999 : 시정이 10,000 m 예상되는 경우

- 예상 시정이

800 m 미만인 경우에 50 m 단위로,

800 m 이상이고 5,000 m 미만인 경우에 100 m 단위로,

5,000 m 이상이고 10,000 m 미만인 경우에 1000 m 단위로,

10,000 m 이상인 경우에는 9999 또는 CAVOK로 표시

(4) 일기 현상

(전문형식)TAF CCCC (YYGGggZ) YYG1G1G2G2 dddffGfmfmKT VVVV W'W' or NSW

(작성예)TAF RKSI 130500Z13060631015G25KT 5000SHRA

- 항공기 운항에 있어서 중요한 일기 현상의 발생, 소멸, 변화가 예상
  - · 어는 강수
  - · 어는 안개
  - · 보통 또는 강한 강수(소낙성 포함)
  - · 낮게 날리는 먼지, 모래, 또는 눈
  - · 높게 날리는 먼지, 모래, 또는 눈(눈보라 포함)
  - · (강수유무에 관계없이) 뇌우
  - · 스콜 선
  - · 깔때기 구름,(토네이도 또는 용오름 포함)
- 시정에 중요한 변화를 야기시킬 수 있는 일기 현상(표 13.2)

- 항공기 운항에 있어서 중요한 일기 현상이 종료될 경우에 NSW(Nil Significant Weather)로 표현

㉮ TAF RKSI 130500Z 0606 31015KT 5000 -RA SCT006 BKN012 BECMG 1214 9999 NSW SCT025

(5) 구 름

(전문형식)TAF CCCC (YYGGggZ) YYG1G1G2G2 dddffGfmfmKT VVVV

W'W' or NSW $N_sN_sN_sh_sh_sh_s$ or $VVh_sh_sh_s$ or SKC or NSC

(작성예)TAF RKSI 130500Z13060631015G25KT5000

SHRA SCT006 SCT010CB SCT018 OVC025

① ② ③

① 운량

0 octas : SKC(Sky clear)

1 ~ 2 octas : FEW(few)

3 ~ 4 octas : SCT(scattered)

5 ~ 7 octas : BKN(broken)

8octas : OVC(overcast)

② 운저 고도(100ft)

㉮ SCT006 : 운저고도 600 ft, 운량 3~4 octas인 구름

③ 적난운 또는 탑상 적운 예상되는 경우 : 운형 CB 또는 TCU를 표시

㉮ SCT010CB

- CAVOK(Ceiling And Visibility are O. K.)

항공기 운항에 직접 영향을 줄 수 있는 기상현상이 없을 때(아래의 3조건을 동시에 만족할 때)

[1] 시정이 10km 이상으로 예상될 때

[2] 5,000ft 이하 또는 가장 높은 최저 구역 고도 중에 더 높은 것보다 낮은 고도에 적난운이나 구름이 없을 것으로 예상될 때

[3] 강수, 뇌우, 모래 보라, 먼지 보라, 땅 안개, 낮게 날린 먼지, 눈 등이 없을 것으로 예상될 때

- NSC(Nil significant cloud)

CAVOK의 기준 [2]와 [3]에 해당되지만 시정이 10km 미만일 때

㉮ 7000 NSC : 시정이 7km이고 10,000ft의 AS가 예상될 때

(6) 기 온

(전문양식)TAF CCCC (YYGGggZ) YYG1G1G2G2 dddffGfmfmKT VVVV

W'W' or NSW NsNsNshshshs or VVhshshs or SKC or NSC

(TT_FT_F/G_FG_FZ)

(작성예)TAF RKSI 130500Z13060631015G25KT 5000

SHRA SCT006SCT010CB SCT018 OVC025

TX 25/06ZTN 02/21Z

①② ③④ ②③

① 최고기온 지시자

② 예상 되는 기온(℃), 영하일 때는 M 표시

③ 예상 기온이 나타날 시각(UTC)

④ 최저기온 지시자

(7) 중요 변화의 표현

(전문형식) TTTTTGGG$_e$G$_e$orTTGG

(작성예) TAF RKSI 142300Z 0024 27015KT 9999 SCT015

TEMPO 1116 4000 +SHRA BKN010CB

BECMG 1920 30006KT 3000 BR SCT010 SCT200

- 변화군의 종류

  BECMG(becoming)

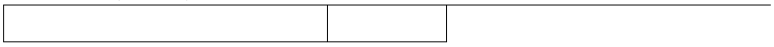
  TEMPO(temporary)

  FM(from)

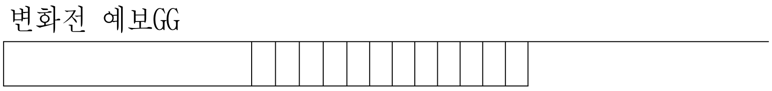
(가) BECMG GGG$_e$G$_e$ 군을 적용하는 변화

  - 기상 상태가 GG 시각에서 G$_e$G$_e$ 시각까지 기간 내의 불특정 시간에 규칙적 또는 불규칙적으로 변화할 것이 예상될 때
  - GG - G$_e$G$_e$ 기간은 2시간을 초과하지 않음
  - 기간 전체를 통하여 규칙적인 변화

변화전 예보 GG

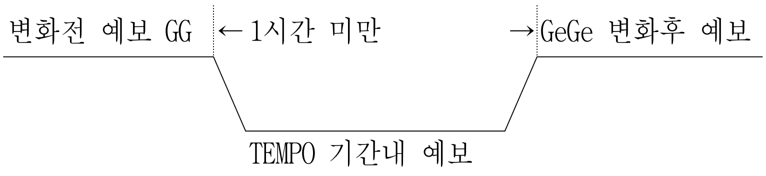


  - 기간의 일부 또는 전체를 통하여 불규칙적인 변화

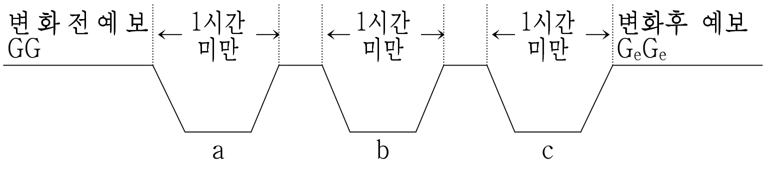


(나) TEMPO GGG_eG_e 군을 적용하는 변화

- 기상상태가 GG 시각에서 G_eG_e 시각까지 기간 내의 불특정 시간에 일시적으로 변동할 것이 예상될 때
- 일시적 변동의 각 순간은 1시간 미만이고 총 변동 시간이 전체 기간의 ½을 초과할 수 없음
- 일시적인 변동이 1시간 이상 지속되거나 총 변동 시간이 예보 기간의 ½을 초과할 때는 BECMG 사용
- 기간의 일부 또는 전체를 통하여 불규칙적인 변화



- 기간내 불특정 시각에 있어서의 규칙적인 변화



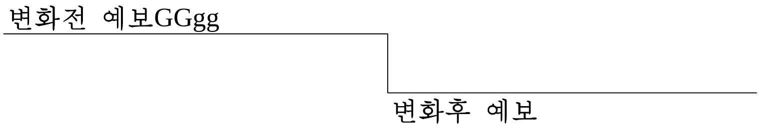
a+b+c는 GG ~ G_eG_e 기간의 ½ 미만

(다) FM GGgg 군을 적용하는 변화

- 중요 일기 현상이 완전히 다른 상태로 변화될 때

(예) TAF RKSI 130500Z 0606 27015KT 6000 NSC

FM 1230 27017KT 4000 BR BKN010



(라) PROB$C_2C_2GGG_eG_e$ 군을 적용하는 변화

(전문형식) PROBC_2C_2 GGG_eG_eTTTTT GGG_eG_eorTTGG

(작성예) TAF RKSI 130500Z 0606 31015KT 8000 SHRA SCT010CB

TEMPO 1116 4000 +SHRA

PROB30 TEMPO 1416 TSRA SCT005 BKN010

- 예보 확률이 30% 미만 : 운항상 중요하지 않으므로 언급하지 않음
- 예보 확률이 50% 미만일 경우 : PROB 사용(예: PROB30, PROB40)
- 예보 확률이 50% 이상일 경우 : BECMG, TEMPO, FM 사용

2) 이륙 예보(take off forecast)

활주로 상에서 예상되는 지상 바람, 기온, 기압(QNH)와 국지적으로 합의된 기타 기상 요소에 대한 예보이다. 이륙 예보는 적재 중량을 고려한 안전한 항공기의 이착륙을 지원하기 위한 것으로서, 출발 예정 시간의 3시간 전에 발표되어 표 8.2와 같은 형식으로 해당 공항 기상대에 비치되어 있다.

