더욱 고기압이 현저하고 거의 이동하지 않는다.

- 상층에서 기압능(Ridge)이 발달하면 저지(blocking) 현상을 일으키기도 한다. 공기의 침강으로 온난 건조하므로 맑은 날씨가 특징이 있다.

㈜ *기압능(Ridge) : 대기 중의 같은 고도면에서 주위보다 기압이 상대적으로 높은 지역을 말한다.*

○ 한랭고기압

- 겨울철 고위도 지방의 대륙에서 지표의 복사냉각에 의해 공기의 밀도가 커짐으로써 발생하는 고기압으로, 매우 한랭하여 한랭고기압이라고 한다.
- 3km 정도의 상공에서는 고기압 성질이 없어질 정도로 키가 작아서 키 작은 고기압이라고도 한다. 한랭고기압은 온난 고기압과 달리 상층에 저기압이 있기 때문에 일기가 좋지 않다.

2.3.2 **저기압** : 저기압은 중심 기압이 주변보다 기압이 낮은 곳을 말한다.

2.3.2.1 저기압의 특성

지상에서의 바람은 북반구에서 저기압 중심을 향하여 반시계 방향으로 불어 들어온다. 저기압에 동반된 한랭전선은 저기압 중심에서 남서쪽으로, 온난전선은 저기압 중심에서 남동쪽으로 향하게 된다.

강수는 공기의 상승과 관련되어 나타나는데, 공기가 수렴하는 저기압 중심 부근에서 발생하기도 하며, 또한 따뜻한 공기가 차갑고 밀도가 큰 공기를 타고 상승하는 전선을 따라 발생한다.

2.3.2.2 저기압의 분류

저기압은 전선의 유무에 따라 전선저기압과 비전선저기압으로 분류하며, 구조에 따라 한랭저기압과 온난저기압으로 분류된다. 또한, 발생 지역에 따라 온대저기압과 열대저기압으로 분류할 수 있다.

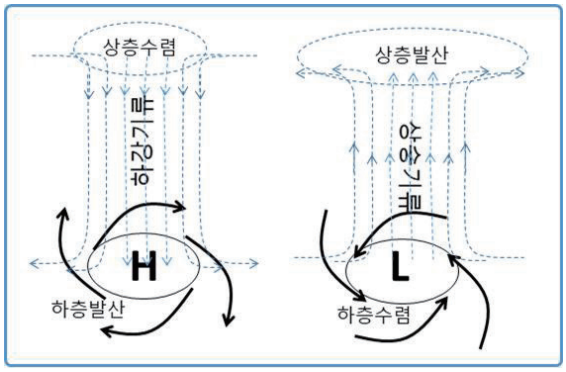
○ 한랭저기압(Cold Low) : 동일한 고도에서 저기압 중심 부근의 기온이 주위보다 한랭하고 기온감률이 급하여 상층으로 갈수록 저기압성 순환이 증가하고 서서히 이동하는 저기압이다. 온난저기압에 비해 키가 크고 저기압 주변의 대기안정도는 일반적으로 불안정하다.

○ 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 빠르다.

2.3.2.3 저기압의 바람 구조

저기압에서의 기류는 저기압 주변의 공기가 저기압 중심을 향해 반시계 방향으로 회전하면

서 수렴하여 생기는 상승기류이다. 공기의 수평수렴은 지표면 근처에서 일어나고, 상층대기에서는 수평발산에 의한 공기의 유출이 일어난다.



[그림 2-4] 고기압과 저기압의 바람구조

2.4 바람

2.4.1 바람

바람은 공기의 지표면에 대한 상대적 운동으로, 온도와 습도의 변화를 가져온다. 풍속의 수평성분이 수직성분보다 매우 크므로 일반적인 기상관측에서는 수평성분만을 대상으로 한다.

○ 풍향 : 풍향은 바람이 불어오는 방향을 말하며, 일반적으로 일정 시간 내의 평균풍향을 의미한다. 8방위, 16방위 또는 32방위로 나타내며 지리학상의 진북을 기준으로 한다. 항공에서는 일반적으로 바람이 불러오는 방향에 따라 36방위를 사용한다. 또한 관제사가 제공하는 바람정보는 자북을 기준으로 3자리 수를 사용한다.

○ 풍속 : 풍속은 공기가 이동한 거리와 이에 소요된 시간의 비로써, 일정 시간에 대한 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 사용할 때도 있다. 기상전문에서는 노트(knot)가 주로 사용하는데 m/s의 2배를 하면 대략 노트 값과 일치한다.

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

○ 바람속도(Wind Velocity) : 바람속도는 바람의 벡터 성분을 표현하는 것으로서, 스칼라 양인 풍속(Wind Speed)과는 다르다. 바람속도의 크기가 풍속이며, 풍속에 바람방향 성분이 포함된 것이 바람속도(Wind Velocity)이다.

○ 바람시어(Wind Shear) : 바람시어는 바람 진행방향에 대해 수직 또는 수평 방향의 풍속 변화로서, 풍속 및 풍향이 갑자기 바뀌는 돌풍 현상을 가리킨다. 수평으로 바람시어가 발생하면 기압불안정이 생겨서 소용돌이가 형성되고, 연직으로 바람시어가 발생되면 기류가 흩어져서 청천난류 등이 발생한다.

2.4.2 바람을 일으키는 힘

2.4.2.1 기압경도력

두 지점 사이에 압력이 다르면 압력이 큰 쪽에서 작은 쪽으로 힘이 작용하게 되는데, 이를 기압경도력이라 한다. 기압경도력은 두 지점간의 기압차에 비례하고 거리에 반비례한다. 바람은 기압이 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 힘이 작용하고 등압선의 간격이 좁으면 좁을수록 바람이 더욱 세다.

기압경도력(f) ∝ △P/L

(△P : 두 지점간의 기압차,

L : 두 지점간의 거리)

2.4.2.2 전향력

(Coriolis Force, 코리올리 힘)

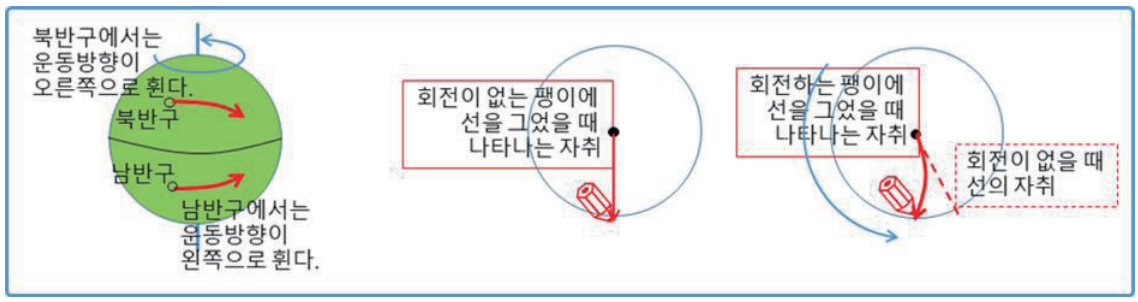
자전하는 지구의 표면을 따라 운동하는 질량을 가진 물체는 각운동량 보존을 위해 힘을 받게 되는데 이를 전향력 또는 코리올리 힘이라 한다. 코리올리 효과는 회전하는 원판 위의 내부 어느 지점에서 가장자리 쪽으로 직선을 그었을 때 원판에는 곡선으로 그려지게 된다. 지구상에서 운동하는 모든 물체는 북반구에서는 오른쪽으로 편향되고, 남반구에서는 왼쪽으로 편향되며 고위도로 갈수록 크게 작용한다. 전향력은 적도에서는 0이며, 위도가 증가함에 따라 전향력이 증가하여 극에서 최대가 된다.

2.4.2.3 지표마찰력

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

지표면이 거친 지형일수록 마찰효과도 커지며, 또한 풍속이 강하면 마찰도 커지게 된다. 마찰은 바람 방향과 반대로 작용하기 때문에 직접적으로 바람에 영향을 미친다.

지표면에서 바람의 방향과 속도는 지형의 영향을 받게 되어 등압선과 일치하지 않으며, 이러한 현상은 지형 형태에 따라 바람의 변화정도가 달라진다.