표 8.2이륙 예보의 형식

TIME (UTC)	WIND (deg/kt)	TEMP (℃)	QNH (inch)	REMARKS

3) 착륙 예보(landing forecast)

공항의 국지적인 이용자나 공항으로부터 비행 시간 1시간 내에 있는 항공기에게 제공되는 해당 공항의 지상 바람, 시정, 중요 일기, 구름, 수직 시정 등에 대한 예보이다. 착륙 예보는 확률 50% 이상으로 2시간 이내에 발생할 수 있는 기상 요소에 대하여 경향형 착륙 예보 형식으로 발표된다.

4) 경향형 착륙 예보

해당 공항에서 예상되는 기상 상태를 간결하게 서술하여 정시 및 특별관측 보고에 포함되어 발표된다. 기상 상태의 변화는 변화군 지시자 BECMG, TEMPO와 시간군 지시자 FM(from), TL(till), AT(at)으로 표현된다.

지상 바람, 시정, 중요 일기, 구름, 수직 시정 중에서 1개 이상의 요소에서 중요 변화가 예상될 때 관측 보고에 경향 예보가 포함되며, 어떠한 변화도 예상되지 않을 때는 관측 보고에 NOSIG가 포함된다.

㉵ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 BR FEW010 OVC020 17/14Q1018/3006 BECMG TL1700 0800 FG=

㉵ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 BR FEW010 OVC020 17/14Q1018/3006 NOSIG=

가)BECMG이 적용되는 변화

기상 상태가 예보 기간 내에서 규칙적 또는 불규칙적으로 변화할 것이 예상될 때

(1) 착륙 예보 기간 내에서 기상 변화의 시작과 종료가 예상될 때

→ BECMG FMhhmm TLhhmm으로 표현

㉵ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 BR OVC020 17/14 Q1018/3006

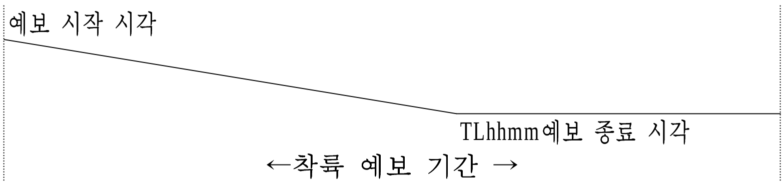
BECMG FM1700 TL1730 0800 FG=

(2) 착륙 예보의 시작 시각에 기상 변화가 시작되고 착륙 예보의 종료 시간 이전에 기상 변화가 완료될 때

→ BECMG TLhhmm으로 표현

㉵ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 BR OVC020 17/14 Q1018/3006

BECMG TL1700 0800 FG=



(3) 착륙 예보 기간 내에서 기상 변화가 시작되고 착륙 예보의 종료 시간에 기상 변화가 완료 될 때

→ BECMG FMhhmm으로 표현

㉮ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 BR OVC020 17/14 Q1018/3006

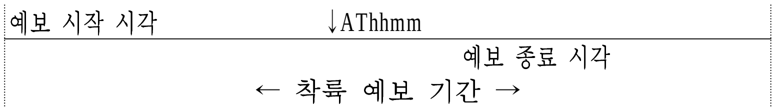
BECMG FM1700 0800 FG=

(4) 착륙 예보 기간의 특정 시각에 기상 변화가 예상될 때

→ BECMG AThhmm으로 표현

㉮ METAR RKSI 221630Z 24010KT 0800 R15R/1000V1200U R15L/0800V1000D FG OVC020 17/14 Q1018/3006

BECMG AT1700 24020KT=



(5) 기상 변화가 착륙 예보의 시작 시각에 시작되고 종료 시각에 완료될 때, 착륙 예보 기간 내에 기상 변화가 발생하지만 발생 시간이 불확실할 때

→ 시간군 지시자는 생략하고 변화군 지시자 BECMG만 표현

㉮ METAR RKSI 221630Z 24010KT 0400 R15R/1000V1200U R15L/0800V1000D FG OVC020 17/14 Q1018/3006 **BECMG 0800 FG=**

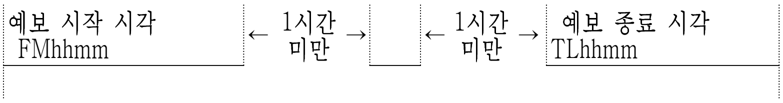
나) TEMPO가 적용되는 변화

기상 상태가 착륙 예보 기간 내의 불특정 시간에 일시적으로 변동하며, 일시적 변동의 각 지속 시간이 1시간 미만이고, 총 변동 시간이 전체 기간의 ½미만으로 예상될 때

(1) 착륙 예보 기간 내에서 기상 변화의 시작과 종료가 예상될 때

→ TEMPO FMhhmm TLhhmm으로 표현

㉮ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 -RA BR OVC020 17/14 Q1018/3006 **TEMPO FM1700 TL1730 0800 RA FG=**

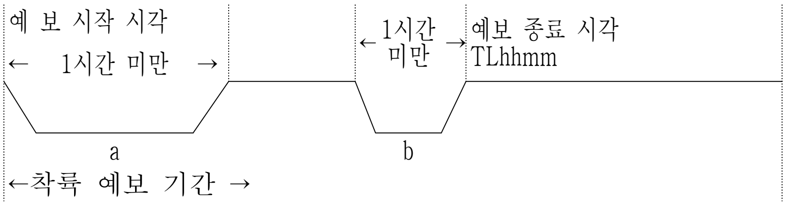


a+b 기간이 FM과 TL 사이 기간의 ½미만

(2) 착륙 예보의 시작 시각에 기상 변화가 시작되고, 착륙 예보의 종료 시간 이전에 기상 변화가 완료될 때

→ TEMPO TLhhmm으로 표현

㉮ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 BR OVC020 17/14 Q1018/3006 **TEMPO TL1700 0800 RA FG=**



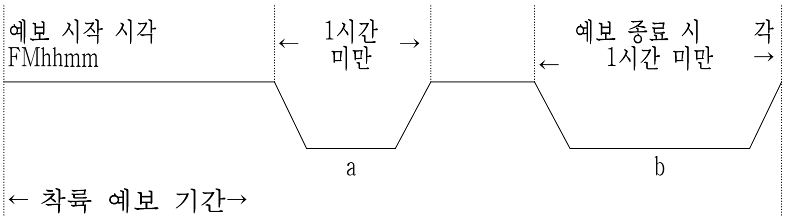
a+b 기간이 예보 시작 시각과 TL 사이 기간의 ½미만

(3) 착륙예보 기간 내에서 기상 변화가 시작되고, 착륙 예보의 종료 시간에 기상 변화가 완료될 때

→ TEMPO FMhhmm으로 표현

㉮ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 BR OVC020 17/14 Q1018/3006

TEMPO FM1700 0800 -RA FG=



a+b 기간이 FM과 예보 종료 시각 사이 기간의 ½미만

(4) 기상 변화가 착륙 예보의 시작 시각에 시작되고 종료 시각에 완료될 때, 착륙 예보 기간 내에 기상 변화가 발생하지만 발생 시간이 불확실할 때

→ 시간군 지시자는 생략하고 변화군 지시자 TEMPO만 표현

5) 항공로 예보(ROFOR: Route Forecast)

대한민국 비행정보구역 내의 항공로 상에서 항공기에 영향을 줄 수 있는 중요 일기 현상, 구름, 구름층의 운정 고도, 빙결 고도, 착빙, 난류, 상층 기온과 바람, 대류권계면의 온도와 고도 등과 같은 기상 현상에 대한 예보이다.

가)항공로 예보의 서술 순서

(1) 식별군

(2) 항공로 표시군

(3) 중요 일기 현상

(4) 구름(운량, 운고)

(5) 구름층의 운정 고도와 빙결 고도

(6) 착빙

(7) 난류

(8) 상층 기온과 바람

(8) 대류권계면의 고도와 온도

나)항공로 예보의 전문 형식

```
ROFOR 120000Z0113KTRKSS RKPCTS
식별군항공로 표시군중요 일기현상
BKN02070601000VC0707160///
구름층의 운량, 운저 고도, 운정 고도, 빙결 고도
62080854000851240952 3306
 착빙과 난류
4180M11 26060 4300M44 25080 4340M50 25090 4390M55 25100
 상층 기온과 바람
240M62=
대류권계면의 고도와 온도
```

```
ROFORYYGGggZG1G1G2G2KTCCCCCCCCW1W1W1
NsNsNshshshs  or SKCorNSC7hththththfhfhf
6IchihihitL5BhBhBhBtL4hxhxhxThThdhdhfhfhfh2h'ph'pTpTp
```

다) 항공로 예보의 전문 해석

(1) 식별군

(전문형식) ROFORYYGGggZ$G_1G_1G_2G_2$KT

(작성예) ROFOR 120000Z 0113 KT

① ② ③ ④

① 항공로 예보 전문 지시자

ROFOR : 정시 항공로예보(routine route forecast)

ROFOR AMD : 수정 항공로예보(amended route forecast)

② 발표 시각(UTC)

③ 유효 시간(UTC)

④ 풍속 단위(kt)

(2) 항공로 표시군

(전문형식) ROFORYYGGggZ$G_1G_1G_2G_2$KTCCCCCCCC

(작성예) ROFOR120000Z0113KTRKSSRKPC

① ②

① 출발 공항(ICAO indicator)

② 도착 공항(ICAO indicator)

(3) 중요 일기 현상

(전문형식) ROFORYYGGggZ$G_1G_1G_2G_2$KTCCCCCCCC$W_1W_1W_1$

(작성 예) ROFOR120000Z0113KTRKSSRKPCTS

다음 기상 현상이 발생, 소멸, 변화될 것으로 예상될 때 약어로 표현

기상 현상	뇌우	태풍	심한 스콜 선	우박	현저한 산악파	광범위한 모래 보라	광범위한 먼지 보라	어는비

(4) 구름층의 운량, 운저고도, 운정고도, 빙결고도

(전문형식) ROFORYYGGggZ$G_1G_1G_2G_2$KTCCCCCCCC$W_1W_1W_1$

$N_sN_sN_sh_sh_sh_s$ or SKCorNSC7$h_th_th_th_fh_fh_f$

(작성예) ROFOR 120000Z0113KTRKSS RKPCTS

BKN0207 060 100OVC0707160///

①②③ ④⑤

① 운량

0octas : SKC(sky clear)

1 ~ 2 octas : FEW(few)

3 ~ 4 octas : SCT(scattered)

5 ~ 7 octas : BKN(broken)

8octas : OVC(overcast)

② 운저 고도(100 ft)

③ 운정 고도(100 ft)와 빙결 고도(100 ft)

④ 구름층의 운정고도와 빙결 고도 지시자

⑤ 구름층의 운정 고도(100 ft)

⑥ 빙결 고도(100 ft)

㉾ BKN020 7060100 OVC070 7160///

1층 구름의 운량 BKN, 운저 고도 2,000 ft, 운정 고도 6,000 ft, 빙결 고도는10,000 ft, 2층 구름의 운량 OVC, 운저 고도 7,000 ft, 운정 고도는 16,000 ft, 다음 빙결 고도는 없음

(5) 착빙, 난류

(전문형식) ROFORYYGGggZ$G_1G_1G_2G_2$KTCCCCCCCC$W_1W_1W_1$

$N_sN_sN_sh_sh_sh_s$ or SKCorNSC7$h_th_th_th_fh_fh_f$

6$I_ch_ih_ih_it_L$5$Bh_Bh_Bh_Bt_L$

(작성예) ROFOR 120000Z0113KTRKSS RKPCTS

BKN02070601000VC0707160///

620808540008512409523306

① ②

① 착빙 예보(공항 예보의 착빙과 동일)

② 난류 예보(공항 예보의 난류과 동일)

(6) 상층 기온과 바람

(전문형식) $ROFORYYGGggZG_1G_1G_2G_2KTCCCCCCCCW_1W_1W_1$

$N_sN_sN_sh_sh_sh_s$ or $SKCorNSC7h_th_th_th_fh_fh_f$

$6I_ch_ih_ih_it_L5Bh_Bh_Bh_Bt_L4h_xh_xh_xT_hT_hd_hd_hf_hf_hf_h$

(작성예) ROFOR 120000Z0113KTRKSS RKPCTS

BKN02070601000VC0707160///

620808540008512409523306

4 180 M11 26 060 4300M44 25080 4340M50 25090 4390M55 25100

① ② ③ ④ ⑤

① 상층 기온과 바람 지시자

② 기온과 바람의 예보 고도(100 ft)

③ 기온(℃) : M은 영하를 의미

④ 풍향(10°)

⑤ 풍속(kt)

(7) 대류권계면의 고도와 온도

(전문형식) $ROFORYYGGggZG_1G_1G_2G_2KTCCCCCCCCW_1W_1W_1$

$N_sN_sN_sh_sh_sh_s$ or $SKCorNSC7h_th_th_th_fh_fh_f$

$6I_ch_ih_ih_it_L5Bh_Bh_Bh_Bt_L4h_xh_xh_xT_hT_hd_hd_hf_hf_hf_h2h'_ph'_pT_pT_p$

(작성예) ROFOR 120000Z0113KTRKSS RKPCTS

BKN02070601000VC0707160///

620808540008512409523306

4180M11 26060 4300M44 25080 4340M50 25090 4390M55 25100

240 M62=

① ② ③

① 대류권계면 지시자

② 대류권계면 고도(1,000 ft)

③ 대류권계면 기온(℃) : M은 영하를 의미

6) 공역예보(ARFOR: Area Forecast)

대한민국 비행정보구역 내의 특정 공역에서 항공기에 영향을 줄 수 있는 중요 일기 현상, 구름, 구름층의 운정 고도, 빙결 고도, 착빙, 난류, 최저 해면 기압 등과 같은 기상 현상에 대한 예보이다.

가)공역 예보의 서술 순서

(1) 식별군

(2) 공역명

(3) 중요 일기 현상

(4) 구름(운량, 운고)

(5) 구름층의 운정 고도와 빙결 고도

(6) 착빙

(7) 난류

(8) 최저 해면 기압

나) 공역 예보의 전문 형식

ARFOR 090800Z0921KTEAST SECTOR TS 식별군공역명중요 일기현상 BKN02070601600VC0607160/// 구름층의 운량, 운저 고도, 운정 고도, 빙결 고도 620808540008512409523306910006; 착빙과 난류최저 해면 기압

ARFOR YYGGggZ G1G1G2G2KT AAAAA W1W1W1 NsNsNshshshsorSKCorNSC7hththththfhfhf 6IchihihitL5BhBhBhBtL9i3nnn

다) 공역 예보의 전문 해석

(1) 식별군

(전문형식) ARFORYYGGggZ$G_1G_1G_2G_2$KT

(작성예) ARFOR090800Z0921 KT

① ② ③ ④

① 공역예보 지시자

ARFOR : 정시 공역예보(routine area forecast)

ARFOR AMD : 수정 공역예보(amended area forecast)

② 발표 시각(UTC)

③ 유효 시간(UTC)

④ 풍속 단위(kt)

(2) 공역명

(전문형식) ARFORYYGGggZ $G_1G_1G_2G_2$KT<u>AAAAA</u>

(작성예) ARFOR090800Z 0921 KT<u>EAST SECTOR</u>

공역 예보에서 비행정보구역은 EAST SECTOR, WEST SECTOR, SOUTH SECTOR, NORTH SECTOR, CENTRAL SECTOR 총 5구역으로 구분된다.

(3) 중요 일기 현상(항공로 예보의 중요 일기 현상과 동일)

(전문형식) ARFORYYGGggZ $G_1G_1G_2G_2$KT AAAAA<u>$W_1W_1W_1$</u>

(작성예) ARFOR131100Z 131212KTEAST SECTOR<u>TS</u>

(4) 구름층의 운량, 운저 고도, 운정고도, 빙결 고도

(항공로 예보의 구름 설명과 동일)

(전문형식) ARFORYYGGggZ $G_1G_1G_2G_2$KTAAAAA <u>$W_1W_1W_1$</u>

$N_sN_sN_sh_sh_sh_s$orSKCorNSC7$h_th_th_th_fh_fh_f$

(작성예) ARFOR131100Z 131212KTEAST SECTOR<u>TS</u>

BKN02070601600VC0607160///

(5) 착빙, 난류(항공로 예보의 착빙 난류와 동일)

(전문형식) ARFORYYGGggZ $G_1G_1G_2G_2$KTAAAAA <u>$W_1W_1W_1$</u>

$N_sN_sN_sh_sh_sh_s$orSKCorNSC7$h_th_th_th_fh_fh_f$

6$I_ch_ih_ih_it_L$5B$h_Bh_Bh_Bt_L$

(작성예) ARFOR131100Z 131212KTEAST SECTOR<u>TS</u>

BKN02070601600VC0607160///

620808540008512409523306

(6) 최저 해면 기압

(전문형식) ARFORYYGGggZ $G_1G_1G_2G_2$KTAAAAA<u>$W_1W_1W_1$</u>

$N_sN_sN_sh_sh_sh_s$orSKCorNSC7$h_th_th_th_fh_fh_f$

6$I_ch_ih_ih_it_L$5B$h_Bh_Bh_Bt_L$9$i_3$nnn;

(작성예) ARFOR131100Z 131212KTEAST SECTOR<u>TS</u>

BKN02070601600VC0607160///

62080854000851240952330691006=

① ② ③

① 변화군 지시자

② 최저 해면 기압에 관한 지시자

③ 최저 해면 기압 예보값 : 1006 hPa

㉮ METAR RKSI 221630Z 24010KT 1200 BR OVC020 17/14 Q1018/3006
TEMPO 0800 -RA FG=

7) 항공기상특보

특정 공항이나 항공로 상에서 항공기 안전 운항에 영향을 미칠 수 있는 기상 현상에 대한 정보는 여러 가지 항공 기상 특보를 통하여 제공된다. 이러한 항공 기상 특보에는 공항 경보나 바람 시어 경보와 같이 특정 공항에 대한 특보가 있으며, SIGMET 정보나 AIRMET 정보와 같이 특정 항공로 또는 공역에 대한 특보가 있다.