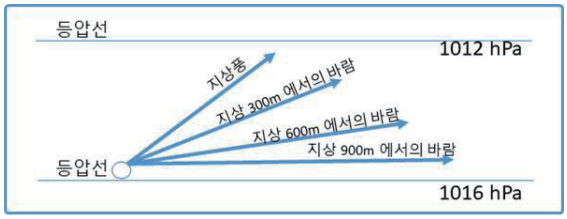
[그림 2-5] 지구가 자전할 때의 전향력

2.4.3 지상마찰에 의한 바람

2.4.3.1 지상풍

등압선에 의한 바람은 고기압에서 저기압으로 가로질러 흐르지만, 지면이 거칠 경우 45° 이상까지 다양하게 틀어지며, 북반구에서 전향력의 영향으로 우측으로 휘게 된다. 공기에 미치는 마찰 효과는 지면 근처에서 가장 크고 고도가 높아지면서 마찰의 영향은 빠르게 감소하고 무시할 수 있다. 지면이 사막이나 평야 지역처럼 평탄할 경우 지면 마찰 효과는 산악지형이나 대형고층건물이 많은 도심 지역보다 효과가 약하게 나타난다.

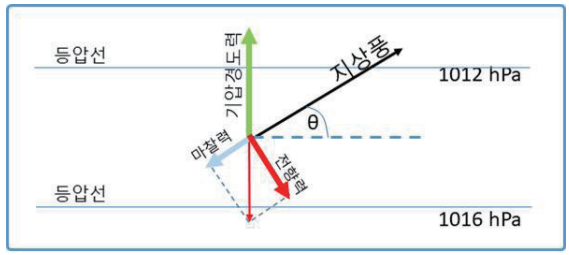
거친 지면은 바람의 속도와 방향을 변화시키지만 고도가 높아짐에 따라 그 영향은 감소되어 일반적으로 지면으로부터 600m 이상에서는 지표마찰력의 영향을 거의 받지 않게 된다.



[그림 2-6] 지상마찰에 의한 고도별 바람의 변화

○ 등압선이 직선인 경우

- 지상풍은 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 45°, 해양은 10°정도이다.)
- 전향력의 영향으로 북반구는 오른쪽(남반구는 왼쪽)으로 치우쳐 분다.



[그림 2-7] 지상풍(등압선이 직선인 경우)

○ 등압선이 원형인 경우

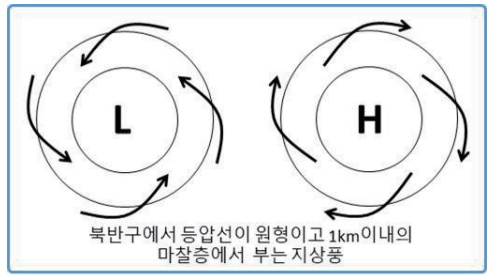
- 지상풍은 바람에 작용하는 모든 힘, 즉 기압경도력, 전향력, 원심력, 마찰력의 합력이 균형을 이루어 분다.

○ 등압선 원형의 중심이 고기압인 경우

- 북반구(남반구)에서 시계 방향(반시계 방향)으로 불어 나간다.

○ 등압선 원형의 중심이 저기압인 경우

- 북반구(남반구)에서 반시계 방향(시계 방향)으로 불어 들어간다.



[그림 2-8] 지상풍(등압선이 원형인 경우)

○ 이·착륙할 때의 지상풍 영향 : 일반적으로 바람은 불어오는 방향에 따라 명칭이 붙는다. 그러나 항공기에서는 항공기를 중심으로 다음과 같이 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 하늘쪽으로 부는 상승풍
- 하강기류(Down-Draft) : 하늘에서 지상 쪽으로 부는 하강풍

2.4.3.2 거스트(gust, 돌풍)

일정 시간 내(일반적으로 10분간)에 평균 풍속보다 10knot 이상의 차이가 있으며, 순간 최대 풍속이 17knot이상의 강풍일 경우 지속시간이 초 단위 일 때를 말한다. 돌풍이 불 때는 풍향도 급변하며, 때로는 천둥을 동반하기도 하고, 수 분에서 1시간 정도 계속되기도 한다.

일기도상으로는 보통 발달하기 시작한 저기압에 따르는 한랭전선에 동반되며, 돌풍이 커지느냐의 여부는 기온의 수직방향의 체감률과 풍속의 차이에 의해서 정해진다.

2.4.3.3 스콜(squall, 국지성호우)

스콜은 풍속의 증가가 매초 8m 이상, 풍속이 매초 11m 이상에 달하고 적어도 1분 이상 그 상태가 지속되는 경우의 바람을 말하며, 갑자기 불기 시작하여 몇 분 동안 계속된 후 갑자기 멈추는 바람으로 풍향이 급변할 때가 많다.

흔히 강수와 뇌우 등의 변화도 가리키는데, 이 경우에도 바람의 돌연한 변화를 동반하는 경우에 한 한다. 스콜은 특징 있는 모양의 구름이 나타나지만, 구름이 전혀 나타나지 않을 때도 있다.

2.4.3.4 태풍(열대성 저기압)

○ 열대성 저기압 중심부의 최대 풍속이 17m/s이상일 때를 말하며, 폭풍우를 동반한다. 열대성 저기압의 종류는 다음과 같다.

- 태풍(typhoon) : 북태평양 남서부인 필리핀 부근 해역에서 발생하여 동북아시아를 내습하는 열대성 저기압
- 허리케인(hurricane) : 서인도 제도에서 발생하여 플로리다를 포함한 미국 동남부를 피해를 주는 열대성 저기압
- 사이클론(cyclone) : 인도양에서 발생하여 그 주변에 피해를 주는 열대성 저기압
- 윌리윌리(willy-willy) : 남태평양 해상에서 발생하는 열대성 저기압

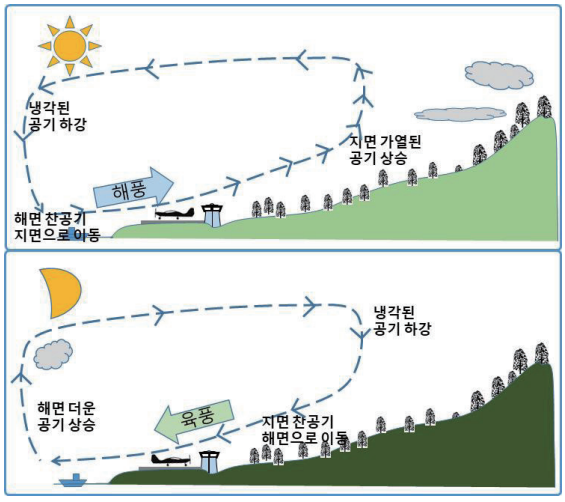
○ 태풍의 눈 : 태풍의 중심부를 말하며 중심부근에서는 기압경도력과 원심력이 커지므로 전향력과 마찰력도 따라서 커지게 되어 5m/s이하의 미풍이 불게 되고 비도 내리지 않고 날씨도 부분적으로 맑은 날씨를 보이게 된다.

○ 태풍의 발생장소 : 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.

2.4.4. 국지풍

2.4.4.1 해륙풍

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



[그림 2-9] 해륙풍(낮 : 바다 → 육지, 밤 : 육지 → 바다)

해륙풍이 불게 된다.

낮에 육지가 바다보다 빨리 가열되어 육지에 상승 기류와 함께 저기압이 발생되어 부는 바람을 말한다.(밤에 육지가 바다보다 빨리 냉각되어 육지에 하강기류와 함께 고기압 발생)

○ 낮 : 바다 → 육지로 공기 이동(해풍)

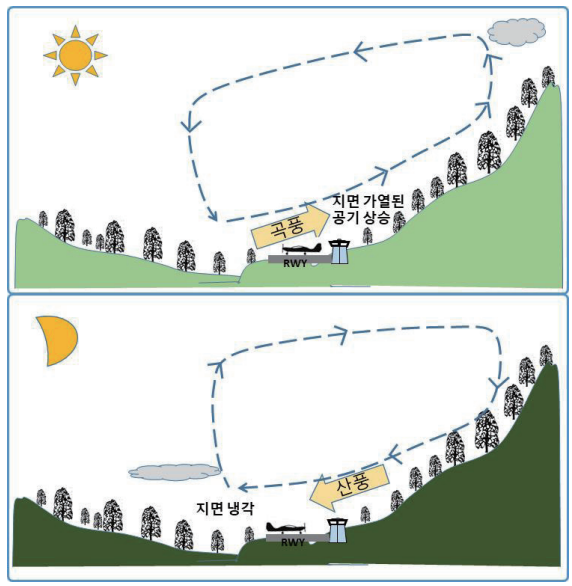
○ 밤 : 육지 → 바다로 공기 이동(육풍)

2.4.4.2 산곡풍(Mountain and Valley Breeze)

산악풍과 곡풍은 산악지역에서는 주간에 대기가 뜨거워지면 상승기류가 산맥을 따라 경사를 이루어 위로 올라간다. 반대로 야간에는 대기가 냉각되면서 하강기류가 발생하여 산 정상에서 아래로 경사를 따라 내려온다. 이런 현상을 전자는 곡풍이라 부르고 후자는 산악풍이라 한다.