가) SIGMET 정보(Significant Meteorological information)

SIGMET 정보는 FL100 이상을 운항하는 항공기에게 위험을 초래할 수 있는 기상 현상과 이러한 현상의 시간적 및 공간적 변화에 대한 정보이다.

(1)SIGMET 정보의 기상 요소와 약어

SIGMET 정보는 특정 항공로나 공역에서 순항 고도에 따른표 8.3의 기상 현상이 발생 또는 예상되는 경우에 적절한 평문 약어로 발표된다. 또한 SIGMET 정보는 특정 항공로나 공역에서 해당 기상 현상이 더 이상 발생하지 않거나 발생하지 않을 것으로 예상될 때 취소된다.

뇌우 또는 태풍과 관련된 SIGMET 정보는 항상 난류와 착빙이 동반한다는 전제로 발표되기 때문에 이들 SIGMET 정보에 난류와 착빙에 대한 내용이 포함되지 않더라고 항상 난류와 착빙을 예상해야 한다.

SIGMET 정보의 전문 중에서 OBSC, EMBD, ISOL, OCNL, FRQ의 약어는 다음과 같은 의미를 가진다.

-OBSC : 연무나 먼지에 가려져 희미한

-EMBD : 여러 층의 구름으로 이루어지거나 다른 구름층에 의해 쌓여진

-ISOL: 다른 구름과 떨어져 고립된 (전체의 50% 미만 지역에서 적란운 예상)

-OCNL : 군데군데 있는 (전체의 50~75% 미만 지역에서 적란운 예상)

-FRQ : 거의 서로 분리되지 않아 빈번하게 있는(전체의 75% 이상 지역에서 적란운 발생 예상)

표 8.3SIGMET의 순항 고도에 따른 기상 요소와 평문 약어

구분	기 상 요 소	평 문 약 어

나) SIGMET 정보 전문의 예와 해석

```
RKRRSIGMET 3 VALID 251600/252200 RKSI-
①② ③ ④
INCHEON FIR TC ORCHID OBS 33.2N 126.0E AT1600 FRQ TS TOPS
 ⑤ ⑥⑦
FL500WI 150NM OF CENTER.MOV NE 10KTNC
⑧⑨
ORCHID TC CENTER 260400 33.4N 126.3E 261000 33.6N 126.8E
⑩
```

① SIGMET 정보 전문이 관계되는 비행정보구역을 담당하는 ATS기관의 위치부호

② 전문의 식별 부호와 번호

- 아음속 항공기용 : SIGMET
- 천음속 또는 초음속 항공기용 : SIGMET SST
- 해당 날짜의 0001 UTC 이후로 발표된 순서

③ 유효 시간의 시작 및 종료 시각(UTC)

SIGMET 정보의 유효 시간은 보통 4시간, 최대 6시간 이내

④ 전문을 발표하는 기상 감시소의 위치 부호

⑤ 발표되는 SIGMET에 대한 비행정보구역의 명칭

⑥ 기상 현상 : 표1733 의 평문약어를 사용하여 서술

⑦ 기상 현상의 설명

- 관측되었을 때 : OBS

- 계속될 것으로 예상될 때 : FCST

- 위치(위·경도)와 고도(ft)

⑧ 기상 요소의 관측 또는 예상되는 이동 방향(°) 및 속도(kt)

MOV ALMOST STNR : 거의 정체

⑨ 강도 변화

INTSF(intensify) : 강도 증가

WKN(weaken) : 강도 약화

NC(no change): 강도 불변

⑩ 유효 시간 외에 제공되는 정보

화산재 구름과 태풍에 대한 SIGMET 정보 전문은 최소 6시간마다 발표 화산재 구름의 궤적과 태풍 중심의 위치에 대한 예보는 유효 시간 이후로 12시간까지의 정보 제공

다) AIRMET 정보(airman's meteorological information)

AIRMET 정보는 FL100 이하를 운항하는 항공기에게 위험을 초래할 수 있는 기상 현상과 이러한 현상의 시간적 및 공간적 변화에 대한 정보이다.

라) AIRMET 정보의 기상 요소와 약어

AIRMET 정보는 FL100 이하(산악 지역은 FL150)의 특정 항공로나 공역에서 표 8.4의 기상 현상이 발생 또는 예상되는 경우에 적절한 평문 약어로 발표된다. 또한 AIRMET 정보는 해당 기상 현상이 더 이상 발생하지 않거나 발생하지 않을 것으로 예상될 때 취소된다.

뇌우와 관련된 AIRMET 정보는 항상 난류와 착빙이 동반한다는 전제로 발표되기 때문에 이 정보에 난류와 착빙에 대한 내용이 포함되지 않더라고 항상 난류와 착빙을 예상해야 한다.

표 8.4 AIRMET에 사용되는 기상요소와 평문약어

기 상 요 소	평 문 약 어

마)AIRMET 정보의 전문 해석

```
RKRR AIRMET 3 VALID 251600/252200 RKSS-
①    ②              ③     ④
INCHEON FIR MOD MTW OBS AT 1205 48 DEG N 10 DEG E AT FL080
  ⑤         ⑥                            ⑦
MOV ALMOST STNRNC=
⑧          ⑨
```

① AIRMET 정보 전문이 관계되는 비행정보구역을 담당하는 ATS기관의 위치부호

② 전문의 식별 부호와 번호

- 해당 날짜의 0001 UTC 이후로 발표된 순서

③ 유효 시간의 시작 및 종료 시각(UTC)

- AIRMET 정보의 유효 시간은 보통 4시간, 최대 6시간 이

④ 전문을 발표하는 기상 감시소의 위치 부호

⑤ 발표되는 AIRMET에 대한 비행정보구역의 명칭

⑥ 기상 현상 : 표 17.4 의 평문약어를 사용하여 서술

⑦ 기상 현상의 설명

- 관측되었을 때 : OBS

- 계속될 것으로 예상될 때 : FCST

- 위치(위·경도)와 고도(ft)

⑧ 기상 요소의 관측 또는 예상되는 이동 방향(°) 및 속도(kt)

- MOV ALMOST STNR : 거의 정체

⑨ 강도 변화

- INTSF(intensify) : 강도 증가

- WKN(weaken) : 강도 약화

- NC(no change) : 강도 불변

바)공항 특보(aerodrome warning)

공항 특보는 그 발표 기준에 따라 공항주의보(Aerodrome advisory)와 공항경보(Aerodrome warning)로 구분된다.

표 8.5기상요소별 특보발표 기준

구분	종류	발표기준

(1) 공항 특보의 전문 해석

```
AERODROMEADVISORYNO 136
 ①              ②
ISSUEDAT241700V.T. : 241800/250300
 ③                     ④
SFC RWY VIS FCST LESS THAN 0400M
 ⑤
FOR INCHEON AP=
 ⑥
```

① 공항특보전문 지시자

AERODROMEADVISORY : 공항주의보

AERODROMEWARNING : 공항경보

② 발표 번호

1년 단위로 번호를 부여

③ 발표 시각(UTC)

④ 유효시간의 시작 시작과 종료 시각(UTC)

⑤ 기상 현상의 종류 및 상태, 예보내용

(실링) CIG FCST LESS THAN 200FT

(시정) SFC RWY VIS FCST LESS THAN 0400M

(강풍) SFC WND FCST NW 25KT GUST 35KT

(호우) AMOUNT OF RAINFALL IS 30MM UP TO NOW.

AMOUNT OF RAINFALL FCST MORE THAN 100MM.

(대설) AMOUNT OF SNOW IS 2CM UP TO NOW.

DEPTH OF SNOW FCST MORE THAN 4CM.