○ 낮 : 골짜기 → 산 정상으로 공기 이동(곡풍)

○ 밤 : 산 정상 → 산 아래로 공기 이동(산풍)



[그림 2-10] 산곡풍(낮 : 골짜기 → 산, 밤 : 산 정상 → 산 아래)

2.4.4.3 높새바람(Foehn)

공기가 뜨거워지고 건조하면 단열성 압축현상 때문에 대기의 기류가 경사를 따라 내려간다. 이런 현상은 우리나라 동해 지역에서 흔히 나타난다. 즉, 태백산맥을 기점으로 하여, 서쪽에서 건조하고 습한 차가운 바람이 산을 올라가면서 구름을 형성하고 산 정상 부근에서 비를 내린 후, 건조한 공기가 동쪽으로 산을 내려가면서 온도가 높아지는 현상이 발생한다.

산 정상을 오르는 습윤한 공기 덩어리는 습윤단열변화가 발생하여 1km 상승할 때마다 약 5℃정도의 온도가 감소하게 되고, 산 정상에서 건조한 공기 덩어리로 변화되어 산을 내려오면서 건조단열변화가 발생하여 1km 하강할 때마다 약 10℃ 정도의 온도가 상승하게 된다.

2.5 기단

기단은 주어진 고도에서, 온도와 습도 등 수평적으로 그 성질이 비슷한 대규모의 공기덩어리다.

2.5.1 기단의 분류

기단은 발원지의 위도에 따른 온도분포로 크게 열대기단(T), 한대기단(P), 극기단(A)으로 분류한다. 또한 습도 조건에 따라, 대륙에서 발생한 건조한 것을 대륙성기단(c), 해상에서 발생한 습한 것은 해양성기단(m)으로 세분한다.

2.5.2 기단 성질의 분류

- ○ 열대해양성(mT, maritime Tropical) : 온난, 다습, 불안정
- ○ 열대대륙성(cT, continental Tropical) : 고온, 건조, 안정(상공)/불안정(지상)
- ○ 한대해양성(mP, maritime Polar) : 서늘, 다습, 불안정
- ○ 한대대륙성(cP, continental Polar) : 한랭, 건조, 안정
- ○ 극해양성(mA, maritime Arctic) : 한랭, 다습
- ○ 극대륙성(cA, continental Arctic) : 한랭, 건조

2.5.3 기단의 특성

우리나라 부근에 위치하며 영향을 미치는 기단은 시베리아, 오호츠크해, 북태평양, 양쯔강 기단 등이 있다.

[표 2-1] 우리나라에 영향을 미치는 기단의 특성

명칭	기호	발달 시기	특성
시베리아 기단	cP (대륙성 한대)	주로 겨울	한랭 건조하다. 겨울의 혹한을 일으키고 겨울 계절풍과 더불어 삼한사온 현상을 유발한다.
오호츠크해 기단	mP (해양성 한대)	주로 장마기	한랭 다습하다. 동해안 지역을 흐리게 하고, 비를 내리게 한다.
북태평양 기단	mT (해양성 열대)	주로 여름	고온 다습하다. 여름철 더위, 폭염을 가져온다.
양쯔강 기단	cT (대륙성 열대)	봄과 가을	온난 건조하다. 이동성 고기압과 함께 동진해 와서 따뜻하고 건조한 일기를 나타낸다.

2.6 전선

2.6.1 전선

물리적 성질이 다른 두 기단이 부딪쳐 경계를 이루는 것이 전선이다. 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.

또한, 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.

[표 2-2] 온난전선에 동반되는 전형적인 기상상태

	통과 전	통과 시	통과 후
기압	점차 하강	하강 멈춤	약간 상승 후 하강
풍향	남풍 또는 남동풍	계속 변함	남풍 또는 남서풍
풍속	증가	감소	거의 일정
온도	서늘하다 서서히 따뜻해짐	서서히 상승	따뜻하게된 후 일정
노점온도	일정 (강수 중 증가)	증가	일정
구름	권운, 권층운, 고층운, 난층운, 층운 순으로 나타남	낮은 난층운, 층운	맑으나 가끔 층적운 또는 적란운 (여름)
날씨	계속적 비 또는 눈	이슬비	보통 강수 없음
시정	좋음 (강수 중 악화)	나쁨 (실안개, 안개)	대체로 나쁨 (실안개, 안개)

㈜ 잠열이란 물체가 고체에서 액체로, 액체에서 기체로 상태가 변할 때 에너지 변화가 생기며, 이러한 상태변화에 필요한 에너지 또는 열량을 잠열(latent heat)이라 한다.

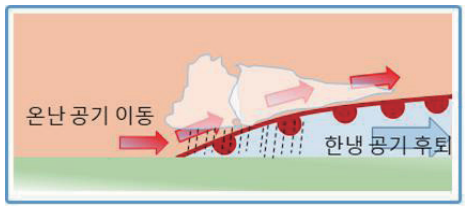
2.6.2 전선의 종류와 특성

2.6.2.1 온난전선(Warm front)

온난전선(Warm front)은 온난한 공기가 한랭한 공기 쪽으로 이동해 가는 전선을 말한다. 더운 공기가 찬 공기 위를 타고 오르기 때문에, 이동속도가 느리고 기울기가 적고, 넓은 지역에 걸쳐 강수가 나타나며 강수강도는 약하다.

○ 온난전선 이동에 따른 지상 일기의 변화(surface weather changes) : 표 2-2

○ 온난전선의 구조



[그림 2-11] 온난전선 단면

○ 온난전선에서 나타나는 항공기 운항에 위험한 기상

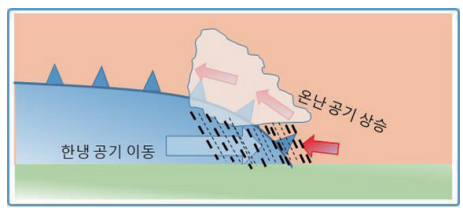
• 온난전선 전면의 광범위한 강수대는 자주 하층에 층운이나 안개를 발생시킨다. 이 경우, 강수는 한랭공기에 수증기를 공급하여 포화상태에 이르게 하므로, 수천 ㎢의 넓은 지역에 걸쳐 낮은 실링(ceiling)과 악시정을 일으키기도 한다. 만일 한랭공기의 온도가 어는 점 이하일 때, 강수는 어는 비(freezing rain)나 얼음싸라기(ice pellets)의 형태로 나타난다.

• 온난전선이 통과할 때, 하절기에는 뇌우가, 동절기에는 심한 착빙 등 매우 위험한 기상을 초래하기도 한다. 하층 바람시어는 온난전선의 전방에서 6시간 이상 지속되기도 하므로 매우 심각한 문제를 일으킬 수도 있다.

2.6.2.2 한랭전선(Cold front)

한랭전선(Cold front)은 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 빠르고 경사가 온난전선보다 기울기가 크다. 또한 좁은 지역에서 강수가 나타나며 강수강도가 강하다.