(뇌우) MOD TS FCST WITH MOD RA

⑥ 해당 공항

8) 상층바람 및 기온예보 (Wind and Temperature chart)

상층 바람·기온 예상도는 운항자가 비행 전 또는 비행 중의 비행 계획을 수립하는 필요한 상층의 바람 및 기온 자료를 일정한 격자 간격으로 제공하는 예상 자료이다. 상층 바람·기온 예상도는 특정 시각에 대한 예상 자료로서 표준 등압면 고도를 기준으로 작성된다.

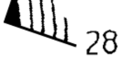
워싱턴 세계 공역예보 센터(WAFC)에서는 FL50(850 hPa), FL100(7000 hPa), FL180 (500 hPa), FL240(400 hPa), FL300(300 hPa), FL340(250 hPa), FL390(200 hPa), 그리고 FL450(150 hPa)의 고도에 대한 바람과 기온 예보를 1.25°간격의 계수형 격자점 자료로 제공한다.

일본 지역 공역 예보 센터는 세계 공역예보 센터로부터 수신된 계수형 격자점 자료를 이용하여 그림 형태의 상층 바람·기온 예보 자료를 작성하고 이용자에게 제공한다. 이 지역공역 예보센터에서는 FL300 (300 hPa-30,000ft), FL340(250 hPa-34,000ft), 그리고 FL390(200 hPa-39,000ft)에 대하여 12시간마다 6시간 간격의 상층 바람·기온 예보를 발표한다.

항공기상대는 대한민국 비행정보구역 내에서 운항하는 항공기에게 보다 세밀한 바람과 기온 자료를 제공하기 위하여 국내용 상층 바람·기온 예상도를 발표하고 있으며, FL25(925 hPa), FL50(850 hPa), FL100(700 hPa), FL180 (500 hPa)의 고도에 대하여 12시간마다 3시간 간격의 상층 바람·기온 예보를 발표한다.

가)상층 바람·기온 예상도의 해석

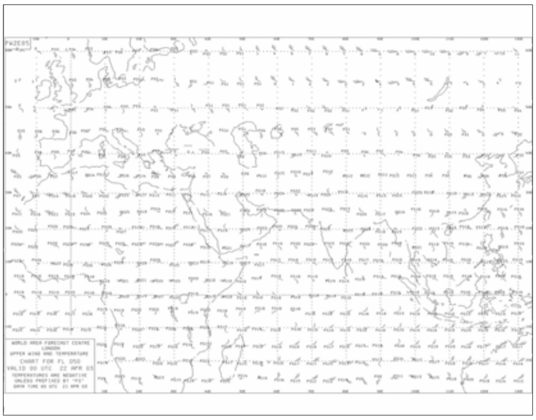
일정한 고도의 특정 지점에서 바람은 화살표, 깃털과 사선으로 표시하며, 기온은 2자리 숫자(℃)로 나타낸다. 바람에서 화살표의 끝 방향은 풍향을, 깃털은 50kt, 긴 사선은10 kt, 짧은 사선은 5kt를 의미한다. 두 자리 숫자로 된 기온은 -(영하)로 해석해야 한다.

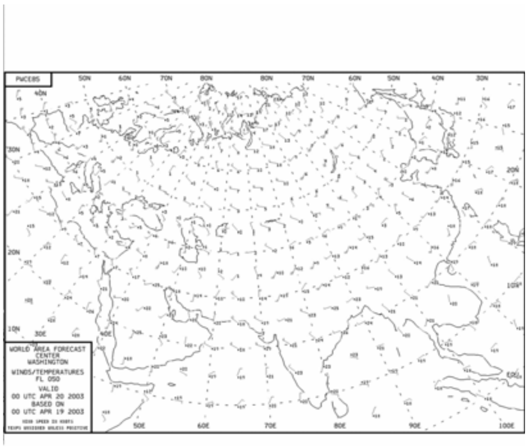


(해석) 풍향은 280°, 풍속은 85 kt, 기온은 -28℃

나) 상층 바람·기온 예상도의 예

항공 기상대에서는 런던과 워싱턴 세계 공역예보 센터에서 발표하는 상층 바람·기온 예상도를 수신·편집하여 제공하고 있다. 그림 8.3은 런던 세계 공역예보 센터에서 발표된 FL300(30,000ft)의 상층 바람·기온 예상도이며, 그림 8.4는 워싱턴 세계 공역예보 센터에서 작성·발표하는 상층 바람·기온 예상도이다.


PWZE85
WORLD AREA FORECAST CENTRE
LONDON
UPPER WIND AND TEMPERATURE
CHART FOR FL 050
VALID 00 UTC 22 APR 03
TEMPERATURES ARE NEGATIVE
UNLESS PREFIXED BY "PS"


PWCE85
50N
60N
70N
80N
80N
70N
60N
50N
40N
30N
40N
30N
20N
20N
10N
10N
30E
40E
50E
60E
70E
80E
90E
100E
WORLD AREA FORECAST
CENTER
WASHINGTON
WINDS/TEMPERATURES
FL 050
VALID
00 UTC APR 20 2003
BASED ON
00 UTC APR 19 2003

제12장 초경량비행장치 및 무인비행장치 관련법규

1. 목 적

이 안내서는 초경량비행장치 및 무인비행장치를 운용하는데 필요한 초경량비행장치 및 무인비행장치의 안전성 인증, 신고, 비행계획의 승인, 비행자격증명 등에 관한 절차를 설명하고 있다.(관련법: 항공법 제23조 및 동법 제23조의2)

2. 용어의 정의

가. “항공기”라 함은 민간항공에 사용하는 비행기·비행선·활공기·회전익항공기 기타 대통령령이 정하는 것으로서 항공에 사용할 수 있는 기기를 말한다.

나. “항공업무” 라 함은 제25조제1항의 규정에 의한 항공종사자자격증명을 받은 자를 말한다.

다. “비행장”이라 함은 항공기의 이륙(이수를 포함한다. 이하 같다)·착륙(착수를 포함한다. 이하 같다)를 위하여 사용되는 육지 또는 수면을 말한다.

라. “공항”이라 함은 공항시설을 갖춘 공공용 비행장으로서 건설교통부장관이 그 명칭·위치 및 구역을 지정·고시한 것을 말한다.

마. “공항시설”이라 함은 항공기의 이륙·착륙 및 여객·화물의 운송을 위한 시설과 그 부대시설 및 지원시설로서 공항구역안에 있는 시설과 공항구역밖에 있는 시설중 대통령이 정하는 시설로서 건설교통부장관이 지정한 시설을 말한다.

바. “공항구역”이라 함은 공항으로 사용되고 있는 지역과 공항의 확장 또는 신설을 목적으로 국토의계획및이용에관한법률 제30조 및 제43조의 규정에 의하여 도시계획시설로 결정되어 건설교통부장관이 공항개발예정구역으로 고시한 지역을 말한다.

사. “항행안전시설”이라 함은 유선통신·무선통신·불빛·색채 또는 형상에 의하여 항공기의 항행을 돕기 위한 시설로서 건설교통부령이 정하는 시설을 말한다.

아. “항공등화”라 함은 불빛에 의하여 항공기의 항행을 돕기 위한 항행안전시설로서 건설교통부령이 정하는 시설을 말한다.

자. “관제권”이라 함은 비행장 및 그 주변의 공역으로서 항공교통의 안전을 위하여 건설교통부장관이 지정한 공역을 말한다.

차. “항공로”라 함은 건설교통부장관이 항공기의 항행에 적합하다고 지정한 지구의 표면상에 표시한 공간의 길을 말한다.

카. “관제구”라 함은 지표면 또는 수면으로부터 200미터이상 높이의 공역으로서 항공교통의 안전을 위하여 건설교통부장관이 지정한 공역을 말한다.

타. “시계비행상태”라 함은 항공기가 항행함에 있어 시정 및 구름의 상황을 고려하여 건설교통부령이 정하는 시계상의 양호한기상상태를 말한다.

파. “계기비행상태”라 함은 시계비행기상상태외의 기상상태를 말한다.

하. “계기비행”이라 함은 항공기의 자세·고도·위치 및 비행방향의 측정을 항공기에 장착된 계기에 의존하여 비행하는 것을 말한다.

거. “계기비행방식”이라 함은 다음 각목의 규정에 의한 비행방식을 말한다.

1) 관제권안에서의 이륙 및 이에 따른 상승비행과 착륙 및 이에 선행하는 강하비행을 제38조의 규정에 의하여 건설교통부장관이 지정하는 항공로 또는 제70조제1항의 규정에 의하여 건설교통부장관이 지시하는 비행로에서 행하고, 그밖의 비행방법에 관하여는 동조동항의 규정에 의하여 건설교통부장관이 지시한 방법에 따라 행하는 비행방식

2) 가목의 규정에 의한 비행외의 관제구에서의 비행을 제70조제1항의 규정에 의한 건설교통부장관의 지시에 따라 행하는 비행방식

너. “초경량비행장치”라 함은 제1호의 규정에 의한 항공기외에 비행할 수 있는 장치로서 건설교통부령이 정하는 것을 말한다.

더. “무인비행장치”라 함은 사람이 탑승하지 아니한 상태로 비행에 사용할 수 있는 장치로서 건설교통부령이 정하는 것을 말한다.

러. “모형비행장치”라 함은 항공기의 조종실을 모방하여 기계·전기·전자장치 등의 통제기능과 비행의 성능 및 특성을 실제의 항공기와 동일하게 재현할 수 있도록 고안된 장치를 말한다.

3. 항공기의 분류

가. 항공법에 의한 분류

항공기 (법 제2조제1호)
- 비행기
- 비행선
- 활공기(특수, 상급, 중급, 초급 : 시행규칙 제2조)
- 회전익항공기
- 기타, 대통령령으로 정하는 것(시행령 제9조)
  1. 초경량비행장치 범위초과 동력비행장치
  2. 지구대기권 내외를 비행할 수 있는 항공우주선

초경량비행장치 (법제2조제25호)
- 동력비행장치(1인승 자중150㎏이하/연료19리터이하, 2인승 자중225㎏이하/연료38리터이하)
- 인력활공기(자중 70㎏이하)
- 기구류(유인자유기구 및 계류식 기구)
- 회전익비행장치 : 자이로플레인, 초경량헬리콥터 (기준:동력비행장치)
- 패러플레인 : 낙하산류에 추진장치 부착
- 기타 건설교통부장관이 고시하는 비행장치

무인비행장치 (법제2조제25호의2)
- 무인동력비행장치
  - 무인비행기
  - 무인회전익항공기
- 무인비행선

4. 초경량비행장치의 범위 등

가. 동력을 이용하는 다음 각목의 요건에 적합한 동력비행장치

1) 탑승자·연료 및 비상용 장비의 중량을 제외한 당해 장치의 자체중량이 좌석이 1인 경우 150킬로그램, 좌석이 2인 경우 225킬로그램 이하 일 것(다만, 제작당시 장착되어 있던 발동기를 변경하는 경우에는 좌석이 1인 경우 175킬로그램, 좌석이 2인 경우 250킬로그램 이하일 것)
2) 동력비행장치의 연료용량이 좌석이 1인 경우 19리터, 좌석이 2인 경우 38리터 이하일 것.
3) 프로펠러에서 추진력을 얻는 것일 것.
4) 차륜·스키드 또는 후로트 등의 착륙장치가 장착된 고정익비행장치 일 것.

나. 인력활공기

체중이동등 인력에 의하여 조종하는 행글라이더와 패러글라이더로서 탑승자 및 비상용장비의 중량을 제외한 자체중량이 70킬로그램 이하인 비행장치.

다. 기구류

기체의 성질·온도차를 이용하는 유인자유기구 및 계류식기구.

라. 회전익 비행장치

동력비행장치의 요건을 갖추고 1이상의 회전익에서 양력을 얻는 자이로프레인 및 초경량헬리콥터.

마. 패러프레인

낙하산류에 추진력을 얻는 장치를 부착한 비행장치.

바. 기타

항공안전본부장이 크기·무게·용도 등을 고려하여 정하여 고시하는 비행장치.(항공법시행규칙 제14조)

5. 무인비행장치의 범위 등

가. 무인동력비행장치

연료의 중량을 제외한 자체중량이 150킬로그램 미만인 무인비행기 또는 무인회전익비행장치.

나. 무인비행선

연료의 중량을 제외한 자체중량이 180킬로그램 미만이고 길이가 20미터 미만인 무인비행선.(항공법시행규칙 제14조의2)

6. 안전성 인증

가. 동력비행장치 등 건설교통부령이 다음 각 호에 정하는 초경량비행장치를 사용하여 비행하고자 하는 자는 교통안전공단에서 정한 비행안전을 위한 기술상의 기준에 적합하다는 안전성인증을 받아야한다.(항공법 제23조 제4항)

1) 동력비행장치

2) 회전익비행장치

3) 패러프레인

4) 기구류(사람이 탑승하는 것에 한한다)

나. 안전성인증의 신청절차·검사방법 및 안전성인증서 등에 관하여 필요한 사항은 항공안전본부장의 승인을 받아 교통안전공단에서 정한다.(항공법시행규칙 제66조의2 제4항)

다. 무인비행장치를 소유하거나 이를 사용할 수 있는 권리가 있는 자는 최초로 비행하기 전에 당해 무인비행장치가 항공법의 규정에 정한 기술상의 기준에 적합하다는 지방항공청장의 인정을 받아야 한다 다만, 다음 각 호에 해당하는 무인비행장치에 대하여는 그러하지 아니하다.

1) 당해 무인비행장치를 제작한 외국 정부 또는 국제항공연맹에 가입한 단체로부터 안전성을 인정받은 무인비행장치.

2) 항공우주개발촉진법 제10조의 규정에 의하여 성능 및 품질검사를 받은 무인비행장치.

3) 무인비행기 및 무인회전익항공기 중 연료의 중량을 제외한 자체중량이 12킬로그램 이하이고 장착되어 있는 엔진의 총 배기량이 50씨씨 이하인 것.

4) 무인비행선 자체 중량이 12킬로그램 이하이고 길이가 7미터 이하이며 장착되어 있는 엔진의 총 배기량이 50씨씨 이하인 것, 계류식 무인비행장치.

5) 군사목적으로 사용되는 무인비행장치.

6) 무인비행장치 소유자 등은 기술상의 기준에 적합하다는 인정을 받고자 하는 때에는 별표 1 서식의 무인비행장치 기술기준적합성인정신청서에 무인비행장치 설계서, 설계도면, 설계도면 목록 및 부품표의 서류를 첨부하여 지방항공청장에게 제출하여야 한다.

라. 벌칙

1) 항공법 제23조제4항의 규정에 의한 비행안전을 위한 기술상의 기준에 적합하다는 안전성인증을 받지 아니한 초경량비행장치에 영리를 목적으로 타인을 탑승시켜 비행을 한자는 1년 이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금에 처한다(항공법 제172조)

2) 초경량비행장치의 비행안전을 위한 기술상의 기준에 적합하다는 안전성인증을 받지 아니하고 비행한자는 500만원이하의 과태료에 처한다(항공법 제182조 제1의2항)

7. 조종자 자격

가. 항공법 제23조제3항의 규정에 의거 동력비행장치 등 건설교통부령이 정하는 초경량비행장치를 사용하여 비행하고자 하는 자는 교통안전공단으로부터 건설교통부장관이 정하여 고시하는 자격기준에 적합하다는 증명을 받아야 한다.

나. 법 제 23조제3항의 규정에 의한 비행자격증명의 응시기준·시험과목 및 비행자격증명서에 관한 필요한 사항은 항공안전본부장의 승인을 받아 교통안전공단에서 정한다.

1) 응시기준 : 연령이 만14세 이상인 자로서 비행시간이 20시간(5시간 이상의 단독 비행시간 포함)이상이자.

2) 시험과목 및 범위는 항공법규(당해 업무에 필요한 항공법규), 항공기상(항공기상의 기초지식, 항공기상통보와 기상도의 해독 등), 항공역학(비행의 기초 원리, 초경량비행장치 구조와 기능에 관한 기초 지식 등), 비행운영이론(지상활주, 이·착륙활주, 공중조작 등)이다.

3) 초경량비행장치 비행자격증명 실기시험 및 종류변경실기시험은 별표 2에 따른다.

다. 조종자라 함은 교통안전공단의 초경량비행장치자격증명및안전성인증업무운영세칙에서 정한 연령이 만14세 이상인 자로서 비행시간이 20시간(5시간 이상의 비행시간 포함)이상인자로 초경량비행장치 비행자격증명 학과시험과 실시시험에 합격하여 초경량비행장치 비행자격증명서를 교부받은 자를 말한다.

라. 벌칙

항공법 제23조제3항의 규정을 위반하여 자격기준에 적합하다는 증명을 받지 아니하고 비행한자는 500만원의 과태료에 처한다.(항공법 제182조 제1항)

8. 초경량비행장치의 신고

가. 초경량비행장치의 소유자는 별표3 서식의 초경량비행장치신고서에 다음 각 호의 서류를 첨부하여 지방항공청장에게 제출하여야 한다.(항공법 제23조제1항)

1) 초경량비행장치를 소유하고 있음을 증명하는 서류.(수입필증, 매매계약서, 소유증명을 위한 공증)

2) 교통안전공단이사장이 발행하는 안전성인증서.

3) 초경량비행장치의 제원 및 성능표.