○ 한랭전선의 구조



[그림 2-12] 한랭전선 단면

[표 2-3] 한랭전선에 동반되는 전형적인 기상상태

	통과 전	통과 시	통과 후
기압	서서히 하강	갑자기 상승	서서히 계속 상승
풍향	남풍 또는 남서풍	돌풍	서풍 또는 북서풍
풍속	증가, 돌풍화	돌풍화	돌풍 후 일정
온도	온난 (일정)	갑자기 하강	낮은 상태로 거의 일정
노점온도	거의 일정	갑자기 하강	낮은 상태로 거의 일정
구름	권운, 권층운 증가 후 층적운, 고적운, 고층운 →적란운	적란운 또는 낮은 난층운 (Ns)	소나기 강도 약화 후 곧 개임
날씨	단기간 소나기 (가끔 뇌우)	호우(가끔 뇌우, 우박)	단기간 호우 후 개임
시정	중~악화 (안개)	일시 나빠지나 곧 회복	좋음

○ 한랭전선 이동에 따른 지상 일기의 변화 : 표 2-3

○ 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, 바람시어, 뇌우, 번개, 심한 소나기, 우박, 착빙, 토네이도 등을 동반한다.
- 뇌우 주변이나 뇌우 하부와 지표면 부근에는 강하고 변화가 심한 돌풍이 나타난다.

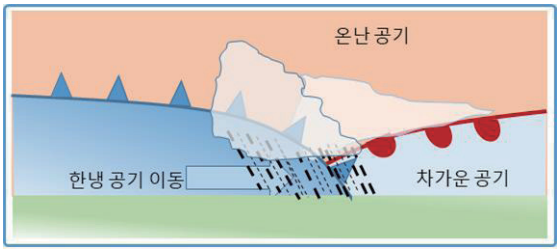
2.6.2.3 폐색전선(Occluded front)

폐색전선(Occluded front)은 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.

○ 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.
- 온난형 폐색전선 : 한랭형 폐색전선과 반대로, 한랭전선 후면의 찬 공기보다 온난전선의 찬 공기가 더 차가울 때 발생한다.

○ 폐색전선의 구조



[그림 2-13] 폐색전선 단면

○ 폐색전선 이동에 따른 지상 일기 변화

[표 2-4] 폐색전선에 동반되는 전형적인 기상상태

요 소		통과 전	통과 시	통과 후
기압		하강	저압점	보통 상승
풍향		동풍, 남동풍 또는 남풍	계속 변함	서풍 또는 북서풍
풍속		증가, 돌풍화	돌풍화	돌풍 후 일정
온도	한랭형	차거나 서늘	하강	한랭
	온난형	한랭	상승	온화
노점온도		일정	한랭형이면 약간 하강	약간 하강, 온난형이면 상승
구름		권운, 권층운, 고층운, 난층운 순으로 나타남	낮은 난층운, 층운	맑으나 가끔 층적운 또는 적란운 (여름)
날씨		약한, 보통 또는 강한 비	약한, 보통 강한 연속 강수 또는 소나기	약~보통 강수 후 갬
시정		강수로 악화	강수로 악화	회복

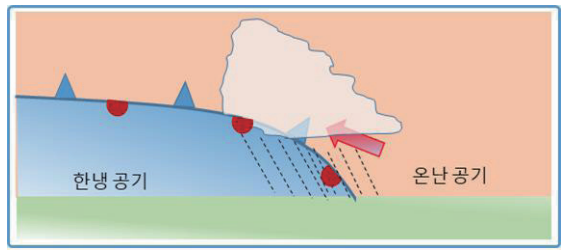
○ 폐색전선에서 나타나는 항공기 운항에 위험한 기상

- 광범위하게 한랭전선과 온난전선의 기상현상이 혼합되어 나타난다. 한랭전선의 특징인 스콜선, 뇌우와 온난전선의 특징인 낮은 실링(ceiling)이 겹쳐서 나타난다. 또한 폐색전선의 북쪽 끝에 있는 강한 저기압 주위에서 강한 바람이 나타난다.
- 따라서 조종사는 폐색전선에서 기상상태가 급격히 변하고, 폐색전선의 발달 초기에 가장 악화된다는 사실에 유의해야 한다.

2.6.2.4 정체전선(Stationary front)

정체전선(Stationary front)은 움직이지 않거나 움직여도 매우 느리게(10km/hr 미만) 움직이는 전선을 말한다. 상공의 풍향과 전선이 뻗쳐 있는 방향이 평행을 이루고 있을 때 형성된다.

○ 정체전선의 구조



[그림 2-14] 정체전선 단면

○ 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.

2.7 구름

하늘에 떠 있는 구름은 대기 중의 수증기가 응결하거나 빙결해서 형성되는 수적 또는 빙정의 집합체라고 할 수 있다.

2.7.1 구름의 구성 및 형성

2.7.1.1 구름의 구성 요소

구름은 어는점보다 높은 온도를 가진 물방울, 어는점보다 낮은 온도를 가진 물방울(과냉각 물방울), 빙정들로 이루어져 있다.

○ 과냉각 물방울은 어는점보다 높은 온도에서 수증기가 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.

2.7.1.2 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 이슬점이 하로 되면 포화상태에 이르게 되어 응결이 일어나게 된다. 이때 주변과 열 교환 없이 공기가 상승하게 되면 단열팽창 되어 외부에 일을 하게 됨에 따라 상승공기는 냉각되게 된다.

구름은 공기가 상승하여 단열냉각에 의해 포화에 이르러 수증기가 응결 또는 빙결됨에 따라 형성된다.

공기를 상승시키는 원인은 다음의 네 가지로 볼 수 있다.

○ 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(상승온난기류, thermal)라고 하는데, 열기포(상승온난기류, thermal)가 부력을 받아 계속 상승하게 되어 응결고도에 도달되면 구름의 모습이 나타나기 시작한다.

○ 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.

○ 전선에 의한 상승 : 밀도가 서로 다른 두 개의 공기덩어리(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.

○ 공기의 수렴에 의한 상승 : 지표면 부근에서 공기가 수렴하게 됨에 따라 공기가 상승하여 구름이 형성된다.

2.7.2 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.

2.7.2.1 상층운(high-level clouds) : 상층운은 운저고도가 보통 6km 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.

2.7.2.2 중층운(medium-level clouds) : 중층운은 중위도지방에서는 구름 저면의 높이가 2~6km이어서 수적으로 되어있는 경우가 많지만 기온이 충분히 낮아지면 그 일부는 빙정이 되기도 한다. 중층운에는 고적운(Altocumulus), 고층운(Altostratus)이 있다.

2.7.2.3 하층운(low-level clouds) : 하층운은 중위도 지방에서는 운저고도가 2km이하이며, 거의 수적으로 되어 있으나 추운 날씨에는 빙편과 눈을 포함하기도 한다. 하

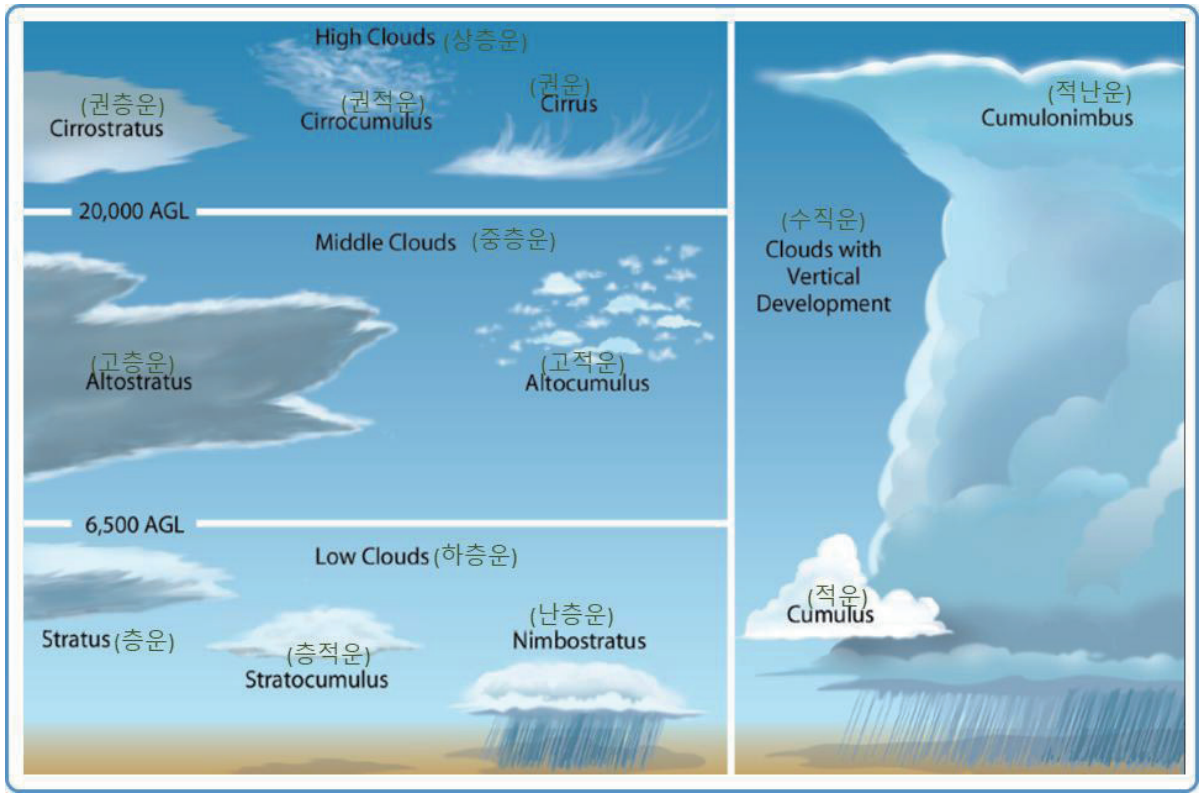
층운에는 층운(Stratus), 난층운(Nimbostratus), 층적운(Stratocumulus)이 있다.

2.7.2.4 **수직운(convective clouds)** : 수직운은 보통 하층운의 고도로부터 상층운의 고도에까지 확장하는 수직으로 발달하는 구름이며, 불안정한 공기와 아주 밀접하게 관련되어 있다. 수직운에는 적운(Cumulus), 적란운(Cumulusonimbus)이 있다.

2.7.3 기본운형 10종

2.7.3.1 **권운(Cirrus, CI)** : 흰색의 가느다란 선이나 흰색의 반점 좁은 띠 모양의 흩어져 있는 구름으로 미세한 얼음으로 구성되어 있다. 권적운 고적운 꼬리를 늘려서 형성 되었거나 적난운 꼭대기 부근에서 생성된 것. 새털 모양의 흰구름

2.7.3.2 **권적운(cirrocumulus, CC)** : 조약돌을 배열하여 놓은 것 같은 구름조각들이 모인 것으로 가느다란 물결과 같은 모양과



[그림 2-15] 기본 운형 10종류

[표 2-5] 기본 운형 10종류

층별분류/운저고도	명칭	국제기호	국제명칭	특징
상층운	권운	CI	Cirrus	새털 모양의 흰구름
	권적운	CC	Cirro Cumulus	털쌘구름
6-12km	권층운	CS	Cirro Stratus	달무리/햇무리, 털층구름
중층운 2-6km	고적운	AC	Alto Cumulus	양떼 구름
	고층운	AS	Alto Stratus	회색 차일 같은 구름, 높층구름
하층운 2km미만	난층운	NS	Nimbo Stratus	진한 회색으로 지속적인 비나 눈이 옴, 비층구름
	층적운	SC	Strato Cumulus	회색 두루마리 모양의 구름, 층쌘구름
	층운	ST	Stratus	안개와 비슷한 구름, 층구름
수직운 2-20km이내	적운	CU	Cumulus	여름 오후의 뭉게 구름, 쌘구름
	적난운	CB	Cumulonimbus	아주 높게 솟은 구름, 번개가 치며 소나기나 우박이 내림, 쌘비구름

얇고 흰 구름 모양으로 미세한 얼음으로 되어 있고 고공에서 기층이 서서히 상승할 때 발생한다. 털쌘구름

2.7.3.3 **권층운**(Cirrocumulus, CS) : 베일 모양의 엷은 구름 섬유모양 유백색 베일 형태로 미세한 얼음으로 되어 있으며 햇무리, 달무리 현상이 일어나는 구름. 털층구름

2.7.3.4 **고적운**(altocumulus, AC) : 엷은 판자나 둥그스름한 덩어리 구름 조각들이 모여서 된 백색이나 회색 구름 보통 음영이 나타난다. 빗방울로 되어 있으나 저온일 때 일부는 미세한 얼음으로 형성되어 있고 대기권 중층에서 요란이나 대류현상으로 발생 고적운의 엷은 부분에는 코로나 또는 채운현상도 있다. 양떼 구름

2.7.3.5 **고층운**(altostratus, AS) : 무늬가 있거나 줄무늬로 된 회색 또는 엷은 검정색의 구름으로 물방울 또는 미세한 얼음으로 되어 있으며 빗방울 또는 눈송이로 형성된 경우도 있다. 고층운은 광범위하게 퍼져 있으며 두께도 두껍다. 강수현상을 동반하지만 중간에서 증발 되는 경우가 많다. 높층구름

2.7.3.6 **난층운**(Nimbostratus, NS) : 짙은 회색의 구름층으로 되어 있으며 연속적인 비 또는 눈을 내리게 한다. 난층운은 물방울 빗방울 미세한 얼은 눈송이가 혼합되어 형성되어 있다. 비층구름

2.7.3.7 **층적운**(stratocumulus, SC) : 엷은 판 모양의 둥글둥글한 구름조각들이 모여

서 형성된 구름 회색과 엷은 검정색을 띤 구름이 보통이며 물방울로 대부분 형성되어 있으나 가끔 빗방울 싸락눈 또는 미세한 얼음 눈송이 까지도 형성되어 있다. 층적운에도 코로나 또는 무지개 현상이 생긴다. 회색 두루마리 모양의 구름, 층쌘구름

2.7.3.8 **층운**(Stratus, ST) : 비교적 일정한 운저를 가진 회색의 구름으로 통상 물방울로 되어 있으며 아주 저온일 때는 미세한 얼음 가루눈이 내재되어 있고 지면이 가열되거나 풍속이 증가하여 안개 층이 서서히 상승되면서 형성된다. 안개와 비슷한 층구름

2.7.3.9 **적운**(cumulus, CU) : 윤곽이 뚜렷하고 농밀한 구름이 수직으로 솟아올라 둥근 산봉우리나 탑 모양 또는 지붕 모양을 이루는 구름, 주로 물방울로 되어 있고 기온이 낮은 곳은 미세한 얼음으로 형성되어 있다. 대기 하층 부근에 기온 체감률이 격심할 때 공기의 대류 현상에서 발생한다. 쌘구름

2.7.3.10 **적란운**(Cumulonimbus, CB) : 수직 방향으로 크게 발달한 짙은 검은색 또는 회색구름 거대한 탑 모양이나 산봉우리모양으로 형성 되어 있고 꼭대기 부근에는 Anvil(쇠모루)형태나 새의 날개모양처럼 퍼져 있는 경우도 있다. 물방울 또는 미세한 얼음으로 되어 있고 구름 정상에는 과냉각된 눈송이 싸락우박, 싸락눈이 뇌우, 뇌전, 소나기, 우박, 돌풍 등을 동반한다. 아주 높게 솟은 구름, 번개가 치며 소나기나 우박이 내린다. 쌘비구름

2.8 안개(Fog)

대기 중의 수증기가 응결핵을 중심으로 응결해서 성장하게 되면 구름이나 안개가 된다. 구름과 안개의 차이는 지면과 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 미만일 때를 안개라고 한다.

2.8.1 냉각에 의해 형성된 안개

지면과 접해 있는 공기층의 온도가 이슬점 이하가 되면 안개가 발생한다. 이렇게 형성된 안개에는 복사안개, 이류안개, 활승안개가 있다.

○ 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 역전층

이 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.

○ 이류안개(advection fog) : 온난 다습한 공기가 찬 지면으로 이류하여 발생한 안개를 말하며, 해상에서 형성된 안개는 대부분 이류안개로 해무(sea fog, 海霧) 라고 부른다. 해무는 복사안개보다 두께가 두꺼우며 발생하는 범위가 아주 넓다. 또한 지속성이 커서 한번 발생되면 수일 또는 한 달 동안 지속되기도 한다.

○ 활승안개(upslope fog) : 습윤한 공기가 완만한 경사면을 따라 올라갈 때 단열팽창 냉각됨에 따라 형성된다. 산안개(Mountain fog)는 대부분이 활승안개이며 바람이 강해도 형성된다.

2.8.2 증발에 의해 형성된 안개

증발은 수면이나 낙하하는 우적에서 일어나며, 증발안개와 전선안개가 있다.