4) 초경량비행장치의 사진.(가로 15센티미터×세로 10센티미터의 측면사진)

나. 초경량비행장치 보관처를 변경하고자 하는 자는 항공법시행규칙 별표3 서식의 초경량·무인비행장치신고서를 지방항공청장에게 제출하여야 한다.

다. 신고증명서를 발급 받은 초경량비행장치소유자는 초경량·무인비행장치신고요령(서항청훈령제137호)에 정한 별표 4(신고번호의 표시장소)와 별표5(신고번호의 각 문자 및 숫자의 크기)의 방법에 따라 표시 및 부착하여야 한다.

라. 벌칙

초경량비행장치의 신고를 하지 아니하고 비행한자는 200만원이하의 과태료에 처한다.(항공법 제183조 제5항) 항공법시행규칙 제65조(초경량비행장치의 신고관리)의 규정은 무인비행장치에 이를 준용한다.

9. 비행공역

가. 지정된 비행공역은 [별표 6]에 규정되어 있다.

나. 지정된 비행공역 이외의 구역·고도 비행 시 조치 사항.

1) 초경량비행장치를 사용하여 법 제23조2항의 규정에 의한 비행제한공역을 비행하고자하는 자는 별표 7서식의 비행계획승인신청서와 초경량비행장치신고증명서 및 안전성인증서를 첨부하여 지방항공청장에게 제출하여야 한다.

2) 법제23조제2항의 규정에 의한 초경량비행장치의 승인을 얻지 아니 하고 비행한자는 200만원 이하의 과태료에 처한다.(항공법 제183조 제5항)

10. 비행계획 승인

가. 비행계획승인을 받아야하는 경우

초경량비행장치를 사용하여 법 제23조2항의 규정에 의한 비행제한공역을 비행하고자하는 자.

나. 비행계획승인신청서 제출처, 제출방법

1) 제출처 : 서울지방항공청 김포항공관리사무소 안전운항과(전화 : 02-660-2174~5)

2) 제출방법 : 별표 7서식의 비행계획승인신청서에 다음 각호의 서류를 첨부 제출하여야 한다.

가) 항공법시행규칙 제65조제2항의 규정에 의한 초경량비행장치신고증명서

나) 항공법시행규칙 제66조의2제4항의 규정에 의한 안전성인증서

다) 비행예정구역을 관할하는 관계기관과 사전협의 되었음을 증명하는 서류(항공법시행규칙 제116조의2의 규정에 의한 통제구역을 비행하고자 하는 경우에 한한다)

항공법시행규칙 제66조(초경량비행장치의 비행계획의 승인)의 규정은 무인비행장치에 이를 준용한다.

11. 비행방법

가. 준수 사항

1) 초경량비행장치 조종자는 항공기를 육안으로 식별하여 미리 피할 수 있도록 주의하여 비행하여야 한다.

2) 초경량비행장치 조종자는 모든 항공기에 대하여 동력초경량비행장치조종자는 동력을 사용하지 아니하는 초경량비행장치에 대하여 진로를 양보하여야 한다.

나. 기타 비정상적인 방법에 의하여 비행하는 행위

항공법시행규칙 제68조(초경량비행장치 조종자의 준수사항)의 규정은 무인비행장치에 이를 준용한다.

12. 기상조건

가. 안개등으로 인하여 지상목표물을 육안으로 식별할 수 없는 상태에서 비행하여서는 아니 된다.

나. 비행시정 및 구름으로부터의 거리기준에 위반하여 비행하여서는 아니 된다.

(항공법시행규칙별표 10) 비행시정 및 구름으로부터의 거리 기준

공 역	최저 비행시정	구름으로부터의 거리

13. 비행시 유의사항

가. 군 방공비상사태 인지시 즉시 비행을 중지하고 착륙할 것.

나. 항공기의 부근에 접근하지 말 것. 특히 헬리콥터의 아랫쪽에는 Down wash가 있고 대형·고속

항공기의 뒷쪽·부근에는 Turbulence가 있음을 유의할 것.

다. 군 작전중인 전투기가 불시에 저고도·고속으로 나타날 수 있음을 항상 유의할 것.

라. 다른 초경량비행장치에 불필요하게 가깝게 접근하지 말 것.

마. 비행중 사주경계를 철저히 할 것.

바. 태풍·돌풍이 불거나 번개가 칠 때, 또는 비나 눈이 내릴 때에는 비행하지 말 것.

사. 비행중 비정상적인 방법으로 기체를 흔들거나, 자세를 기울이거나 급상승/급강하하거나, 급선회하지 말 것.

아. 제원에 표시된 인원수를 초과하여 탑승시키지 말 것.

자. 이륙전 제반 기체·엔진 안전점검을 철저히 할 것.

차. 주변에 지상장애물이 없는 장소에서 이착륙할 것.

카. 야간에는 비행하지 말 것.

타. 음주·약물복용 상태에서 비행하지 말 것.

파. 초경량비행장치를 정해진 용도 이외의 목적으로 사용하지 말 것.

하. 비행금지공역·비행제한공역·위험공역·경계구역·군부대상공·화재 발생지역상공·해상·화학공업단지·기타 위험한 구역의 상공에서 비행하지 말 것.

거. 공항·대형비행장 반경 약 10킬로미터 이내에서 관할 관제탑의 사전승인 없이 비행하지 말 것.

너. 고압송전선 주위에서 비행하지 말 것.

더. 추락·비상착륙 시 인명·재산의 보호를 위해 노력할 것.

러. 인명이나 재산에 위험을 초래할 우려가 있는 낙하물을 투하하지 말 것.

머. 인구가 밀집된 지역 기타 사람이 운집한 장소의 상공을 비행하지 말 것.

14. 기체 수리·개조시 조치사항

가. 항공법시행규칙 제65조의 규정에 의거 초경량비행장치의 소유자는 초도 신고사항에 변경이 있는 경우 지방항공청장에게 통보하여야 한다.

나. 신고사항에 변경은 제작 시 설계도면에 명시된 구조·강도에 영향을 미칠 수 있는 기체 수리·개조작업, 엔진교환 등을 말한다.

다. 기체의 수리·개조작업 또는 엔진 교환작업 후 교통안전공단에서 실시하는 안전성인증검사를 받아야 한다.

15. 사고발생시 조치사항

가. 인명구호를 위해 신속히 필요한 조치를 취할 것.

나. 사고조사를 위해 기체·현장을 보존할 것.

다. 사고발생 사실을 건설교통부 항공사고조사위원회
(전화 : 02-6096-1038)로 신속히 신고할 것.

16. 보험 가입

가. 영리목적으로 건설교통령이 정하는 동력비행장치, 회전익비행장치, 페러프레인, 기구류(사람이 탑승하는 것에 한한다)를 사용하여 비행하고자 하는 자는 건설교통부령이 정한는 보험에 가입하여야 한다.(항공법 제23조제5항)

나. 항공법 제23조제5항에서 건설교통부령이 정하는 보험이라 함은 자동차손해배상보장법시행령 제3조제1항 각호의 규정에 의한 금액 이상을 보장하는 보험 또는 공제를 말한다.

다. 벌칙

항공법 제23조 제5항의 규정을 위반하여 보험에 가입하지 아니하고 초경량비행장치를 사용하여 비행한 자는 500만원이하의 과태료에 처한다.(항공법 제182조1의3)

17. 매매·양도시 조치사항

가. 매매·양도 시 매매계약서를 작성하여야 한다.

나. 초경량비행장치를 매매·양도 시 매도인은 매수인에게 비행장치와 함께 관련 서류일체(설계서, 설계도면, 부품목록표, 외국에서 수입했을 경우 수입필증, 안전기준인정서, 신고증명서, 제원 및 성능표를 양도하여야 한다.

다. 양수인은 항공법시행규칙 제65조의 규정에 의거 별표 3서식의 초경량비행장치신고서에 본 안내서의 3항에 정한 관련서류를 첨부하여 지방항공청장에게 제출하여야 한다.

18. 영업행위

가. 영리목적의 비행.

나. 체험비행을 가장한 영업비행.

19. 기체 폐기절차

가. 기체가 사고 또는 노후 등으로 폐기사유가 발생한 경우 말소신고서(별표 8)를 작성하여 지방항공청장에게 제출하여야 한다.

나. 말소신고서 제출 시 신고증명서를 첨부하여야 한다.

다. 신고증명서가 사고 등의 사유로 분실 또는 훼손 시는 사유서를 첨부하여야 한다.

20. 기타 참고사항

가. 초경량비행장치 및 무인비행장치의 안전관리 책임은 소유자 및 이용자에게 있음.

나. 초경량비행장치의 운용에 관하여 의문이 있을 경우 서울지방항공청으로 문의 할 것.