○ 증발안개 : 온난한 수면에서 찬 공기로 수증기가 증발할 때 안개가 발생하며, 이때 발생한 안개를 증발안개라고 한다.

○ 전선안개 : 우적에서 증발된 수증기가 찬 공기 내에서 안개를 발생시키고 전선의 위치에 따라 전선 앞 안개, 전선 뒤 안개, 전선통과안개로 세분된다.

제3장 비행안전에 관련된 기상현상

3.1 난류

난류(Turbulence)는 지표면의 불등균한 가열과 기복, 수목, 건물 등에 의하여 생긴 회전기류와 바람 급변의 결과로 불규칙한 변동을 하는 대기의 흐름을 뜻한다. 난류는 시간적 및 공간적으로 여러 규모의 것이 있는데, 바람이 강한 날 운동장에서 맴도는 조그만 소용돌이부터 대기 상층 십여 km에 달하는 난류가 있으며, 시간적으로도 수 초에서 수 시간까지 분포한다. 지상에는 난류가 스콜(squall)이나 돌풍(gust) 등에서 나타난다.

㈜ *난류(Turbulence)는 일반적으로 난기류(Turbulence)라고도 한다. 본 교재에서는 항공기상대의 기준들에서 사용하고 있는 난류(Turbulence)라는 용어로 통일하여 사용한다.*

○ 조종사는 이륙 후부터 착륙 시까지의 비행 중에 다양한 형태의 난류와 조우할 수 있다. 이러한 난류는 일반적으로 다음과 같은 기상 상황에서 발생한다.

- CB(적란운, Cumulonimbus)구름이 형성될 때 발생하는 난류
- 산악파에서 기인한 난류
- 청천 난류(CAT : clear air turbulence, 晴天亂流)
- 지표면 전선에 의해 발생하는 난류
- 항공기 후류에 의해 발생하는 난류
- 저고도 바람시어에 의해 발생하는 난류

○ 난류의 강도 : 난류의 강도는 객관적으로 결정하기 곤란하나, 비행 중 항공기가 조우하는 난류에 대하여 수직방향의 가속도의 정도를 중력가속도 g를 사용하여 표시한다. 항공기가 받는 난류에 대한 충격은 항공기의 속도와 크기, 중량, 안정도 등의 특성에 좌우된다.

○ 기상조건에 따른 난류의 정도

- 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
- 중정도(moderate) 난류조건
  - 산의 능선에 수직방향의 풍속성분이 25~50kt에 달하는 산악지역에서는 풍하측 150mile 까지, 50kt 이상이면

300mile 까지 중정도 난류구역
- 탑상적운 내부 혹은 소멸기의 뇌운 내부나 부근
- 5,000ft 아래의 하층에서 지상풍속이 25kt를 넘거나, 지표의 가열이 심할때
- 상층의 한랭 기압골
- 연직 바람시어 6kt/1,000ft 또는 수평 바람시어 18kt/150mile을 초과 할 때

• 심한정도(severe) 난류조건
- 산의 능선에 수직방향의 풍속성분이 50kt를 초과하는 산악지역에서 풍하측 150mile 까지, 25~50kt 일 때는 풍하측 50mile 까지 심한정도 난류구역
- 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 한냉쪽으로 80~160km 지역에서 연직 바람시어가 10kt/1,000ft, 또는 수평 바람시어가 50kt/90mile을 초과할 때

3.2 산악파

산악파(Mountain Wave)는 역전층 기류가 있거나 대기가 안정되어 있는 산 정상에 강한 바람이 산등성이를 가로질러 불 때 발생한다. 산 정상에 습윤한 공기와 회전성 구름대가 일정한 부근에 정체하여 형성된다. 겨울철에는 한랭전선의 이동과 함께 850hPa 고도(약 5,000ft)에서 역전층이 자주 발생한다. 한랭전선이 확장하고 북서풍이 뚜렷하게 불 때 산악파는 산맥의 하부에서 발생하여 북동쪽으로 창출한다. 산악파는 봉우리가 하나 있는 지역보다는 여러 개 연달아 있는 산맥지역에서 자주

[표 3-1] 난류의 강도 및 체감정도

항목 / 강도	수직 가속도 (g)	풍속의 변동폭	체감정도
약정도(light)	0.1–0.3	15kt 이하	약간의 흔들림
중중도(moderate)	0.4–0.8	15~25kt	상당한 흔들림을 느끼나 조종통제력을 상실하지는 않음
심한정도(severe)	0.9–1.2	25~50kt 이상	흔들림이 크고 고도변화가 있으며 순간적으로 조종통제력을 잃음
극심한 정도 (extreme)	1.20이상	50kt 이상	항공기 손상, 심하게 흔들리며 조종불능

(주) severe 난류는 heavy 난류라고도 한다. extreme 난류는 뇌우를 제외하고는 드문 현상이다.

발생하며, 이때 형성되는 구름은 모자구름(cap cloud), 말린구름(rotor cloud), 렌즈구름(lenticular cloud) 등의 형태로 나타난다.

○ 모자구름(cap cloud) : 산맥 바로 정상에서 형성되는 구름으로 대부분 풍상측에 몰려있다. 이는 기류가 상승하면서 응결되어 생긴다. 모자구름은 산마루를 차폐하기 때문에 비행 중 항상 피해야 하며 산맥의 풍하면은 매우 위험한 지역이다.

○ 말린구름(rotor cloud) : 풍하측에 일렬로 늘어선 적운처럼 보이며 난류를 가장 잘 보여준다. 이 구름은 거의 정체하며 상승기류로 형성되고 하강기류로 소산되는 과정을 반복한다. 말린구름 내부 및 그 하층이나 말린구름의 풍하측의 하강기류 지역은 산악파에서 가장 위험한 지역이다.

○ 렌즈구름(lenticular cloud) : 렌즈모양의 구름으로서 말린구름과 같이 정체성이며 계속적으로 형성된다. 렌즈구름은 말린구름보다 고고도인 20,000ft 이상에서 형성되며 윤곽은 부드럽지만 그 층의 기류에 요란이 있을 때는 거칠게 보이기도 한다.

3.3 뇌우

○ 뇌우(Thunderstorm)

- 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 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.

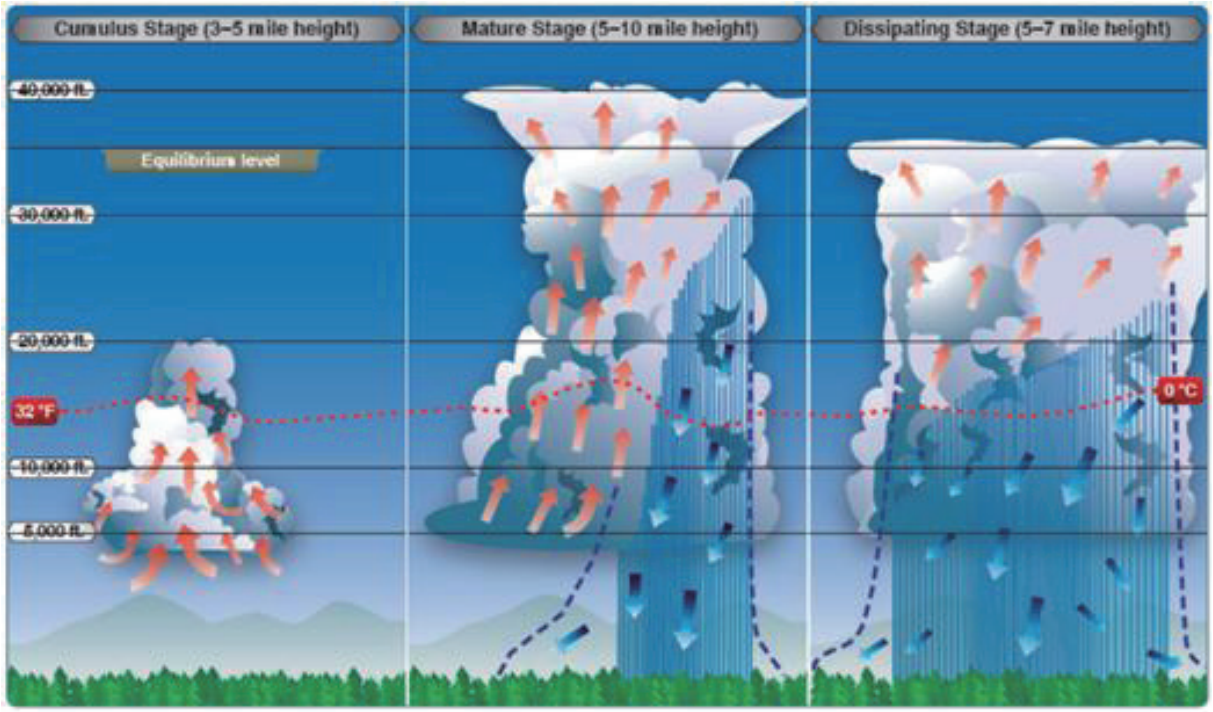
○ 뇌우 발달 과정은 세포 내에 오직 상승 기류만 있는 적운 단계, 상승기류와 하강 기류가 공존하는 성숙 단계, 그리고 하강 기류가 우세하고 결국에는 약해져서 사라지는 소멸 단계로 구성되어 있다.