다. 서울지방항공청 홈페이지 주소 : www.sraa.go.kr

[별표 1]

[별지 제11호의서식] <개정 2004. 7. 19>

초경량비행장치안전성인증검사신청서(정기·수시) 신고번호 :

[별표 2]

[별지 제20호의4서식] <신설 2003. 11. 22>

무인비행장치 기술기준적합성인정신청서	처리기간

[별표 3]

시험의 과목 및 범위

1. 초경량비행장치 비행자격증명 학과시험

과 목	범 위

2. 초경량비행장치 비행자격증명 실기시험

초경량 비행장치 종류	실 시 범 위

3. 초경량비행장치 종류변경실기시험

구 분	실 기 범 위
동력비행장치조종자 및 회전익비행장치조종자	해당 초경량비행장치 종류에 맞는 조종업무 또는 필요한 기술

[별표 4]

[별지 제19호의2서식] <신설 99·12·17>

<table>
<tr><td>접수번호</td><td rowspan="2" colspan="4">□ 초경량비행장치
신고서
□ 무인비행장치</td><td>처리기한</td></tr>
<tr><td>※</td><td>7 일</td></tr>
<tr><td rowspan="4">비행장치</td><td>종 류</td><td colspan="2"></td><td>신고번호</td><td>※</td></tr>
<tr><td>제 작 자</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>제 작 번 호</td><td colspan="2"></td><td>제작연월일</td><td></td></tr>
<tr><td>보 관 처</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">소유자</td><td>성 명·명 칭</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>주 소</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>주민등록번호</td><td colspan="2"></td><td>전화번호</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">변경·이전사항</td><td>변경·이전 전</td><td colspan="3">변경·이전 후</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

□ 항공법 제23조제1항 및 동법시행규칙 제65조제1항 / □ 항공법 제23조의2제1항 및 동법시행규칙제68조의3 의 규정에 의하여 □초경량비행장치 / □무인비행장치 를

소유하고 있음을 신고합니다

년 월 일

신고인 (서명 또는 인)

서울지방항공청장 귀하

구비서류

1. 비행장치를 소유하고 있음을 증명하는 서류 1부
2. 비행장치가 비행안전을 확보하기 위한 기술상의 기준에 적합함을 증명하는 서류 1부
3. 비행장치의 제원 및 성능표 1부
4. 비행장치의 사진(가로 15센티미터×세로 10센티미터의 측면사진) 3매

작성시 유의사항 : ※ 표시란은 기재하지 아니합니다.

[별표 5]

신고번호의 표시장소

구　　　분	표　　시　　장　　소	비　　　　　고

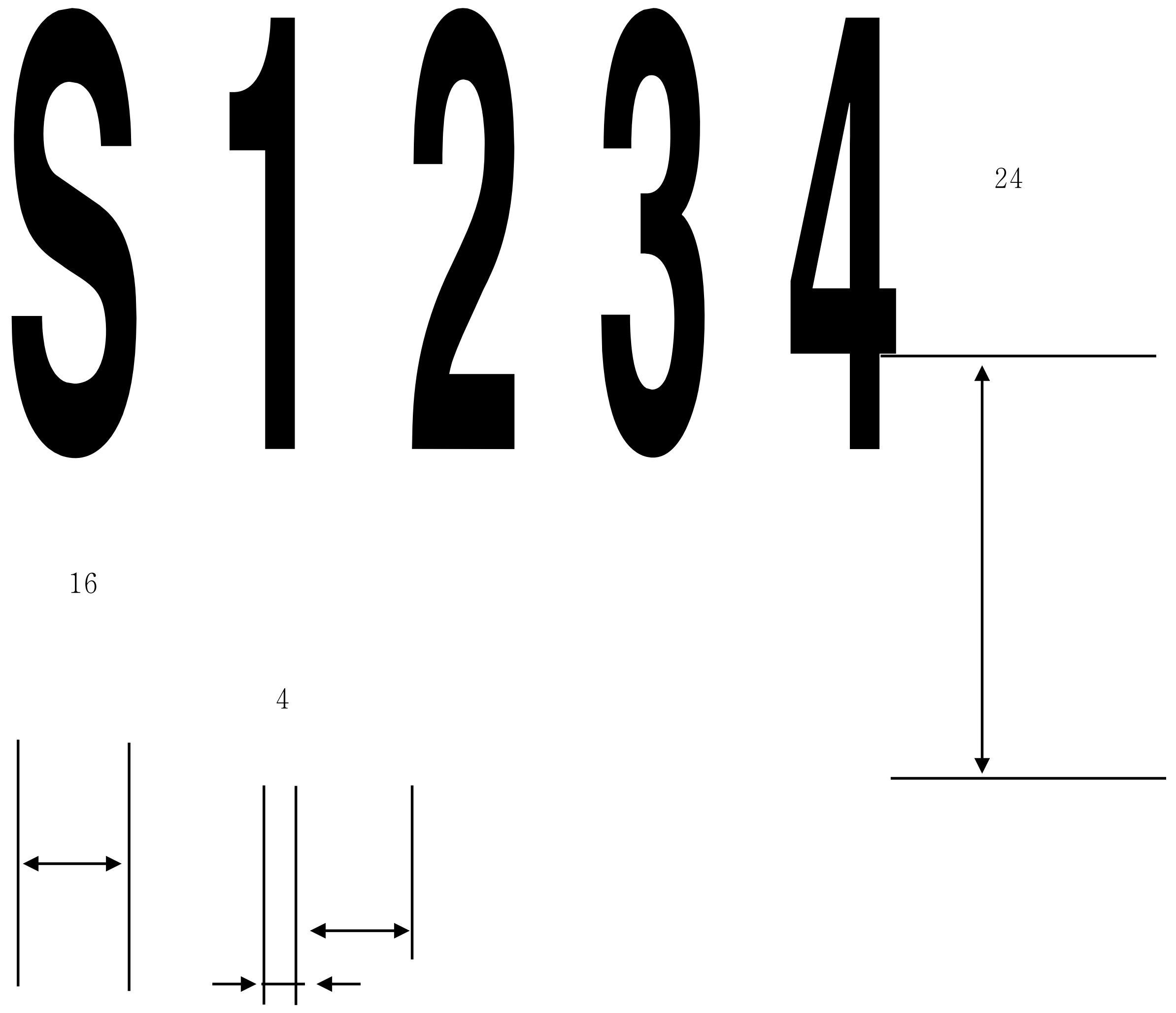
[별표 6]

신고번호의 각 문자 및 숫자의 크기

구 분	규 격	비 고

예: 세로길이가 24㎝인 경우,

가로길이 16㎝, 선의 굵기: 4㎝, 간격: 4㎝ ~ 8㎝ (5㎝로 할 경우)



[별표 7]

초경량비행장치 비행공역

식별부호	명 칭	위치 및 수평범위	수직범위	표면

UFA-10	장 현	경기 시흥 37°23′22″N 126°46′57″E 반경 1.5㎞	"	들판
UFA-11	반 월	경기 화성 37°17′02″N 126°51′33″E 반경 2.5㎞	"	들판
UFA-12	양 평	경기 양평 37°30′10″N 127°23′00″E- 37°30′10″N 127°32′00″E- 37°27′00″N 127°32′00″E- 37°27′00″N 127°23′00″E	"	강변
UFA-13	고 창	전북 고창 35°23′11″N 126°43′53″E 반경 4.0㎞	"	산
UFA-14	대 정	제주 대정 33°12′12″N 126°15′53″E 반경 4.0㎞	"	해변
UFA-15	송 도	인천 송도 37°24′30″N 126°39′12″E 반경 3.0㎞	"	해변
UFA-16	양 산	경남 양산 35°18′11″N 128°58′52″E 반경 3.0㎞	"	강변
UFA-17	공 주	충남 공주 36°27′21″N 127°04′55″E 반경 4.0㎞	"	강변
UFA-18	고 성	전북 고성 35°02′46″N 128°26′02″E 반경 4.0㎞	"	해변
UFA-19	산 내	전북 정읍 35°33′51″N 127°01′37″E 반경 3.0㎞	"	강변
UFA-20	이 리	전북 이리 35°54′11″N 126°56′52″E 반경 7.0㎞	"	강변
UFA-21	일 산	경기 일산 37°39′30″N 126°45′01″E 반경 2.5㎞	"	강변

[별표 8]

[별지제20호서식]

□초경량비행장치 비행제한공역 비행계획승인신청서 □무인비행장치 비행계획승인신청서	처리기한

[별표 9]

접수번호	□ 초경량비행장치 말소 신고서 □ 무인비행장치	처리기한

[별표 10]

초경량 및 무인비행장치의 종류

동력비행장치(타면조종형)

동력비행장치(체중이동형)

자이로플레인

페러플레인

열 기 구

초경량헬리콥터

무인비행장치(모형항공기)

무인동력비행선