○ 뇌우의 형성조건 : 뇌우가 형성되기 위한 기본적인 조건은 아래의 3가지 조건을 모두 만족할 때 뇌우는 그 일생을 시작된다.

① 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.

② 상승운동 : 상승작용이 일어나야 지표 부근의 따뜻한 공기가 자유롭게 상승하는 고도(자유대류고도 : LFC)에 도달할 수 있다. 상승작용은 대류에 의한 일사, 지형에 의한 강제상승, 전선상에

[표 3-2] 기단성 뇌우의 단계별 특성과 형태

적운단계	성숙단계	소멸단계
		

현상	활발한 결집성	구름 꼭대기 심한 난류 쇠모루 형태(Anvil)	약해지는 난류
강수 현상 여부	거의 없음	강수현상을 동반한 강한 하강기류	약해지는 강수
방전	결집 및 성숙단계에는 구름의 꼭대기 온도가 –20℃ 될 때 방전이 시작되고 아주 심한 방전은 쇠퇴단계에 발생한다.		
TURB(난류)	Light TURB	Light–Moderate/Severe TURB	Light TURB
결빙	moderate– severe 결빙	moderate–severe 결빙	결빙 없음

서의 온난공기의 상승, 저기압성 수렴, 상층냉각에 의한 대기 불안정으로 상승, 이류 등의 여러 요인이 있다.

③ 높은 습도 : 따뜻한 공기가 상승한다고 해서 자유로운 대류가 일어나는 것은 아니다. 공기가 상승해 수증기가 응결하면서 구름이 형성되는데, 자유대류고도까지 도달하지 못하면 구름이 크게 성장하지 못한다. 공기덩어리는 대기 중의 수증기량이 많을수록 더 쉽게 자유대류고도에 도달할 수 있다. 왜냐하면 수증기가 물방울이 되어 구름이 형

성되면 잠열이 방출되기 때문에 공기는 더욱 불안정해져 상승작용이 촉진된다.

3.4 다운버스트

뇌우 발달 과정에서 성숙 단계의 하강 기류는 지표면에 도달하자마자 빠르게 퍼져 유출 기류를 만들며, 유출 기류의 직경은 유출된 후에 경과된 시간에 따라 거의 선형적으로 증가하여 10~15분 안에 최대로 유출되고 발산된다. 이를 다운버스트(downburst)이라 한다.

3.5 우박(hail) :

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 이동한다. 이 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 매우 강한 상승 기류가 있는 적란운의 정상 부근에서 적란운 밖으로 떨어질 수 있다.

3.6 번개와 천둥

뇌우는 천둥(thunder)이 동반된 폭풍우 현상이다. 천둥은 번개(lightning)에 의해 만들어지기 때문에 두 개의 현상은 같이 발생한다.

3.6.1 번개(lightning)

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.

○ 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 밀어내는 힘과 당기는 힘에 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.

○ 번개의 방전

- 구름 하부에서 방출된 음 전하는 전기력이 가장 큰 경로를 따라 조금씩 이동하면서 이온화된 통로인 계단 선도를 만든다. 계단 선도가 지표의 돌출부에 있는 양 전하와 만나 불꽃 방전을 발생시킨다.
- 계단 선도에 의해 만들어진 구불구불한 도전로(Electrical Conductive Path)를 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 뾰족한 탑 등과 같이 높은 지점이 번개 맞기가 쉽다.
- 또한 양으로 전리된 물체에 가까우면 가까울수록 구름으로부터 벼락 맞기가 더욱 쉬우며, 물체가 양 전하의 구름에 가까우면 가까울수록 벼락 맞기가 쉬워진다.

3.6.2 천둥(thunder)

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 천둥소리로 들려온다.

번개는 발생순간 우리가 눈으로 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 시간 차이를 확인함으로써 대략적인 거리를 알아낼 수 있다.

3.7 바람시어

바람시어(wind shear)는 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 바람시어는 정풍이나 배풍의 급격한 증가 또는 감소를 초래하여 항공기의 실속이나 비정상적인 고도 상승을 초래하고, 측풍에 의해 활주로 이탈을 초래한다.

이와 같이 최종 접근로나 이륙로 또는 초기 이륙 직후의 고도 상승로를 따라 발생하는 지상 2,000ft이하의 바람시어를 저층바람시어(low level wind shear)라고 한다. 보통 저층 바람시어의 강도는 연직 바람시어의 강도로 나타낸다.

[표 3-3] 저층 바람시어의 강도

저층 바람시어 강도	연직 바람시어 강도 (kt/100ft)
약함	<4.0
보통	4.0 ~ 7.9
강함	8.0 ~ 11.9
아주 강함	≥ 12

3.8 마이크로버스트

마이크로버스트(microburst)는 대류활동에 연관되어 나타나는 특수한 바람시어이다. 이것은 비교적 단순한 형태의 난류로 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 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 바람시어가 나타난다.

3.9 착빙

3.9.1 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 자주 관측되므로, 이 온도 범위 내에 있는 구름은 착빙의 가능성이 있다고 보아야 하며, 심한 착빙은 보

통 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.

3.9.2 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 구조착빙(structural icing)과 유도착빙(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.

3.9.2.1 구조 착빙(structural icing)

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 비행하여 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.

○ 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.

○ 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 우유 빛을 띤다. 거친 착빙도 항공기 날개의 공기 역학에 심각한 영향을 줄 수 있다.

○ 혼합 착빙(mixed icing) : 맑은 착빙과 거친 착빙의 결합으로서, 눈 또는 얼음입자가 맑은 착빙 속에 묻혀서 울퉁불퉁하게 쌓여 형성된다.

3.9.2.2 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 윈드시어를 만날 때, 특히 저속 운항이나 선회를 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 사라지기도 한다.

3.9.2.3 유도착빙(induction icing)

유도착빙은 항공기 엔진으로 공기가 유입되는 공기흡입구와 기화기에서 생기는 착빙으로서, 공기흡입구 착빙과 기화기 착빙으로 나누어진다.

공기흡입구 착빙은 주로 엔진으로 들어가는 공기를 차단시켜 동력을 감소시키며, 구조 착빙의 발생 조건과 같은 조건에서 공기흡입구에서 얼음이 누적되어 발생한다.

기화기 착빙은 외부 온도에 관계없이 기화기 안으로 유입된 습윤 공기가 단열 팽창과 연료의 기화로 인한 냉각으로 인해 기화기 내부가 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.

3.9.3 착빙의 강도 및 얼음 침적율에 대한 조종사의 대처 : 표 3-4

[표 3-4] 착빙의 강도 및 얼음 침적율에 대한 조종사의 대처

강도	얼음의 침적 정도	조종사의 대처
미약함 (TRACE)	착빙이 형성되기 시작하며, 얼음 침적율이 승화에 의한 얼음 감소율 보다 큼.	한 시간 이상 지속되지 않는 한 방빙 또는 제빙 장치를 가동할 필요가 없으며, 비행 방향이나 고도변경이 필요하지 않음.
약함 (LGT)	한 시간 이상 비행할 경우에 얼음의 누적에 의한 문제가 발생할 수 있음.	방빙 또는 제빙 장치를 가끔 가동할 필요가 있으며, 비행 방향이나 고도변경이 필요함.
보통 (MOD)	얼음 침적율이 크지 않더라도 잠재적으로 위험에 직면할 수 있음.	방빙 또는 제빙 장치의 가동이 필요하며, 비행 방향이나 고도변경이 필요함.
심함 (SEV)	방빙 또는 제빙 장치를 가동해도 계속해서 얼음의 누적이 발생함.	신속한 비행 방향이나 고도변경이 필요함.

3.10 해무

해무(Sea Fog)는 초여름부터 중순까지 해안지역에서 자주 발생한다. 해무는 다음과 같은 기상조건일 때 발생한다.

- ○ 광범위한 고기압권에 위치할 때
- ○ 저기압이나 전선 영향이 없을 때
- ○ 해수면의 온도가 20℃ 보다 낮을 때
- ○ 온도와 노점온도차가 0~2℃ 정도일 때
- ○ 해수면 온도와 노점온도차가 0~1℃일 때
- ○ 바람이 거의 없을 때
- ○ 지상 역전층 현상이 관찰될 때
- ○ 4,000~5,000ft 대기에서 역전층 현상이 관찰 시

3.11 황사

황사(Yellow Sand)는 중국 고비사막과 몽골사막에 발생하여 강한 편서풍을 타고 수십 미터 상공까지 올라가 수백 킬로 평방미터 지역까지 그 영향을 미치고 있다. 우리나라는 2월~4월에 자주 나타나며 시정장애를 가져온다.

제4장 일기도와 비행계획

㈜ '제4장 일기도와 비행계획'부분은 초경량비행장치의 동력비행장치(타면/체중), 회전익비행장치(헬기 / 자이로), 동력패러글라이더, 유인자유기구에 해당된다.

4.1 일기도

4.1.1 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.

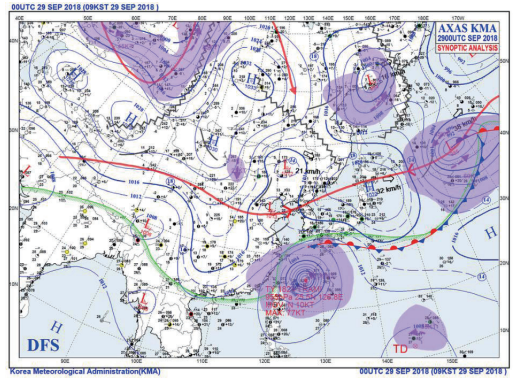
지상 일기도는 등압선, 등온선, 구름 자료를 분석하고 등압선은 1,000hPa을 기준으로 하여 4hPa간격으로 그린다.

4.1.1.1 등압선(isobar)

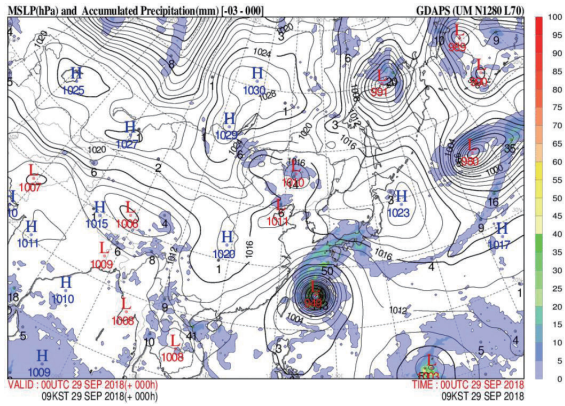
기압이 같은 지점을 연결해 놓은 선이다. 지표면의 여러 관측소에서 측정한 기압 값을 해면기압 값으로 보정하여 지도상의 각 관측소의 위치에 기입하고, 기압이 같은 지점을 연결하여 작성한다.

1,000hPa을 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.



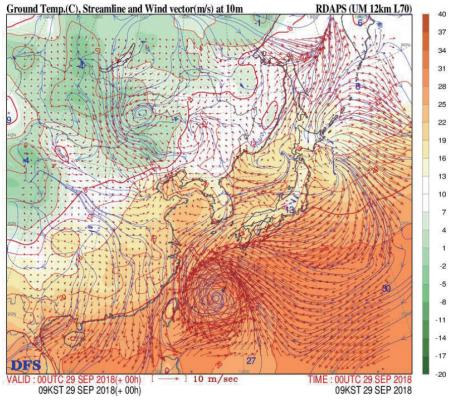
[그림 4-1] 지상일기도
(출처 : 날씨누리 기상청 국가기상종합정보)



[그림 4-2] 육상예상일기도
(출처 : 날씨누리 기상청 국가기상종합정보)

4.1.1.2 지상기온 및 풍향/풍속 일기도

지상 10m에서의 풍향 및 풍속을 나타내는 일기도이다. 지상 10m에서의 기온을 색상으로 표시하고, 풍향 및 풍속은 화살표로 표시한다.



[그림 4-3] 풍향/풍속 일기도
(출처 : 날씨누리 기상청 국가기상종합정보)

4.2 국제 일기 기호(international weather symbols)

기상관측소로부터 관측된 내용을 기록하는데 사용되는 표준화된 기호

4.2.1 바람

[표 4-1] 바람 기호

기호	내용
	고요, 바람이 없는 상태를 나타내는 기호.
	깃, 5m/s(10kts) 의 속도로 부는 바람을 나타내는 기호.
	반깃, 2m/s(5kts)의 속도로 부는 바람을 나타내는 기호.
	깃발, 25m/s(50kts) 속도로 부는 바람을 나타내는 기호.
예)	

4.2.2 전선

[표 4-2] 전선 기호

기호	내용
	지상 한랭전선 차가운 기단으로 이루어진 전선. 지상에 닿아 따뜻한 기단을 밀어낸다
	폐색전선 한랭전선이 온난전선을 앞질러 갈 때 두 전선이 겹쳐진 전선. 또 다른 한랭전선을 만나기 전에 온난전선을 더 높은 고도로 밀어 올린다.
	상층 온난전선 따뜻한 기단으로 이루어진 전선. 지상에 닿지 않고 더 차가운 기단을 타고 올라간다.
	지상 온난전선 따뜻한 기단으로 이루어진 전선. 지상에 닿아 찬 기단을 밀어낸다.
	상층 한랭전선 차가운 기단으로 이루어진 전선이며, 지표에 닿지는 않고 더 차가운 기단을 타고 올라간다.
	정체전선 / 정상전선 더운 기단과 찬 기단이 나란히 이동하면서 매우 천천히 이동하는 전선.

4.2.3 구름의 양

[표 4-3] 구름 양 기호

기호	내용	기호	내용
	구름 많음		관측 못함
	갬		구름 없이 맑음
	구름 조금		잔뜩 흐림
	맑음		

4.2.4 구름 유형

[표 4-4] 구름 유형 기호

기호	내용	기호	내용
	층운(Stratus) ST		고층운 (altostratus) AS
	권운(Cirrus) CI		적란운 (Cumulonimbus) CB
	난층운 (Nimbostratus) NS		권층운 (Cirrocumulus) CS
	적운(cumulus) CU		고적운 (altocumulus) AC
	권적운 (cirrocumulus) CC		층적운 (stratocumulus) SC

4.2.5 현재 날씨 : 구름을 제외하고 관찰되는 모든 대기현상. 광학 현상과 전기 현상뿐만 아니라 온갖 형태의 강우가 포함된다.

[표 4-5] 현재 날씨 기호

기호	내용	기호	내용
	모래 또는 먼지 바람		진눈깨비
	열대폭풍		높날림눈
	허리케인		땅날림눈
	뇌우		어는 비 / 얼어붙는 비
	강한 뇌우		가끔 내리는 약한 이슬비
	가끔 내리는 약한 비		가끔 내리는 보통 이슬비
	가끔 내리는 보통 비		가끔 내리는 강한 이슬비
	가끔 내리는 폭우		계속 내리는 약한 이슬비
	연속성 비		계속 내리는 보통 이슬비
	연속성 폭우		계속 내리는 강한 이슬비
	엷은 안개		짙은 안개
	연기		번개
	소낙눈		우박소나기
	소나기 / 소낙비		스콜
	가끔 내리는 약한 눈		가끔 내리는 보통 눈
	가끔 내리는 폭설		계속 내리는 약한 눈
	계속 내리는 보통 눈		계속 내리는 폭설
	연무		토네이도